



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

JOEL DO AMARAL GURGEL NETO

**CONSTRUÇÃO DE GERADOR DE HIDROGÊNIO POR MEIO DE ELETRÓLISE AQUOSA
PARA REDUZIR O CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM VEÍCULOS COM MOTOR A
COMBUSTÃO**

CARAÚBAS - RN
2019

JOEL DO AMARAL GURGEL NETO

**CONSTRUÇÃO DE GERADOR DE HIDROGÊNIO POR MEIO DE ELETRÓLISE AQUOSA
PARA REDUZIR O CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM VEÍCULOS COM MOTOR A
COMBUSTÃO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof^a. Dr^a GUYMMANN CLAY DA SILVA.

CARAÚBAS - RN

2019

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

N469c Neto, Joel do Amaral Gurgel.
Construção de Gerador de Hidrogênio por Meio de
Eletrólise Aquosa para Reduzir o Consumo de
Combustível em Veículos com Motor a Combustão /
Joel do Amaral Gurgel Neto. - 2019.
61 f. : il.

Orientadora: Guymann Clay da Silva Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2019.

1. Gerador de Hidrogênio. 2. Eletrólise. 3.
Energia Renovável. 4. Veículo Automotor. 5.
Combustível. I. Silva, Guymann Clay da Silva,
orient. II. Título.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

Setor de Informação e Referência

Bibliotecário-Documentalista
Nome do profissional, Bib. Me. (CRB-15/10.000)

JOEL DO AMARAL GURGEL NETO

**CONSTRUÇÃO DE GERADOR DE HIDROGÊNIO POR MEIO DE ELETRÓLISE AQUOSA
PARA REDUZIR O CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM VEÍCULOS COM MOTOR A
COMBUSTÃO**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em Ciência
e Tecnologia.

Defendida em: 12 / 08 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

[Redacted Signature]

Dra. Guymmann Clay da Silva (UFERSA)
Presidente

[Redacted Signature]

Dr. Rafael Luz Espindola. (UFERSA)
Membro Examinador

[Redacted Signature]

Dra. Edna Lucia da Rocha Linhares (UFERSA)
Membro Examinador

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente ao nosso Senhor Deus, por ser essencial em minha vida, sempre me ajudando muito em todos os momentos.

Ao meu pai Ed Gurgel e minha mãe Iris Gurgel, aos meus irmãos Ed Junior, Elder Gurgel, Eduardo Gurgel, Igor Gurgel, a minha avó Salete Lima, a minha namorada Daiara Melquíades e a toda minha família que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

À professora e coordenadora do curso Bacharel em Ciências e Tecnologia Guymmann Clay da Silva, pelo convívio, pelo apoio, pela compreensão e amizade.

À todas as pessoas que já participaram da equipe Acceptor Aerodesin, em especial à Lorano Matheus, Lucas Hanibal, Alefjohn, Moises Medeiros e aos orientadores Wendell Albano, Rafael Luz e Filipe Marques.

Às pessoas com quem convivi na universidade ao longo desses anos. A experiência de uma produção compartilhada na comunhão com amigos nesses espaços foram a melhor experiência da minha formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Quero Agradecer primeiramente à Deus, que em sua infinita sabedoria colocou força em meu coração para vencer essa etapa de minha vida. A fé no Senhor, sem dúvidas, me ajudou a lutar até o fim durante todo o curso.

Gostaria de agradecer em especial a minha família, a minha mãe Iris Gurgel e ao meu pai Ed Gurgel, que sempre me ajudaram nos momentos difíceis durante todo o curso, obrigado ao meu querido irmão Igor Gurgel por propulsionar muitas felicidades e aos demais irmãos Ed Junior, Eduardo e Elder Gurgel, por ser tão companheiros, à minha namorada Daiara Melquíades que me ajudou bastante nesse final de curso, sempre me ajudando nas dificuldades. Deixo aqui um agradecimento especial a vovó Salete Lima que sempre me ajudou e que lutou junto comigo para eu está aqui hoje, sempre foi o meu maior exemplo de luta e determinação nessa vida.

Agradeço a todos os professores da instituição, especialmente a professora Edna Lucia da Rocha Linhares, que desde do primeiro período sempre me motivou bastante a não desistir do curso, sendo uma das mães que o curso me deu, além de ser uma ótima professora, sempre mostrou seu belo sorriso pela universidade deixando todos em sua volta felizes assim como as professora Guymmann Clay e Rejane Dantas.

Agradeço a professora Guymmann Clay, grande orientadora que durante todo este trabalho, agradeço por sua confiança e incansável dedicação. Você nunca perdeu a fé na minha pesquisa e soube me amparar nos momentos mais difíceis sempre confiando nesse trabalho.

Agradeço aos professores participantes da banca examinadora que dividiram comigo este momento tão importante e esperado: Prof^ª. Dr^ª. Guymmann Clay da Silva, Prof^ª. Dr^ª. Edna Lucia da Rocha Linhares e Prof. Dr. Rafael Luz Espindola.

Agradeço também aos grandes amigos que a universidade me deu, Lorano, Paulo Neto, Mateus Praxedes, José Hugo, Moises Medeiros, Esdras, Lizandra Marinho, Jefferson, Lorena Coringa, Ozório, Gessica Moura, Ana Paula, Alefjohn, Lucas Hanibal, Luan, Jairo e Anderson, que nunca negaram um apoio durante minha trajetória acadêmica.

Agradeço todos os membros da equipe Acceptor Aerodesign, e aos orientadores que passaram pelo o projeto Wendell Albano, Rafael Luz e Filipe Marques.

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar

RESUMO

Um grande problema ambiental vem sendo gerado desde do início da primeira revolução industrial graças a liberação dos gases como Dióxido de Carbono e pela queima de combustíveis fósseis. Os conceitos utilizados abordam temas como geração e utilização de energia, com ênfase para o processo de obtenção através de recursos limpos e renováveis, bem como a relevância de sua aplicação e utilização como combustível auxiliar para veículos com motor a combustão. Para tanto, tem-se como objetivo, desenvolver um gerador de hidrogênio e um sistema de adaptação para veículos para utilização do gás hidrogênio como fonte de energia complementar, afim de avaliar, tanto o grau de eficiência do sistema quando implementado a um veículo, quanto o consumo de combustível do automóvel com a efetivação do gerador proposto. O projeto do gerador de hidrogênio foi realizado com o auxílio do *software Auto Desk Inventor 3D* e os dados para modelagem, construção e implementação do gerador, foram extraídos de testes realizados em laboratório, onde, com base na teoria e nos experimentos, foram escolhidos os dados dos resultados que apresentaram uma maior eficiência. O trabalho resultou-se em alternativa para a geração e utilização de energia provinda do uso de recursos limpos e renováveis, visando uma economia no consumo de combustível em veículos automotores, com a implementação de um gerador de hidrogênio de baixo custo, reduzindo o uso dos combustíveis não renováveis, permitindo uma minimização dos impactos ambientais e sociais acarretados pelo uso desse tipo de energia.

