

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

CAIO YUKIO NAKASHIMA

CESAR PADOVESE

FELIPE GALIOTTI AMARAL DO CARMO

KAIO FELIPE FERREIRA ARRUDA

LUCAS NAPOLI

PEDRO MEIRELLES LAZZARINI

RAFAEL PIAZZA BITENCOURT

TARIK IBRAHIM SAADA

POWER GENERATOR BOARD: Estudo da Implementação de Placa Geradora de Energia
Através do Fluxo de Veículos

São Bernardo do Campo

2021

CAIO YUKIO NAKASHIMA
CESAR PADOVESE
FELIPE GALIOTTI AMARAL DO CARMO
KAIO FELIPE FERREIRA ARRUDA
LUCAS NAPOLI
PEDRO MEIRELLES LAZZARINI
RAFAEL PIAZZA BITENCOURT
TARIK IBRAHIM SAADA

POWER GENERATOR BOARD: Estudo da Implementação de Placa Geradora de Energia
Através do Fluxo de Veículos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Centro Universitário FEI, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Mecânica.
Orientado pelo Prof. Dr. Ronaldo Câmara
Cozza.

São Bernardo do Campo

2021

POWER GENERATOR BOARD : Estudo da Implementação de Placa Geradora de Energia Através do Fluxo de Veículos / Caio Yukio Nakashima...[et al.]. São Bernardo do Campo - SP, 2021.
130 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário FEI.
Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Câmara Cozza.

1. Geração. 2. Energia. 3. Sustentáveis. I. Yukio Nakashima, Caio. II. Padovese, Cesar. III. Galiotti Amaral do Carmo, Felipe. IV. Felipe, Caio. V. Napoli, Lucas. VI. Meirelles Lazzarini, Pedro. VII. Piazza Bitencout, Rafael. VIII. Ibrahim Saada, Tarik. IX. Câmara Cozza, Ronaldo, orient. X. Título.

Elaborada pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da FEI com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Caio Yukio Nakashima - 12.115.660-8

Cesar Padovese - 12.116.491-7

Felipe Galiotti Amaral do Carmo - 12.219.094-5

Kaio Felipe - 12.112.112-3

Lucas Napoli - 12.219.095-2

Pedro Meirelles Lazzarini - 12.119.154-8

Rafael Piazza Bitencout - 12.116.466-9

Tarik Ibrahim Saada - 12.219.090-3

POWER GENERATOR BOARD: Estudo da Implementação de Placa Geradora de Energia
Através do Fluxo de Veículos

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
ao Centro Universitário FEI, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Mecânica Plena.

Comissão julgadora

Orientador e presidente

Examinador (1)

Examinador (2)

São Bernardo do Campo

17/06/2021

AGRADECIMENTOS

O grupo expressa sincera gratidão a todos os familiares que sempre nos apoiaram, aos colegas de classe que estiveram lado a lado em todos os momentos, ao Prof. Dr. Arnaldo Forgas Junior, coordenador do curso e ao Prof. Dr. Ronaldo Câmara Cozza como orientador, por aceitarem e ajudarem no desenvolvimento do projeto e ao Prof. Dr. Silvio Xavier por nos auxiliar na parte elétrica do desenvolvimento.

EPÍGRAFE

“A necessidade é a mãe da inovação.”

Platão

RESUMO

A energia elétrica vem sendo cada vez mais imprescindível na vida do ser humano, e seu consumo aumenta a cada ano. Em 2019, por exemplo, no Brasil foram consumidos 482.085 GWh, um acréscimo de 1,4% em relação a 2018. A principal forma de geração de energia atualmente no Brasil é através de Usinas Hidrelétricas, porém 15% da energia ainda é produzida por fontes não renováveis. A geração da energia elétrica supre e auxilia em uma infinidade de atividades cotidianas, em contrapartida encontramos sérios problemas ambientais, principalmente a longo prazo. Como citado acima, parte da energia gerada é proveniente de sistemas que de alguma forma colaboram na degradação do nosso planeta. As formas mais sustentáveis ainda se encontram com preços elevados. Este projeto tem como objetivo desenvolver um sistema que seja capaz de converter a energia dos automóveis nas ruas em energia elétrica para rede de distribuição, a partir de uma placa instalada na via. A ideia, portanto, é que não haja a necessidade de consumir combustíveis ou renunciar a grandes áreas, e assim contribuir com uma parcela da produção de energia elétrica.

Palavras-chave: Geração de Energia Elétrica. Sistemas Sustentáveis. Indução Eletromagnética.

ABSTRACT

Electric energy has become more indispensable in human life, and the power consumption increases every year. In 2019, for example, 482,085 GWh were consumed in Brazil, an incremental of 1.4% compared to 2018. Currently, the main source of energy generation in Brazil is through hydroelectric power plants, but 15% of the energy is still produced by non-renewable sources. The generation of electricity supplies and assists in a wide range of daily activities, however, we encounter serious environmental problems, especially in the long term. As mentioned earlier, part of the energy generated comes from systems that in some way collaborate in the degradation of our planet. The most sustainable methods are often more expensive. This project aims to develop a system that is capable of converting the energy from cars on the streets into electrical energy for the distribution network, from a board installed on the road. The idea, therefore, is that there is no need to increase fuel consumption or give up large areas, and thus contribute a share of electricity production.

Key words: Electric Power Generation. Sustainable Systems. Electromagnetic Induction.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema Eletromagnético.....	4
Figura 2: Cristal Piezoelétrico	4
Figura 3: Sistema Piezoelétrico	5
Figura 4: Sistema Mecânico	6
Figura 5: Logo PGB	7
Figura 6: Vista Superior da Placa	8
Figura 7: Projeto LYBRA.....	16
Figura 8: Projeto Calçada do Futuro.....	17
Figura 9: Projeto SOLAROAD	17
Figura 10: Projeto Magneter.....	18
Figura 11: Projeto Kinetic Plate	19
Figura 12: Evolução da Aerodinâmica dos Veículos	22
Figura 13: Esquemática da Descida na Rodovia dos Imigrantes – Sem Escala	23
Figura 14: Variação Entre o Coeficiente de Resistência ao Rolamento e a Velocidade	24
Figura 15: Volume Diário Médio de Tráfego na Rodovia dos Imigrantes.....	25
Figura 16: Diagrama de Forças na Roda do Veículo.....	28
Figura 17: Diagrama de Forças Sobre o Ressalto.....	30
Figura 18: Diagrama de Análise das Forças Verticais Sobre o Ressalto.....	34
Figura 19: Diagrama de verificação de estabilidade à flambagem.....	43
Figura 20: Tipos de solicitação por flambagem	44
Figura 21: Mola	46
Figura 22: Contato Entre Cilindro e Semiplano Infinito	48
Figura 23: Impressão da Área de Contato Entre Pneu e a Superfície.....	49
Figura 24: Placa Coberta com a Manta Asfáltica	53
Figura 25: Vista Inferior	54
Figura 26: Vista Superior	55
Figura 27: Montagem do Sistema Magnético.....	56
Figura 28: Distribuição dos Componentes Magnéticos.....	56
Figura 29: Ímã de Neodímio.....	57
Figura 30: Bobina	57
Figura 31: Disposição do Formato da Bobina	58
Figura 32: Representação da interação campo magnético.....	59

Figura 33: Diagrama da Disposição dos Componentes Elétricos.....	62
Figura 34: Influência da Velocidade na Potência Gerada.	65
Figura 35: Parafuso do Elemento Ferromagnético	70
Figura 37: Orçamento dos Ressaltos	71
Figura 38: Orçamento da Placa	72
Figura 39: Orçamento da Mola.....	74
Figura 40: Orçamento do Material Ferromagnético	74
Figura 41: Orçamento do Fio de Cobre	75
Figura 42: Orçamento Aproximado do Imã de Neodímio.....	76
Figura 43: Software Siemens NX.....	78
Figura 44: Ferramentas Siemens NX.....	78
Figura 45: Cotas do Ressalto 1	79
Figura 46: Cotas do Ressalto 2	79
Figura 47: Cotas do Pino	80
Figura 48: Cotas da Placa Superior	80
Figura 49: Cotas da Base	81
Figura 50: Cotas do Ferromagnético	82
Figura 51: Cotas do Parafuso Sextavado.....	83
Figura 52: Cotas da Tampa.....	83
Figura 53: Cotas do Parafuso da Tampa.....	84
Figura 54: Cotas da Bucha.....	85
Figura 55: Cotas do Imã	86
Figura 56: Montagem Final	86
Figura 57: Software ANSYS	87
Figura 58: Software ANSYS 2021 R1	87
Figura 59: Malha do Ressalto 1	88
Figura 60: Malha do Ressalto 2.....	89
Figura 61: Deformação Total do Ressalto 1	90
Figura 62: Deformação Total do Ressalto 2.....	90
Figura 63: Tensão Elástica Equivalente do Ressalto 1	91
Figura 64: Tensão Elástica Equivalente do Ressalto 2.....	91
Figura 65: Tensão Equivalente do Ressalto 1	92
Figura 66: Tensão Equivalente do Ressalto 2	93
Figura 67: Fadiga do Ressalto	94

Figura 68: Malha do Pino	95
Figura 69: Deformação Total do Pino	95
Figura 70: Tensão Elástica do Pino	96
Figura 71: Tensão de Escoamento do Pino	96
Figura 72: Fadiga do Pino	97

Tabela 1: Matriz de Decisão - Custo	9
Tabela 2: Matriz de Decisão - Segurança	10
Tabela 3: Matriz de Decisão - Capacidade de Geração	11
Tabela 4: Matriz de Decisão - Manutenção	11
Tabela 5: Matriz de Decisão - Viabilidade de Geração	12
Tabela 6: Matriz de Decisão - Vida Útil	13
Tabela 7: Matriz de Decisão	13
Tabela 8: Tabela de Propriedades dos Materiais	38
Tabela 9: Faixas de diâmetros recomendadas para cada material	39
Tabela 10: Área de Contato Medida e Pressão de Contato Calculada	50
Tabela 11: Iluminância Média Mínima	60
Tabela 12: Correlação entre Velocidade do Veículo e Energia Gerada Pela Placa.	65
Tabela 13: Valores dos Componentes	76

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E OBJETIVO	1
1.1	OBJETIVO	2
1.2	MOTIVAÇÃO DO PROJETO	2
2	REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1	GERAÇÃO DE ENERGIA	3
2.1.1	Tipos de Sistemas de Geração de Energia.....	3
<i>2.1.1.1</i>	<i>Sistema Eletromagnético.....</i>	<i>3</i>
<i>2.1.1.2</i>	<i>Sistema Piezoelétrico.....</i>	<i>4</i>
<i>2.1.1.3</i>	<i>Sistema Mecânico.....</i>	<i>5</i>
3	PROJETO PBG	7
3.1	SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA	8
3.2	LAYOUT DO SISTEMA.....	8
4	MATRIZ DE DECISÃO.....	9
4.1	CUSTO.....	9
4.2	SEGURANÇA.....	10
4.3	CAPACIDADE DE GERAÇÃO.....	10
4.4	MANUTENÇÃO.....	11
4.5	VIABILIDADE DE GERAÇÃO	12
4.6	VIDA ÚTIL.....	12
4.7	DECISÃO.....	13
5	BENCHMARKING.....	15
6	CAPACIDADE DE GERAÇÃO	20
6.1	ESTUDOS E CONSIDERAÇÕES	20
6.2	BALANÇO ENERGÉTICO.....	20
6.3	CÁLCULO DE PERDAS DO VEÍCULO	21
6.4	MÉDIA DIÁRIA DE VEÍCULOS.....	25
6.5	ALTERNATIVA DE ILUMINAÇÃO DA VIA.....	25
7	DINÂMICA DO SISTEMA.....	27
7.1	ESTUDOS E CONSIDERAÇÕES	27
7.1.1	Forças Sobre a Roda do Veículo	27

7.1.2	Forças do Veículo Sobre o Ressalto	28
7.1.3	Aceleração do Veículo em Solo Inclinado	31
7.1.4	Mola de Compressão	32
7.1.5	Pré-carga	33
7.1.6	Força Máxima da Mola	33
7.1.7	Forças Aplicadas Sobre o Ressalto	33
7.1.8	Coeficiente de Elasticidade da Mola	35
7.1.8.1	<i>Cinemática do Sistema</i>	35
7.1.8.2	<i>Valor da Constante da Mola</i>	37
7.1.9	Dimensionamento da Mola	37
7.1.9.1	<i>Material da Mola</i>	38
7.1.9.2	<i>Dimensões</i>	39
7.1.9.3	<i>Verificação: Critério Estático</i>	42
7.1.9.4	<i>Verificação Pelo Critério de Flambagem</i>	43
7.1.9.5	<i>Verificação Pelo Critério Dinâmico (Fadiga)</i>	44
8	PLACA	47
9	REVESTIMENTO ASFÁLTICO	53
10	RESSALTO	54
10.1	MATERIAL DO RESSALTO	54
10.2	GEOMETRIA	54
11	TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA	55
11.1	GERAÇÃO DE TENSÃO.....	55
11.2	SISTEMA ELÉTRICO.....	60
11.3	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO.....	60
11.3.1	Banco de Baterias	61
11.4	FORMA DE ONDA DA TENSÃO ELÉTRICA	62
11.4.1	Retificação da Tensão Elétrica	62
11.5	FORMA DE ONDA DA TENSÃO ELÉTRICA	63
12	NORMAS	66
13	MANUTENÇÃO	68

13.1	SEGURANÇA E CUIDADOS NA MANUTENÇÃO	69
14	CUSTOS	71
15	DESENHO e simulação	78
15.1	DESENHOS	79
15.2	SIMULAÇÃO	87
16	CONCLUSÃO	98
17	REFERÊNCIAS	99

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO

A produção mundial de energia é resumida principalmente por fontes de energia tradicionais, não renováveis e poluentes, mas que no futuro serão necessariamente substituídas por outros sistemas de geração renovável pensando em menores níveis de emissões de poluentes e impacto para o meio ambiente.

A energia elétrica vem sendo cada vez mais imprescindível na vida do ser humano, e seu consumo aumenta a cada ano. Em 2019, por exemplo, no Brasil foram consumidos 482.085 GWh, um acréscimo de 1,4% em relação a 2018. A principal forma de geração de energia atualmente no Brasil é através de Usinas Hidrelétricas, porém parte da energia ainda é produzida por fontes não renováveis.

A geração da energia elétrica supre e auxilia em uma infinidade de atividades cotidianas, em contrapartida encontramos sérios problemas ambientais, principalmente a longo prazo. Como citado acima, parte da energia gerada é proveniente de sistemas que de alguma forma colaboram na degradação do nosso planeta e as formas mais sustentáveis ainda se encontram com preços elevados.

De acordo com o cenário habitual, o impacto no meio ambiente pode ser definido como qualquer mudança ambiental causada pelas atividades humanas e que afetem o funcionamento do sistema. Caso desses efeitos são frequentemente documentados e discutidos como desmatamento, saúde do ecossistema, extinção de espécies, efeito estufa e impacto no bem-estar humano. Porém, deve-se ressaltar que os fenômenos naturais como terremotos, tempestades, furacões podem causar impactos ambientais sendo que também podem levar a mudanças no ecossistema, não necessariamente causadas por atividades humanas. Após a revolução industrial, principalmente no século 20, a interferência negativa do homem no meio ambiente aumentou. Esses impactos ambientais são causados pelo crescimento populacional e o aumento do consumo de energia per capita, especialmente nesses países industrializados. Países como Estados Unidos, China, Rússia, são considerados o maior poluidor da Terra. O impacto ambiental associado à geração de energia pode limitar sua consequência e extensão a um determinado local, região ou espalhar-se por todo o globo.

1.1 OBJETIVO

O presente projeto tem como objetivo desenvolver uma placa capaz de absorver a energia cinética do carro ao passar por um determinado espaço, em que se encontra o sistema de transformação de energia. Visando um novo método de geração de energia limpa e que esteja alinhado com as megatendências futuras, essa placa será instalada em uma via cujo o fluxo de veículos seja consideravelmente alto para fornecermos energia à rede e ajudar o meio ambiente, sabendo que o número de carros nas ruas vem aumentando ao decorrer dos últimos anos e cada vez mais o ser humano está preocupado com a saúde do nosso planeta, o grupo desenvolveu uma placa atendendo a critérios sustentáveis.

1.2 MOTIVAÇÃO DO PROJETO

O tema deste projeto, teve como principais inspirações uma visão de um ramo de negócio inovador onde seja aproveitado o fluxo de carros em uma via para gerar uma energia limpa tendo em vista que no futuro, a grande maioria dos sistemas de geração serão substituídos por outros de geração renovável, reduzindo impactos ambientais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 GERAÇÃO DE ENERGIA

Atualmente é cada vez mais estudado métodos de geração de energia sustentável e a sua devida importância na implementação em sistemas, tornando-se praticamente uma obrigação da sua inclusão.

2.1.1 Tipos de Sistemas de Geração de Energia

Com base nos estudos e pesquisas, pode-se observar que a geração de energia pode ser obtida através de vários sistemas, dentre eles, foi pesquisado os 3 mais viáveis para a aplicação em questão sendo avaliado o seu funcionamento.

2.1.1.1 *Sistema Eletromagnético*

Para entendermos como a energia elétrica será gerada, precisamos primeiramente abordar resumidamente duas leis físicas importantes no estudo do eletromagnetismo:

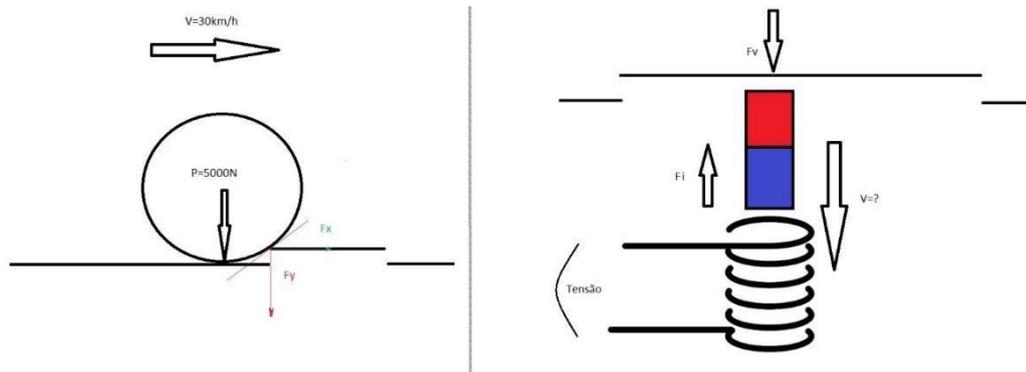
Lei de Lenz: Ele aponta que a corrente induzida na espira gera seu próprio campo magnético, que se opõe à mudança do fluxo magnético.

Lei de Faraday: Em suma, a lei de Faraday afirma que a força eletromotriz (tensão) induzida em um circuito é proporcional à taxa de variação do fluxo magnético. Faraday concluiu que ao mudar o campo magnético, uma corrente pode ser induzida no circuito. É importante notar que quando o campo magnético que passa pela bobina secundária muda, a corrente induzida existe apenas por um curto período de tempo.

Em uma bobina a *f.e.m* (força eletromotriz) induzida é diretamente proporcional ao número de espiras, e a variação do fluxo magnético no tempo.

O funcionamento do sistema eletromecânico na aplicação da placa geradora de energia seria representado na figura abaixo:

Figura 1: Sistema Eletromagnético



Fonte: Autores, 2020

O veículo em velocidade constante, considerando um ponto de contato entre as rodas e a via, tem em seu estudo de forças contra o chão apenas a ação da força peso e a sua reação, a força normal.

2.1.1.2 Sistema Piezoelétrico

O efeito piezoelétrico foi descoberto pelos irmãos Pierre e Jacques Currie em 1880, se tratando da capacidade que alguns cristais que possuem a capacidade de liberar elétrons a partir de uma pressão exercida. Isso se deve ao fato de que o cristal piezoelétrico possui átomos neutros ao estado natural, quando a pressão é exercida, ocorre uma deformação na sua estrutura ocasionando a perturbação das cargas neutras, criando cargas positivas e negativas e conseqüentemente uma diferença de potencial.

Dentre os vários cristais que possam ser utilizados, o PZT (Titanato Zirconato de chumbo) é o mais empregado ultimamente, tendo uma capacidade de conversão da energia mecânica em energia elétrica em até 80%. Conforme figura abaixo.

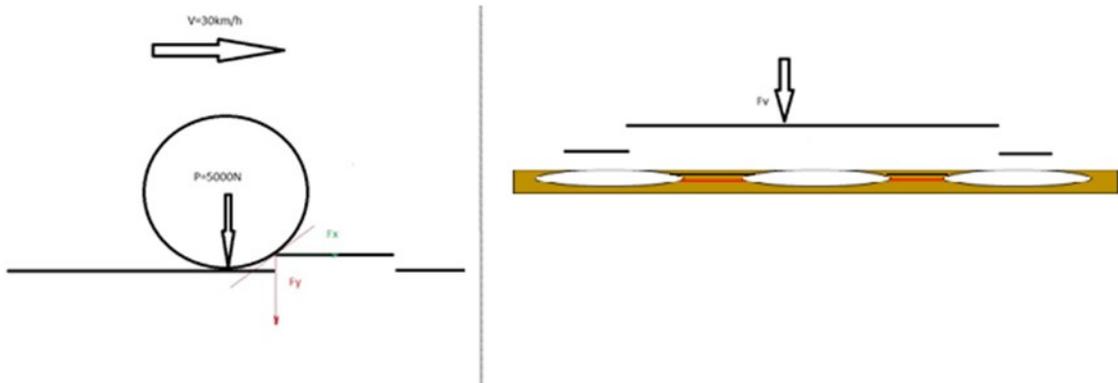
Figura 2: Cristal Piezoelétrico



Fonte: Vida de Silício, 2020

O princípio básico desse sistema para o uso na placa geradora de energia, seria a ligação entre vários piezoelétricos conectados, onde o veículo passaria na placa gerando a pressão suficiente para que a energia seja gerada. Conforme figura abaixo.

Figura 3: Sistema Piezoelétrico



Fonte: Autores, 2020

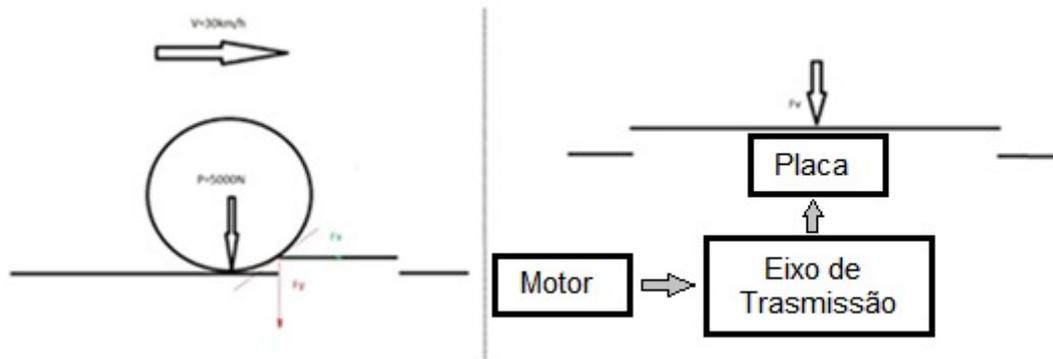
2.1.1.3 Sistema Mecânico

A energia mecânica é a capacidade de realizar trabalho relacionada a uma massa em movimento, sendo a soma da energia potencial com a energia cinética.

Energia Cinética: Na física, a energia cinética é a energia produzida pelo objeto devido ao seu movimento, que pode ser definido como o trabalho necessário para acelerar uma massa que está em repouso.

Energia Potencial: É a energia de um objeto devido à altura relativa a um ponto de referência e a movimentação do seu peso de uma posição para outra é medida pelo trabalho realizado. Conforme figura 4 abaixo.

Figura 4: Sistema Mecânico



Fonte: Autores, 2020

O sistema mecânico seria fundamentado na transformação do movimento linear para o movimento rotativo. A metodologia básica seria: o peso da roda do carro ao passar pela placa, faria com que uma haste fosse empurrada para baixo, estando interligada a um eixo, utilizando o princípio do virabrequim, fazendo com que o rotor do motor seja acionado.

3 PROJETO PGB

O crescimento populacional impulsiona a busca por alternativas para suprir a demanda por energia elétrica do país, dando mais importância para a diversificação da matriz energética. Seguindo essa tendência, procuramos com nosso projeto PGB (Power Generator Board), soluções que, combinadas com as fontes energéticas já comuns, ajudem a economizar energia com recursos disponíveis no nosso dia a dia. Projetamos um sistema que pode gerar energia de forma limpa e que pudesse ser instalado com segurança e durabilidade próximo ao local onde ocorre o consumo, aproveitando uma fonte de força motora abundante para o acionamento da geração de energia, o tráfego de veículos. Desta forma seria possível equilibrar a balança energética brasileira, além de auxiliar na iluminação de rodovias em momentos de apagões ou épocas de estiagem, quando as usinas hidroelétricas trabalham com menor rendimento. A figura abaixo demonstra o logo PGB.

Figura 5: Logo PGB



Fonte: Tamara Saada e Dayra Bermudes, 2020

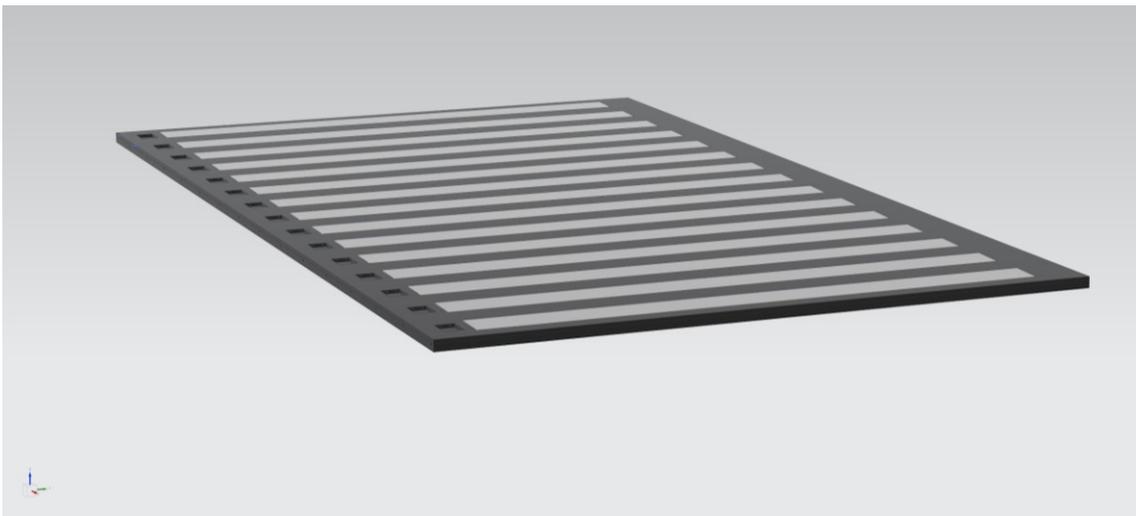
3.1 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Com base nos sistemas possíveis de geração de energia, selecionamos apenas 3 para compararmos a efetividade, simplicidade e custo para melhor aplicação no presente projeto. Com isso foram feitas pesquisas de modo que, conseguimos analisar vantagens e desvantagens onde o sistema eletromagnético obteve uma melhor resposta no quadro comparativo.

3.2 LAYOUT DO SISTEMA

Com a escolha do sistema de geração, foi criado um protótipo simplificado da placa no software Siemens NX, para que seja possível uma melhor visualização de como será a implementação. Conforme figura abaixo.

Figura 6: Vista Superior da Placa



Fonte: Autores, 2021

4 MATRIZ DE DECISÃO

Para auxiliar nas tomadas de decisão, utilizamos uma matriz de decisão pelo método AHP, Analytic Hierarchy Process, que permite incluir todos os fatores importantes em uma análise multicriterial em um processo abrangente e racional. Desenvolvida pelo Prof. Thomas Saaty na década de 1970, a AHP ajuda as pessoas a escolher e justificar suas escolhas através de um método que utiliza uma hierarquia, comparando entre 2 critérios, qual é mais preferível em relação ao outro critério.

Em nosso projeto, para auxiliar a escolha entre os três principais sistemas diferentes de geração de energia, Sistema Piezoelétrico, Sistema Eletromagnético e Sistema Mecânico, foi utilizada a matriz de decisão AHP, adotando como importantes os seguintes fatores:

- Custo
- Segurança
- Capacidade de Geração
- Manutenção
- Viabilidade de Geração
- Vida Útil

4.1 CUSTO

Para analisar qual é o sistema mais preferível na geração de energia pelo critério de custo, utilizou-se a matriz de decisão conforme tabela abaixo.