Palavras chave: Gerador de Hidrogênio. Eletrólise. Energia Renovável. Veículo Automotor. Combustível.

ABSTRACT

A major environmental problem has been created since the beginning of the first industrial revolution thanks to the release of gases like carbon dioxide and the burning of fossil fuels. The concepts used cover topics such as energy generation and use, with emphasis on the process of obtaining through clean and renewable resources, as well as the relevance of its application and use as auxiliary fuel for combustion engine vehicles. For such, the object of study is the degree of efficiency of the system when implemented to a Chevrolet Corsa Classic type vehicle and evaluation of the fuel consumption of the car with the implementation of the proposed generator. The design of the hydrogen generator was carried out with the aid of Auto Desk Inventor 3D software and the data for modeling, construction and implementation of the generator were extracted from laboratory tests, where, based on theory and experiments, the following were chosen: data from the results that showed the highest efficiency. The work resulted in an alternative for the generation and utilization of energy from the use of clean and renewable resources, aiming at saving fuel consumption in motor vehicles, with the implementation of a low cost hydrogen generator, reducing the use of non-renewable fuels, allowing the minimization of the environmental and social impacts caused by the use of this type of energy.

Keywords: Hydrogen Generator. Electrolysis. Renewable Energy. Automotive vehicle. Fuel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Tabela periódica.....	4
Figura 02 - Esquema do processo de eletrólise ígnea do cloreto de sódio.	7
Figura 03 - Ionização ou dissociação de eletrolítico em água.	8
Figura 04 - 1° Tempo; Entrada da carga no cilindro.	10
Figura 05 - 2° Tempo; Compressão da carga no cilindro.....	11
Figura 06 - 3° Tempo; Combustão/Expansão.	12
Figura 07 - 4° Tempo; Expulsão ou escape de gases de combustão.	12
Figura 08 - Polaridade das placas.	15
Figura 09 - Vista Vertical do gerador de hidrogênio.....	16
Figura 10 - Relé Automotivo.....	19
Figura 11 - Fusível para proteção contra sobrecarga.....	19
Figura 12 - Sistema Eelétrico.	20
Figura 13 - Reservatório onde será armazenada a solução.....	21
Figura 14 - Filtro utilizado na separação do gás com as bolhas.	21
Figura 15 - Instalação do sistema de geração de hidrogênio.....	22
Figura 16 - Vista frontal com as dimensões da placa neutra.	25
Figura 17 - Vista frontal das placa positiva e negativa.....	25
Figura 18 - Anel de oring com as dimensões.	26
Figura 19 - Vista frontal das placas superior e inferior de acrílico.	26
Figura 20 - Perspectiva do gerador de hidrogênio no Software Inventor Autodesk 3D.	27
Figura 21 - Placas de acrílico superior e inferior finalizadas.	28
Figura 22 - Placas (eletrodos) positivas, negativas e neutras finalizadas.	29
Figura 23 - Perspectivas do gerador de hidrogênio montado.	29
Figura 24 - Vista frontal do gerador de hidrogênio montado.	30
Figura 25 - Vista frontal do gerador de hidrogênio montado.	30
Figura 26 - Soluções de Sulfato de Potássio.	31
Figura 27 - Corrente consumida pelo o sistema utilizando a solução K ₂ SO ₄ , 2,5 % de concentração.	32
Figura 28 - Soluções de Nitrato de Potássio.....	33
Figura 29 - Processo realizado para produção de hidrogênio e verificação da corrente utilizando KNO ₃ 2,5 % de concentração.	34
Figura 30 - Soluções de Hidróxido de Sódio.....	35
Figura 31 - Verificação da corrente consumida pelo gerador durante a eletrólise.	36
Figura 32 - Sistema utilizando uma bateria de carro como fonte de alimentação para o sistema, com solução na concentração de 50 % de NaOH.	38
Figura 33 - Sistema adaptado no veículo.	39
Figura 34 - Veiculo utilizado para os testes.	40
Figura 35 - Trajeto realizado pelo o veículo nos testes.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Correntes obtidas nos testes das soluções.	37
Tabela 02 - Correntes obtidas nos utilizando NaOH.	37
Tabela 03 - Teste utilizando somente gasolina (com ar condicionado desligado).	41
Tabela 04 - Teste utilizando gasolina mais adição do hidrogênio (com ar condicionado desligado).	42
Tabela 05 - Teste utilizando somente gasolina (com ar condicionado ligado).	42
Tabela 06 - Teste utilizando gasolina mais adição do hidrogênio (com ar condicionado ligado).	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Celsius
A	Ampères
A _{CG}	Área do Círculo do Gerador
A _{cir}	Área do Círculo;
CH ₄	Metano
Cl	Cloro
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro quadrado
CO ₂	Dióxido de Carbono
D _{MCV}	Demanda Máxima de Corrente do Veículo
Dr	Doutor
e	Elétron
FCV	<i>Fuel Cell Vehicle</i>
H ₂	Hidrogênio
I _{AML}	Corrente do alternador em marcha lenta
I _{CAPC}	Corrente do alternador em plena carga
I _{CBV}	Corrente da Bateria do Veículo
I _{CLBF}	Corrente Elétrica Máxima do Gerador de Hidrogênio
in ²	Polegada Quadrada
K ₂ SO ₄	Sulfato de Potássio
km	Quilometro
KNO ₃	Nitrato de Potássio
m	Metro
ml	Mililitro
NaOH	Hidróxido de Sódio
O ₂	Oxigênio
PMI	Ponto Morto Inferior
PMS	Ponto Morto Superior
Prof.	Professor
R	Raio do Círculo
R\$	Real
R _{AO}	Raio do anel de oring

LISTA DE SÍMBOLOS

©	Copyright
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
3 REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1 HIDROGÊNIO.....	4
3.2 ELETROQUÍMICA	5
3.2.1 ELETRÓLISE ÍGNEA.....	6
3.2.2 ELETRÓLISE AQUOSA	7
3.2.3 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA.....	8
3.2.4 CICLO OTTO	9
4 METODOLOGIA	13
4.1.1 DIMENSIONAMENTO DA CORRENTE ELÉTRICA MÁXIMA DO GERADOR DE HIDROGÊNIO.....	13
4.1.2 DIMENSIONAMENTO DAS PLACAS	14
4.1.3 MODELAGEM.....	17
4.1.4 CONSTRUÇÃO DO GERADOR.....	17
4.1. 5 TESTE DE SOLUÇÕES	17
4.1.6 ADAPTAÇÃO DO KIT NO VEÍCULO TIPO CORSA CLASSIC	18
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
5.1 DIMENSIONAMENTO DA CORRENTE ELÉTRICA MÁXIMA DO GERADOR DE HIDROGÊNIO.....	23
5.2 DIMENSIONAMENTO DAS PLACAS	23
5.5 ELETRÓLISE	31
5.6 ADAPTAÇÃO DO KIT NO VEÍCULO.....	39
5.7 TESTE NO VEICULO.....	39
6 CONCLUSÕES.....	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1 INTRODUÇÃO

Em meados do século XVIII, desde o início da Primeira Revolução Industrial na Inglaterra, o mundo passou a ser observado de forma menos sustentável. Isso devido a criação de máquinas a vapor movidas a partir de combustíveis de fontes não renováveis, como o carvão mineral e o petróleo (YAN, 2018). A humanidade tem enfrentado diversos problemas ambientais, dentre os quais se destacam o aquecimento global, que tem aumentado bastante devido as atividades humanas. Com a Primeira Revolução Industrial, observou-se um grande crescimento econômico a partir da criação da máquina a vapor e com o uso extensivo da eletricidade (QUINTANEIRO, 2003), isso fez com que ocorresse uma mudança nos hábitos da sociedade, que passou a fazer uso de combustíveis fósseis sem se preocupar com os impactos ambientais (PIVA, 2010).

O crescimento do sistema econômico capitalista acarretou consigo várias mudanças, uma vez que o mercado passou a substituir os trabalhadores por máquinas térmicas, visando maximizar seus lucros e ocasionando um grande colapso que vem se expandindo até os dias atuais (QUINTANEIRO, 2003). Desde o fim da Segunda Guerra Mundial o avanço tecnológico tem aumentado exponencialmente, com ênfase para a indústria aeronáutica e automobilística (CASSIOLATO, 2001). O aumento na produção de veículos implica em uma maior demanda por combustíveis, o que acaba gerando vários problemas ambientais e sociais causados, principalmente, pela liberação dos gases do efeito estufa na atmosfera quando o uso da matéria-prima para sua produção é de caráter não renovável (HILGEMBERG, 2006).

Um grande problema ambiental vem sendo gerado desde do início da primeira revolução industrial graças a liberação de gases como CO₂ (Dióxido de Carbono), CH₄ (Metano) e pela queima de combustíveis fósseis (DRUMM, 2014). A escassez de fontes energéticas vem resultando em um grande aumento nos preços e em conflitos entre países, frente a grande demanda que vem se estabelecendo na procura por fontes energéticas.

No Brasil mais de 30 % das emissões de CO₂ são emitidos através da queima de combustíveis nos transportes, concluindo que, no país, houve um enorme crescimento na taxa de emissão quando comparado com a média mundial. Esse crescimento está sob influência do processo de industrialização que ocorreu nas últimas décadas e também por consequência do crescimento de veículos existentes a partir de motores à combustão interna (CGEE, 2010).

Com o uso da energia gerada pela queima de combustíveis, houve um aumento significativo, tanto no desmatamento das florestas quanto na exploração do petróleo, acarretando com isso, grandes problemas ambientais devido a liberação de gases tóxicos, além

de aumentar os riscos de ocorrência de chuva ácida, destruição da camada de ozônio e aquecimento global.

Outros problemas, econômicos e sociais, também podem ser citados devido à grande demanda por combustível, como é o caso da Guerra do Yom Kippur com crise do petróleo em 1973 e também a Guerra do Golfo, no fim do século XX (ZARPELÃO, 2013). Um caso mais recente ocorreu no Brasil, que em reação ao aumento no preço de alguns combustíveis surgiu a greve dos caminhoneiros, que resultou em um grande colapso no país durante vários dias (NIDEJELSKI, 2018).

Uma alternativa para reduzir os impactos ambientais e sociais gerados pela utilização de combustíveis fósseis, é a utilização de fontes renováveis de energia, onde uma das mais estudadas é a geração de energia a base de hidrogênio, que além de ser o elemento químico mais abundante no universo (ROY, 2017), tem um grande poder energético, podendo substituir, no futuro, combustíveis derivados do petróleo (CGEE, 2010). Existem várias formas de se obter hidrogênio, onde uma das mais utilizadas atualmente é dada por meio do processo de eletrólise, que devido a sua facilidade de produção e baixo custo, é mais utilizada quando comparada a outros métodos (NAIMI e ANTAR, 2018).

A maior parte da produção de hidrogênio no mundo é utilizada como matéria-prima na fabricação de produtos como fertilizantes e também alguns processos de produção como óleo líquido em margarina, fabricação de plásticos e também no resfriamento de geradores e motores (CGEE, 2010).

A primeira célula a combustível¹ foi criada por Humphrey Davy, no início do século XIX, no entanto foi William Grove o primeiro a realizar um estudo mais aprofundado sobre o assunto, o que o levou a desenvolver a célula a combustível que posteriormente ficou conhecida como “Célula de Grove” em sua homenagem. A célula foi desenvolvida a partir do uso de eletrodos de platina e zinco, que foram imersos em ácido nítrico e sulfato de zinco e seu funcionamento exigia uma tensão de 1.8 Volts de tensão e 12 Ampères de corrente (RUDNIAK, 2009).

Conhecidos atualmente como Fuel Cell Vehicle (FCV), os veículos movidos a partir de uma célula a combustão contam com um motor elétrico, porém utilizam o hidrogênio como combustível para seu funcionamento e são bastante requisitados no mercado atualmente (MIRANDA, 2013). Entre suas principais vantagens, encontra-se a não emissão de gases e um

¹ Células a combustível são baterias que funcionam em modo contínuo e produzem corrente contínua através da combustão eletroquímica a frio de um combustível gasoso, geralmente hidrogênio (WENDT et. al., 1999).

grande custo benefício quando comparado a outros veículos que utilizam fontes não renováveis de energia, como os derivados do petróleo (SOUZA, 2018). Frente a todos os benefícios que seu uso proporciona, sua maior eficiência e seu caráter ecológico, essa tecnologia vem tomando proporções que asseguram sua continuidade para o futuro.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é desenvolver um gerador de hidrogênio e um sistema de adaptação para veículos para utilização do gás hidrogênio como fonte de energia complementar, afim de avaliar, tanto o grau de eficiência do sistema quando implementado a um veículo, quanto o consumo de combustível do automóvel com a efetivação do gerador proposto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Analisar três eletrólitos diferentes (K_2SO_4 , KNO_3 e $NaOH$) para obtenção do hidrogênio;
- ✓ Desenvolver um kit para utilização do hidrogênio em um veículo;
- ✓ Fazer adaptação no veículo do kit desenvolvido;
- ✓ Incentivar o uso de energia limpa, reduzindo o uso de combustíveis fósseis.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 HIDROGÊNIO

O elemento químico Hidrogênio, em latim *Hydrogenium*, é o mais abundante e simples na Terra (HEWITT, 2009) e compõe 75 % de toda a massa do Universo (NEGRY, 2015).