Tabela 1: Matriz de Decisão - Custo

CUSTO				
Critério	Piezoelétrico	Eletromagnético	Mecânico	Média dos Pesos
Piezoelétrico	0,143	0,091	0,333	0,189
Eletromagnético	0,714	0,455	0,333	0,501
Mecânico	0,143	0,455	0,333	0,310
TOTAL				1,00

Fonte: Autores, 2020

Com a elaboração da matriz de decisão pelo critério de custo, pode-se afirmar que o sistema com maior preferência é o eletromagnético, o sistema com preferência média é o mecânico e o sistema com menor preferência é piezoelétrico.

4.2 SEGURANÇA

Para analisar qual é o sistema mais preferível na geração de energia pelo critério de segurança, utilizou-se a matriz de decisão abaixo.

Tabela 2: Matriz de Decisão - Segurança

SEGURANÇA				
Critério	Piezoelétrico	Eletromagnético	Mecânico	Média dos Pesos
Piezoelétrico	0,588	0,600	0,556	0,581
Eletromagnético	0,294	0,300	0,333	0,309
Mecânico	0,118	0,100	0,111	0,110
TOTAL				1,00

Fonte: Autores, 2020

Com a elaboração da matriz de decisão pelo critério de segurança, pode-se afirmar que o sistema com maior preferência é o piezoelétrico, o sistema com preferência média é o eletromagnético e o sistema com menor preferência é o mecânico.

4.3 CAPACIDADE DE GERAÇÃO

Para analisar qual é o sistema mais preferível na geração de energia pelo critério de capacidade de geração, utilizou-se a matriz de decisão abaixo.

Tabela 3: Matriz de Decisão - Capacidade de Geração

CAPACIDADE DE GERAÇÃO				
Critério	Piezoelétrico	Eletromagnético	Mecânico	Média dos Pesos
Piezoelétrico	0,467	0,455	0,538	0,487
Eletromagnético	0,467	0,455	0,385	0,435
Mecânico	0,067	0,091	0,077	0,078
TOTAL				1,00

Fonte: Autores, 2020

Com a elaboração da matriz de decisão pelo critério de capacidade de geração, pode-se afirmar que o sistema com maior preferência é o piezoelétrico, o sistema com preferência média é o eletromagnético e o sistema com menor preferência é o mecânico.

4.4 MANUTENÇÃO

Para analisar qual é o sistema mais preferível na geração de energia pelo critério de manutenção, utilizou-se a matriz de decisão abaixo.

Tabela 4: Matriz de Decisão - Manutenção

MANUTENÇÃO				
Critério	Piezoelétrico	Eletromagnético	Mecânico	Média dos Pesos
Piezoelétrico	0,429	0,455	0,333	0,405
Eletromagnético	0,429	0,455	0,556	0,480
Mecânico	0,143	0,091	0,111	0,115
TOTAL				1,00

Fonte: Autores, 2020

Com a elaboração da matriz de decisão pelo critério de manutenção, pode-se afirmar que o sistema com maior preferência é o eletromagnético, o sistema com preferência média é o piezoelétrico e o sistema com menor preferência é o mecânico.

4.5 VIABILIDADE DE GERAÇÃO

Para analisar qual é o sistema mais preferível na geração de energia pelo critério de viabilidade de geração, utilizou-se a matriz de decisão abaixo.

Tabela 5: Matriz de Decisão - Viabilidade de Geração

VIABILIDADE DE GERAÇÃO				
Critério	Piezoelétrico	Eletromagnético	Mecânico	Média dos Pesos
Piezoelétrico	0,652	0,714	0,455	0,607
Eletromagnético	0,217	0,238	0,455	0,303
Mecânico	0,130	0,048	0,091	0,090
TOTAL				1,00

Fonte: Autores, 2020

Com a elaboração da matriz de decisão pelo critério de viabilidade de geração, pode-se afirmar que o sistema com maior preferência é o piezoelétrico, o sistema com preferência média é o eletromagnético e o sistema com menor preferência é o mecânico.

4.6 VIDA ÚTIL

Para analisar qual é o sistema mais preferível na geração de energia pelo critério de vida útil, utilizou-se a matriz de decisão abaixo.

Tabela 6: Matriz de Decisão - Vida Útil

VIDA ÚTIL				
Critério	Piezoelétrico	Eletromagnético	Mecânico	Média dos Pesos
Piezoelétrico	0,091	0,130	0,048	0,090
Eletromagnético	0,455	0,652	0,714	0,607
Mecânico	0,455	0,217	0,238	0,303
TOTAL				1,00

Fonte: Autores, 2020

Com a elaboração da matriz de decisão pelo critério de vida útil, pode-se afirmar que o sistema com maior preferência é o eletromagnético, o sistema com preferência média é o mecânico e o sistema com menor preferência é o piezoelétrico.

4.7 DECISÃO

Após todos os critérios serem analisados separadamente, junta-se todos em uma matriz de decisão final.

Tabela 7: Matriz de Decisão

	Piezoelétrico	Eletromagnético	Mecânico	Média dos Pesos
CUSTO	0,189	0,501	0,310	0,170
SEGURANÇA	0,581	0,309	0,110	0,373
CAPACIDADE DE GERAÇÃO	0,487	0,435	0,078	0,165
MANUTENÇÃO	0,405	0,480	0,115	0,114
VIABILIDADE DE APLICAÇÃO	0,607	0,303	0,090	0,025
VIDA ÚTIL	0,090	0,607	0,303	0,152
TOTAL	40,47%	42,72%	16,81%	100,00%

Fonte: Autores, 2020

De acordo com o método AHP utilizado na matriz de decisão, mostrou-se mais preferível a utilização do sistema eletromagnético, visto que teve o maior percentual total entre os sistemas analisados.

5 BENCHMARKING

A realização do Benchmarking é uma etapa fundamental na elaboração de um projeto. Consiste em uma análise aprofundada sobre aplicações similares utilizadas em outros projetos e em outras empresas do mesmo segmento.

Pesquisando sobre projetos similares, podemos aprender quais são os pontos positivos e negativos nesse segmento. Com esse conhecimento, podemos aperfeiçoar e inovar nosso projeto, visando desenvolver um projeto de destaque.

O Projeto TOM, Transformação de Oscilação Mecânica, criado por estudantes do Centro Universitário da FEI como trabalho de conclusão de curso em 1999 tem o propósito de desenvolver um sistema que capta um movimento oscilatório mecânico e o converte em energia elétrica. O estudo de aplicações com oscilações mecânicas como uma fonte alternativa para geração de energia, é uma aplicação pouco explorada. O Projeto TOM tem como princípio o sistema massa-mola, que capta oscilações a ele fornecidas, podendo amplificá-las até a ressonância. Existem diversas aplicações, como em embarcações marítimas ou fluviais e boias ou faróis de sinalização.

O projeto LGE, Lombada Geradora de Energia, criado por estudantes do Centro Universitário da FEI como trabalho de conclusão de curso em 2011 tem como objetivo a elaboração de um sistema que aproveite a energia dos automóveis em movimento, presentes na forma de energia cinética e potencial, para geração de energia elétrica. O sistema consiste em um obstáculo que oferece resistência à passagem do veículo, gerando energia que pode ser aproveitada para iluminação, sinalização ou outra aplicação compatível com os níveis de energia armazenados. A LGE pode ser instalada em locais de significativo fluxo de veículos como estacionamentos, semáforos, pedágios, dentre outros.

O projeto LYBRA, criado em uma startup italiana chamada Underground Power, consiste em um pavimento especial de borracha que converte a energia cinética produzida pelo tráfego de veículos em energia elétrica. A ideia era propor um sistema inovador e inteligente para recuperar e absorver a energia dos carros no momento que reduzem sua velocidade. Este sistema foi projetado para ser utilizado em uma zona de tráfego intenso, com uma geração

máxima anual de 100.000 kWh, o que poderia ser utilizado por mais de 2.000 famílias locais. Figura sobre o projeto abaixo.

Figura 7: Projeto LYBRA



Fonte: Reportagem EuroNews, 2014

A empresa PAVEGEN desenvolveu uma tecnologia que gera energia enquanto pedestres caminham em um pequeno espaço em uma rua normal em Londres, Bird Street, a qual permite somente tráfego de pedestres. Conforme a passagem de pedestres, a pressão exercida por eles faz com que os geradores no solo se desloquem verticalmente, fazendo com que a indução eletromagnética criada por esse descolamento, gere energia elétrica. Esse projeto tem como objetivo além de gerar energia, utilizá-la para iluminação da rua e para efeitos sonoros de pássaros nas proximidades de onde o pedestre caminha. Figura sobre o projeto abaixo.

Figura 8: Projeto Calçada do Futuro



Fonte: Reportagem Ciclo Vivo, 2017

A SolaRoad foi o primeiro solo de ciclovias construído de painéis solares no mundo, em Krommenie no Norte da Holanda, uma parceria da Organização Holandesa de Pesquisa Científica Aplicada com a empresa Imtech. A luz solar que incide sobre a ciclovia é absorvida por células solares e convertida em eletricidade para a rede elétrica. Em seu primeiro ano de teste, com uma faixa de 90 metros de ciclovia, foram gerados 9.800 kWh, valor superior ao estimado pelos seus criadores. Figura sobre o projeto abaixo.

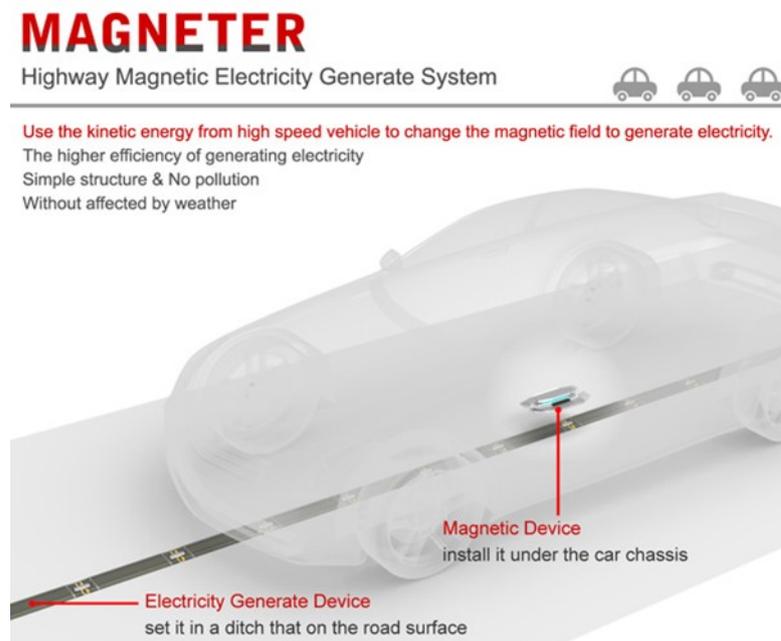
Figura 9: Projeto SOLAROAD



Fonte: Reportagem Autossustentável, 2017

O projeto Magneter consiste na ideia de utilizar a energia cinética do tráfego de veículos com altas velocidades nas vias que causariam uma alteração em um campo magnético, gerando energia. O projeto tem como seu mentor principal o designer chinês Fang-Chun Tsai. O sistema precisaria que os veículos fossem equipados com dispositivos magnéticos em sua parte inferior, para que trabalhassem junto ao dispositivo instalado no solo das rodovias, gerando a energia. Esse sistema também poderia ser utilizado nas ferrovias. Figura sobre o projeto abaixo.

Figura 10: Projeto Magneter



Fonte: Reportagem Yankd Design, 2011

O projeto foi implementado em uma rede de supermercados europeu e consiste basicamente em colocar uma placa geradora na entrada e saída do estacionamento. Ao atravessar por essas, os carros geram um percentual baixo de energia que é utilizado nos caixas da unidade.

As placas têm um custo de produção entre £20,000 e £55,000 e conseguem ter um retorno de £5,840 e £21,024 por ano, dependendo do uso e fluxo de carros. A principal desvantagem é a incerteza de quanto sustentável é o projeto, já que muitos estudos provaram que para gerar esse ganho de energia o consumo de combustível no carro também aumenta. Figura sobre o projeto abaixo.

Figura 11: Projeto Kinetic Plate



Fonte: Reportagem The Guardian, 2019

6 CAPACIDADE DE GERAÇÃO

Uma das principais motivações para a continuidade do estudo foi a capacidade total de geração de um veículo na descida da serra. Neste tópico, aborda-se a energia máxima que se consegue obter em um sistema ideal.

6.1 ESTUDOS E CONSIDERAÇÕES

- O estudo de capacidade de geração de energia total considerou a Rodovia dos Imigrantes como exemplo de implementação.
- Considera-se a inclinação da descida da via como constante ao longo de toda sua extensão.
- Admite-se que as duas (ou mais) rodas de cada eixo tocam ao mesmo tempo no ressalto.
- Para os cálculos médios, foi considerada a massa de um veículo de 1.500 kg.

6.2 BALANÇO ENERGÉTICO

Para iniciar, considera-se o balanço energético como premissa básica, conforme:

$$E_{cin. ini.} + E_{grav.} = E_{cin. fin.} + \tau_{perdas} \quad (1)$$

A energia potencial gravitacional final ocorre com o veículo no nível de referência, ou seja, um desnível igual a zero, conseqüentemente esta energia também é igual a zero.

Para que a equação acima se mantenha verdadeira considerando uma velocidade inicial fixa, tem-se, a princípio, três possíveis condições: Aumento da velocidade, conseqüentemente da energia cinética, aumento da parcela de energia referente às perdas (por exemplo acionando o freio do veículo), ou até mesmo, os dois acontecimentos juntos.

O projeto PGB visa substituir as alternativas citadas implementando uma parcela do lado direito da equação. Esta será a parcela de energia convertida em energia elétrica pelo nosso sistema:

$$E_{cin. ini.} + E_{grav.} = E_{cin. fin.} + \tau_{perdas} + E_{PGB} \quad (2)$$

Sendo que:

$E_{cin. ini.}$ = Energia cinética inicial do veículo

$E_{grav.}$ = Energia potencial gravitacional do veículo

$E_{cin. fin.}$ = Energia cinética final do veículo

τ_{perdas} = Trabalho das perdas que o veículo sofre no percurso

E_{PGB} = Energia absorvida pelo sistema PGB

Como o veículo possui uma energia potencial gravitacional no início, a velocidade final seria maior do que a inicial devido a força peso do veículo. Porém, o sistema PGB tem por objetivo fazer com que o veículo desça o percurso com velocidade constante. Com isso, as velocidades inicial e final serão iguais e, conseqüentemente, as energias cinéticas são canceladas. Dito isto, duas forças ainda devem ser aplicadas no balanço: a força de perdas e a força de desaceleração causada pelo sistema PGB. Dessa forma, chega-se a:

$$E_{grav.} = \tau_{perdas} + E_{PGB} \quad (3)$$

6.3 CÁLCULO DE PERDAS DO VEÍCULO

Os cálculos das perdas foram baseados na literatura “Motores de Combustão Interna”, do professor Franco Brunneti. São três as principais forças responsáveis pela desaceleração de um veículo: (i) força de arraste, (ii) força de resistência ao rolamento e (iii) força de rampa.

A (i) força de arraste, se dá pela fórmula a seguir:

$$F_{AR} = C \times A \times \rho \times v^2 / 2 \quad (4)$$

Onde:

F_{AR} = Força de arraste sobre o veículo

C = Coeficiente de arrasto

A = Área frontal do veículo, isto é, vista do veículo num plano perpendicular à velocidade

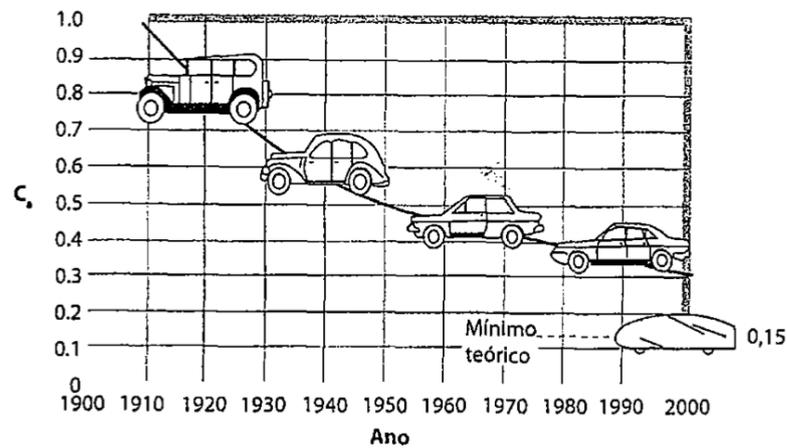
ρ = Densidade do ar (massa específica)

v = Velocidade do veículo.

Neste estudo a área frontal considerada para os veículos convencionais é $A = 2,5 \text{ m}^2$, a velocidade do veículo é constante igual a $v = 80 \text{ km/h} = 22,22 \text{ m/s}$ e a densidade do ar é $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$.

O coeficiente de arrasto é uma constante tabelada e tem valor igual a $C = 0,3$, conforme a Figura abaixo:

Figura 12: Evolução da Aerodinâmica dos Veículos



Fonte: Livro do Brunnetti, 2013

Substituindo, temos:

$$F_{AR} = 0,3 \times 2,5 \times 1,2 \times \frac{22,22^2}{2} = 222,22 \text{ N}$$

A (ii) força de resistência ao rolamento possui diversas variáveis, como o piso, velocidade do veículo, estado do pneu e pressão de enchimento do mesmo (BRUNETTI, 2013). Dado a impossibilidade de um cálculo exato devido ao número de variáveis distintas, adota-se um coeficiente de resistência ao rolamento (f). Temos, portanto, a seguinte fórmula para calcular a força de perda:

$$F_{AT} = N \times f \quad (5)$$

Onde:

F_{AT} = Força de atrito ao rolamento

N = Normal do veículo

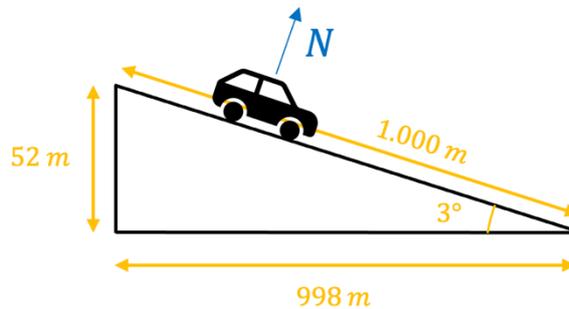
f = Coeficiente de resistência ao rolamento

α = Inclinação da estrada

Em geral, os veículos de passeio possuem diferenças mínimas desta força e, por isso, serão consideradas como iguais em ambos os eixos do veículo.

A inclinação média do trecho analisado não satisfaz o projeto, tendo em vista que mesmo sem a placa o veículo precisaria de fornecimento de energia para manter a velocidade constante. Para este cálculo, adota-se as inclinações mais críticas na Rodovia dos Imigrantes, que possuem trechos de até 10 km e uma inclinação de 3° . Com isso, tem-se o esquema representado na Figura abaixo:

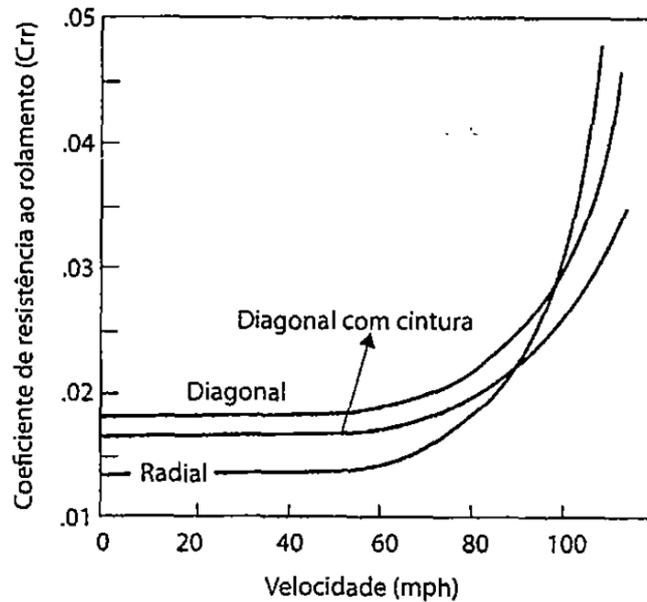
Figura 13: Esquematização da Descida na Rodovia dos Imigrantes – Sem Escala



Fonte: Autores, 2021

A normal do veículo se dá pela força peso (massa vezes gravidade) vezes o seno de alfa. O seno de alfa se dá pela divisão do cateto oposto pela hipotenusa. Por último, o coeficiente de resistência ao rolamento é um valor constante obtido através da Figura 14, mostrada abaixo. Com ela, chegamos a um valor de $f = 0,015$, já que a velocidade é constante em 80 km (50 mph).

Figura 14: Variação Entre o Coeficiente de Resistência ao Rolamento e a Velocidade



Fonte: Livro do Brunnetti, 2013

Substituindo os valores na equação (5), temos:

$$F_{AT} = 1.500 \times 9,8 \times \frac{998}{1.000} \times 0,015 = 220,06 \text{ N}$$

A última força de perda, (iii) força de rampa, é nula no projeto, já que o veículo está descendo a via.

Retomando a equação (3), temos:

$$E_{grav.} = \tau_{perdas} + E_{PGB} \rightarrow m \times g \times h = \{ \sum F_{perdas} \times d \} + E_{PGB} \quad (6)$$

Onde:

m = Massa do veículo

g = Gravidade

h = Altitude da via

d = Distância da via

Substituindo:

$$1.500 \times 9,8 \times 52 = \{(222,22 + 220,06) \times 1.000\} + E_{PGB}$$

$$764.400 = 442.279 + E_{PGB}$$

$$\therefore E_{PGB} = 322.121 = 322,12 \text{ kJ/veículo}$$

6.4 MÉDIA DIÁRIA DE VEÍCULOS

Para obter o fluxo médio de veículos, foi necessário levantar informações com a concessionária da rodovia. A Figura abaixo traz os dados referentes ao volume diário computado em dois pedágios da via. Conforme figura abaixo.

Figura 15: Volume Diário Médio de Tráfego na Rodovia dos Imigrantes



Secretaria de Logística e Transportes
Departamento de Estradas de Rodagem

ESTATÍSTICA DE TRÁFEGO
VOLUME DIÁRIO MÉDIO DE TRÁFEGO (VDM)

Posto	Concessionária	Rodovia	Posto de coleta			VDM 2015			VDM 2016			VDM 2017			VDM 2018			
			Denominação	Km	Praça de Pedágio	Sentido	Passageiro	Comercial	Total	Passageiro	Comercial	Total	Passageiro	Comercial	Total	Passageiro	Comercial	Total
762	Ecovias	SP 160	Rodovia dos Imigrantes	32,381	Piratininga (sensor km 38,04)	Norte	35.526	5.723	41.249	24.836	3.483	28.319	24.068	4.789	28.857	35.516	4.590	40.106
762	Ecovias	SP 160	Rodovia dos Imigrantes	32,381	Piratininga (pedágio)	Sul	29.544	4.404	33.948	11.758	3.524	15.282	24.469	3.954	28.423	31.418	3.477	34.895

Nota: Fonte ARTESP

Fonte: Site da ARTESP, 2021

Calculando a média, chega-se a um valor de aproximadamente 31.000 veículos trafegando na via. Como o cálculo do projeto PGB só é aplicável para os veículos que descem a via, deve-se dividir o valor por 2, obtendo um valor igual a 15.500 veículos por dia.

6.5 ALTERNATIVA DE ILUMINAÇÃO DA VIA

Para destinar o uso da energia e concretizar a capacidade de geração, considera-se o abastecimento dos postes da via. A potência média de um poste é de 300 W, sendo que este deve permanecer ligado por 12h em um dia. Com isso, chega-se a um consumo médio de 3,6 kWh/dia. Com o fluxo médio de veículos de 15.500 veículos por dia, têm-se os seguintes valores:

$$E_{PGB} = 322,12 \frac{kJ}{veículo} \times 15.500 \frac{veículos}{dia} = 4.992,88 \frac{MJ}{dia} = 1.386,9 kWh/dia$$

Assumindo os dados mencionados, a capacidade de geração do sistema PGB abastece aproximadamente 385 postes por quilômetro em trechos críticos, ou seja, nos pontos em que a inclinação da via seja igual ou maior a 3 °.

7 DINÂMICA DO SISTEMA

Para conseguir entender os fenômenos de geração e buscar uma eficiência razoável do sistema, é imprescindível um estudo mais aprofundado das interações dinâmicas nele.

7.1 ESTUDOS E CONSIDERAÇÕES

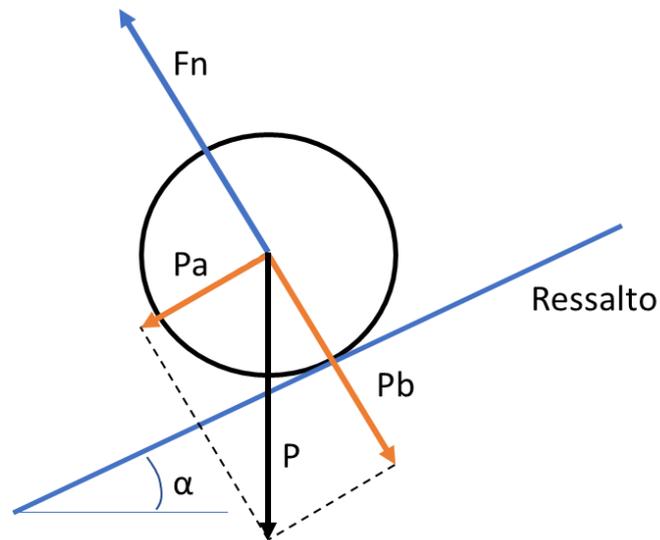
A dinâmica do sistema de movimentação da placa é extremamente complexa, portanto, para efetuar cálculos com razoável nível de proximidade da realidade algumas observações devem ser destacadas:

- O estudo dinâmico considera a princípio a força peso aplicada em apenas um eixo do veículo. Embora saiba-se que a maioria dos carros vêm equipados com motores à frente dos veículos (concentração de massa à frente do veículo), adotou-se peso em cada eixo como sendo a metade do peso total do veículo.
- Considera-se o contato entre o ressalto e o pneu como um contato entre corpos rígidos, ou seja, sem deformações em ambos os corpos.
- Admite-se que as duas (ou mais) rodas de cada eixo tocam ao mesmo tempo no ressalto.

7.1.1 Forças Sobre a Roda do Veículo

O ressalto, é um pequeno trecho da pista com uma inclinação α de aproximadamente $1,659^\circ$, nesse trecho o contato com as rodas resulta em forças que podem ser decompostas e analisadas como segue no diagrama abaixo:

Figura 16: Diagrama de Forças na Roda do Veículo



Fonte: Autores, 2021

Onde:

P = Força peso aplicada sobre o eixo do veículo

F_n = Força normal que o solo aplica nas rodas

P_a = Resultante entre a força normal e o peso na roda

P_b = Componente da força peso normal ao solo

α = Ângulo de inclinação do ressalto em relação ao solo

O veículo com uma certa massa, está sujeito a aceleração da gravidade e consequentemente a força peso (P) dela resultante, esta força aplicada sobre uma superfície inclinada produz uma componente (P_b) que resulta em uma reação (F_n), perpendicular à superfície, na roda do veículo. A roda, portanto, sofre neste instante a ação de duas forças, a força Peso (P) e Normal (F_n). A resultante dessas forças se dá por uma força, no caso estudado, contrária ao movimento (P_a).

7.1.2 Forças do Veículo Sobre o Ressalto

Foi descrito no tópico anterior as forças sofridas pela roda do veículo, embora estejam relacionadas com as forças sobre o solo, neste estudo o ressalto, o estudo será tratado de forma separada evitando uma má interpretação das forças que agem sobre os corpos:

Da segunda lei de Newton temos:

$$Pa = m_v \cdot a_a \quad (7)$$

$$Pa = m_v \cdot g \cdot \text{sen}(\alpha) \rightarrow a_a = g \cdot \text{sen}(\alpha) \quad (8)$$

Onde:

m_v = massa do veículo

g = aceleração da gravidade

a_a = aceleração contrária ao movimento do veículo devido a inclinação do ressalto

Neste estudo a massa média considerada para os veículos convencionais é $m_v = 1500 \text{ kg}$.

O ressalto, por sua vez possui uma massa média de aproximadamente $m_r = 29 \text{ kg}$ e o conjunto de ímãs implementado possuirá uma massa aproximada de $m_i = 13,187 \text{ kg}$

A massa total do conjunto se dá por:

$$m_c = m_r + m_i = 42,187 \text{ kg} \quad (9)$$

A massa utilizada no cálculo acima se refere a massa total no veículo somada a massa do ressalto, para os cálculos de força aplicada nas rodas e no ressalto, é considerado apenas metade da massa do veículo, como já comentado nas primeiras considerações:

Sendo que, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ e $\alpha = 1,659^\circ$, aplicando os valores nas fórmulas (7) e (8) respectivamente, tem-se:

$$a_a = 9,81 \times \text{sen}(1,659^\circ) = 0,284 \text{ m/s}^2$$

$$Pa = \frac{1500}{2} \times 0,284 = 212,98 \text{ N}$$

A força Pb , como dito, é uma componente da força peso na roda. Para melhor visualização das forças, a força aplicada no ressalto será chamada de Fb , e possui mesmo módulo direção e sentido da força Pb :

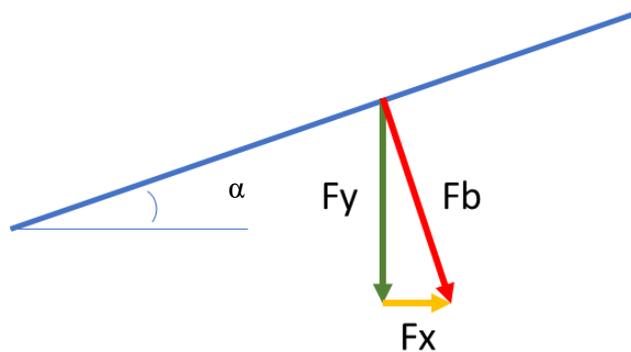
$$Pb = P \cdot \cos \cos (\alpha) = Fb \quad (10)$$

Aplicando valores:

$$Fb = 7357,500 \times \cos \cos (1,659) = 7354,417 \text{ N}$$

A força Fb sobre o ressalto, pode ser decomposta ainda em outras duas forças. Conforme figura abaixo.

Figura 17: Diagrama de Forças Sobre o Ressalto



Fonte: Autores, 2021

$$Fy = Fb \cdot \cos \cos (\alpha) \text{ ou } Fy = P \cdot \cos (\alpha)^2 \quad (11)$$

$$Fx = Fb \cdot (\alpha) \text{ ou } Fx = P \cdot \text{sen} (\alpha)^2 \quad (12)$$

Temos então:

$$Fy = 7347,302 \times \cos \cos (1,659) = 7351,335 \text{ N}$$

$$Fx = 7347,302 \times (1,659) = 212,891 \text{ N}$$

Onde:

- Fb = força sobre o ressalto exercida pelo veículo.
- Fy = componente responsável, somada força peso do próprio conjunto do ressalto, pela movimentação do ressalto na direção vertical sentido para baixo, portanto, responsável pela geração de tensão.
- Fx = componente indesejado responsável por empurrar o ressalto contra as paredes da placa, causando um atrito entre eles.

7.1.3 Aceleração do Veículo em Solo Inclinado

A placa geradora de energia será implementada em vias com razoável inclinação a favor do movimento dos veículos. A via escolhida para exemplificar a aplicação do projeto foi a Rodovia Imigrantes, que possui longos trechos de descida contínua com inclinação média de aproximadamente $\beta = 3^\circ$, no trecho exemplificado.

São muitas as forças exercidas sobre um veículo durante um trajeto, simplificando algumas das forças atuantes e dividindo-as pela massa do veículo, tem-se os valores de aceleração em que o veículo está sujeito.

Sendo a_i e a_p a aceleração devido a inclinação da via e a desaceleração devido às resistências ao movimento, respectivamente, temos:

$$a_t = a_i - a_p = g \cdot \text{sen}(\beta) - a_p \quad (13)$$

Substituindo os valores:

$$a_i = 9,8 \times \text{sen}(3) = 0,513 \text{ m/s}^2$$

$$a_t = 0,513 - 0,305 = 0,209 \text{ m/s}^2$$

Onde:

a_t = Aceleração resultante do veículo na via em condições normais, ou seja, sem a implementação da placa.

$\beta = \hat{\text{Ángulo}} \text{ médio de inclinação da via.}$

O valor de a_p foi calculado dividindo a somatória das forças resistivas ao movimento pela massa do veículo.

Os valores admitidos acima são estimativas verdadeiras desconsiderando ainda neste momento o uso da placa PGB, ou seja, a pista em condições normais.

Note que:

Se $a_a = a_t$ há neste instante velocidade constante no veículo.

Se $a_a > a_t$ há neste instante diminuição da velocidade do veículo.

Se $a_a < a_t$ há neste instante aceleração do veículo.

Lembrando a_a é a desaceleração proporcionada pela passagem sobre o ressalto da placa, observe que nos cálculos acima descritos obtivemos que $a_a > a_t$, então assim fica provado que a placa PGB auxiliará na desaceleração do veículo, ou seja, fará o papel do próprio freio do veículo.

A desaceleração resultante (a) sobre o veículo pode ser calculada pela diferença entre a_a e a_t :

$$a = a_a - a_t = 0,308 \text{ m/s}^2 \quad (14)$$

7.1.4 Mola de Compressão

A mola de compressão tem importante função no projeto. A suspensão e, conseqüentemente, a força de contato entre o ressalto e a placa serão fornecidos por ela, além do retorno do ressalto à posição original após sofrido o deslocamento. Portanto, é imprescindível um correto dimensionamento.

A constante elástica da mola (K) deve ter um valor onde, junto com o amortecimento do sistema eletromagnético, entre outras forças do sistema, permita uma descida completa e suave do ressalto aproveitando assim, a máxima capacidade que o sistema eletromagnético pode fornecer sem gerar desconfortos ao motorista.

A força de reação da mola varia de acordo com o deslocamento sobre ela. A força utilizada em nossos cálculos será apenas a mínima (pré-carga) e a máxima (F_m) que a mola

exercerá, no maior deslocamento (X_{max}) do conjunto. Essa força máxima deve ser menor em módulo que a resultante das forças aplicadas sobre o ressalto.

7.1.5 Pré-carga

A mola será o único componente responsável pela sustentação do ressalto e que garante o contato entre o ressalto e a placa, portanto é importante impor uma pré- carga (Fi), mantendo assim, uma força constante da mola sobre o ressalto, que será admitida como sendo, em módulo, igual a força peso do conjunto do ressalto $g \cdot m_c$:

$$Fi = g \cdot m_c = 9,8 \times 42,187 = 413,853 \text{ N} \quad (15)$$

7.1.6 Força Máxima da Mola

O ressalto tem uma altura de deslocamento total (h) de um centímetro, considera-se que este será também o valor de deslocamento máximo da mola, então: $X_{max} = 0,0055 \text{ m}$.

A força máxima da mola será dada por:

$$Fm = Fco + Fi = K \cdot X_{max} + Fi \rightarrow Fm = 0,0055 K + 413,853 \quad (16)$$

Sendo Fco a força da compressão da mola descontado da pré carga.

7.1.7 Forças Aplicadas Sobre o Ressonamento

Existem pelo menos cinco forças principais aplicadas sobre o ressalto.

O conjunto ressalto e imãs possui uma massa cujo, imerso sobre a aceleração da gravidade, sofre uma força vertical para baixo (Força peso) que denominaremos de Fr . A força Fy já foi discutida no item 1.1.2. e junto à força Fr será a responsável pela movimentação do ressalto para baixo na passagem do veículo:

$$Fr = 9,8 \times 42,187 = 413,853 \text{ N}$$

Anteriormente também foi calculada e discutida a força Fx . Esta é uma componente horizontal que impõem uma força de atrito (Fat) entre regiões da placa e do ressalto. O material

do ressalto é o alumínio enquanto a placa é de aço, portanto o coeficiente de atrito se dá aproximadamente por $\mu = 0,61$, então tem-se:

$$F_{at} = \mu \cdot F_x = 0,61 \times 212,891 = 129,864 \text{ N} \quad (17)$$

O sistema eletromagnético, responsável pela conversão de energia mecânica em elétrica, induz uma força resistiva (F_c) ao movimento que varia de acordo com a corrente passando pelo condutor.

Os detalhes do sistema eletromagnético serão discutidos posteriormente, mas ainda sim, é preciso se atentar a alguns dados para que se consiga calcular a força resistiva citada:

$$F_c = B \cdot I \cdot l \cdot N \cdot S \rightarrow F_c = 0,54 \times 0,305 \times 0,09 \times 43,2 \times 224 = 143,5 \text{ N} \quad (18)$$

Onde:

B = densidade de campo magnético

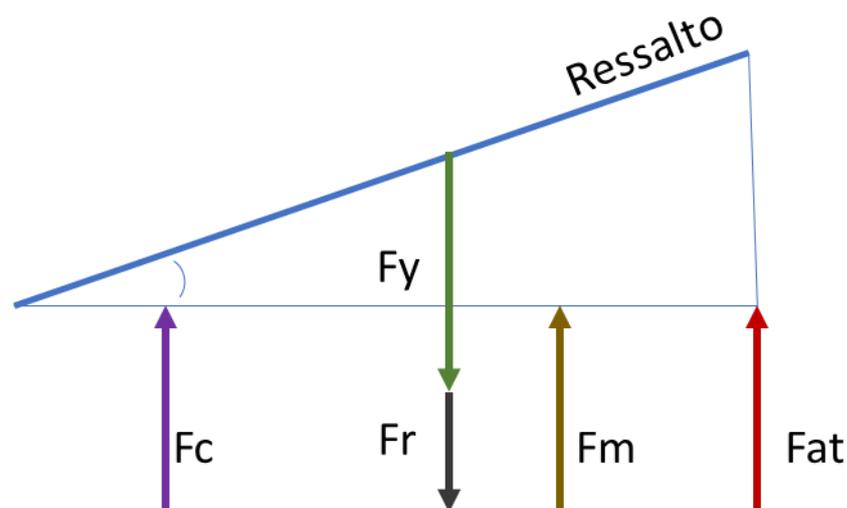
I = corrente elétrica que percorre o condutor

L = comprimento útil do condutor

N = número de espiras

S = número de conjuntos magnéticos

Figura 18: Diagrama de Análise das Forças Verticais Sobre o Ressalto



Para que exista movimentação do ressalto para baixo é necessário que a resultante de todas as forças verticais citadas tenha um sentido para baixo:

$$F_y + F_r > F_c + F_m + F_{at}$$

Das forças citadas, a única com o valor ainda indefinido é justamente a força da mola, cujo valor está diretamente relacionado seu coeficiente de elasticidade:

$$F_m < F_y + F_r - F_c - F_{at} \rightarrow F_{co} + F_i < F_y + F_r - F_c - F_{at}$$

$$K < \frac{F_y + F_r - F_c - F_{at} - F_i}{x_{max}} \quad (19)$$

7.1.8 Coeficiente de Elasticidade da Mola

No tópico acima foi mostrado o desenvolvimento matemático para chegar numa fórmula aceitável que nos forneça o valor máximo do coeficiente de elasticidade da mola. Porém, apesar de garantir que o sistema terá um deslocamento para baixo, ainda é preciso se atentar ao tempo necessário para deslocar essa massa até o fim de seu curso neste deslocamento.

7.1.8.1 Cinemática do Sistema

A via utilizada como base para os cálculos deste projeto permite uma velocidade limite de 80 km/h, esta será a velocidade (V) admitida para o veículo nos cálculos a seguir:

$$V = 80 \text{ km/h} = 22,22 \text{ m/s}$$

A largura do ressalto (S) que entrará em contato com as rodas do veículo será de 19 cm ou 0,19 m.

Portanto o tempo (t) em que o veículo permanecerá sobre a placa será:

$$t = S / V = 0,019 / 22,22 = 0,000855 \text{ s} = 8,55 \text{ ms} \quad (20)$$

Com a altura do deslocamento sendo de $h = 0,0055 \text{ m}$, pode-se calcular a velocidade média mínima (V_m), a aceleração (a_r) e a velocidade máxima (V_{max}) atingida na descida, necessárias para que se chegue a tempo até o fim do curso:

$$V_m = \frac{h}{t} = \frac{0,0055}{0,00855} = 0,643 \text{ m/s} \quad (21)$$

$$a_r = \frac{2 \cdot s}{t^2} = \frac{2 \times 0,0055}{0,00855^2} = 150,47 \text{ m/s}^2 \quad (22)$$

$$V_{max} = a_r \cdot t = 150,47 \times 0,00855 = 1,287 \text{ m/s} \quad (23)$$

Para atingir-se a aceleração a_r calculada, considerando a massa do conjunto do ressalto que será movimentada, precisa-se de uma força mínima (F_{ne}) para baixo como resultante:

$$F_{ne} = a_r \cdot m_c = 150,47 \times 42,187 = 6348 \text{ N} \quad (24)$$

Nota-se então que a resultante de todas as forças aplicadas no sistema, precisa ser maior em módulo que a força F_{ne} calculada. Por conta dessa exigência, o material e a geometria do ressalto foram dimensionados a fim de se obter a menor massa possível, assim como o coeficiente de elasticidade da mola foi assumido a fim de facilitar o deslocamento do ressalto e ainda assim manter a estabilidade do sistema.

Para o cálculo do coeficiente de elasticidade da mola parte-se do valor estipulado pela equação (19):

$$K < \frac{F_y + F_r - F_c - F_{at}}{X_{max}} \rightarrow K_{max} = 1286887,93 \text{ N/m} = 1286,9 \text{ kN/m}$$

Com isso:

$$F_{m \text{ max}} = 0,0055 \times 1286887,93 + 413,853 = 7491,74 \text{ N}$$

O valor acima encontrado, como já discutido, impõe uma força resultante vertical nula no ressalto (F_t) quando há máximo deslocamento, porém viu-se na equação (11), que para um

deslocamento total do ressalto no tempo de passagem do veículo, precisa-se de uma força resultante para baixo de 6348 N.

$$F_t = F_y + F_r - F_c - F_{m \max} - F_{at} \quad (25)$$

$$F_t = 7351,335 + 413,853 - 143,588 - 7491,74 - 129,864 = 0$$

7.1.8.2 Valor da Constante da Mola

Dos esforços expostos na equação (12), a força da mola é a mais relevante e possível de ser alterada no projeto, apenas ajustando o coeficiente K . Foi imposto então, um fator de multiplicação de 0,1 em relação ao K_{max} encontrado, a fim de facilitar a descida do ressalto, sem grandes prejuízos em seu retorno.

$$K = K_{max} \times 0,1 = 128688,8 \text{ N/m} \quad (26)$$

Então:

$$F_m = 0,0055 \times 128688,8 + 413,853 = 1121,64 \text{ N}$$

O sistema será composto por 10 molas iguais dispostas em paralelo distribuídas em 5 colunas com duas molas cada. Dito isso, tem-se que cada mola terá um coeficiente ($K1$) de:

$$K1 = \frac{K}{10} = \frac{128688,8}{10} = 12,8 \text{ KN/m} \quad (27)$$

A força total resultante com esse ajuste no coeficiente se dará por:

$$F_t = 7351,335 + 413,853 - 143,588 - 7491,736 - 129,864 = 6379,095 \text{ N}$$

7.1.9 Dimensionamento da Mola

O dimensionamento da mola se dá seguindo uma série de fatores e recomendações referenciadas no livro: *Projeto de máquinas - 4ª edição – Robert L. Norton*.

7.1.9.1 Material da Mola

O material utilizado na mola de compressão precisa seguir algumas exigências: Alta resistência à tração; baixo módulo de elasticidade; Alto limite de resistência ao escoamento; alta resistência a fadiga e uma boa resistência à corrosão.

Visando atender as exigências citadas sem elevar demasiadamente o preço, o material escolhido para a mola será da norma ASTM - A - A229 Revenido em óleo, protegida com uma pintura especial prevenindo oxidações e possíveis corrosões do material. Conforme tabela abaixo.

Tabela 8: Tabela de Propriedades dos Materiais

N° ASTM	Material	Custo relativo de fio de 2 mm de diâmetro (0,08 in)	
		Usina	Armazém
A227	Fio repuxado a frio	1,0	1,0
A229	Fio revenido em óleo	1,3	1,3
A228	Fio musical	2,6	1,4
A230	Fio revenido em óleo	3,1	1,9
A401	Cromo silício	4,0	3,9
A313 (302)	Aço inoxidável 302	7,6	4,7
B159	Fósforo bronze	8,0	6,7
A313 (631)	Aço inoxidável 17-7ph	11,0	8,7
B197	Berílio cobre	27,0	17,0
-	Inconel X-750	44,0	31,0

Fonte: Material de aula, Elemento de Máquinas 2 - Prof. William M. Maluf Filho, 2021

Os dados utilizados para este material foram retirados da apostila de acompanhamento das disciplinas de elementos de máquinas do professor Alberto Vieira Junior e professor Renato M. de Barros:

Tensão de resistência a fadiga: $S_n = 330,00 \text{ MPa}$

Módulo de elasticidade transversal $G = 74,80 \text{ GPa}$

7.1.9.2 Dimensões

Os cálculos das dimensões da mola foram realizados pelo método de tentativa e erro com fórmulas em planilhas até que se chegasse em valores coerentes às necessidades do projeto, que atendessem a todos os critérios de verificação. As fórmulas e cálculos que serão exibidos já consideram os valores finais das dimensões empregadas.

Dito isso, primeiramente será exibido os valores e cálculos referentes às dimensões relevantes ao sistema. Posteriormente será mostrado as verificações que confirmam a possibilidade de uso das dimensões.

Devido a limitações de espaço do sistema para encaixe da mola tem-se o valor estipulado para o diâmetro médio das espiras fixo $D = 15 \text{ mm}$.

O índice da mola (C), relação entre o diâmetro médio das espiras e o diâmetro do arame, tem como recomendação, um valor no intervalo de 4 a 12.

Escolheu-se um valor intermediário ao intervalo citado de “ C ” que resultasse em um diâmetro de arame normalizado pela DIN 3 e ainda sim, respeitasse a faixa recomendada para o material escolhido vista na tabela abaixo.

Tabela 9: Faixas de diâmetros recomendadas para cada material

US (in)	SI (mm)
0,004	0,10
0,005	0,12
0,006	0,16
0,008	0,20
0,010	0,25
0,012	0,30
0,014	0,35
0,016	0,40
0,018	0,45
0,020	0,50
0,022	0,55
0,024	0,60
0,026	0,65
0,028	0,70
0,030	0,80
0,035	0,90
0,038	1,00
0,042	1,10
0,045	1,20
0,048	1,20
0,051	1,40
0,055	1,40
0,059	1,60
0,063	1,60
0,067	1,80
0,072	1,80
0,076	2,00
0,081	2,00
0,085	2,20
0,092	2,20
0,098	2,50
0,105	2,50
0,112	2,80
0,115	3,00
0,125	3,00
0,135	3,50
0,148	3,50
0,162	4,00
0,177	4,50
0,192	5,00
0,207	5,00
0,225	6,00
0,250	6,50
0,281	7,00
0,312	8,00
0,343	8,00
0,362	9,00
0,375	9,00
0,406	10,0
0,437	11,0
0,469	12,0
0,500	13,0
0,531	14,0
0,562	15,0
0,625	16,0

Fonte: Material de aula, Elemento de Máquinas 2 - Prof. William M. Maluf Filho, 2021

Portanto, para $C = 7,5$ tem-se:

$$d = \frac{D}{C} = \frac{15}{7,5} = 2 \text{ mm} \quad (28)$$

Assim, é possível calcular o diâmetro interno (D_i) e externo (D_e) da mola, assim como a folga diametral média do acoplamento recomendada (f), o diâmetro máximo (D_{pino}) do pino guia e o diâmetro mínimo do furo guia (D_{furo}):

$$D_i = D - d = 13 \text{ mm} \quad (29)$$

$$D_e = D + d = 15 \text{ mm} \quad (30)$$

$$f = 0,05 \times D = 0,05 \times 15 = 0,75 \text{ mm} \quad (31)$$

$$D_{\text{pino}} = D_i - f = 12,25 \text{ mm} \quad (32)$$

$$D_{\text{furo}} = D_e + f = 17,75 \text{ mm} \quad (33)$$

A geometria do sistema, permite a mola um deslocamento máximo, que foi nomeado anteriormente de X_{max} . Para esse estudo o valor de X_{max} será igual a deflexão útil (δ_u) da mola:

$$X_{\text{max}} = \delta_u = 5,5 \text{ mm}$$

A altura de interferência (h_{interf}) se dá em torno de 10% a 15% da deflexão útil da mola, utilizando um valor mais conservador tem-se:

$$h_{\text{interf}} = 0,15 \cdot \delta_u = 0,15 \times 5,5 = 0,825 \text{ mm} \quad (34)$$

Também já foram definidos os valores de pré-carga da mola (F_i) e constante elástica (K), obtém-se então o valor de deflexão inicial da mola:

$$\delta_i = \frac{F_i}{K} = \frac{413,853}{128,68} = 3,216 \text{ mm} \quad (35)$$

A deflexão total, portanto, se dá por:

$$\delta = \delta_u + \delta_i = 5,5 + 3,216 = 8,72 \text{ mm} \quad (36)$$

Com K_1 sendo a constante da mola em cada espira, o número de espiras ativas na mola será extraído da seguinte fórmula:

$$K1 = \frac{G.d}{8.N_a.C^3} \rightarrow N_a = \frac{74800 \times 2}{8 \times 12,868 \times 7,5^3} = 3,44 \text{ espiras} \quad (37)$$

As extremidades das molas utilizadas neste projeto serão esquadrejadas e esmerilhadas, a fim de distribuir as forças de formas mais uniformes pela mola, além de evitar possíveis problemas com flambagem, assume-se então as constantes: $\alpha = 2$; $\beta = 2$.

Pode-se então calcular o número total de espiras (N):

$$N = N_a + \beta = 3,44 + 2 = 5,44 \text{ espiras} \quad (38)$$

A mola é capaz de se deformar linearmente até o estágio onde suas espirais se tocam e a mola atinge sua altura sólida (h_{sol}). A deformação total usada para atingir esse estágio é chamada de deflexão sólida (δ_{sol}).

$$h_{sol} = N_a \cdot d + \alpha \cdot d = 3,44 \times 2 + 2 \times 2 = 10,89 \text{ mm} \quad (39)$$

$$\delta_{sol} = \delta + h_{interf} = 9,54 \text{ mm} \quad (40)$$

A altura de fabricação da mola, ou seja sem carga, pode ser calculada pela soma entre o máximo deslocamento possível e a altura sólida da mola:

$$H = h_{sol} + \delta_{sol} = 10,89 + 9,54 = 20,43 \text{ mm} \quad (41)$$

O passo da mola se dá por:

$$P = \frac{H - \alpha \cdot d}{N_a} = \frac{20,43 - 2 \times 2}{3,44} = 4,77 \text{ mm} \quad (42)$$

O ângulo de hélice (λ):

$$\lambda = \left(\frac{P}{\pi \cdot D} \right) = \left(\frac{4,77}{\pi \times 15} \right) = 5,78^\circ \quad (43)$$

7.1.9.3 Verificação: Critério Estático

Para calcular a tensão combinada (τ) aplicada na mola, é necessário antes calcular o fator de concentrações de tensão estático (Ks), assim como a força máxima aplicada em cada mola ($F1$):

$$Ks = 1 + 0,5 \cdot C = 1 + 0,5 \times 7,5 = 1,07 \quad (44)$$

$$F1 = \frac{Fm}{(\text{número de molas})} = 112,16 \text{ N} \quad (45)$$

$$\tau = \frac{8 \cdot F1 \cdot C \cdot Ks}{\pi \cdot d^2} = \frac{8 \times 112,16 \times 7,5 \times 1,07}{\pi \times 2^2} = 571,25 \text{ MPa} \quad (46)$$

A tensão limite de escoamento (τ_e), de acordo com recomendações da apostila do Prof. Alberto Vieira Jr e o Prof. Renato M. de Barros, é extraída da fórmula a seguir, específica para o diâmetro do arame e material utilizado:

$$\tau_e = 1226,9 \cdot d^{-0,1833} = 1226,9 \times 2^{-0,1833} = 1080,51 \text{ MPa} \quad (47)$$

O coeficiente de segurança (n_{mec}) é igual a:

$$n_{mec} = \frac{\tau_e}{\tau} = \frac{1080,51}{571,25} = 1,89 \quad (48)$$

Tem-se então a verificação do coeficiente de segurança com valor adequado para solicitações médias (acima de 1,75), portanto adequado ao sistema.

Caso em alguma circunstância imprevista a mola tenha seu deslocamento máximo e atinja a altura sólida, pode-se calcular a força (F_{sol}) aplicada para atingir este estado:

$$F_{sol} = \delta_{sol} \cdot K1 = 9,54 \times 12,87 = 122,78 \text{ N} \quad (49)$$

Para essa força tem-se:

$$\tau_{sol} = \frac{8 \cdot F_{sol} \cdot C \cdot Ks}{\pi \cdot d^2} = \frac{8 \times 122,78 \times 7,5 \times 1,07}{\pi \times 2^2} = 627,27 \text{ MPa} \quad (50)$$

$$n_{mecsol} = \frac{\tau_e}{\tau} = \frac{1080,51}{627,27} = 1,73 \quad (51)$$

O coeficiente de segurança mecânico para a altura sólida é considerado adequado acima 1,2, de acordo com livro de *Elementos de Máquinas - Shigley*.

Portanto o dimensionamento da mola está dentro das recomendações verificadas pelo critério estático.

7.1.9.4 Verificação Pelo Critério de Flambagem

A verificação pelo critério de flambagem pode ser obtida a partir de um diagrama obtido experimentalmente.

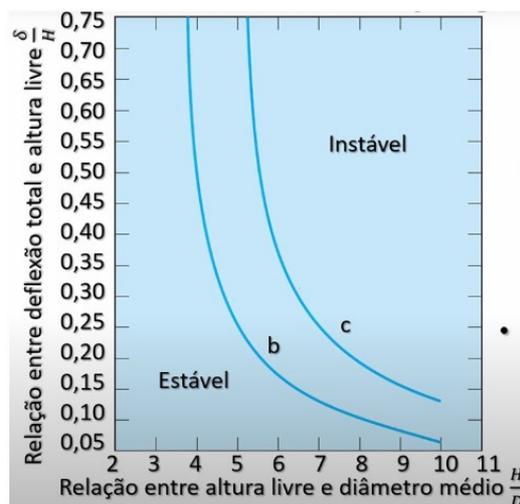
Os valores do diagrama são estipulados a partir da relação entre a deflexão da mola e sua altura e a relação entre a altura da mola e o diâmetro médio das espiras:

$$\delta/H = 8,72/20,43 = 0,43 \quad (52)$$

$$H/D = 20,43/15 = 1,33 \quad (53)$$

Entrando com os valores calculados acima tem-se:

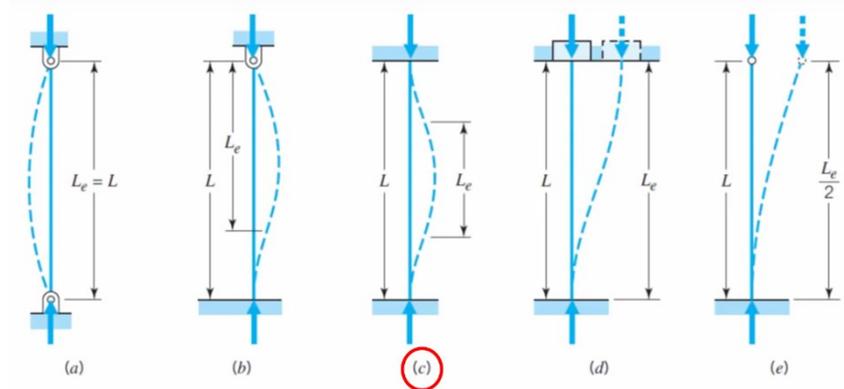
Figura 19: Diagrama de verificação de estabilidade à flambagem



Fonte: Material de aula, Elemento de Máquinas 2 - Prof. William M. Maluf Filho, 2021

Como as extremidades da mola são esquadrejadas e esmerilhadas, pode-se considerar o contato com as superfícies com engastado, portanto, de acordo com a imagem abaixo, a solicitação atende ao desenho indicado pela letra “c”.

Figura 20: Tipos de solicitação por flambagem



Fonte: Material de aula, Elemento de Máquinas 2 - Prof. William M. Maluf Filho, 2021

O ponto encontrado no diagrama, se encontra em estado de estabilidade de acordo com o modelo de solicitação imposta a mola (c).

7.1.9.5 Verificação Pelo Critério Dinâmico (Fadiga)

O valor da força aplicada sobre a mola deste projeto, sofrerá com variações, estas podem causar falhas por fadiga na mola, se não for bem dimensionada.