Conforme mostrado na Figura 01, o hidrogênio é representado pela letra H e está localizado na primeira casa da tabela, seu número atômico é 1 e massa atômica aproximadamente 1. Tratando-se de um elemento extremamente simples, sendo que o seu isótopo mais disponível no universo, tem-se o núcleo constituído somente por um único próton.

Figura 01 - Tabela periódica.

1 1,00794 1 H Hidrogênio	2 4,0026 2 He Hélio	3 6,941 3 Li Lítio	4 9,0122 4 Be Berílio	5 10,811 5 B Boro	6 12,011 6 C Carbono	7 14,007 7 N Nitrogênio	8 16,00 8 O Oxigênio	9 18,998 9 F Fluor	10 20,18 10 Ne Neônio	11 22,99 11 Na Sódio	12 24,305 12 Mg Magnésio	13 26,98 13 Al Alumínio	14 28,09 14 Si Silício	15 30,97 15 P Fósforo	16 32,06 16 S Enxofre	17 35,45 17 Cl Cloro	18 39,94 18 Ar Argônio	19 39,09 19 K Potássio	20 40,078 20 Ca Cálcio	21 44,96 21 Sc Escândio	22 47,88 22 Ti Titânio	23 50,94 23 V Vanádio	24 51,996 24 Cr Cromo	25 54,94 25 Mn Mangâneso	26 55,845 26 Fe Ferro	27 58,93 27 Co Cobalto	28 58,93 28 Ni Níquel	29 58,933 29 Cu Cobre	30 63,546 30 Zn Zinco	31 68,723 31 Ga Gálio	32 72,64 32 Ge Germano	33 74,922 33 As Arsênio	34 75,92 34 Se Selênio	35 79,904 35 Br Bromo	36 83,80 36 Kr Criptônio	37 85,468 37 Rb Rubídio	38 87,62 38 Sr Estrôncio	39 88,906 39 Y Ítrio	40 91,224 40 Zr Zircônio	41 92,906 41 Nb Níobio	42 95,94 42 Mo Molibdênio	43 98,906 43 Tc Técnetio	44 101,07 44 Ru Rútenio	45 102,91 45 Rh Ródio	46 106,87 46 Pd Paládio	47 107,87 47 Ag Prata	48 112,41 48 Cd Cádmio	49 114,82 49 In Índio	50 118,71 50 Sn Estanho	51 121,76 51 Sb Antimônio	52 127,60 52 Te Telúrio	53 126,91 53 I Iodo	54 131,29 54 Xe Xenônio	55 132,91 55 Cs Césio	56 137,33 56 Ba Bário	57 138,91 57 La Lantânio	58 140,12 58 Ce Cério	59 140,91 59 Pr Praseodímio	60 144,24 60 Nd Néodímio	61 146,02 61 Pm Promécio	62 150,36 62 Sm Samaritônio	63 151,96 63 Eu Európio	64 157,25 64 Gd Gadolínio	65 158,93 65 Tb Terbório	66 162,50 66 Dy Dísprio	67 164,93 67 Ho Hólio	68 167,26 68 Er Érbio	69 168,93 69 Tm Tulio	70 173,04 70 Yb Ítrio	71 174,97 71 Lu Lutécio	72 178,04 72 Hf Háfnio	73 180,95 73 Ta Tântalo	74 183,84 74 W Volfrâmio	75 186,21 75 Re Rênio	76 187,21 76 Os Ósmio	77 190,23 77 Ir Írídio	78 192,22 78 Pt Platina	79 196,97 79 Au Ouro	80 200,59 80 Hg Mercúrio	81 204,38 81 Tl Telúrio	82 207,98 82 Pb Chumbo	83 208,98 83 Bi Bismuto	84 209,98 84 Po Polônio	85 210,09 85 At Astato	86 210,09 86 Rn Radônio	87 222,02 87 Fr Frâncio	88 226,02 88 Ra Rádio	89 227,03 89 Ac Actínio	90 232,04 90 Th Tório	91 231,04 91 Pa Protactínio	92 238,03 92 U Urânio	93 237,05 93 Np Neptúlio	94 239,05 94 Pu Plutônio	95 241,06 95 Am Americônio	96 244,06 96 Cm Cúrio	97 247,07 97 Bk Bérglio	98 251,08 98 Cf Califórnia	99 252,08 99 Es Einsteinio	100 257,10 100 Fm Fermílio	101 259,10 101 Md Mendelevio	102 261,10 102 No Nobelio	103 262,11 103 Lr Lawrêncio
--------------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	---	--------------------------------------	--------------------------------------	---	-------------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--	-----------------------------------	-------------------------------------	--	--	--	--	---------------------------------------	---

Fonte: adaptado (ATKINS, 2012).

O hidrogênio foi descoberto pelo químico inglês Henry Cavendish (1731-1810) em 1766, quando em seus experimentos identificou-se as suas propriedades e o nomeou, inicialmente, de ar inflamável (NEGRY, 2015). Somente no ano 1783, o químico francês Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794), ao provar que a água é composta por esse elemento e por oxigênio, passou a chamar o ar inflamável pelo nome de hidrogênio.

No ano de 1923, o cientista John Haldane (1892–1964) foi capaz de prever o potencial² pleno do hidrogênio, que em pressão e temperatura ambiente, se mostra na forma de gás incolor, inodoro e é mais leve que o ar, porém, ocupa bastante espaço, gerando riscos de haver vazamentos e explosões, devido ao seu caráter bastante inflamável. Já em seu estado líquido, onde necessita ser armazenado sob uma temperatura de $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$, seu volume é 700 vezes menor do que quando em seu estado gasoso (GONÇALVES, 2012). Conforme Bob Boyce, 2011, em seus estudos para eletrólise usando eletrolíticos alcalinos a tensão ideal para o processo para obtenção do hidrogênio é entre 2 a 2,5 volts e um densidade de corrente eficiente de $0,33\text{ A/in}^2$ ou de $0,051\text{ A/cm}^2$ (KELLY, 2018).