A mola no contexto real de aplicação sofre uma força máxima (F_{max}) que já foi discutida e chamada de F_1 . A força mínima aplicada em cada mola (F_{min}) será resultante da distribuição da pré-carga (F_i) em todas dez as molas:

$$F_{max} = F_1 = 112,16 \text{ N}$$

$$F_{min} = \frac{F_i}{(\text{número de molas})} = \frac{413,853}{10} = 41,39 \text{ N} \quad (54)$$

A força média (F_{me}) aplicada e a força alternada (F_a), são calculadas como segue:

$$F_{me} = \frac{(F_{max} + F_{min})}{2} = \frac{(112,16 + 41,39)}{2} = 76,77 \text{ N} \quad (55)$$

$$Fa = \frac{(Fmax - Fmin)}{2} = \frac{(112,16 - 41,39)}{2} = 35,39 N \quad (56)$$

No caso de esforços alternados é necessário que se calcule o fator dinâmico de Wahl (Kw) como se segue:

$$Kw = \frac{4.C-1}{4.C-4} + \frac{0,615}{C} = \frac{4 \times 7,5-1}{4 \times 7,5-4} + \frac{0,615}{7,5} = 1,2 \quad (57)$$

Com os valores obtido, calcula-se a tensão média (τ_m) e a tensão alternada (τ_a) exercida sobre a mola:

$$\tau_m = \frac{8.Fm.C.Ks}{\pi.d^2} = \frac{8 \times 76,77 \times 7,5 \times 1,07}{\pi \times 2^2} = 391,01 MPa \quad (58)$$

$$\tau_a = \frac{8.Fa.C.Kw}{\pi.d^2} = \frac{8 \times 35,39 \times 7,5 \times 1,20}{\pi \times 2^2} = 202,32 MPa \quad (59)$$

Por ser um critério mais conservador, optou-se por utilizar o critério de Soderberg para efetuar a verificação do coeficiente de segurança à fadiga:

$$\frac{\tau_a}{S_n} + \frac{\tau_m}{\tau_e} = \frac{1}{n_s} \rightarrow \frac{202,32}{330} + \frac{391,01}{1080,51} = \frac{1}{n_s} \rightarrow n_s = 1,03 \quad (60)$$

Para qualquer valor de n_s maior ou igual a 1, considera-se o ciclo de vida do material infinito, ou seja, não se romperá por fadiga.

Feitas todas as verificações, pode-se concluir que a mola está dimensionada adequadamente de acordo com as solicitações que serão impostas.

Para uma breve visualização do resultado da mola projetada, pode-se observar na figura abaixo:

Figura 21: Mola



Fonte: Autores, 2021

8 PLACA

A placa representa o componente base e em seu projeto estuda-se o sistema de movimentação, o material utilizado e suas influências.

Para a escolha do material da placa geradora, leva-se em consideração os veículos mais pesados que irão passar sobre o dispositivo.

O CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito) impõe que o peso máximo de um eixo seja de 27,4 toneladas (peso do veículo + peso da carga), tal limite é necessário para garantir não apenas a segurança dos veículos nas estradas brasileiras, mas também a conservação das mesmas.

Então, considerando essa compressão máxima que a placa irá sofrer, lista-se 3 tipos de aços que atendem a esses esforços:

- Aço Inox, que possui alta resistência mecânica, resistência a corrosão e suporta altas temperaturas.
- Aços estruturais, a maior utilização desses tipos de aço no Brasil é nas estruturas de concreto armado. Como o concreto tem alta resistência à compressão, o aço inserido dentro da estrutura atua como boa resistência à tração. Além de ter boa aderência com o concreto, o aço ainda tem deformações compatíveis com o material.
- Aços para construção mecânica, usados para fabricar peças forjadas, rolamentos, eixos, engrenagens, entre outros.

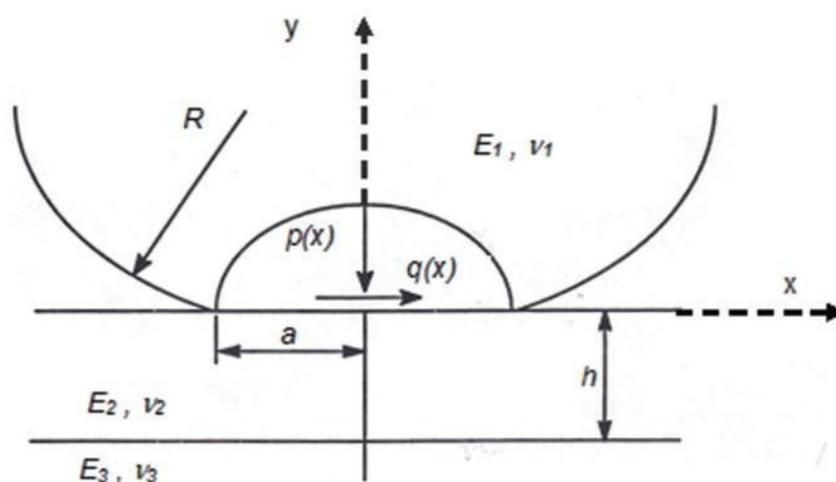
O Aço Inox, apesar de ser um bom material, não se torna viável para o projeto, pois a placa não será exposta à atmosfera corrosivas e nem à altas temperaturas. Entre os outros 2 tipos de aço mais apropriados, a primeira escolha é pelo SAE 1045 na dureza de 180HB. Possui uma boa relação entre resistência mecânica e resistência à fratura, além de possuir elevada resistência à fadiga. Não há a necessidade da adição de um processo de tratamento térmico, pois além deste material possuir uma temperabilidade baixa, os esforços na placa são de baixa exigência, o que faz concluir que o beneficiamento do material é dispensável.

A placa apresenta pinos de sustentação para que a primeira possa ficar estabilizada em sua posição original quando o sistema estiver em repouso. Os pinos são de suma importância, pois estes impõem um limite superior do deslocamento do ressalto.

Durante a escolha do material a ser usado para a estrutura da placa, deve-se escolher um método de determinação dos esforços solicitados. O estudo de contato entre dois corpos elásticos homogêneos feito por Heinrich Hertz serviu como base para esta etapa de cálculos.

Segundo o estudo, a transferência de esforços mecânicos entre dois corpos ocorre por meio do contato entre superfícies. No caso em que pelo menos uma dessas superfícies é curva, os esforços resultantes na região de contato são conhecidos como tensões de contato. Para a configuração do estado de tensão, selecionou-se a origem de um sistema de coordenadas no centro da área de contato, com o eixo “x” perpendicular ao plano formado pelo eixo do cilindro e a linha de contato inicial, o eixo “y” no plano da força de contato e o eixo “z” paralelo ao eixo do cilindro, conforme Figura.

Figura 22: Contato Entre Cilindro e Semiplano Infinito



Fonte: Écio Naves Duarte, 2016

As simplificações propostas por Hertz para o seu modelo foram as seguintes:

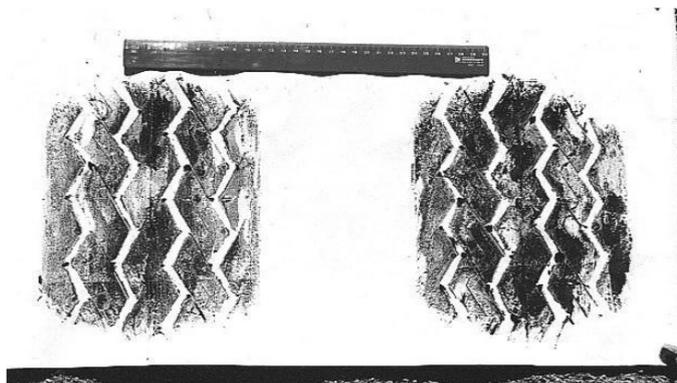
- As superfícies são contínuas e em não conformação;
- As deformações na região de contato são muito pequenas;

- Cada sólido pode ser considerado como um semiespaço elástico, onde a semi-largura de contato é muito menor que o raio de curvatura de cada corpo, bem como de ambas as dimensões laterais e de profundidade dos corpos em contato;
- Ausência de atrito entre as superfícies.

Um estudo sobre área e pressão de contato dos pneus com a superfície de um pavimento, feito por João Fortini Albano, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção–UFRGS, disponível em:

http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/48_anpetxiv.pdf, com a finalidade de testar a influência e avaliar o desempenho de um pavimento devido à variação dos fatores carga por eixo, pressão de inflação dos pneus e tipo de pneus. Conforme figura abaixo.

Figura 23: Impressão da Área de Contato Entre Pneu e a Superfície



Fonte: Écio Naves Duarte, 2016

Durante o estudo foram feitas impressões em folhas de cartolina das marcas dos pneus passando sobre a superfície. Nove repetições foram realizadas com diferentes pressões nos pneus e diferentes cargas, gerando uma tabela com uma amostra da área de contato entre o pneu e a superfície.

Tabela 10: Área de Contato Medida e Pressão de Contato Calculada

Carga kN/eixo	Pressão de Inflação		Área de Contato cm ²	Pressão de contato		
	kPa	Psi		kgf/cm ²	psi	kPa
120	689	100	857,15	6,999	99,749	687,3
100	689	100	814,35	6,139	87,499	602,8
82	689	100	767,75	5,340	76,098	524,3
120	620,1	90	852,45	7,038	100,299	691,1
100	620,1	90	801,70	6,236	88,873	612,3
82	620,1	90	764,75	5,361	76,397	526,4
120	551,2	80	936,05	6,409	91,341	629,3
100	551,2	80	864,85	5,781	82,384	567,6
82	551,2	80	801,50	5,115	72,894	502,2

Fonte: João Fortini Albano - UFRGS, 1998

Os valores dos esforços estimados para a placa foram levantados utilizando a Teoria Linear Elástica de Hertz, um estudo de contato entre corpos elásticos feito por Heinrich Hertz em 1882. As tensões principais são obtidas da seguinte forma:

$$\sigma_x = -\frac{P_0}{a} [(a^2 + 2y^2)(a^2 + y^2)^{-0,5} - 2y] \quad (61)$$

$$\sigma_y = -\frac{P_0}{a} (a^2 + y^2)^{-0,5} \quad (62)$$

$$\sigma_z = V(\sigma_x + \sigma_y) \quad (63)$$

$$\tau = -\frac{P_0}{a} [y - y^2(a^2 + y^2)^{-0,5}] \quad (64)$$

Onde:

$$a = \frac{L}{2} \quad (65)$$

L → Comprimento do retângulo formado no contato do pneu pela superfície.

y → Espessura da placa

Dados do projeto:

- Área de contato do pneu com a superfície: 46802,5mm²

- Peso máximo por eixo = 268520 N

- Peso sobre a placa, dividido pelo número de pneus = $\frac{268520}{2} = 134260$ N

A área do retângulo aproximado formado no contato é dada pela seguinte fórmula:

$$A_c = 0,5227 L^2 \quad (66)$$

Portanto:

$$L = \sqrt{\frac{46802,5}{0,5227}} = 291mm$$

Pressão no contato (P_0):

$$P_0 = \frac{134260}{46802,5} = 5,74MPa$$

Cálculo das tensões:

$$a = 145,5mm ; y = 40mm ; V = 0,27$$

Substituindo em (61):

$$\sigma_x = -\frac{5,74}{145,5} [(145,5^2 + 2 \times 40^2)(145,5^2 + 40^2)^{-0,5} - 2 \times 40]$$

$$\sigma_x = -3,18MPa$$

Substituindo em (62):

$$\sigma_y = -\frac{5,74}{145,5} (145,5^2 + 40^2)^{-0,5}$$

$$\sigma_y = 0$$

Substituindo em (63):

$$\sigma_z = 0,27(-3,18 + 0)$$

$$\sigma_z = -1,16MPa$$

Substituindo em (64):

$$\tau = -\frac{-5,74}{145,5} [40 - 40^2(145,5^2 + 40^2)^{-0,5}]$$
$$\tau = -1,16MPa$$

Comparando as tensões obtidas com as propriedades mecânica do aço SAE 1045 que possui resistência mecânica na faixa de 570 à 700 MPa, nota-se que os esforços serão de baixa exigência e que o comportamento do material atenderá às necessidades. Levando em consideração esse nível de compressão em relação à resistência do material, abre-se possibilidades para escolha de novos perfis e dimensões da estrutura da placa, visando a redução de custo e peso do equipamento.

9 REVESTIMENTO ASFÁLTICO

Visando a proteção da placa e proporcionar maior aderência a superfície dispõe de um revestimento asfáltico apropriado para a aplicação em um ambiente externo e com solicitação de abrasão. O revestimento tem a função de preservar o dispositivo dos efeitos naturais como a exposição ao sol e chuva e proporcionar segurança aos veículos que percorrem o trecho sobre a placa e melhorar as condições de rolamento.

No mercado é disponibilizado produtos especializados para essa aplicação e que será utilizado para finalizar a instalação do dispositivo. O Belzona 1814 é um sistema econômico de acabamento que foi desenvolvido para oferecer essa proteção em equipamento que como a placa demanda resistência a abrasão e pode ser aplicado em grandes áreas.

Fornecido como um sistema em três partes (base, solidificador e agregado), é fácil de misturar e aplicar, não necessitando de ferramentas especializadas. Pode ser aplicado por jateamento em temperatura ambiente e possui aderência em metais como aço inox, ferro fundido e também no aço SAE 1045.

Atualmente há uma infinidade de opções de acabamentos disponíveis no mercado, cada qual com suas especificações e particularidades, por isso fica como opção o Belzona 1814, mas com a possibilidade de escolha de preferência para o cliente que irá aplicar, visando o tipo de tráfego ou grandeza de esforço a que será submetido o dispositivo. Conforme representação do revestimento na figura abaixo.

Figura 24: Placa Coberta com a Manta Asfáltica



10 RESSALTO

Componente responsável por abrigar os imãs e o elemento que faz a movimentação vertical para que possa ser gerada a energia, sendo este, posicionado com pinos e molas para sustentar seu movimento.

10.1 MATERIAL DO RESSALTO

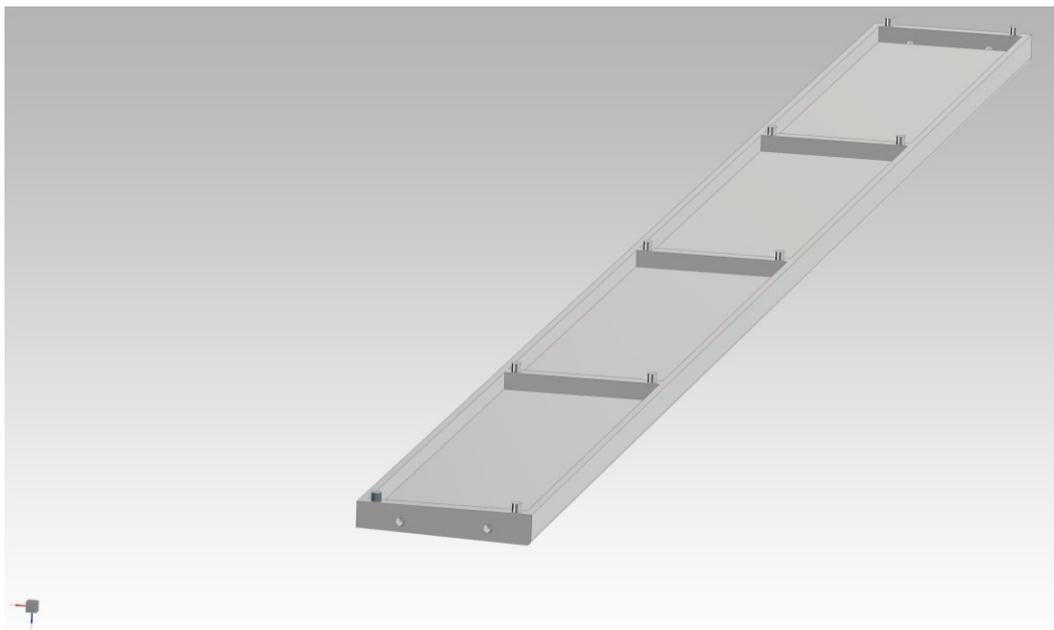
Foi selecionado o alumínio como material do ressalto, por se tratar de um material relativamente leve e barato para sua produção.

10.2 GEOMETRIA

A sua geometria foi projetada a fim de se obter o maior conforto possível ao motorista que passar sobre a mesma, além de seguir as normas mencionadas pelos órgãos fiscalizadores para a sua implementação, referente a tamanho, material e etc.

Pode-se observar sua estrutura nas figuras abaixo para uma breve visualização.

Figura 25: Vista Inferior



Fonte: Autores, 2021

Figura 26: Vista Superior



Fonte: Autores, 2021

11 TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA

11.1 GERAÇÃO DE TENSÃO

Para a determinação da quantidade de energia gerada pelo sistema, será considerado primeiramente as condições externas, que no caso vêm a partir da velocidade dos automóveis, e com a largura do ressalto pode-se descobrir o tempo no qual o carro percorre ao passar por um ressalto conforme equação abaixo:

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (67)$$

Admitindo uma velocidade de 80km/h (22,22m/s) e uma largura útil do ressalto de 0,19m, temos um tempo de 0,00855s da passagem do veículo por ressalto.

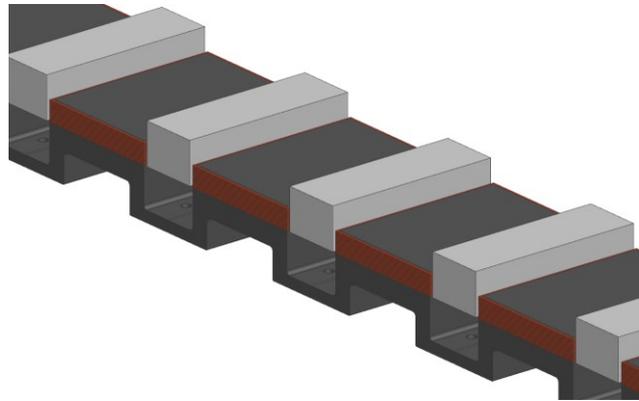
$$22,22 = \frac{0,19}{t} \rightarrow t = 0,00855 \text{ s}$$

A partir disso, a velocidade aproximada que o ressalto desce pode ser determinada seguindo o mesmo princípio e considerando o movimento completo de descida do ressalto de 0,0055m:

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t} \rightarrow V = \frac{0,0055}{0,00855} \rightarrow V = 0,643 \text{ m/s} \quad (68)$$

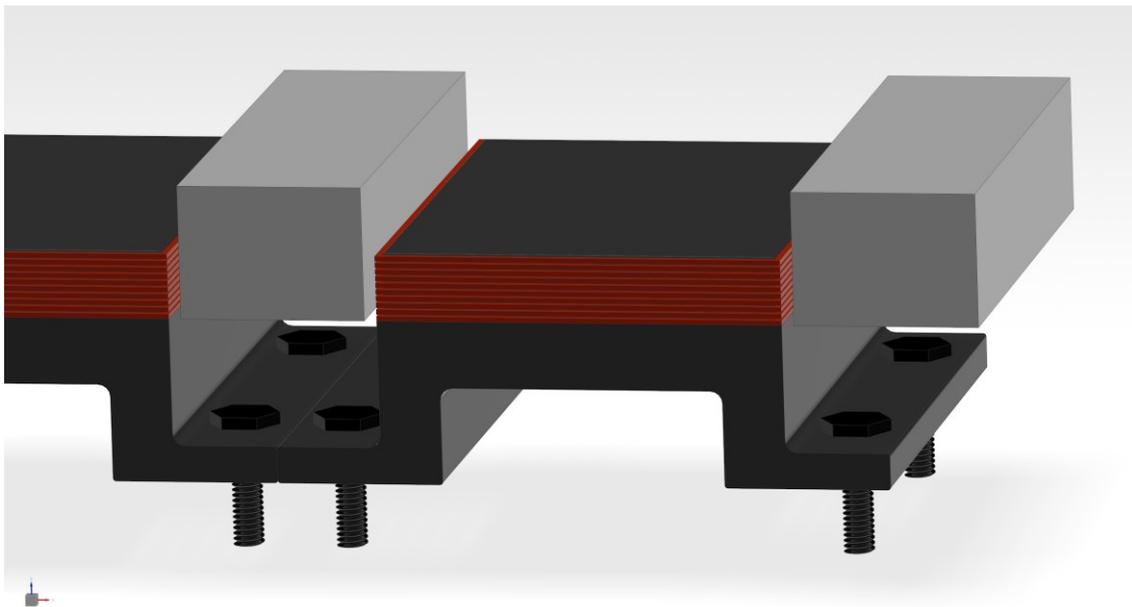
Considerando a montagem do sistema conforme figuras abaixo:

Figura 27: Montagem do Sistema Magnético



Fonte: Autores, 2021

Figura 28: Distribuição dos Componentes Magnéticos

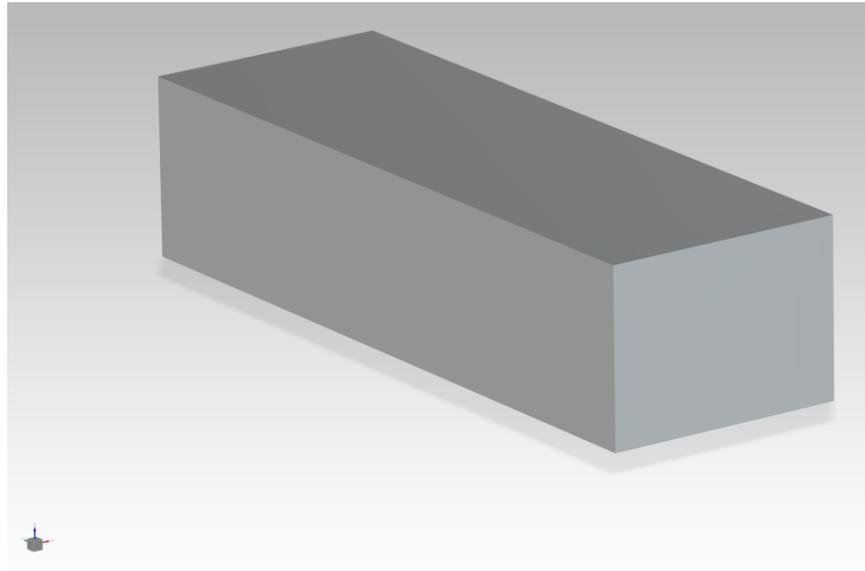


Fonte:

Autores, 2021

Focando nos componentes do projeto, este será composto por ímãs de neodímio em bloco com uma densidade de fluxo magnético aproximada de 0,54 Tesla:

Figura 29: Imã de Neodímio



Fonte: Autores, 2021

As espiras dos conjuntos de bobinas serão compostas por um fio de cobre esmaltado número 30 AWG, conforme especificações abaixo:

Figura 30: Bobina

Características do fio

Numero AWG	30
Diâmetro (mm)	0,2547
Espiras por cm	39,2670
Área (mm ²)	0,0509
Resistência (Ω/km)	337,6716
Corrente máxima (A)	2,5A/mm ² 3A/mm ² 6A/mm ² 0,12725 0,1527 0,3054
Frequência máx. (kHz)	268,6902
Comprimento aproximado (m)	1,096,34

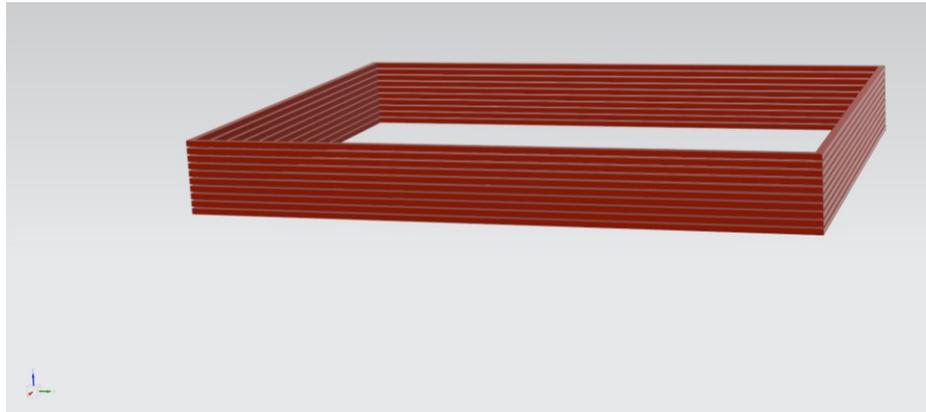
Fonte: Site Altanatubes, 2021

Para determinação do número de espiras, será utilizado o valor de espiras por cm descrito pelo fabricante e considerando um espaço disponível de 5,5 mm e sendo bobina dupla, tem-se um total de 11 mm e pode-se chegar na conclusão que o número de espiras total será de:

$$N = 39,2670 \times 1,1 = 43,2 \text{ espiras}$$

As espiras se dispõem conforme a figura abaixo:

Figura 31: Disposição do Formato da Bobina



Fonte: Autores, 2021

Com a Lei de Faraday na força eletromotriz induzida, tem-se a seguinte expressão:

$$\varepsilon = \frac{|\Delta\phi|}{\Delta t} \quad (69)$$

Como a Lei de Lenz afirma que a f.e.m induzida se opõe à variação do fluxo, esta pode ser escrita da seguinte maneira:

$$\varepsilon = - \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (70)$$

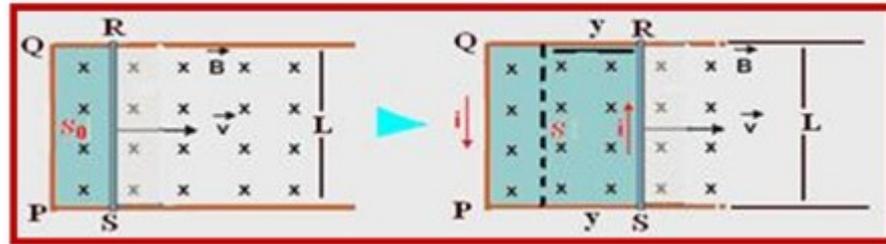
ε : força eletromotriz induzida – medida em volt (V);

$|\Delta\phi|$: módulo da variação do fluxo magnético - medido em Weber (Wb);

Δt : intervalo de tempo – medido em segundo (s);

Faraday observou por experimentos, que a corrente elétrica e tensão média induzidas são maiores quanto mais rápido o fluxo magnético sofrer variação no circuito. A tensão (ddp) média induzida se dá pelo nome de força eletromotriz induzida (f.e.m).

Figura 32: Representação da interação campo magnético



Fonte: Site Física e Vestibular, 2021

A variação do fluxo em um campo magnético uniforme segue da seguinte forma:

$$\Delta\phi = B \cdot (\Delta S) \cdot \cos\alpha = B \cdot (\Delta S) \cdot \cos 0^\circ = B \cdot (y \cdot L) \quad (71)$$

Onde:

B: densidade de fluxo magnético – medido em Tesla (T);

ΔS : área da espira – medida em metros quadrados (m²);

$\cos \alpha$: ângulo entre a normal e o fluxo;

$$\varepsilon = \frac{|\Delta\phi|}{\Delta t} = \frac{B \cdot y \cdot L}{\Delta t} \text{ e } V = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{y}{\Delta t} \text{ temos: } \varepsilon = B \cdot L \cdot V \cdot N \quad (72)$$

V: velocidade – medida em (m/s);

L: comprimento do fio condutor – medido em metros (m);

N: número de espiras (espiras).

Desta forma pode-se estimar quantos volts o sistema pode gerar considerando a descida de apenas um conjunto (dois ímãs):

$$\varepsilon = B \cdot L \cdot V \cdot N = 0,54 \cdot (0,045 \times 2) \cdot 0,643 \cdot 43,2 \rightarrow \varepsilon = 1,35V$$

11.2 SISTEMA ELÉTRICO

Uma única bobina poderá ter uma tensão máxima induzida em seus terminais de 1,35 V. Para alimentação das baterias do sistema, é necessária uma tensão contínua de acima de 14,5V. Para atingir e manter sempre uma tensão nessas circunstâncias, as bobinas terão uma disposição série- paralelo específica para atingir o objetivo citado.

As bobinas estão separadas em blocos com onze bobinas ligadas em série entre si, cada bloco se ligará em paralelo com o outro. Fornecendo assim, uma tensão máxima de aproximadamente 14,85 V para carregamento das baterias.

11.3 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Este tópico tem como objetivo apresentar as normas e métricas a serem utilizadas no projeto PGB. Como a Rodovia dos Imigrantes possui túneis, deve-se respeitar as normas NBR 5101 de iluminação pública e NBR 5181 de iluminação de túneis.

Como já mencionado, o fluxo de veículo diário médio na Rodovia adotada é de aproximadamente 30.000 veículos. Com isso, a pista se caracteriza como uma via de tráfego intenso, já que possui circulação média superior a 1.200 veículos/hora.

Portanto, o valor mínimo da iluminância média deve ser de 30 lux, conforme tabela mostrada abaixo:

Tabela 11: Iluminância Média Mínima

Classe de Iluminação	Iluminância média mínima EMed,min lux	Fator de uniformidade mínimo U= Emin/EMed
V1	30	0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5101, 2012

A tabela permite obter os dados médios e mínimos de iluminância em qualquer ponto da via, portanto, a Iluminância média = 30 lux e a iluminância mínima = 12 lux.

Não há uma norma para a distância entre os postes, sendo que a concessionária responsável pela manutenção da via deve realizar o projeto de implementação da iluminação, desde que respeite o nível de luminescência definido na norma. Para o projeto se enquadrar, deve atender dois quesitos:

- a) Fator de uniformidade indicado conforme o tipo de via – no caso do projeto, superior a 0,4.
- b) Ser necessariamente superior a 1 lux.

Com isso, adota-se a quantidade de postes instalados atualmente em outra rodovia com características semelhantes. Dito isto, considera-se 20 postes por quilômetro, ou seja, um poste a cada 50 metros, já que é a unidade adotada em outros trechos da mesma via.

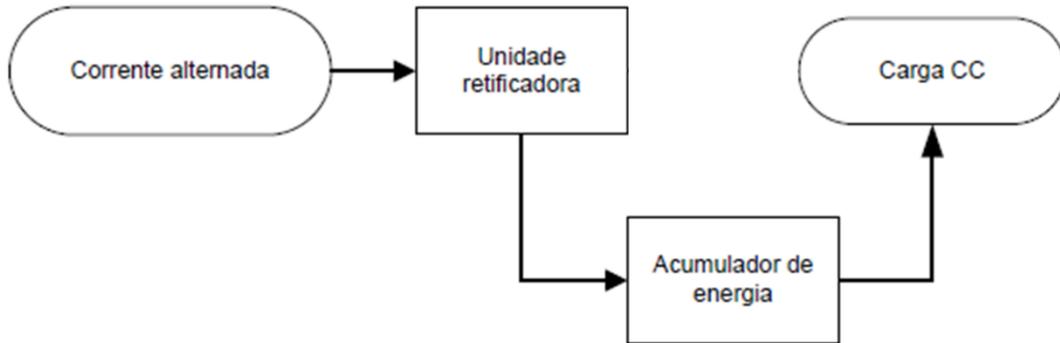
Com quatro faixas de 3,5 metros e um acostamento, a largura da Rodovia é de aproximadamente de 17,5 metros. Portanto tem-se que cada poste necessita de uma lâmpada capaz de iluminar uma área de 875 m² e, com isso, a distância entre postes é de 50 metros. Para que se atenda a norma, precisa-se então de uma lâmpada com fluxo luminoso de aproximadamente 26.250 lumens.

Em locais comuns (que não necessitam de iluminação intermitente), os postes devem permanecer ligados diariamente por 11 horas e 52 minutos, segundo a Resolução no 414 (ANEEL, 2010).

11.3.1 Banco de Baterias

Grande parte do fluxo de veículos de uma via ocorre sob a luz do dia, onde não é necessário o acionamento das luminárias, para que a tensão gerada nesse período não seja desperdiçada opta-se pelo uso de baterias para acumular essa energia gerada. As baterias ficarão intermediárias à tensão induzida nas bobinas e o sistema de iluminação, essa condição evita que grandes oscilações de energia sejam transferidas aos leds. Conforme figura abaixo.

Figura 33: Diagrama da Disposição dos Componentes Elétricos



Fonte: Autores, 2021

11.4 FORMA DE ONDA DA TENSÃO ELÉTRICA

A tensão elétrica induzida nos terminais de cada bobina, se analisada em um osciloscópio, terá intensidade variável em relação ao tempo, sendo hora positiva, na descida do ressalto, e negativa durante o retorno ressalto à posição inicial. A onda terá uma característica próxima de uma onda pulsante, dito isso, tem-se como método mais simples de tratamento para uma corrente alternada, a implementação de um retificador de tensão.

11.4.1 Retificação da Tensão Elétrica

O fornecimento de energia elétrica é feito a partir de uma rede de distribuição em tensão alternada, devido principalmente à redução de perda de energia no transporte a longas distâncias, além da facilidade no ajuste da tensão por meio de transformadores.

Grande parte dos aparelhos elétricos e principalmente os eletrônicos, necessitam, essencialmente, de uma corrente contínua para seu correto funcionamento. Utiliza-se então os dispositivos chamados retificadores para converter a tensão alternada da rede em tensão contínua.

O objetivo principal do projeto PGB é o fornecimento de energia elétrica para o sistema de iluminação da via por onde está sendo gerada. Atualmente grande parte dos sistemas de

iluminação utilizam as lâmpadas de led como fonte emissora de luz. O led (light-emitting diode) é um componente cujo acionamento é indicado utilizando uma corrente contínua.

A tensão necessária ao sistema de iluminação será fornecida por baterias, que garantem maior estabilidade de tensão, evitando oscilações indesejadas que poderiam causar variações na intensidade da luz, causando um certo incômodo aos motoristas.

Como já citado, a tensão elétrica fornecida pelo sistema se dará por pulsos, com variações de polaridade, além de variações de intensidade. Será implementado então, no circuito imediatamente anterior as baterias, retificadores de tensão. Os retificadores utilizados serão do tipo mais simples, não controlados, ou seja, compostos principalmente por diodos dispostos em ponte completa e um capacitor de grande capacitância.

11.5 FORMA DE ONDA DA TENSÃO ELÉTRICA

Tendo em mãos o valor de tensão máximo induzido por cada expira dos sistemas, para que se possa entender se o sistema atende o consumo das luminárias, precisa-se calcular o valor de energia máxima que o sistema é capaz de converter em um determinado período.

A corrente induzida por cada sistema será limitada pela capacidade do fio de cobre utilizado, como o sistema não estará implementado em um lugar completamente fechado e isolado termicamente, além de não ser acionado constantemente, pode-se considerar o valor limite de corrente elétrica que passa pelo fio, de acordo com a tabela de característica do fio, sendo igual a 0,3054 A.

A potência então fornecida por cada bobina do sistema é facilmente calculada:

$$P = V \cdot I = 1,35 \times 0,3054 = 0,4138 \text{ W} \quad (73)$$

Dispostos em cada ressalto tem-se 228 conjuntos magnéticos, portanto é correto dizer que a potência total fornecida por um ressalto é a soma da potência fornecida por cada bobina.

$$P2 = 0,4138 \times 224 = 92,69 \text{ w}$$

Como já demonstrado anteriormente o tempo de acionamento do ressalto por um eixo do veículo dura aproximadamente 8,55 ms, a partir deste tempo calcula-se a energia gerada.

$$E = P \cdot T = 92,69 \times 8,55 \times 10^{-3} = 0,7925 J$$

O valor obtido acima diz respeito a energia gerada pela passagem de um eixo do veículo em um ressalto, o valor de geração em uma placa inteira, por veículo se dará por:

$$E2 = 0,7925 \times 2 \times 15 = 23,77 J$$

O número médio de veículos na via, como já informado anteriormente é de aproximadamente 15000 por dia, no trecho passível de implementação estudado, tem em sua maior extensão quatro faixas, será então considerado a passagem de 3750 veículos por faixa em um dia. Tem -se então que cada placa terá uma média de geração diária como mostrado abaixo:

$$E3 = 23,77 \times \frac{3750}{3600} = 24,76 Wh$$

A tensão e corrente elétrica gerados passarão por módulos elétricos que os tratarão para que chegue na bateria em condições adequadas para carregamento. Porém neste processo ocorrem perdas diversas de energia, portanto será considerado uma eficiência de 90% no tratamento da energia elétrica gerada.

$$E4 = 24,76 \times 0,9 = 22,29 Wh$$

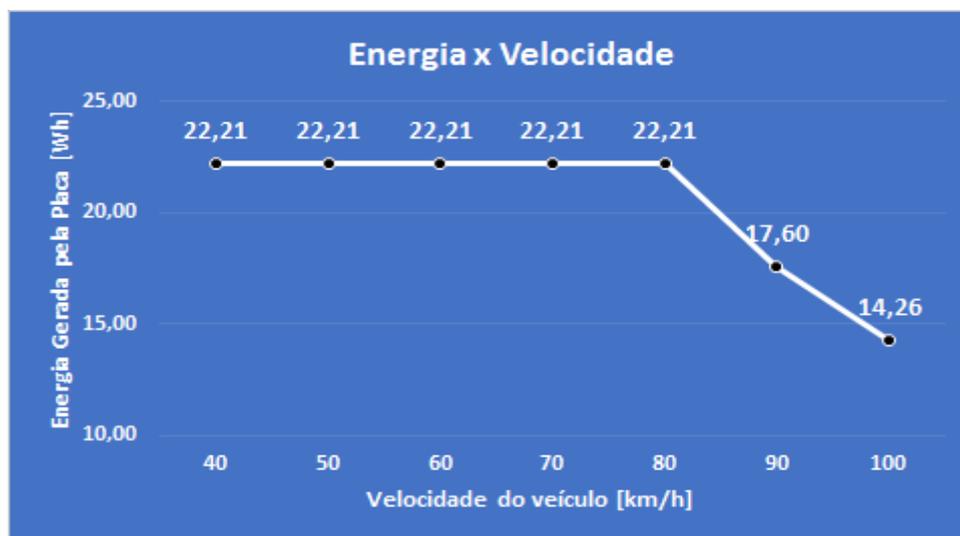
Estabelece-se então, a relação da energia média gerada com a velocidade de passagem do veículo pela placa e o quanto isso pode influenciar na geração de energia.

Tabela 12: Correlação entre Velocidade do Veículo e Energia Gerada Pela Placa.

Velocidade do carro [km/h]	Energia gerada pela placa [Wh]
40	22,21
50	22,21
60	22,21
70	22,21
80	22,21
90	17,60
100	14,26

Fonte: Autores, 2021

Figura 34: Influência da Velocidade na Potência Gerada.



Fonte: Autores, 2021

Note que energia gerada não depende da velocidade do veículo na via, isso se dá porque o deslocamento máximo do ressalto pode ser atingido a qualquer velocidade abaixo de 80 km/h. Porém, em velocidades mais altas tem-se uma queda de geração pelo pouco tempo que o veículo tem para deslocar o ressalto, fazendo com que ele não atinja o curso máximo disponível.

12 NORMAS

Para a implantação do projeto PGB, foi considerado normas aplicadas nas rodovias.

Considerando a placa similar a um sonorizador, tem se alguns padrões e critérios para instalação a serem aplicadas no projeto disciplinados pelo parágrafo único do art. 94 do Código de Trânsito Brasileiro.

De acordo com o Decreto nº 2.327, de 23 de setembro de 1997, e de acordo com as atribuições conferidas pelo artigo 12 da Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997, a Lei instituiu o Código de Trânsito Brasileiro - CTB lidar com os problemas de coordenação do sistema de transporte público nacional e resolver alguns padrões tais como:

A implantação de ondas transversais e de ruído em vias públicas dependerá de autorização clara da autoridade de trânsito na via, podendo ser realizada após estudo de alternativas de engenharia de tráfego, quando essas possibilidades não forem eficazes na redução da velocidade e redução de acidentes e devem ser utilizadas em locais onde se pretenda reduzir a velocidade do veículo, de forma imperativa, principalmente naqueles onde há grande movimentação de pedestres.

O objetivo do projeto Power Generator Board (PGB) não se assemelha a de um sonorizador, mas por efeitos secundários comparado a ele, impõe se algumas normas para serem seguidas.

As ondulações transversais às vias públicas denominam-se TIPO I e II e deverão atender aos projetos da presente resolução e apresentar as seguintes dimensões:

Tipo I: largura: igual à da pista, mantendo-se as condições de drenagem superficial; comprimento: 1,50m; altura: até 0,08m.

Tipo II: largura: igual à da pista, mantendo-se as condições de drenagem superficial; comprimento: 3,70m; altura: até 0,10m.

Os sonorizadores e as placas projetadas devem atender ao projeto do anexo II, apresentando a largura do dispositivo igual à da pista, mantendo-se as condições de drenagem

superficial, largura da régua de 0,08m, espaçamento entre réguas igual a 0,08m, comprimento 5,00m, altura da régua de 0,025m.

Recomenda-se que após a implantação a autoridade com circunscrição sobre a rodovia monitore o seu desempenho por um período mínimo de 1 ano, a propósito de comprovar que não foi afetado o tráfego na via podendo diminuir o fluxo de veículos.

13 MANUTENÇÃO

Com o intuito de reduzir a probabilidade de falha ou degradação do funcionamento de um item, segundo a norma NBR-5462 devemos realizar manutenções preventivas em intervalos de tempos determinados, para reduzir a probabilidade de falhas e critérios específicos para que sejam restabelecidas as condições originais do equipamento. Existem dois tipos de falhas que deve se tomar cuidado com o sistema, falha potencial onde o problema é detectado no seu início não afetando o funcionamento do sistema e falha funcional onde o equipamento não será mais possível ser utilizado, com isso pode se aplicar algumas manutenções preventivas onde a taxa de falha está ligada a vida útil do equipamento.

As máquinas e os equipamentos se degradam com o tempo, mas ao tomar medidas preventivas, pode se fazer o equipamento funcionar por um período mais longo, portanto, estabelece se algumas etapas para desenvolver um plano de manutenção preventiva com eficácia.

A primeira etapa é investigar todas as máquinas em execução, histórico de substituição de peças e o número de atividades que foram concluídas. Medir quais são os casos mais comuns de equipamentos com defeitos de longa duração, e verificar quais equipamentos são críticos e não podem ficar estagnados por falta de manutenção, ou podem prejudicar todo o ciclo de produção e tecnologia da empresa. Dessa forma, pode-se verificar estatísticas e padrões de notificação, como a frequência com que precisa se substituir peças ou lubrificar uma máquina específica.

Pode-se usar um *checklist* cujo seu objetivo é criar um procedimento para verificar o estado de cada dispositivo após a intervenção, incluindo preventivo ou corretivo. Isso indica que todas as etapas foram realizadas para armazenar as informações de forma segura e os procedimentos para garantir a qualidade foram implementados. A lista de verificação de manutenção ajuda a formular o plano de manutenção preventiva mais confiável para que a máquina continue funcionando com excelente qualidade.

Em uma outra etapa, o plano e o custo são orçados sendo que é necessário considerar todos os custos para a implantação do projeto. Aqui, deve-se considerar os materiais e peças utilizadas, bem como os novos profissionais que podem ser contratados para executar e

gerenciar o sistema. Mesmo que o objetivo seja reduzir custos, escolher peças extremamente baratas e sem qualidade vai trazer problemas no futuro, e é exatamente isso que o programa de manutenção preventiva quer evitar, portanto, um dos principais pontos de custo são os funcionários que precisam de treinamento para operar corretamente.

Depois que o plano e o orçamento são traçados, um cronograma pode ser definido. Define-se a frequência de cada revisão e manutenção dessa forma, obtém-se uma média de quantas máquinas precisam ser reformadas e quantos funcionários são necessários em um ano. Cada atividade no campo de controle é essencial para o correto cumprimento da execução, também é importante conversar com os funcionários que operam esses dispositivos para aprender mais sobre as necessidades de manutenção e entender os primeiros sinais de problemas e erros e por fim pode-se usar uma ferramenta de indicadores de performance na execução do plano, são esses dados que vão mostrar se o projeto está indo conforme o planejado ou se são necessários ajustes.

13.1 SEGURANÇA E CUIDADOS NA MANUTENÇÃO

Outro fator que deve-se ter atenção é pelo projeto usar instalações elétricas, essas devem ser inspecionadas constantemente para que se mantenha o sistema em boas condições de uso e por se tratar de campos eletromagnéticos onde podemos ter efeitos sobre a saúde dos trabalhadores que estão realizando a manutenção mesmo que os perigos envolvam a exposição prolongada à oscilação dos campos elétricos e magnéticos que podem afetar os tecidos do corpo. Os campos elétricos provocam vibrações nas células do corpo, que se aquecem em altas frequências. Devido aos campos magnéticos oscilantes, correntes elétricas são geradas no tecido do corpo, que acaba funcionando como um condutor.

A exposição prolongada a campos eletromagnéticos pode danificar o sistema imunológico do corpo porque reduz a capacidade das células de se multiplicarem e os glóbulos brancos de matar tumores e combater doenças. Também há evidências de que isso pode ter efeitos adversos no sistema nervoso central, nas glândulas e no cérebro, e esses efeitos adversos não estão relacionados apenas a certos tipos de câncer, como a leucemia. Além disso, a superexposição também pode causar outros problemas físicos e psicológicos. Após uma avaliação rigorosa dos riscos de acidentes sofridos pelos trabalhadores da indústria, os empregadores são responsáveis por fornecer aos seus trabalhadores medidas de proteção contra

os efeitos nocivos dos campos eletromagnéticos, nomeadamente através da disponibilização de formação para demonstração de como evitar o contato com estas áreas.

Para os funcionários, se apresentarem fadiga, dores de cabeça frequentes, incapacidade de se concentrar por um longo tempo, dificuldade para dormir ou quaisquer sinais únicos de perda de memória, deve se imediatamente comunicar os superiores sobre o estado de saúde, caso suspeita se que seus sintomas podem estar relacionados a exposição excessiva a campos eletromagnéticos.

Levando em consideração todos os pontos levantados anteriormente sobre segurança, nosso sistema tem uma pequena exposição ao campo eletromagnético gerado quando comparado a outros sistema que afetem a saúde do trabalhador, mas não deve se de fato algum deixar de seguir todos os cuidados para evitar acidentes ou complicações à saúde da pessoa responsável pela atividade.

O sistema de fixação da placa, será composto por dois tipos de parafusos, que foi projetado, um para fixar o elemento ferromagnético na base e o outro para a tampa na placa, conforme as figuras abaixo:

Figura 35: Parafuso do Elemento Ferromagnético



Fonte: Autores, 2021

14 CUSTOS

Em um projeto é sempre importante analisar os custos envolvidos para a verificação do investimento inicial necessário para a implementação do sistema. Com a definição das geometrias, materiais e especificações, é possível estimar o custo inicial do projeto PGB, o qual é composto pelos elementos: placa, ressalto, mola, elemento ferromagnético, fio de cobre, ímã de neodímio.

Para que se possa ter um valor bem próximo da realidade, foi solicitado orçamentos para alguns fornecedores e os resultados obtidos estão na figura abaixo.

Figura 36: Orçamento dos Ressaltos

El Elion Estrutural Indústria e Comércio EIRELI - EPP <small>Rua Osório Vergilio dos Santos, 97 - 04779-020 - Interlagos - São Paulo - SP Fone/Fax: +55 11 9523-8512 CNPJ 06.706.259/0001-61 IE 116.638.942.110 e-mail: vendas@elion.com.br VISITE NOSSO SITE: www.elion.com.br</small>							
São Paulo, 11 de Maio de 2021.		Item	Escopo de Fornecimento	Unid.	Quant.	Preço Unitário R\$	Preço Total R\$
NOME DA EMPRESA: Projeto PGB A/C.: Sr. Felipe Carmo Tel. (11) 961911661 E-mail: fcarmo@smro-automotive.com Ref.: Fornecimento de Estrutura Proposta n°. 23271 - Rev. 00 Em atendimento à vossa solicitação, a El Elion está apresentando sua Proposta Técnica - Comercial, para a sua unidade localizada em São Paulo/SP. Agradecemos a oportunidade, colocando-nos à disposição para prestarmos os esclarecimentos que se fizerem necessários. Atenciosamente, Elizeu Luz 11 95552 8282		1	ESTRUTURA EM PERFIL ESTRUTURAL DE ALUMÍNIO 40 X 40 PARAFUSO DE TOPO PAR FIXAÇÃO CHAPA DE ALUMÍNIO PARA APOIO 2 8MM DIMENSÕES : 3000 C X 200 L X 40 A mm	Pq	15	595,00	8.925,00
NOTAS: Nesses preços estão incluídos todas as despesas e impostos diretos, incidentes sobre faturamento e taxas aplicáveis. Pagamento: 100% na entrega e aprovação dos materiais, 28 ddl SUJEITO A APROVAÇÃO DO DEPARTAMENTO FINANC. CADASTRO C/RESTRICÇÕES PAGAMENTO À VISTA Prazo de Entrega: 20 dias Transporte: por nossa conta em SP Embalagem: Validade da Proposta: 30 dias		TOTAL					8.925,00

Fonte: Orçamento - El Elion, 2021

Como o fornecedor El Elion não tem o costume de trabalhar com estruturas de aço, a cotação da placa foi realizada com outro fornecedor.

Figura 37: Orçamento da Placa



Framper Ind. e Com. de Artefatos de Aço Ltda. – ME
 Rua Aparecida Tufanin Anitelli, 126 – Distrito Industrial Paulo Kinock
 Leme/SP - CEP: 13.612-393 - CNPJ: 12.041.444/0001-54 - I.E.: 415.153.664.111
 e-mail: comercial@framper.com.br

Proposta Comercial

Cotação para: CHAPA EM AÇO CORTE PLASMA

Nome: FELIPE CARMO
 Departamento : COMPRAS
 Nome da empresa: REYDEL
fcarmo@smrc-automotive.com
 Telefone: Phone :: +55 11 2895-8667

DATA 18/05/2021
 Cotação nº 1021_2021
 Válida até: 28/05/2021
 Preparada por: BRUNO

1- Dados do Rack

Placa
 Material: Aço SAE 1045 sem tratamento térmico com dureza de 180HB
 Quantidade: 1
 Dimensão: 3500mm x 6000mm x 20mm
 15 Resgos de 3000mm x 200mm x 20mm



2- Material e Serviços utilizados
 AÇO SAE 1045 DUREZA 180HB

3- Acabamento
 SEM ACABAMENTO

4- Preço

DESCRIÇÃO	QTY	R\$ UNIT.	R\$ TOTAL	
		C/ IMPOSTOS	TOTAL COM IMPOSTOS	TOTAL SEM IMPOSTOS
: Aço SAE 1045 sem tratamento térmico com dureza de 180HB	1	55.000,00	55.000,00	49.912,50
TOTAL			55.000,00	49.912,50

4.1 Impostos (INCLUSOS)
 13,3% ICMS / 9,25% PIS/COFINS / IPI "ZERO"

5 - Condições de Pagamento
 30 DDL

6 - Cronograma de Entrega

Descrição	Prazo Médio	Responsabilidade
Apresentação da Amostra (se necessário)	Deverá ser acordado entre as partes	Framper
Aprovação da Amostra	A COMBINAR	Cliente
Entrega do Lote	A COMBINAR	Cliente

7 - Incluso no Preço

FRETE : CIF

8 - Garantia

Garantimos integralmente a qualidade e o funcionamento dos equipamentos pelo período de 01 ano, em condições normais de uso, a contar da data de entrega do mesmo.

9 - Em caso de aceite

O início da execução dos trabalhos somente se dará após o aceite desta proposta e de todas as suas cláusulas; o que deverá ser feito através deste documento assinado, da emissão de seu pedido de compra ou por qualquer outro meio formal que consolide o aceite pelo cliente referenciando o número de nossa proposta.

Toda e qualquer alteração deverá ser solicitada por escrito ao nosso Departamento Comercial, o qual fará uma avaliação entre o solicitado e o estágio da execução dos trabalhos; e caso haja custos, será repassado ao cliente através de adendo comercial.

Somente será aceito mediante o pagamento de custos operacionais avaliados de acordo com o estágio da execução dos trabalhos, os quais serão calculados por nosso Departamento Comercial e repassado ao cliente através de adendo comercial.

10 - Após aceitação

Ocorrendo atraso no quesito prazo de entrega, originados por indefinições ou atraso de informações do cliente, fica a Framper desobrigada do pagamento de qualquer cláusula de multa imposta pelo cliente.

Agradecemos sua preferência!

Atenciosamente,

Bruno Franco
Diretor Industrial

De acordo,

Cliente

Leme - SP, 18 de maio de 2021.

Fonte: Orçamento - Framper, 2021

Para as molas, foi contatado um fornecedor dedicado à fabricação e comercialização de molas, aramados e estampados metálicos de precisão.

Figura 38: Orçamento da Mola

Boa tarde Felipe,
 Existem algumas considerações a serem feitas a respeito do lote mínimo desse material.
 Não é um material que trabalhamos atualmente e possivelmente será necessário comprar um lote mínimo de 400 kilos, que daria um equivalente de 37.500 molas.
 Segue abaixo um preço amortizando esse lote mínimo e também sem amortização.

Com amortização do lote mínimo - R\$ 230,00 / peça
 Sem amortização - R\$ 4,50 / peça

Qualquer dúvida estou à disposição.

Grato,
Diogo Gimenez Fabricio
 Diretor Comercial

AXMOL INDUSTRIAL
 Fone: (+55 11) 2407 7788
 Fax : (+55 11) 2407 7788 R.205
 E-mail: diogo@axmol.com.br
 Site: www.axmol.com.br

Fonte: Orçamento - Axmol, 2021

O elemento ferromagnético foi cotado com uma fabricante de autopeças.

Figura 39: Orçamento do Material Ferromagnético

PRODEMOL Ind. e Com. de Ferr. Ltda		BreakDown			Cot. Nº 446D-VS/2021
					Data 21/05/2021
CLIENTE	PRODUTO		DESENHO		
Felipe Carmo	Material Ferromagnético		TCC PGB FEI		
<i>Obs. Conforme descrito no orçamento nº446D-VS/2019</i>					
2273					
Comprimento: 45	Largura: 50	Altura: 19	Peso: 0,5181		
Prazo para as amostras (dias):		Nº cavidades: 1 cav.	nº F.R. : 5478		
TIPO	QUANT.	UNID.	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL	
SAE 1045	0,518	KG	R\$ 6,50	R\$ 3,37	
P-20 (2738) ou (2711)	0	KG	R\$ -	R\$ 0,00	
H-13	0	KG	R\$ -	R\$ 0,00	
VND	0	KG	R\$ -	R\$ 0,00	
SAE (8620)	0	KG	R\$ -	R\$ 0,00	
GRAFITE / COBRE	0	KG	R\$ -	R\$ 0,00	
PADRONIZADOS	0	CJ	R\$ -	R\$ 0,00	
CILINDROS HIDRÁULICOS	0	CJ	R\$ -	R\$ 0,00	
AMPCO 18	0	CJ	R\$ -	R\$ 0,00	
PORTA MOLDE	0	CJ	R\$ -	R\$ 0,00	
OUTROS	0	R\$	-	R\$ 0,00	
TOTAL DE 1:				R\$ 3,37	
ATIVIDADE	QUANT.	UNID.	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL	
PROJETO (2D e 3D)	0	HS	R\$ 50,00	R\$ 0,00	
MODELAMENTO	0	HS	R\$ 50,00	R\$ 0,00	
CAM	0,0008799	HS	R\$ 50,00	R\$ 0,04	
DIGITALIZAÇÃO/DIMENSIONAL	0	HS	R\$ -	R\$ 0,00	
TOTAL DE 2:				R\$ 0,04	

Figura 41: Orçamento Aproximado do Imã de Neodímio



Fonte: Orçamento - Polomagnético, 2021

A fim de facilitar os cálculos e o entendimento dos custos que envolvem o projeto, têm-se a tabela abaixo:

Tabela 13: Valores dos Componentes

Componentes	Quantidade	Unidade de medida	Custo unitário	Custo total
Ímã de neodímio	3600	Peça	R\$ 25,00	R\$ 90.000,00
Fio de cobre esmaltado	21	Carretel	R\$ 58,05	R\$ 1.219,05
Elemento ferromagnético	3360	Peça	R\$ 4,58	R\$ 15.388,80
Aço SAE 1040	1	Peça	R\$ 55.000,00	R\$ 55.000,00
Alumínio	15	Peça	R\$ 595,00	R\$ 8.925,00
Molas	150	Peça	R\$ 4,50	R\$ 675,00
			Custo total do Projeto	R\$ 171.207,85

Fonte: Autores, 2021

O valor inicial seria bem alto, e os itens que mais interferem nesse resultado são os imãs de neodímio e a própria placa de aço, que devido à instabilidade do mercado e falta de matéria prima, esse valor se encontra ainda maior.

15 DESENHO E SIMULAÇÃO

Para projetar o desenho dos nossos elementos utilizamos o Software Siemens NX. Conforme figura abaixo.

Figura 42: Software Siemens NX

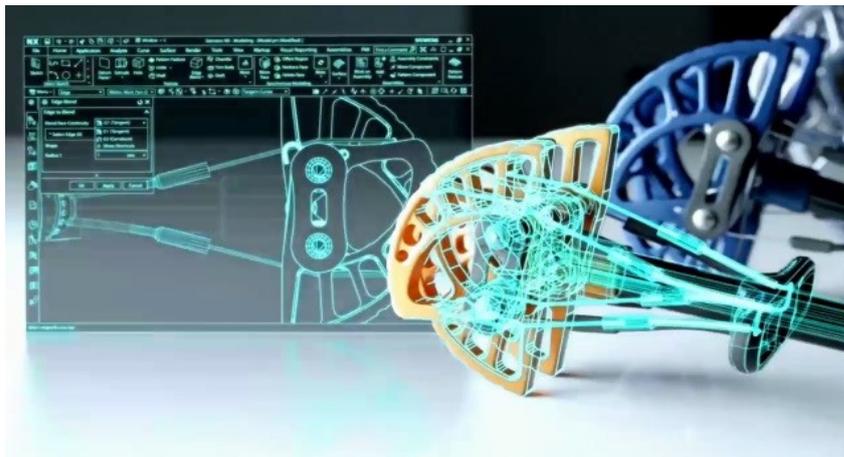


Fonte: Site da Siemens, 2021

Para se definir o projeto, a tolerância implementada tem a função de se obter uma boa fabricação, com isso, foi utilizada a norma ABNT - NBR 6158/1995 para tolerância geral com um grau de tolerância intermediário entre boa precisão e custo não muito elevado, então foi considerado o grau IT7, IT9, IT11 e IT12.