Dentre suas características tem-se um bom rendimento para a geração de energia, sendo uma fonte energética limpa, uma vez que não emitem gases de efeito estufa para a atmosfera. Uma pesquisa avançada mostra a grande importância na utilização dele como forma de combustível para os automóveis junto aos carros elétricos (VELLOSO, 2010). Com isso faz-se necessário o desenvolvimento de ferramentas que possibilitem melhor aproveitamento energético.

3.2 ELETROQUÍMICA

A Eletroquímica é um ramo da Físico-Química que constitui o estudo sobre as reações que permitem a transferência de elétrons entre si (O'MULLANE, 2013), gerada através do deslocamento de elétrons de um elemento para outro por meio de uma reação de oxirredução³ e transformando energia química em energia elétrica (ATKINS, 2012).

A eletroquímica estuda também sua conversão de energia elétrica em energia química utilizando os métodos de reações. De acordo com Atkins, 2012, uma célula eletroquímica é constituída por dois eletrodos ou condutores metálicos em contato com um eletrolítico e um condutor iônico.

Temos que quando uma substância perde elétrons na reação, seu estado de oxidação aumenta, fazendo com que oxide na reação, por outro lado temos que quando uma substância ganha elétrons, conseqüentemente seu estado de oxidação diminui, fazendo com que seja

² O potencial de uma célula, também chamado de força eletromotriz, está relacionado com a facilidade que a célula tem de receber ou doar elétrons e sua medida é dada em voltímetros eletrônicos (ATKINS, 2001).

³ Oxirredução é uma reação química em que ocorre a transferência de elétrons por meio dos processos de oxidação e redução de átomos das substâncias envolvidas na reação (ATKINS, 2012).

reduzido na reação. Assim sendo o agente redutor o que causa a redução do outro reagente e agente oxidante o que causa a oxidação no processo (ATKINS, 2012).

Segundo Atkins, 2012, as pilhas são dispositivos que transformam energia química em energia elétrica por meio de um sistema composto por dois eletrodos, sendo um polo positivo, denominado cátodo e o ânodo, que é o polo negativo. Seu funcionamento é possível quando imerso em solução condutora, onde é formada uma corrente elétrica através da transferência de elétrons do ânodo para o cátodo. Este processo acontece de forma espontânea, uma vez que a energia é fornecida até que a reação química esgote. A eletrólise consiste na passagem de corrente elétrica vinda de alguma fonte e se dá de forma não espontânea, a qual se divide entre eletrólise ígnea e eletrólise aquosa.

3.2.1 ELETRÓLISE ÍGNEA

Esse tipo de reação é realizado em uma cuba eletrolítica⁴, já que se faz necessário suportar temperaturas muito elevadas, pois o ponto fusão das substâncias iônicas⁵, na maioria das vezes, é bastante elevado (BROWN, 2005).

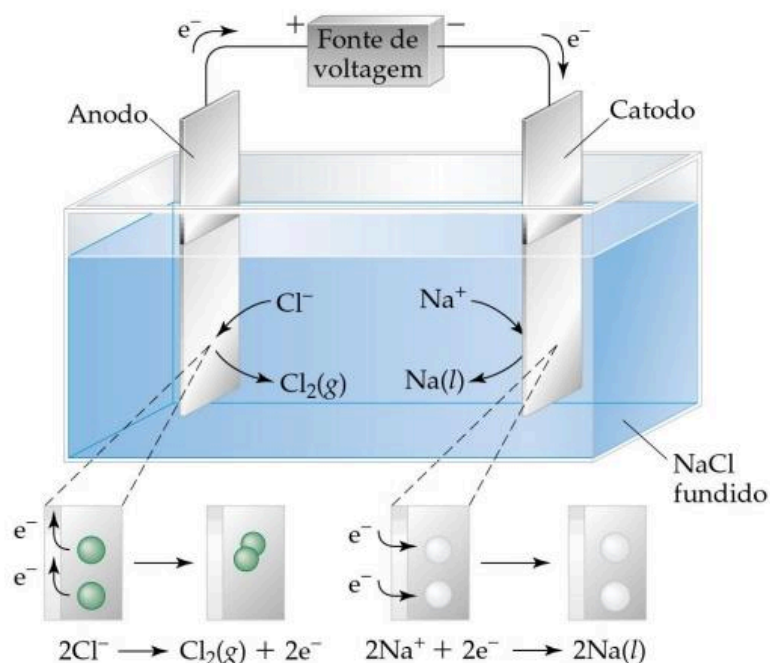
Na Figura 02 tem-se o processo de eletrólise ígnea do cloreto de sódio, onde são adaptados dois eletrodos inertes⁶ numa cuba eletrolítica, ligando assim, os polos positivo e negativo a uma fonte de corrente contínua (BACCAN, 2001).

⁴ Recipiente onde ocorre o processo de eletrólise (BACCAN, 2001).

⁵ É a temperatura onde ocorre a passagem do estado sólido ao estado líquido (FELTRE, 2005).

⁶ Eletrodos inertes são eletrodos que não influenciam no processo de reação, não alterando seu resultado final. (BACCAN, 2001).

Figura 02 - Esquema do processo de eletrólise ígnea do cloreto de sódio.



Fonte: BROWN, 2005.

Como observado na Figura 02, o eletrodo ligado ao pólo positivo da fonte é o ânodo, que descarrega os ânions, como mostrado na Equação 01.



Em contrapartida, o eletrodo ligado ao pólo negativo da fonte é o cátodo, que descarrega os cátions, como mostrado na Equação 02.