O Software Siemens NX tem como suas principais funções projetar geometrias complexas, realizar análises de engenharia e ferramentas de manufatura e modelagem. Como mostra na figura abaixo:

Figura 43: Ferramentas Siemens NX

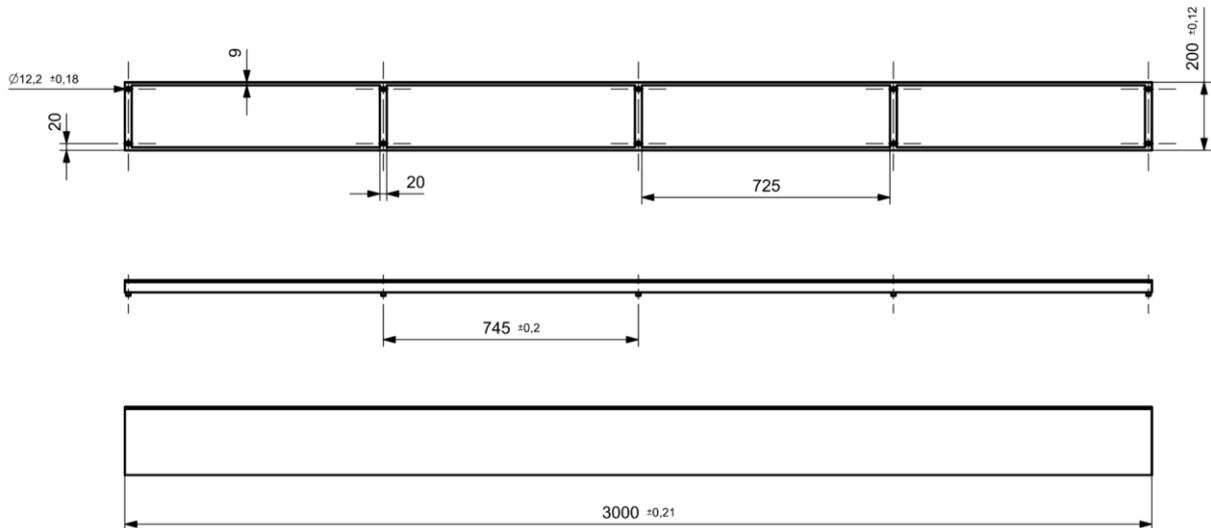


Fonte: Site da Siemens, 2021

15.1 DESENHOS

No projeto do ressalto, foram utilizadas as medidas com base nas análises de vias. O ressalto tem uma largura total de 3000 mm, altura variando de 30 mm a 35,5 mm e profundidade de 200 mm, com espessuras variando de 10 mm a 20 mm e rebaixas internas de 725 mm x 182 mm x 20 mm para acomodar os imãs, com pequenos pinos para acomodar as molas. Conforme figura abaixo.

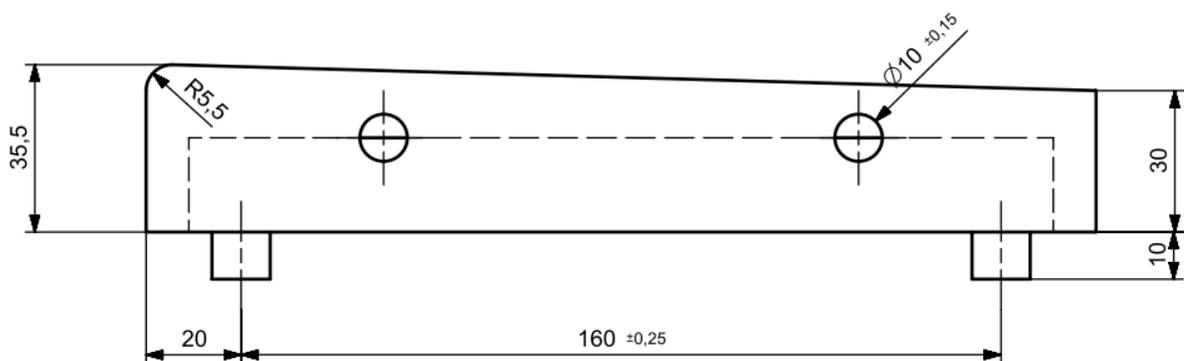
Figura 44: Cotas do Ressalto 1



Fonte: Autores, 2021

Na lateral do ressalto, encontram-se aberturas para os pinos de fixação que impedem o ressalto de subir acima do limite original. Conforme figura abaixo.

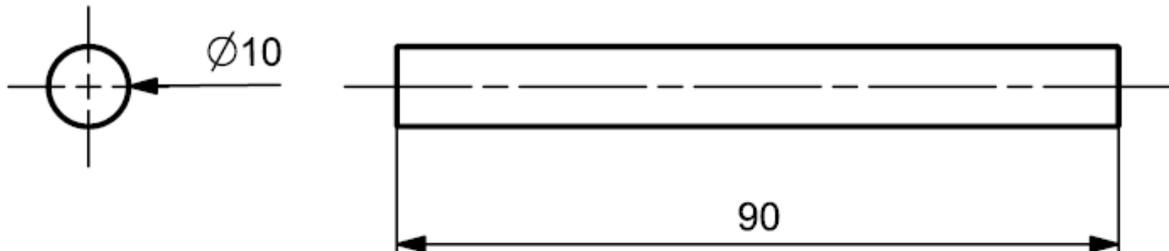
Figura 45: Cotas do Ressonance 2



Fonte: Autores, 2021

No projeto do pino, foi utilizado um comprimento de 90 mm e diâmetro de 10 mm, com um furo de 2,5 mm para fixação horizontal do mesmo. Conforme figura abaixo.

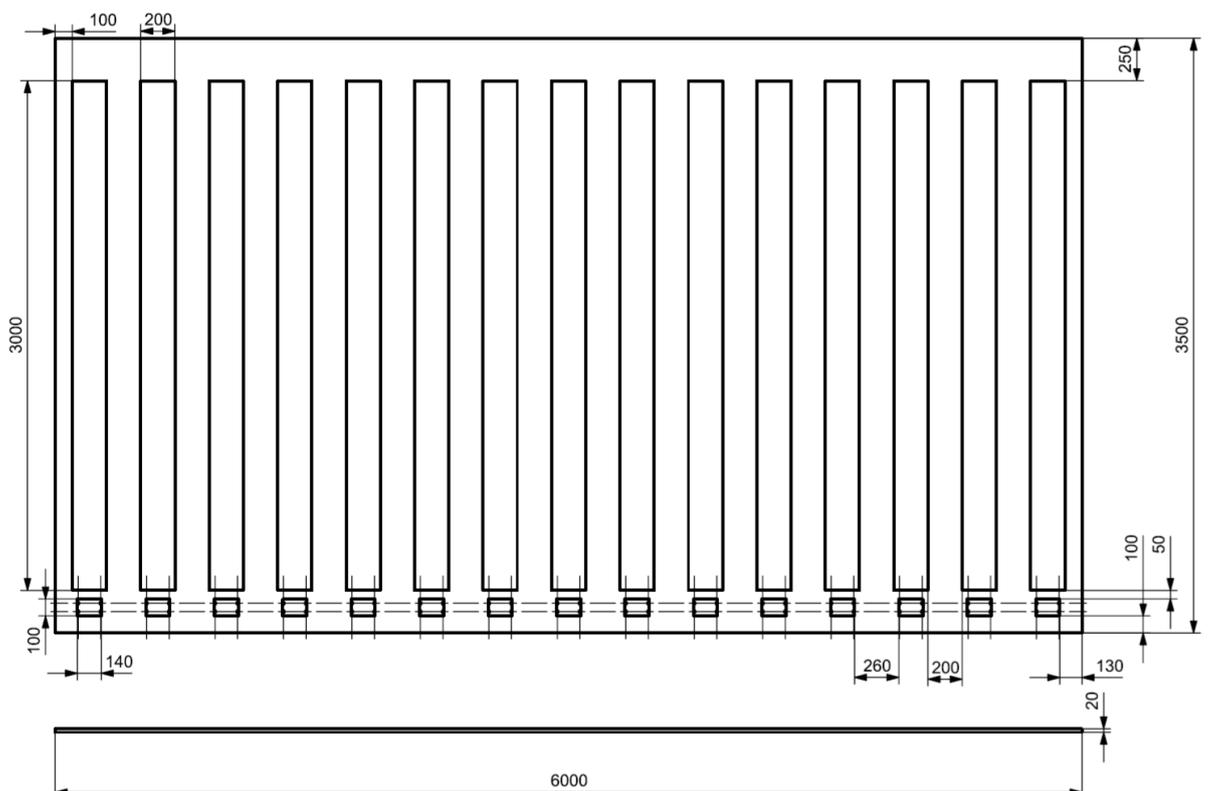
Figura 46: Cotas do Pino



Fonte: Autores, 2021

No projeto da placa superior que fica no nível da via, foi projetada com 6000 mm de comprimento, por 3500 mm de largura e espessura de 20 mm. Para a instalação do ressalto, projetou-se as localizações com uma abertura de 3000 mm x 200 mm para cada um, para realizar a manutenção e retirar os pinos de cada ressalto, utiliza-se uma abertura de de 140 mm x 100 mm. Conforme figura abaixo.

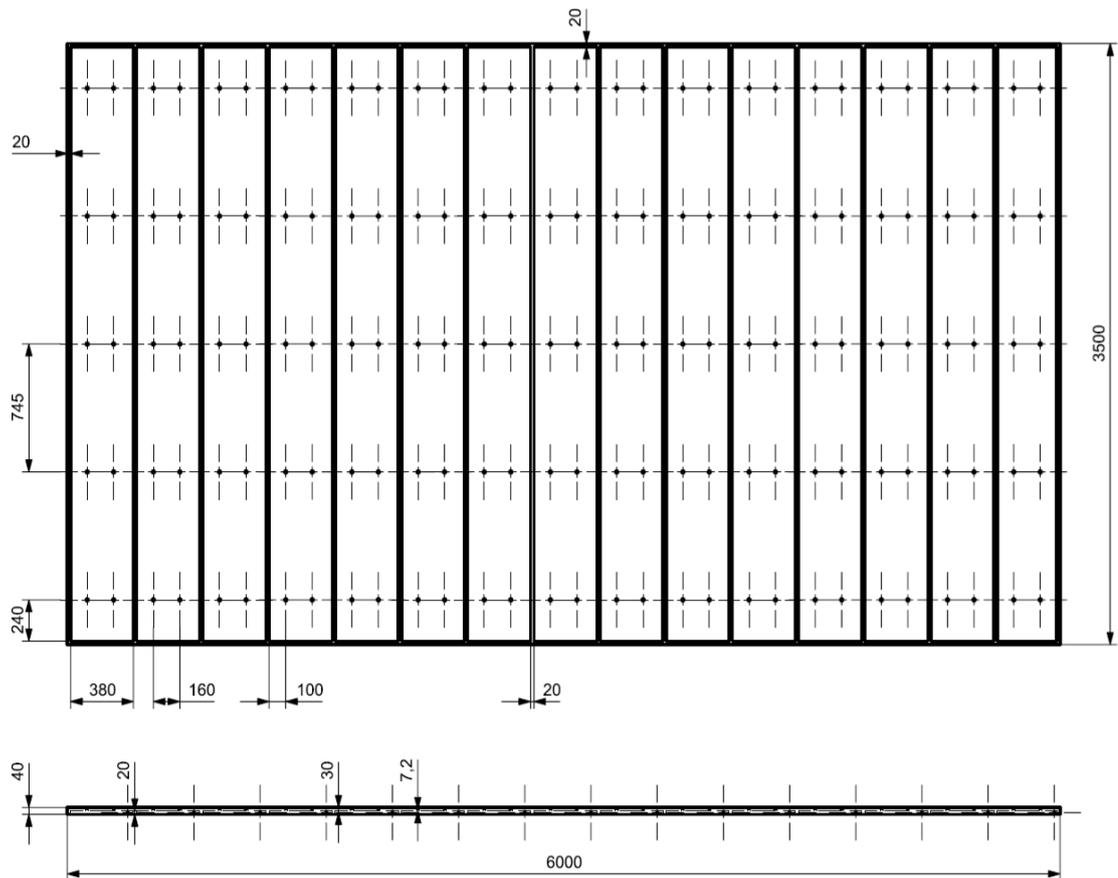
Figura 47: Cotas da Placa Superior



Fonte: Autores, 2021

Para o projeto da base, foi utilizado uma placa com 6000 mm de comprimento, por 3500 mm de largura e espessura total de 40 mm. Com um rebaixo, de 20 mm, interno para a fixação do conjunto eletromagnético, suportes de 20 mm de altura com distâncias de 380 mm e os aberturas para acomodarem os pares de molas. Conforme figura abaixo.

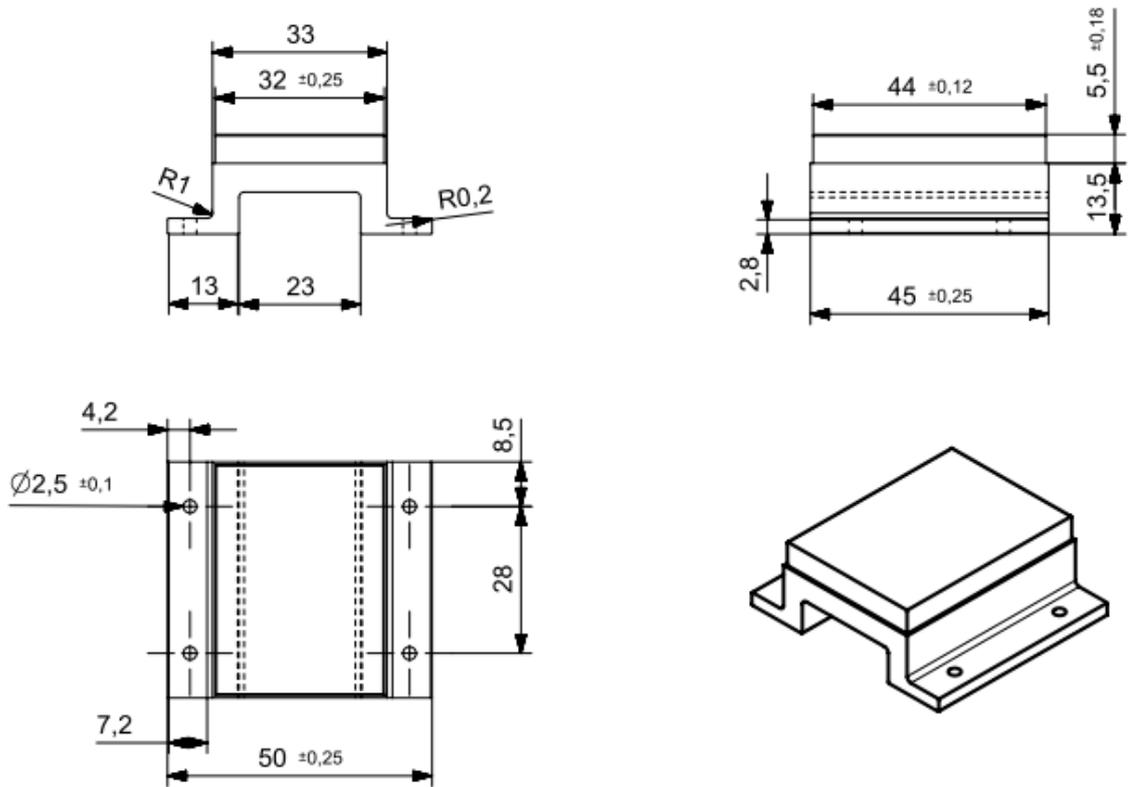
Figura 48: Cotas da Base



Fonte: Autores, 2021

Utilizou-se um ferromagnético para acomodar as bobinas, com dimensões externas de 50 x 45 x 19 mm, com um encaixe para bobina na parte superior. Conforme figura abaixo.

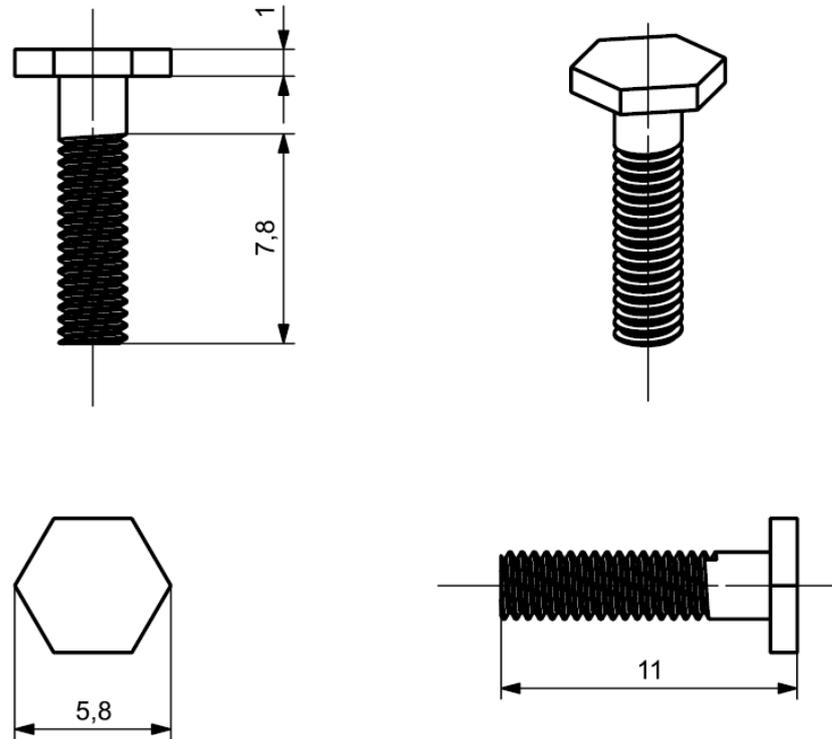
Figura 49: Cotas do Ferromagnético



Fonte: Autores, 2021

Para a fixação dos componentes, foram utilizados parafusos sextavados dimensionados de acordo com as especificações do projeto M2.5 x 0.45 de 10 mm de profundidade. Conforme figura abaixo.

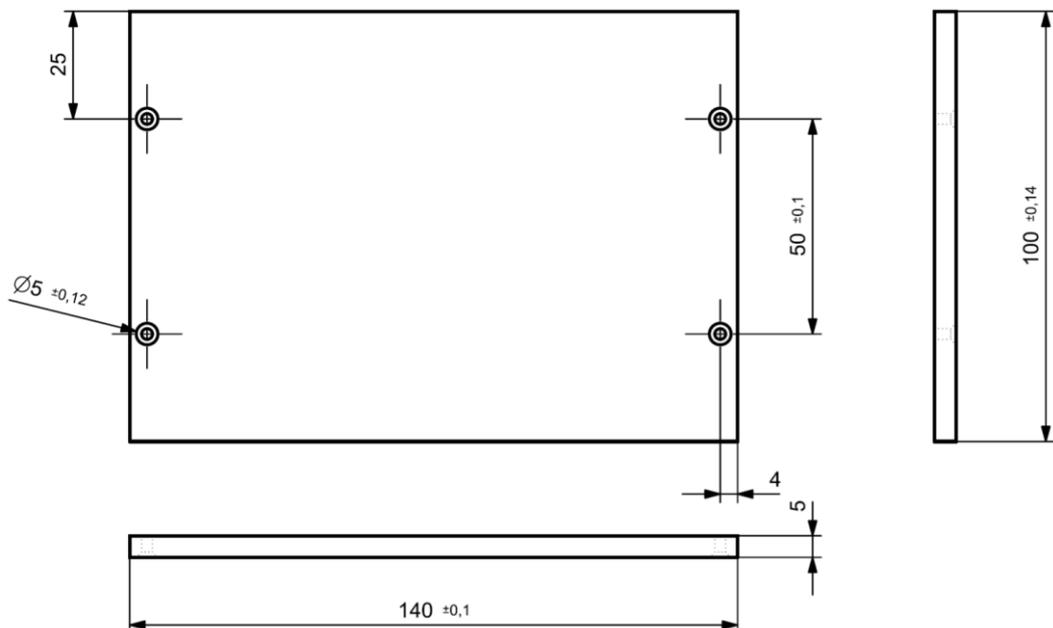
Figura 50: Cotas do Parafuso Sextavado



Fonte: Autores, 2021

Para melhor acessibilidade da manutenção, utilizou-se uma tampa de fácil remoção para ter acesso aos pinos de fixação do ressalto. Conforme figura abaixo.

Figura 51: Cotas da Tampa



Fonte: Autores, 2021

Para a fixação dos componentes, foram utilizados parafusos tipo cabeça chata seguindo a normal DIN963 com rosca DIN13 M2,5 e comprimento 12 mm.

Figura 52: Cotas do Parafuso da Tampa

UBfix
Soluções em peças para fixação

PARAFUSOS

PARAFUSO ROSCA MÁQUINA CABEÇA CHATA COM FENDA SIMPLES

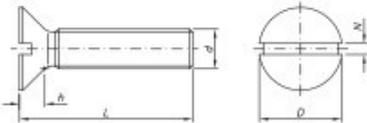
MATERIAL:
AÇO CARBONO

ACABAMENTO:
BICROMATIZADO - ZINCADO BRANCO
OXIDADE PRETO - NIQUEIADO

DIMENSÕES:
DIN 963 (DIN EN ISO 2009)

ROSCA:
DIN 13 (ISO 965)

EXEMPLO DO CÓDIGO:
111 5 20



GRUPO- 111 ZINCADO

TABELA DE DIMENSÕES (MM)

d (diâmetro)	M 2	M 2,5	M 3	M 4	M 5	M 6	M 8	M 10
rosca/passo	MA-0,40	MA-0,45	MA-0,50	MA-0,70	MA-0,80	MA-1,00	MA-1,25	MA-1,50
d (diâmetro cabeça) máx.	3,80	4,70	5,60	7,50	9,20	11,00	14,50	18,00
h (altura cabeça) máx.	1,20	1,50	1,65	2,20	2,50	3,00	4,00	5,00
N (abert. da fenda) máx.	0,70	0,80	1,00	1,20	1,50	1,90	2,30	2,80

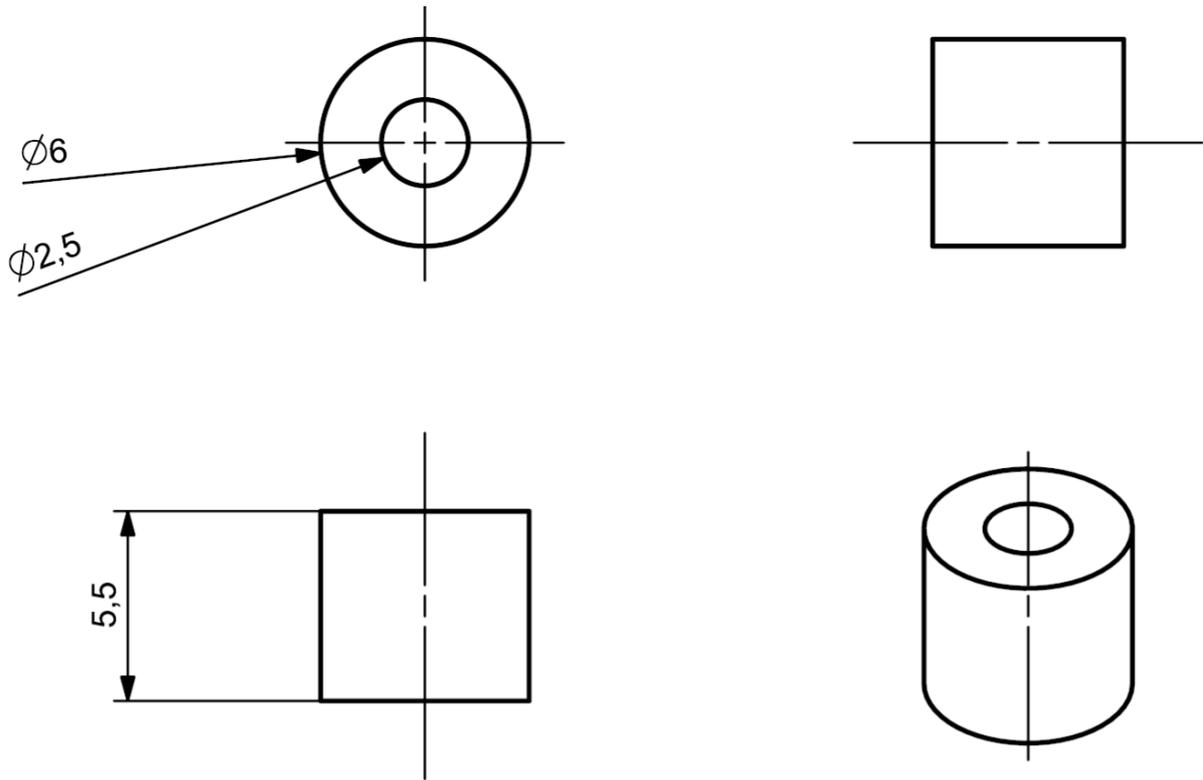
TABELA

Diâmetro ► Comprimento ▼	M 2 MA-0,40	M 2,5 MA-0,45	M 3 MA-0,50	M 4 MA-0,70	M 5 MA-0,80	M 6 MA-1,00	M 8 MA-1,25	M 10 MA-1,50
6	500	500	500	500				
8	500	500	500	500	500			
10	500	500	500	500	500	200		
12	500	500	500	500	500	200	200	
16		500	500	500	500	200	200	100

Fonte: Autores, 2021

Para a fixação dos parafusos, utilizou-se para completo, buchas para parafusos M2.5. Conforme figura abaixo.

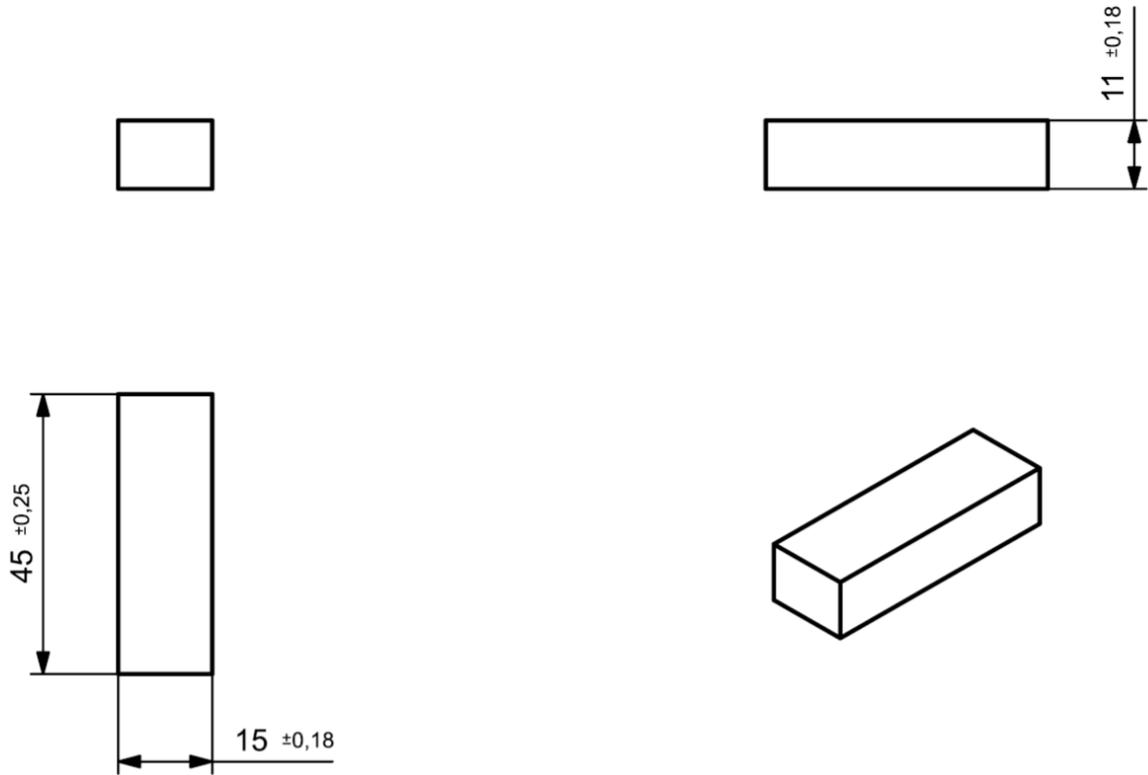
Figura 53: Cotas da Bucha



Fonte: Autores, 2021

O Ímã do sistema eletromagnético tem dimensões externas 11 x 15 x 45 mm. Conforme figura abaixo.

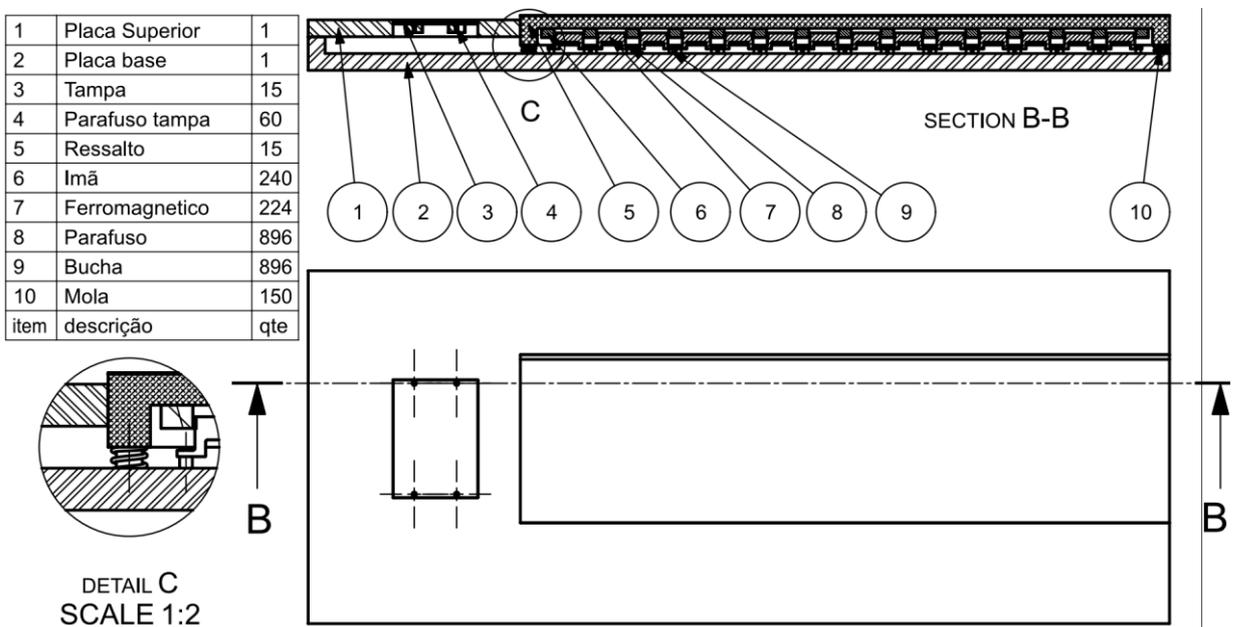
Figura 54: Cotas do Imã



Fonte: Autores, 2021

Para estudar o melhor funcionamento do sistema completo, realizou-se a montagem com todos os componentes. Conforme Figura abaixo.

Figura 55: Montagem Final



Fonte: Autores, 2021

15.2 SIMULAÇÃO

Para uma melhor análise estrutural do Projeto PGB, utilizamos os desenhos 3D apresentados acima para realizar uma simulação estrutural em nossos componentes críticos. Para essa simulação utilizamos o Software ANSYS. Conforme figura abaixo.

Figura 56: Software ANSYS



Fonte: Site da ANSYS, 2021

O ANSYS é um software de simulação computacional que permite o estudo de projetos em muitas áreas da engenharia, sua capacidade de resolver simulações com hipóteses diversas, contribui no processo de estudo do projeto, podendo prever, solucionar e corrigir falhas, diminuindo o tempo de desenvolvimento e reduzindo os custos do projeto. Conforme figura abaixo.

Figura 57: Software ANSYS 2021 R1

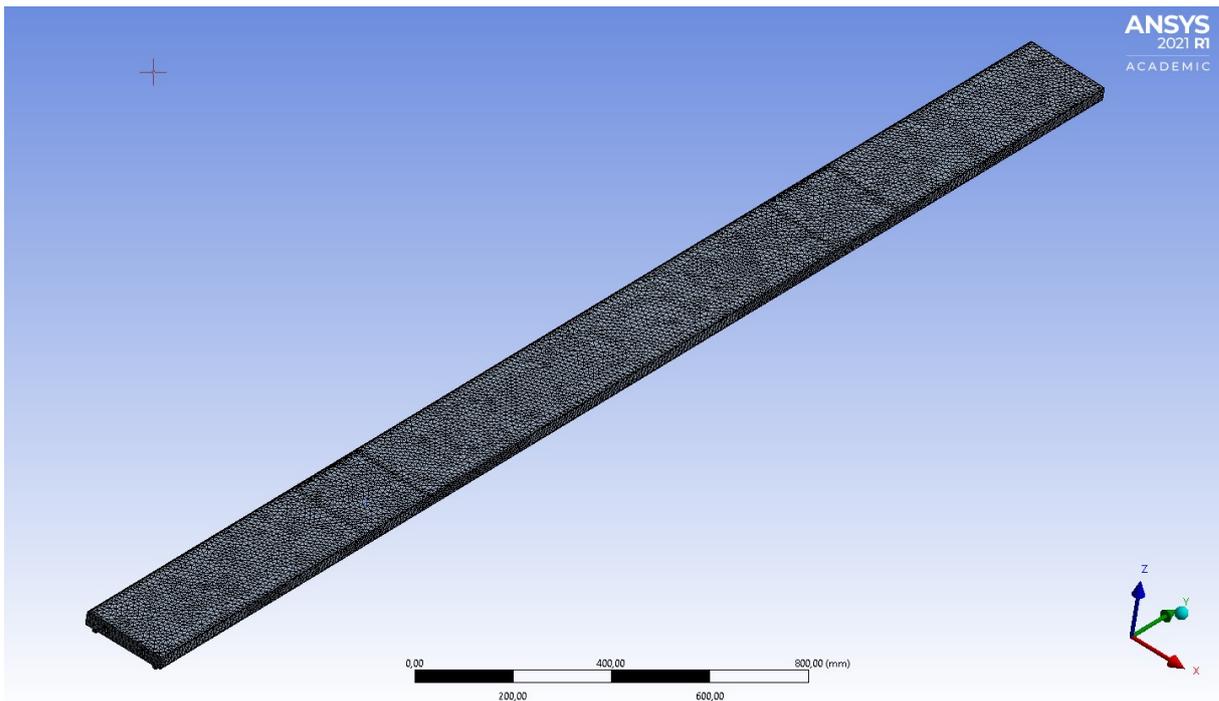


Fonte: Site da ANSYS, 2021

A versão do software utilizada foi a “ANSYS WorkBench Student 2021 R1”, como a figura acima, versão a qual está disponível gratuitamente para estudantes de engenharia no site da “ANSYS Academic”.

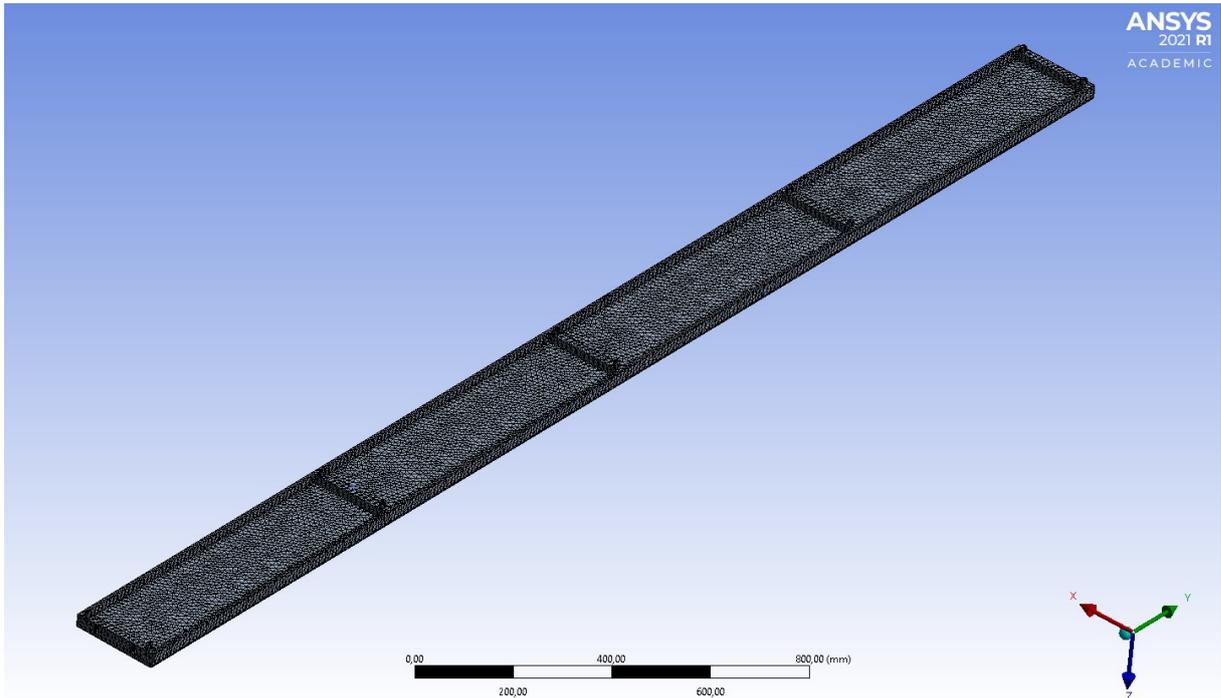
Na simulação do ressalto utilizamos as ferramentas “Modal” e “Stratic Structural”, abrindo a interface “Mechanical” foi inserido o material como Liga de Alumínio, para a configuração da malha, o menor tamanho de elemento de malha que a versão utilizada permitiu a simulação foi de 6mm para a geometria do ressalto, gerando 121.558 elementos. Conforme figuras abaixo.

Figura 58: Malha do Ressalto 1



Fonte: Autores – ANSYS, 2021

Figura 59: Malha do Ressalto 2

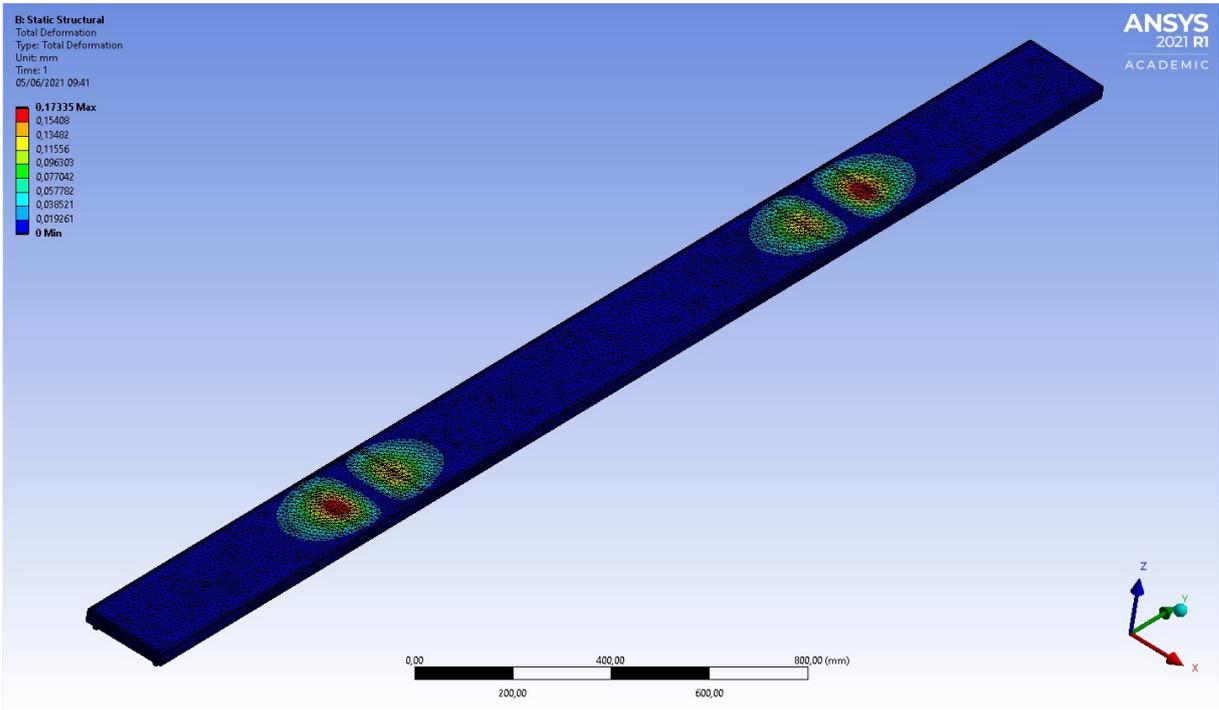


Fonte: Autores – ANSYS, 2021

Nos parâmetros de simulação, foi inserido: suporte de fixação nos locais que ficam em contato com os apoios inferiores, força vertical para baixo com o valor de 140.000N nas áreas aproximadas de passagem dos pneus, representando a passagem dos veículos leves e pesados e uma força vertical para cima com o valor de 1128N representando a força resultante exercida pela mola para manter o ressalto em sua posição original. Para essa simulação utilizamos os valores máximos de forças que o ressalto iria ser submetido em sua utilização.

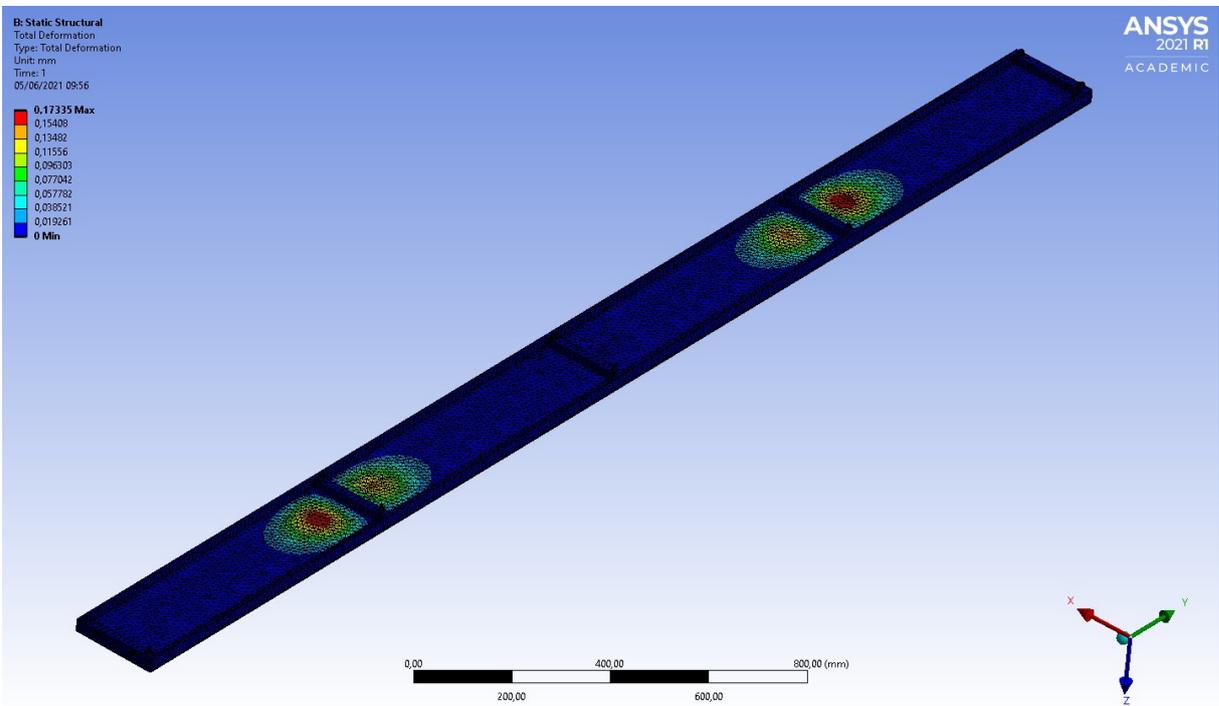
A primeira solução de simulação foi para o critério de deformação total, que resultou em uma deformação total máxima de 0,17mm no ponto central de rolagem dos pneus. Conforme figuras abaixo.

Figura 60: Deformação Total do Ressalto 1



Fonte: Autores – ANSYS, 2021

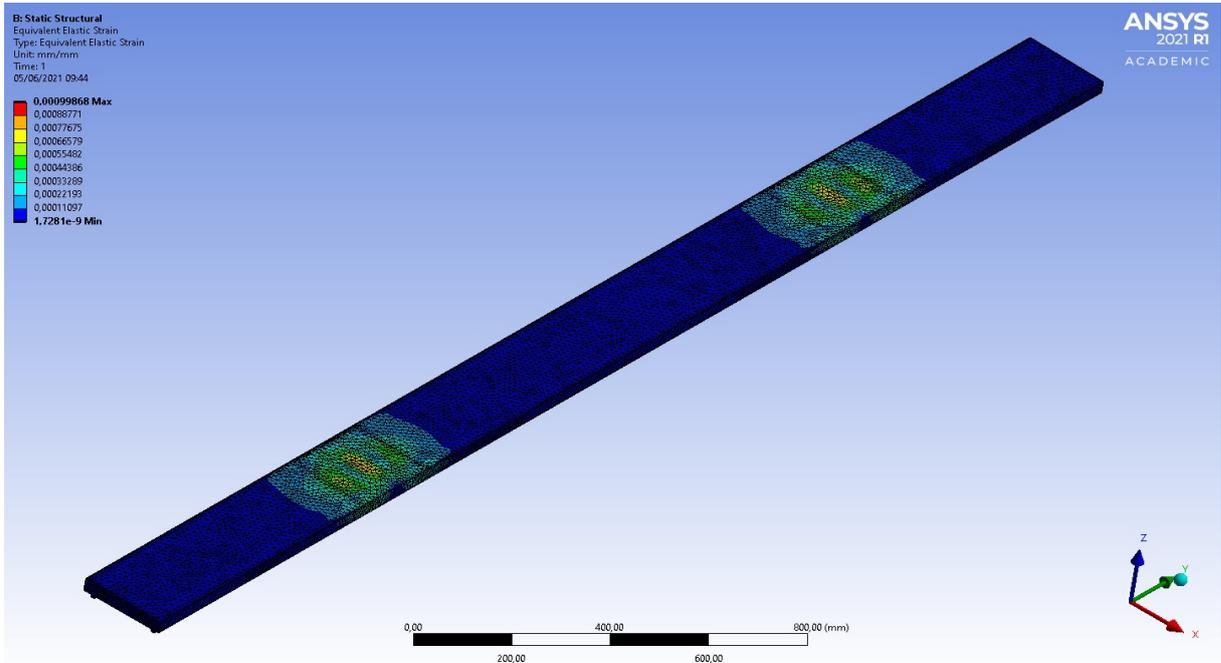
Figura 61: Deformação Total do Ressonância 2



Fonte: Autores – ANSYS, 2021

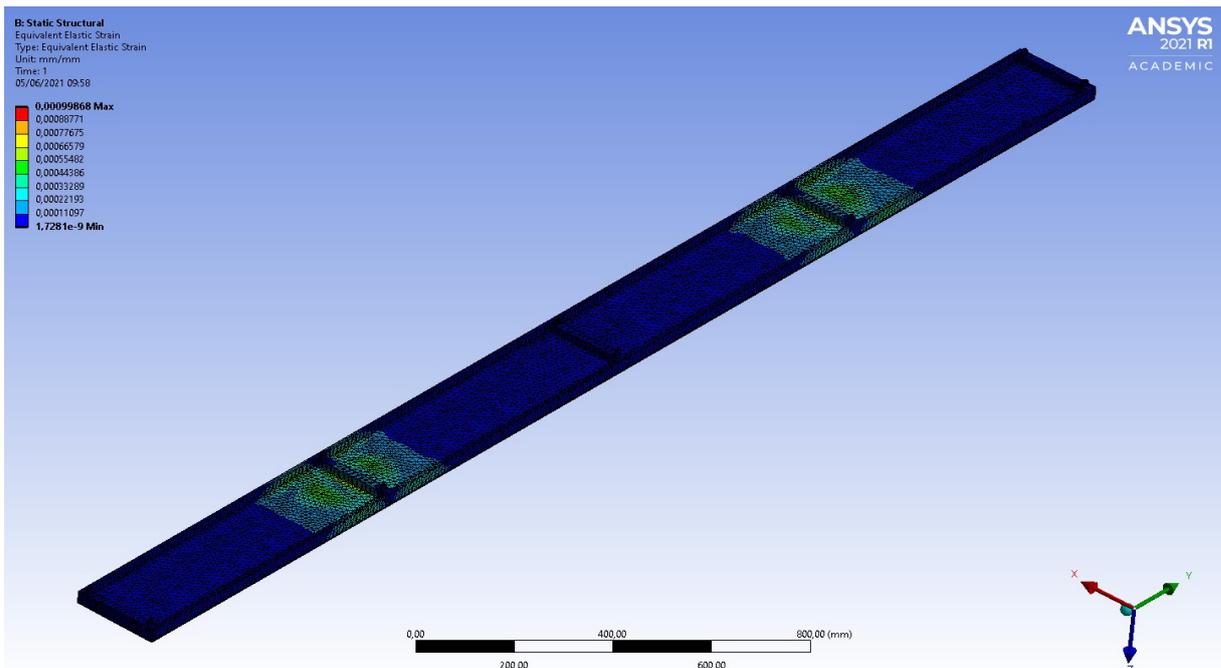
A segunda solução de simulação foi para o critério de Tensão Elástica Equivalente, que resultou em uma tensão elástica equivalente máxima de 0,0001m/mm no ponto central de rolagem dos pneus. Conforme figuras abaixo.

Figura 62: Tensão Elástica Equivalente do Ressalto 1



Fonte: Autores – ANSYS, 2021

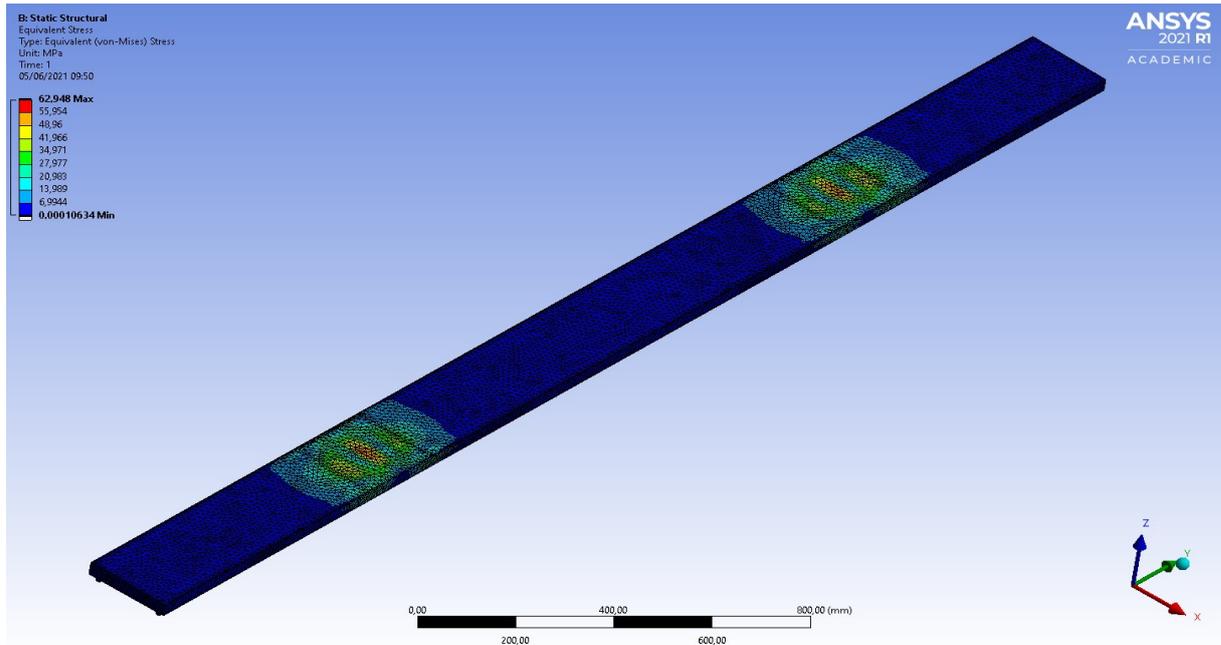
Figura 63: Tensão Elástica Equivalente do Ressalto 2



Fonte: Autores – ANSYS, 2021

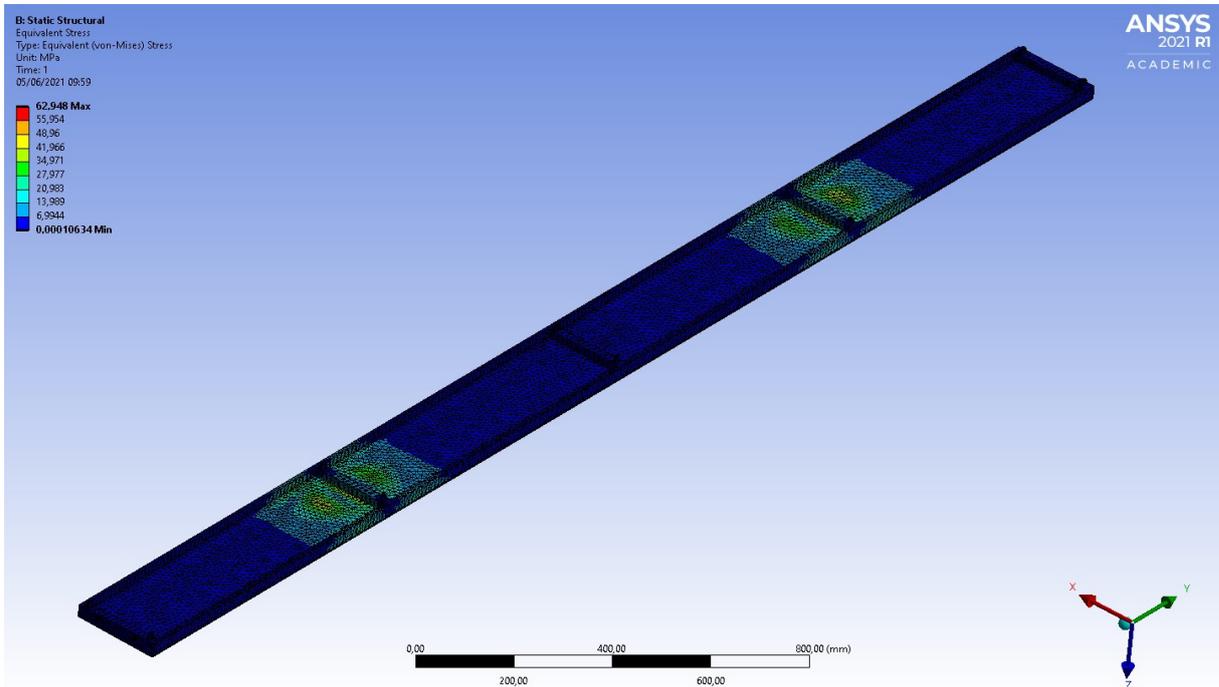
A terceira solução de simulação foi para o critério de Tensão Equivalente por Von Mises, que resultou em uma tensão de escoamento equivalente máxima de 62,95MPa no ponto central de rolagem dos pneus. Conforme figuras abaixo.

Figura 64: Tensão Equivalente do Ressalto 1



Fonte: Autores – ANSYS, 2021

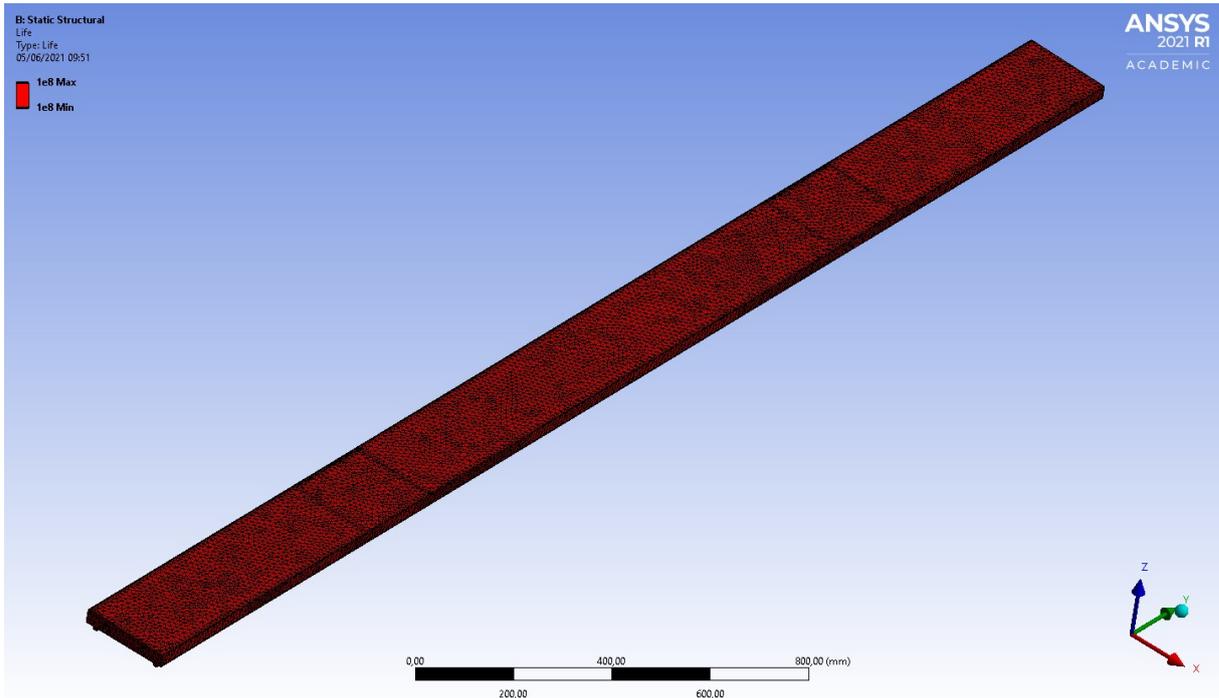
Figura 65: Tensão Equivalente do Ressalto 2



Fonte: Autores – ANSYS, 2021

A quarta solução de simulação foi para o critério de Fadiga, foi utilizado uma força de 7500N na vertical para baixo, representando a média dos esforços solicitados por eixo nos veículos de passeio, resultando em um tempo de vida de 100.000.000 ciclos. Conforme figura abaixo.