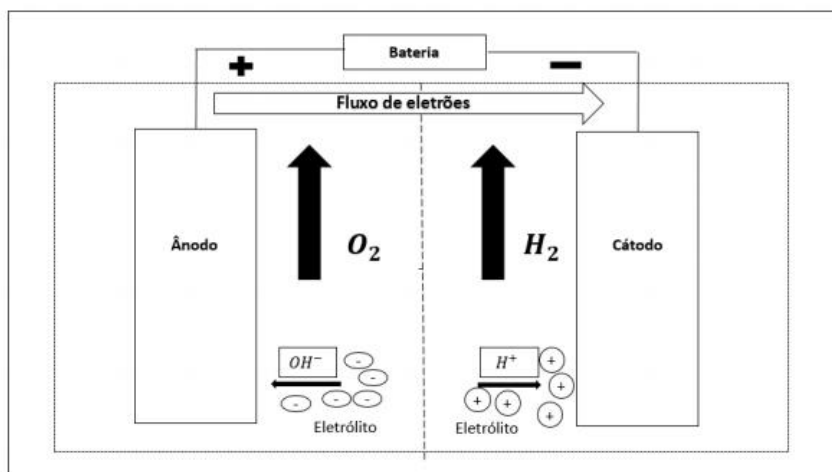


3.2.2 ELETRÓLISE AQUOSA

Denominamos de solução, a mistura homogênea entre uma ou mais substâncias, onde o conteúdo presente em maior quantidade é chamada solvente, enquanto as demais substâncias contidas na solução são conhecidas como solutos (ATKINS, 2012). Conforme Baccan, 2001, solução aquosa é uma solução na qual o solvente é água. O processo de eletrólise em meio aquoso é composto por uma passagem de corrente elétrica em meio a uma solução aquosa, onde os íons são os responsáveis por produzir as reações e gerar energia química. Quando uma

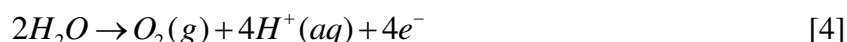
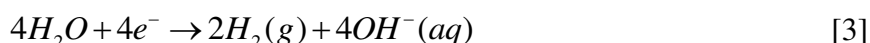
substância qualquer, XY, libera íons em um meio aquoso, seja por ionização⁷ ou por dissociação⁸, há a formação de um sistema através dos íons que compõem essa substância, como descrito na Figura 03.

Figura 03 - Ionização ou dissociação de eletrolítico em água.



Fonte: SILVA, 2017.

Como mostrado na Figura 03, devido à condutividade da água ser fraca, ao invés de transportar as cargas, sua estrutura molecular é quebrada junto ao cátodo, originando íons OH^- e prótons H^+ (SILVA, 2017). Esse processo pode ser melhor compreendido de acordo as reações 3 (redução da água) e 4 (oxidação da água).



3.2.3 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

Os conceitos fundamentais para o desenvolvimento de um mecanismo capaz de realizar trabalho de maneira automática e eficaz, só foi possível a partir de meados do século XVII, período que deu início a Primeira Revolução Industrial. Antes desse período, o trabalho era realizado a partir da tração animal e de forma manual fazendo-se uso da força humana, as quais não se obtinha um bom rendimento. Foi então que surgiu um alemão conhecido como Nikolaus

⁷ Processo no qual uma molécula cede ou recebe elétrons para formar íons (FELTRE, 2005).

⁸ Dissociação eletrolítica é o processo onde compostos iônicos têm seus íons separados. (BROWN, 2005).

August Otto, que teve a ideia, em 1860, de construir uma máquina capaz de realizar trabalho utilizando o elemento benzeno como combustível. Passados seis anos, foi construído o primeiro motor a combustão interna, que mostrou-se com um rendimento superior em termos de transformação de energia, quando comparado com os motores de combustão externa (ÁVILA, 1994).

Sua invenção foi uma grande revolução para a humanidade e tinha várias vantagens em relação ao motor a vapor, que era utilizado em grande máquinas elétricas naquele período, já que não necessitava de grandes reservatórios para o armazenamento de água, como era o caso dos motores a vapor (RAFAEL, 2007). Fazendo com que motor fosse mais compacto e leve, o que facilitou a criação de pequenos automóveis utilizando motores a combustão interna. Em sua homenagem, o processo de combustão do motor de quatro tempos foi nomeado como “Ciclo Otto” (ÁVILA, 1994).

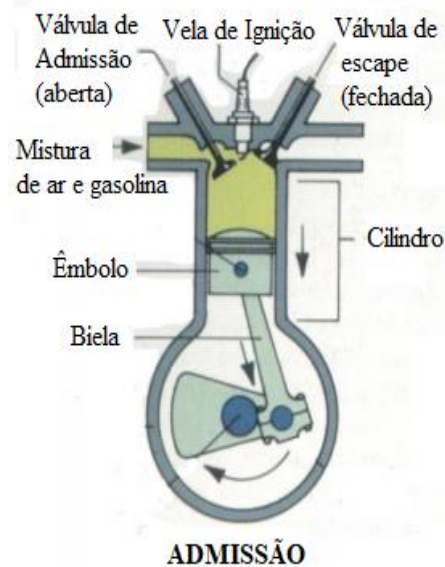
3.2.4 CICLO OTTO

O ciclo de Otto é constituído por quatro tempos, sendo eles: admissão, compressão, expansão/combustão e escape/exaustão (BEM, 2008).

1º Tempo: Admissão: Etapa na qual o pistão faz uma movimentação descendente, estando a válvula de admissão aberta, e em seguida, realiza o movimento do ponto morto superior (PMS), até chegar ao ponto morto inferior (PMI)⁹, conforme mostrado na Figura 04.

⁹ Ponto Morto Superior (PMS) e Ponto Morto Inferior (PMI) são pontos de posição máxima e mínima, respectivamente, onde o êmbolo muda o sentido de seu movimento (NEGRY, 2015).

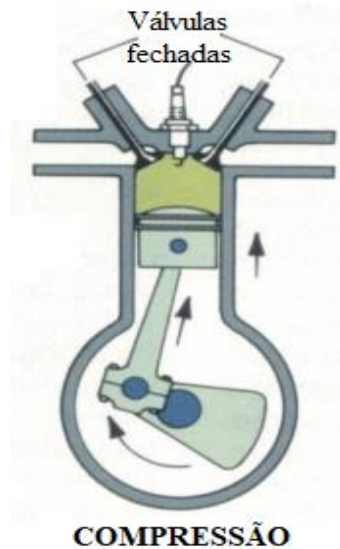
Figura 04 - 1º Tempo; Entrada da carga no cilindro.



Fonte: Adaptada. NEGRY, 2015.

2º Tempo: Compressão: nesta etapa do processo, ambas as válvulas encontram-se fechadas e o pistão realiza um movimento para cima, mudando da posição de ponto morto inferior (PMI) até o ponto morto superior (PMS), em que, durante o processo, há a compressão da mistura dada na etapa anterior. Nessa fase, devido à alta velocidade de compressão, o ar que está sendo comprimido eleva sua temperatura durante o processo de mistura. A etapa de compressão está ilustrada conforme a Figura 05 (BEM, 2008).

Figura 05 - 2º Tempo; Compressão da carga no cilindro.