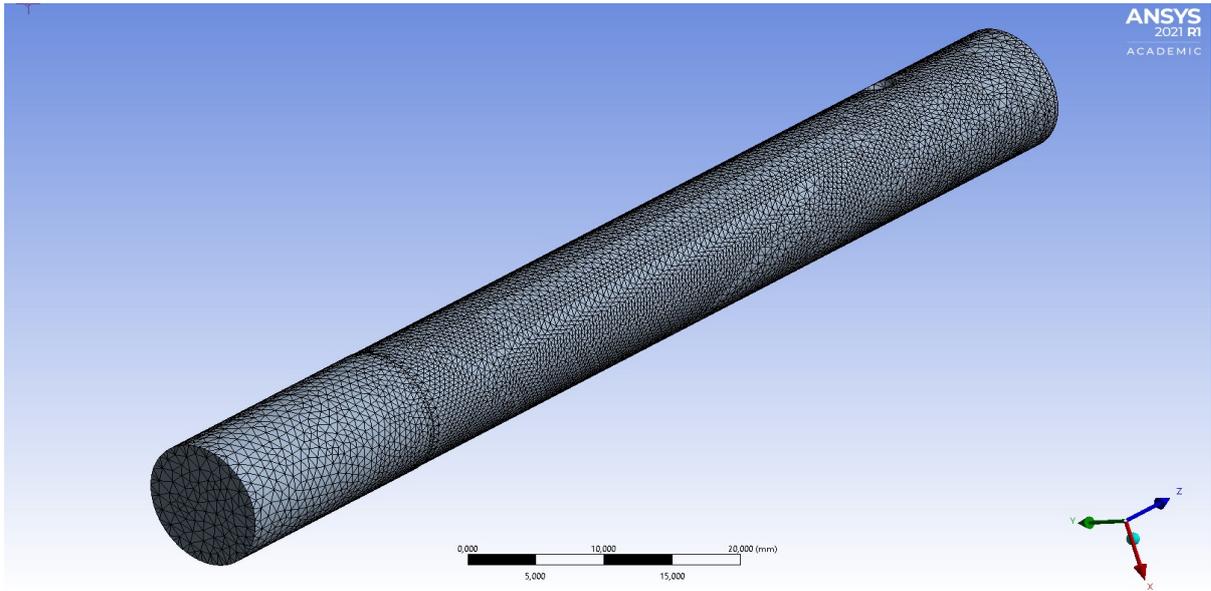
Figura 66: Fadiga do Ressalto



Fonte: Autores – ANSYS, 2021

Na simulação do Pino utilizamos as ferramentas “Modal” e “Stratic Structural”, abrindo a interface “Mechanical” foi inserido o material como Aço SAE 1045, para a configuração da malha, o menor tamanho de elemento de malha que a versão utilizada permitiu a simulação foi de 0,5 mm para a geometria do pino, gerando 66.862 elementos. Conforme figura abaixo.

Figura 67: Malha do Pino

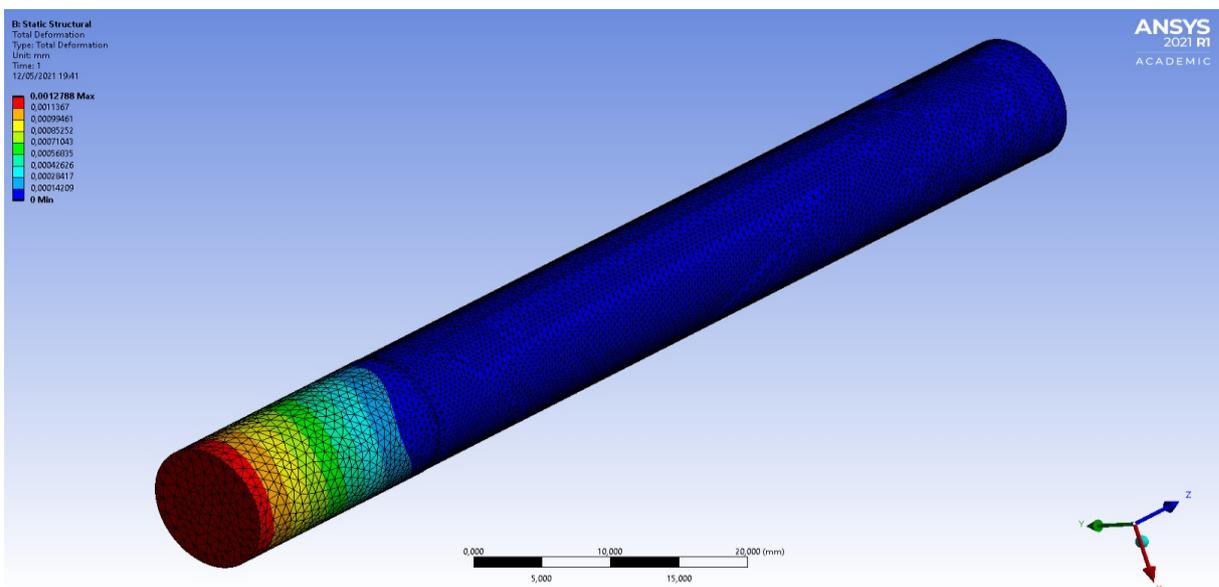


Fonte: Autores – ANSYS, 2021

Nos parâmetros de simulação, foi inserido: suporte de fixação no local de fixação do pino na base, força vertical para cima com o valor de 96N nas áreas que sofreram esforços resultantes das molas, que mantêm o ressalto na posição original. Para essa simulação utilizamos os valores máximos de forças que o pino iria ser submetido em sua utilização.

A primeira solução de simulação foi para o critério de deformação total, que resultou em uma deformação total máxima de 0,0013 mm na área de contato com o ressalto. Conforme figura abaixo.

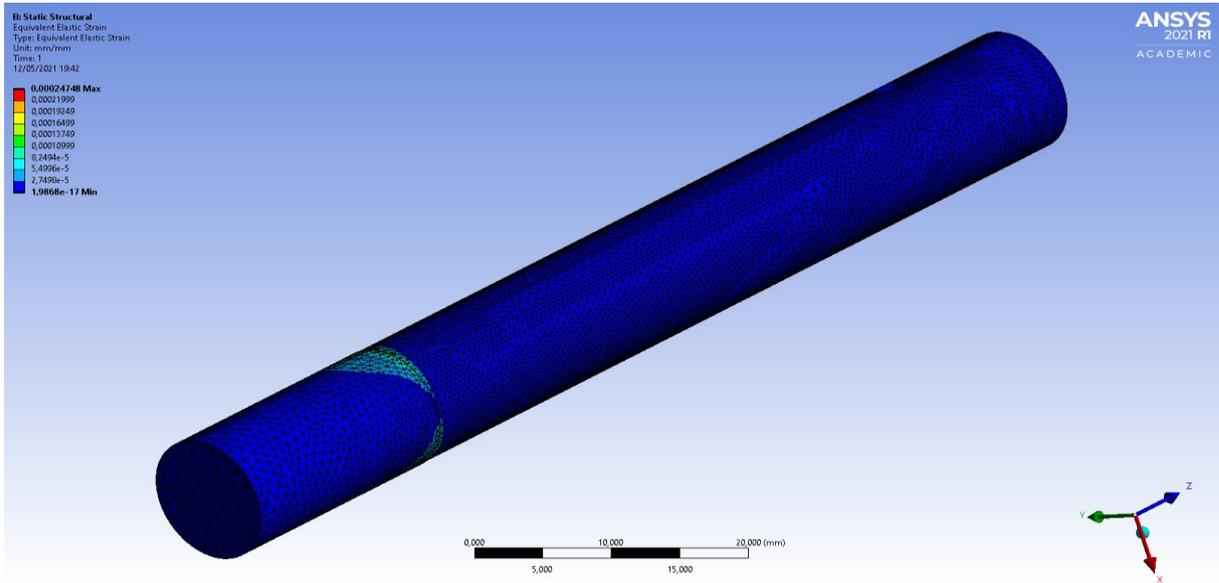
Figura 68: Deformação Total do Pino



Fonte: Autores – ANSYS, 2021

A segunda solução de simulação foi para o critério de Tensão Elástica Equivalente, que resultou em uma tensão elástica equivalente máxima de 0,00025 mm/mm no ponto inicial de esforço do contato do pino com o ressalto. Conforme figura abaixo.

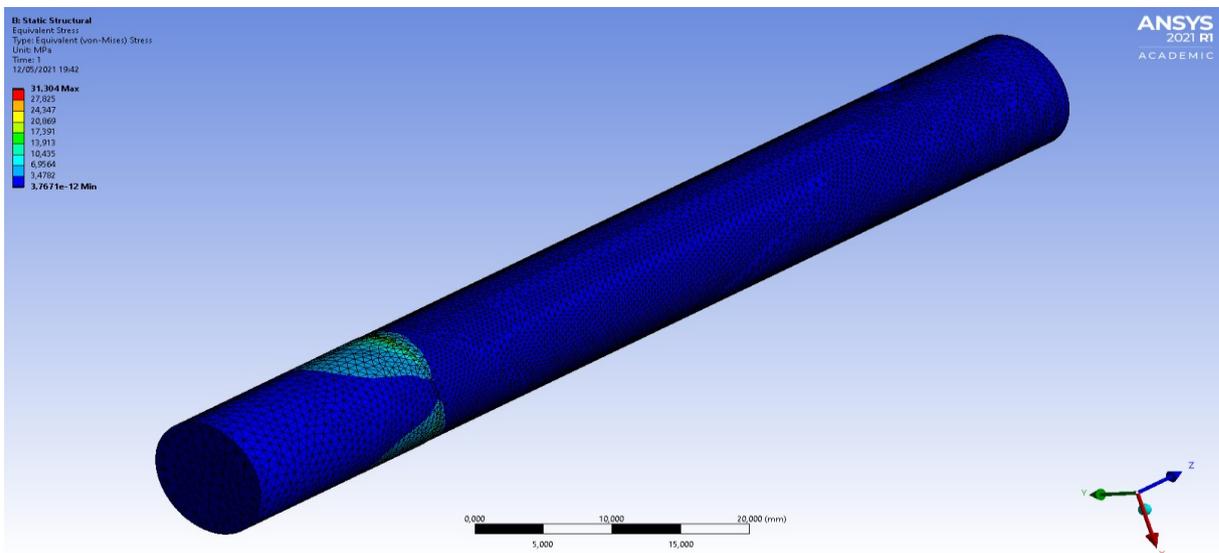
Figura 69: Tensão Elástica do Pino



Fonte: Autores – ANSYS, 2021

A terceira solução de simulação foi para o critério de Tensão de Escoamento Equivalente por Von Mises, que resultou em uma tensão de escoamento equivalente máxima de 31,3 MPa no ponto inicial de esforço do contato do pino com o ressalto. Conforme figura abaixo.

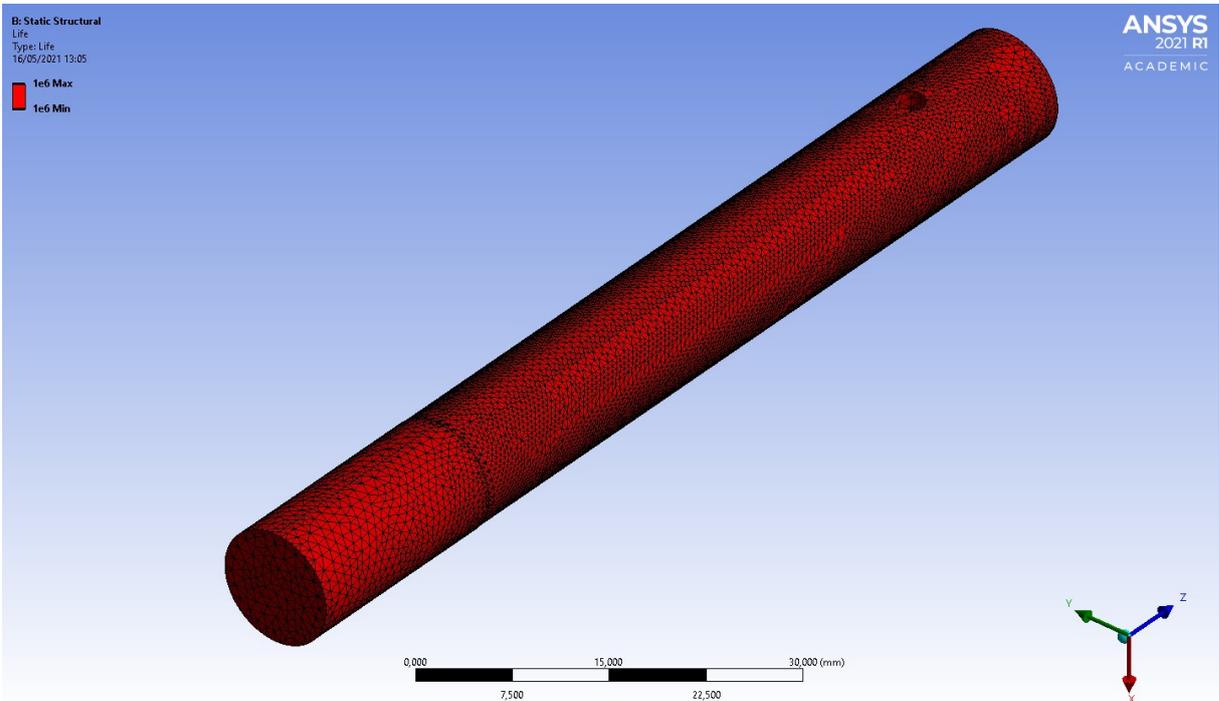
Figura 70: Tensão de Escoamento do Pino



Fonte: Autores – ANSYS, 2021

A quarta solução de simulação foi para o critério de Fadiga, que resultou em um tempo de vida de 1.000.000 ciclos, sendo assim, considerado vida infinita. Conforme figura abaixo.

Figura 71: Fadiga do Pino



Fonte: Autores – ANSYS, 2021

16 CONCLUSÃO

Em suma, pode-se compreender que o projeto atendeu ao principal objetivo de projetar e simular a implementação de placas em rodovias para geração de energia sustentável através do fluxo de veículos.

Com o desenvolvimento dos estudos foi possível realizar pesquisas de componentes capazes de atingir o melhor funcionamento da placa com forma de geração de energia limpa.

O projeto Power Generator Board (PGB), destaca-se em relação a outras alternativas de geração de energia através do fluxo de automóveis pelo fato de não apresentar um desconforto aos passageiros e muito menos uma sensação de gerar uma energia supostamente limpa, podendo impactar outros meios.

Com a motivação dos estudos, pode-se concluir que o projeto PGB é capaz de gerar energia, porém com algumas limitações físicas e financeiras, que são comuns nesse tipo de projeto.

Devido ao elevado custo para a construção do sistema, que demanda espaço para o alojamento do dispositivo e resistência aos esforços atuantes, na aplicação e incluindo fatores externos como a alta do dólar e a falta de matéria prima no mercado atual, sendo sugestivo uma busca por materiais de menor custo e perfis de estrutura que otimizem a resistência mecânica e capacidade de geração. O projeto possui um grande potencial para desafios de continuidade a ser realizado para se obter o maior rendimento.

17 REFERÊNCIAS

- ALBANO, João. **Área e pressão de contato dos pneus com a superfície de um pavimento**. Porto Alegre, p. 1-9, 1998.
- ANDRÉ JULIÃO. **Energia limpa sob nossos pés - ISTOÉ Independente**. ISTOÉ Independente. Disponível em: https://istoe.com.br/73214_ENERGIA+LIMPA+SOB+NOSSOS+PES/. Acesso em: 11 Nov. 2020.
- ANSYS | ENGINEERING SIMULATION SOFTWARE. Disponível em: <https://www.ansys.com/>. Acesso em: 1 jun. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101:Iluminação pública – Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 1-43, 2012.
- BORGES, Leonardo. **SolaRoad: Holanda e a primeira ciclovia solar do mundo – AUTOSSUSTENTÁVEL**. Autossustentavel.com. Disponível em: <https://autossustentavel.com/2017/05/solaroad-ciclovia-solar.html>. Acesso em: 31 Oct. 2020.
- BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna**. São Paulo, v. 1, p. 1-277, 2012.
- **Calçada que gera energia é inaugurada em rua de Londres | CicloVivo**. CicloVivo. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/inovacao/tecnologia/rua-inteligente-que-gera-energia-e-inaugurada-em-londres/>. Acesso em: 31 Oct. 2020.
- CARAVALO, Daniel. **Eletromagnetismo I**. São Paulo, p. 1-14, 2016. Disponível em: <http://www.unespeletromag.com/pdf/eletromag1aula23.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.
- COFFANI, Isadora. **Piezeletricidade: a geração de energia elétrica do futuro**. Portogente.com.br. Disponível em: <https://portogente.com.br/portopedia/99788-piezeletricidade-a-geracao-de-energia-eletrica-do-futuro>. Acesso em: 31 Oct. 2020.
- **Dispositivo gera energia elétrica através do movimento dos carros | CicloVivo**. CicloVivo. Disponível em: https://ciclovivo.com.br/inovacao/tecnologia/designer_cria_dispositivo_para gerar_energia_eletrica_atraves_do_movimento_dos_carros/. Acesso em: 31 Oct. 2020.
- DNIT | DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/Pesagem/qfv%20pdf.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2021.
- DUARTE, Écio Naves. **Mecânica do contato**. Mecânica do contato entre corpos revestidos, São Paulo, p. 25-36, 2016. Disponível em:

<https://openaccess.blucher.com.br/article-details/mecanica-do-contato-20074>. Acesso em: 22 mar. 2021.

- EMURA, Marília. **Propriedades magnéticas de ímãs aglomerados e nanocristalinos**. São Paulo, p. 1-187, 199. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/43/43133/tde-09102012-145903/publico/45609EmuraMarilia.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2021.
- FÁBIO REYNOL - AGÊNCIA FAPESP. **Piso gera eletricidade pela passagem de veículos e pedestres**. Site Inovação Tecnológica. Disponível em: <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=energia-piezoelétrica#.X53Bz4hKh-N>. Acesso em: 31 Oct. 2020.
- GANZAROLLI, Franciso. **Influência das frequências de ride no conforto e dirigibilidade veiculares na faixa linear de uso do veículos**. São Carlos, p. 1-134, 2012. Disponível em: <https://www.readcube.com/articles/10.11606%2Fd.18.2012.tde-05092012-073800>. Acesso em: 3 dez. 2021.
- GARCIA, A. **TOM**, Transformação de Oscilação Mecânica, 1999. 83 f. TCC (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, 1999.
- GUARDIAN STAFF REPORTER. **Sainsbury’s brings green power to the checkout with “kinetic plates.”** the Guardian. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2009/jun/15/sainsburys-kinetic-plates-speed-bumps>. Acesso em: 10 Nov. 2020.
- GUARDIAN STAFF REPORTER. **Speed bumps to get new role as a source of green energy.** the Guardian. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2009/feb/08/alternative-energy-speed-bumps>. Acesso em: 10 Nov. 2020.
- HESSEL, R.; FRESCHIA, A.; SANTOS, F.; **Lei de indução de Faraday: Uma verificação experimental**. Revista Brasileira de Ensino de Física, [S.l], v. 37, n.1, p 1-7, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277964728_Lei_de_inducao_de_Faraday_Uma_verificacao_experimental. Acesso em: 21 mar. 2021.
- **Hit the road - taking energy from traffic**. euronews. Disponível em: <https://www.euronews.com/2014/09/03/hit-the-road-taking-energy-from-traffic>. Acesso em: 31 Oct. 2020.
- KOSOW, Irving. **Máquinas elétricas e transformadores**. [S.l], p. 1-689, 1982. Disponível em:

<http://eel.arrozcru.org/eel7073/M%C3%A1quinas%20El%C3%A9tricas%20e%20Transformadores%20-%20Kosow.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2021.

- LOPES, Leonardo. **Uma avaliação da tecnologia LED na iluminação pública**. Rio de Janeiro, p. 1-81, 2014. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010665.pdf>. Acesso em: 29 maio 2021.
- MARIANE MENDES TEIXEIRA. **O que é energia mecânica?** Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-energia-mecanica.htm>. Acesso em: 16 Nov. 2020.
- Moodle USP: e-Disciplinas. edisciplinas.usp.br. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5679424/mod_resource/content/1/NBR%206158.pdf. Acesso em: 5 Jun. 2021.
- MORLIN, Fernando. **Análise da dinâmica vertical de um veículo fora de estrada**. Paraná, p. 1-71, 2017. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9223/1/PB_DAMEC_2017_2_11.pdf. Acesso em: 16 mar. 2021.
- MUSSOI, Fernando. **Sinais Senoidais: Tensão e corrente alternadas**. Florianópolis, p. 1-187, 2006. Disponível em: https://www.electronica-pt.com/images/fbfiles/files/Sinais_Senoidais_Tensao_e_Corrente_Alternadas_CEFET_SC.pdf. Acesso em: 2 nov. 2020.
- NX | SIEMENS DIGITAL INDUSTRIES SOFTWARE. Disponível em: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/pt/products/nx/>. Acesso em: 1 jun. 2021.
- **Pastilha Piezoelétrico – Vida de Silício**. Disponível em: <https://www.vidadesilicio.com.br/pastilha-piezoelétrico-27mm-com-fio>. Acesso em: 16 Nov. 2020.
- **Pavegen | Smart Cities - Connecting people to places**. Pavegen. Disponível em: <https://pavegen.com/smart-cities/>. Acesso em: 31 Oct. 2020.
- **Pilot projects – SolaRoad**. Solaroad.nl. Disponível em: <https://www.solaroad.nl/portfolio/>. Acesso em: 31 Oct. 2020.
- POMILIO, J. A., **Eletrônica de Potência**. [S.l], p. 1-33, [entre 2000 e 2020]. Disponível em: <https://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/eltpot/cap3.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2021.

- **Quais as medidas de um carro?** Carro de Garagem. Disponível em: <https://www.carrodegaragem.com/quais-medidas-carro/#:~:text=Um%20carro%20popular%20comum%20tem,largura%20de%20at%C3%A9%202%20metros>. Acesso em: 11 Nov. 2020.
- **Revista Galileu - NOTÍCIAS - Lombada inteligente gera energia enquanto carros passam.** Globo.com. Disponível em: <http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI125087-17783,00-LOMBADA+INTELIGENTE+GERA+ENERGIA+ENQUANTO+CARROS+PASSA M.html>. Acesso em: 11 Nov. 2020.
- SANTOS, Erick; MATSUMOTO, Ricardo. **DIBB – Dimensionador de banco de baterias.** Curitiba, p. 1-50, 2010. Disponível em: <http://www.cricte2004.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/160.pdf>. Acesso em: 1 maio 2021.
- SECRETARIA DOS TRANSPORTES DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Projeto de iluminação de rodovias.** [S.l], p. 1-23, 2006.
- Sem autor. **Exposição aos campos eletromagnéticos no local de trabalho.** [S.l], 2018. Disponível em: <https://www.manutencaoesuprimentos.com.br/exposicao-aos-campos-eletromagneticos-no-local-de-trabalho/#gsc.tab=0>. Acesso em: 8 de maio 2021.
- Sem autor. **Força eletromotriz induzida – transformadores.** [S.l], [entre 2000 e 2020]. Disponível em: <https://fisicaevestibular.com.br/novo/eletricidade/eletromagnetismo/forca-eletromotriz-induzida-transformadores/>.
- Sem autor. **Lei de Faraday.** [S.l], p. 1-8, [entre 2000 e 2020]. Disponível em: http://www.fma.if.usp.br/~mlima/teaching/4320292_2012/Cap8.pdf. Acesso em: 29 out. 2020.
- Sem autor. **Lei de Indução de Faraday.** São Carlos, p. 1-13, [entre 2000 e 2020]. Disponível em: <http://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2010-2%20FFI0106%20LabFisicaIII/11-LeideInducaodeFaraday.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.
- Sem autor. **Manual de estudos de tráfego.** Rio de Janeiro, p.1-388, 2006. Disponível em: http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/manual_estudos_trafego.pdf. Acesso em: 22 set. 2020.
- Sem autor. **Manual de iluminação pública.** Paraná, p. 1-44, 2012. Disponível em: <https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%E7%E3o%20P%FAblic>

- a/Manuais/manual_de_iluminacao_publica_copel_companhia_paranaense_de_energia.pdf. Acesso em: 22 set. 2020.
- SETIC-UFSC. **Rodovias Verdes**. Ufsc.br. Disponível em: <https://rodoviasverdes.ufsc.br/2016/05/30/portugues-brasil-geracao-de-energia-em-rodovias/>. Acesso em: 31 Oct. 2020.
 - SETIC-UFSC. **Rodovias Verdes**. Ufsc.br. Disponível em: <https://rodoviasverdes.ufsc.br/2016/05/30/portugues-brasil-geracao-de-energia-em-rodovias/>. Acesso em: 31 Oct. 2020.
 - SETTI, D. **LGE**, Lombada Geradora de Energia, 2011. 76 f. TCC (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, 2011.
 - SILVA, Bruno. **Eletrodinâmica: Leis de Faraday e Lenz**. Santa Catarina, p. 1-10, 2014. Disponível em: https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/a/a6/ELM20704_Eletrodin%C3%A2mica_-_Leis_de_Faraday_e_Lenz.pdf. Acesso em: 29 out. 2020.
 - SILVA, Gabriel. **Escolha de parâmetros para análise de contato entre corpos elásticos usando elementos finitos e redes neurais**. São Paulo, p. 1-126, 2009. Disponível em: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:xco77jcOhgMJ:repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/265005/1/Silva_GabrielHattorida_M.pdf+&cd=5&hl=en&ct=clnk&gl=br. Acesso em: 29 maio 2021.
 - SILVEIRA, Fernando. **Potência de tração de um veículo automotor que se movimenta com velocidade constante**. Revista Brasileira de Ensino de Física, Rio Grande do Sul, v. 33, p. 1-7, 2011. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Pot_veloc.pdf. Acesso em: 22 set. 2020.
 - SOARES et al. **Estudo de alto-falantes a partir de materiais magnéticos macios sinterizados**. Estudos tecnológicos em engenharia, [S.l.], v. 11, n. 2, p. 92-105, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/305216913_Estudo_de_alto-falantes_a_partir_de_materiais_magneticos_macios_sinterizados. Acesso em: 22 mar. 2021.
 - SOARES, Elvis. **Cap. 8 – Indução Eletromagnética**. Rio de Janeiro, p. 1-11, 2014. Disponível em: http://sites.if.ufrj.br/esoares/wp-content/uploads/sites/50/2014/08/8-Inducao_Eletromagnetica.pdf. Acesso em: 10 out. 2020.

- TELES, Jhonata. **Tudo que você precisa saber sobre manutenção preventiva.** [S.l], 2018. Disponível em: <https://engeteles.com.br/o-que-e-manutencao-preventiva/>. Acesso em: 8 maio 2021.
- **Tráfego e trânsito de veículos e pessoas.** Ebanataw.com.br. Disponível em: <http://www.ebanataw.com.br/trafegando/faixas.htm>. Acesso em: 11 Nov. 2020.
- TRAN, Long. **Generate Electricity From All Those Cars | Yanko Design.** Yankodesign.com. Disponível em: <https://www.yankodesign.com/2011/09/01/generate-electricity-from-all-those-cars/>. Acesso em: 31 Oct. 2020.
- TRAY TECNOLOGIA. [ímã de neodímio 40x20x10 mm N35][Bloco][Polo Magnético][ímã][ímã de neodímio em forma de Bloco]. Polomagnetico.com.br. Disponível em: <https://www.polomagnetico.com.br/ima-de-neodimio/bloco/ima-de-neodimio-40-x-20-x-10-mm-n35>. Acesso em: 5 Jun. 2021.