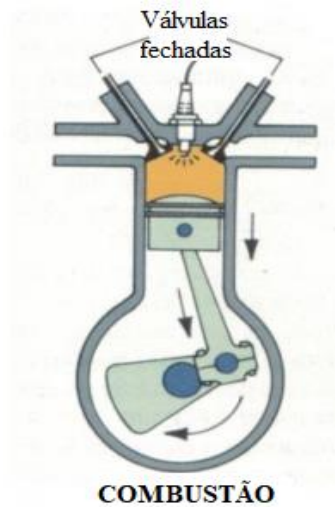
Fonte: Adaptada. NEGRY, 2015.

3º Tempo: Combustão: fase na qual o pistão chega ao fim do movimento de compressão, e então, uma faísca é gerada pela vela, realizando a queima dos gases e gerando uma grande pressão, deslocando o pistão até ao ponto morto inferior (PMI). Com isso, essa força obtida pela combustão é transmitida do êmbolo, através da biela¹⁰, ao virabrequim¹¹, girando-o e permitindo o funcionamento do motor, de acordo com Figura 06.

¹⁰ Haste feita de aço que, articulada em suas extremidades a duas peças móveis, permite o movimento entre estas. Em automóveis é a peça responsável pela ligação entre o êmbolo e o eixo de manivela (Ávilla, 1994).

¹¹ Eixo de Manivela (NEGRY, 2015).

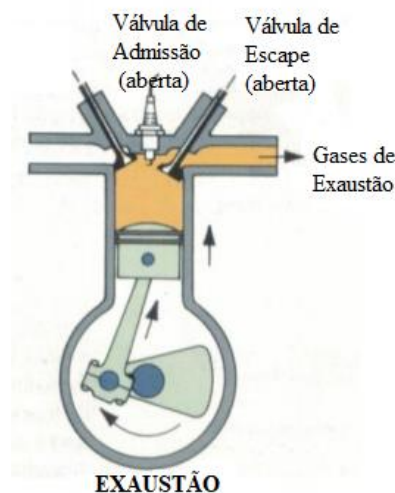
Figura 06 - 3º Tempo; Combustão/Expansão.



Fonte: Adaptada. NEGRY, 2015.

4º Tempo: Exaustão: nesse último tempo, conforme ilustrado na Figura 07, tem-se que ao fim do tempo do motor, a válvula se abre, fazendo com que todos os gases que passaram pela etapa de combustão, sejam empurrados para fora em grande velocidade. Após esse processo, o pistão, durante seu movimento ascendente, realiza a limpeza no interior do cilindro, permitindo a abertura da válvula e o retorno ao primeiro tempo do processo, retornando para um novo ciclo de funcionamento do motor. (ÁVILA, 1994).

Figura 07 - 4º Tempo; Expulsão ou escape de gases de combustão.



Fonte: Adaptada. NEGRY, 2015.

4 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido junto à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizada na cidade de Caraúbas, Rio Grande do Norte. O levantamento de dados foi obtido no laboratório de Química Aplicada, onde na pesquisa, foram utilizados os materiais disponíveis na instituição. Tem-se a seguinte metodologia:

- Dimensionamento de um gerador de hidrogênio utilizando chapa de inox, borracha, aço, plástico e acrílico;
- Modelagem do gerador utilizando o *software Auto Desk Inventor 3D*;
- Avaliação das soluções de K_2SO_4 (Sulfato de Potássio), KNO_3 (Nitrato de Potássio) e NaOH (Hidróxido de Sódio), com concentrações de iniciais de 2,5 %, 5 % e 10 % para teste do processo de eletrólise e obtendo a solução mais eficiente para a produção de hidrogênio;
- Construção do gerador proposto;
- Adaptação de um veículo para teste do gerador;
- Realização de testes utilizando um veículo do tipo Chevrolet Corsa Classic para avaliação do consumo de combustível do automóvel com a implementação do gerador proposto.

4.1.1 DIMENSIONAMENTO DA CORRENTE ELÉTRICA MÁXIMA DO GERADOR DE HIDROGÊNIO

O dimensionamento da Corrente Elétrica Máxima do Gerador de Hidrogênio foi feito, por motivos de segurança e eficiência para o veículo, evitando com que toda a demanda de corrente elétrica, durante os regimes de plena carga e marcha lenta, ultrapasse a capacidade que o alternador tem para carregar a bateria, evitando qualquer tipo de problema elétrico no veículo.

De acordo com o fabricante do veículo, para a I_{CAPC} (Corrente do alternador em plena carga) tem-se o valor de 60 Ampères de corrente para o tipo de veículo usado, porém, por medidas de segurança, será utilizado para o dimensionamento o I_{AML} (Corrente do alternador em marcha lenta), que é a menor corrente que o alternador gera quando o veículo está ligado, que equivale cerca de 80% do valor da I_{CAPC} , conforme a Equação 01.

$$I_{AML} = 80 \% \times I_{CAPC}$$

[01]

Em seguida, para se obter a D_{MCV} (Demanda Máxima de Corrente do Veículo), foi utilizado um amperímetro¹². A corrente máxima medida que é consumida pelo o automóvel quando este está com todos os seus dispositivos elétricos acionados.

A I_{CBV} (Corrente da Bateria do Veículo) é de 60 Ampères, capacidade que o alternador tem de fornecer energia em marcha lenta, tem que ser suficiente para a demanda exigida pelo o sistema elétrico para que haja o carregamento da bateria do veículo. Então, considerando uma carga lenta na bateria foi utilizado I_{CLBF} (Carga Lenta na Bateria Fornecida pelo Alternador) que equivale a 10% de I_{CBV} , conforme a Equação 02.

$$I_{CLBF} = 10 \% (I_{CBV}) \quad [02]$$

A corrente elétrica máxima do gerador de hidrogênio foi calculada conforme mostrado na Equação 03.

$$I_{CEMG} = I_{AML} - D_{MCV} - I_{CLBF} \quad [03]$$

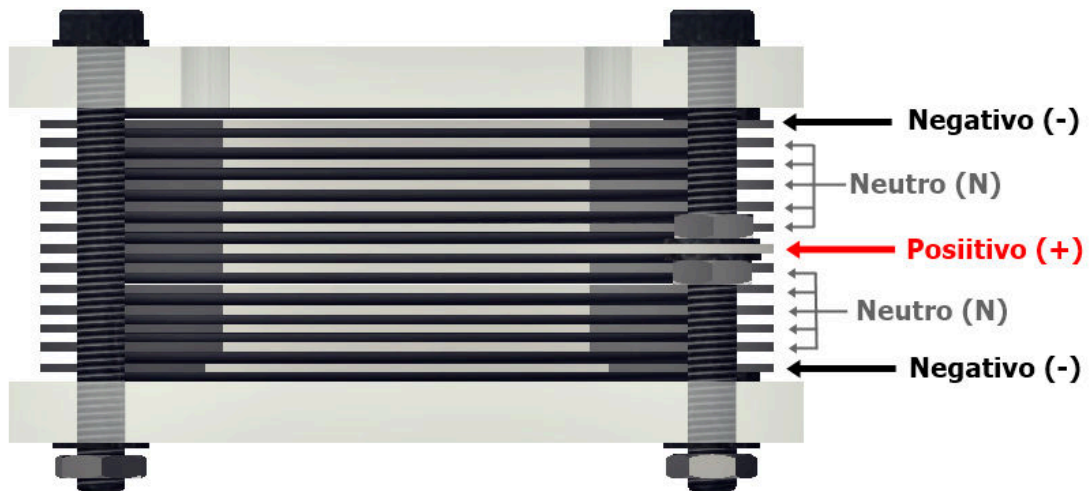
4.1.2 DIMENSIONAMENTO DAS PLACAS

Para o dimensionamento das placas, foi utilizado no projeto o modelo de gerador com duas pilhas, reduzindo as dimensões das placas e ocupando, assim, um menor espaço (-NNNNN + NNNNN -)¹³, sendo uma negativa, uma positiva e 5 neutras para cada pilha, conforme mostrado na Figura 08, fazendo com que tenha uma redução na tensão para 2 a 2,5 volts no qual é suficiente para o processo de eletrolise sem superaquecer o sistema. Com esse sistema nas placas neutras, a face que recebe os elétrons realiza a geração de hidrogênio, funcionando como polo negativo. Do polo positivo há a saída de elétrons e a geração de oxigênio.

¹² Aparelho cuja unidade é o Ampères e é destinado a medição da intensidade de uma corrente elétrica (RESNICK, 2009).

¹³ Célula conexão elétrica padrão. O N representa a placa neutra (BEM, 2008).

Figura 08 - Polaridade das placas.



Fonte: Arquivo Próprio.

Iremos obter a área útil para geração produção de hidrogênio de acordo com a Equação 04, a equação é multiplicado por $\left(\frac{1}{2}\right)$, pois devido à resistência elétrica das pilhas serem iguais e a configuração do circuito (paralelo)¹⁴, essa corrente é dividida na mesma proporção entre ambas, fazendo com que a corrente nas placas de cada pilha seja igual a metade do valor de I_{CEMG} .

$$A_{\text{útil}} = \frac{1}{2} \left(\frac{I_{CEMG} \times 1,0 \text{ cm}^2}{0,051 A} \right) \quad [04]$$

Porém essa área é somente 85 % da A_{CG} (Área do Círculo do Gerador), já que, conforme pesquisado em trabalhos anteriores, cerca de 15% dessa área não ocorre a eletrólise em decorrência do armazenamento dos gases nessa região, conforme mostrado na Figura 09.

¹⁴ Em um circuito onde os elementos encontram-se dispostos paralelamente, a Tensão (V) entre seus terminais é a mesma, enquanto a corrente (I) é dividida ao encontrar um nó presente em cada ramo do circuito. Ara elementos com valores de resistência iguais, a corrente é dividida de forma uniforme (SADIKU, 2008).

Figura 09 - Vista Vertical do gerador de hidrogênio.



Fonte: Arquivo Próprio.

Para obtenção da Área do Círculo do Gerador, a A_{CG} foi calculada conforme mostra a Equação 05.

$$A_{CG} = \frac{A_{\text{útil}}}{85\%} \quad [05]$$

Foi utilizado um anel de oring¹⁵ para vedação entre as placas, para que a solução possa ficar em contato com os eletrodos durante a reação. O raio de um círculo foi calculado a partir da Equação 06, o raio do anel de vedação foi calculado a partir da área de um círculo, conforme mostra a Equação 07, que é uma similaridade da Equação 06.

$$A_{\text{cir}} = \pi R^2 \quad [06]$$

$$A_{CG} = \pi x (R_{AQ})^2 \quad [07]$$

Onde:

A_{cir} = Área do Círculo;

A_{CG} = Área do Círculo do Gerador;

R = Raio do Círculo;

¹⁵ Vedador estático ou dinâmico feito borracha que tem o formato de um anel e é utilizado para vedação.

R_{AO} = Raio do anel de oring;

$\pi = 3,141592$.

4.1.3 MODELAGEM

Com os valores necessários para o desenvolvimento do gerador, foi realizada a modelagem de todas as peças para sua fabricação utilizando-se o *software Autodesk Inventor 3D*, onde foram desenhadas as seguintes peças no software: placas positivas, negativas e neutras, anel de oring, as placas superior e inferior de acrílico e parafusos sextavados. Após isso foi realizado a montagem do gerador.

4.1.4 CONSTRUÇÃO DO GERADOR

Para a construção do gerador, inicialmente foram realizados os cortes e furos nas duas placas de acrílico. Os furos foram feitos com uma broca adequada e com o auxílio de uma furadeira de coluna. Após isso, foram abertas na placa superior duas roscas para serem fixadas aos conectores das mangueiras.

Após realizada a impressão das placas neutras, positivas e negativas, foi feita a colagem sobre uma placa de aço inox 316L, onde com o auxílio de uma serra tico tico, foram confeccionadas as placas. Após a obtenção das peças, os furos foram feitos com o auxílio de uma broca de aço e em seguida, lixadas as superfícies, utilizando uma lixa de ferro, diminuindo as imperfeições e aumentando a condutividade entre as placas.

Foram utilizadas para a montagem do gerador de dez placas neutras, uma positiva e duas negativas e os anéis de oring entre as placas.

4.1. 5 TESTE DE SOLUÇÕES

Para a realização dos testes foram utilizados os seguintes materiais:

- Dois Conectores Jacaré;
- Nove Balões Volumétricos 1000 ml;
- Nove Béqueres de 250 ml;
- Uma Balança Analítica (*Shimadzu*);
- Uma Fonte de Alimentação (*Instrutherm*);
- Um Gerador de Hidrogênio;

- Um Multímetro;
- Um Reservatório de Água;
- K_2SO_4 (Alphatec);
- KNO_3 (Impex);
- NaOH (Impex);
- Bateria 60 Ampères (Moura).

Inicialmente foram feitas três soluções, com a concentração de 2,5 %, 5 % e 10 % respectivamente, de K_2SO_4 , KNO_3 , NaOH, formando-se nove soluções para os teste. As correntes consumidas pelo sistema de cada solução foram verificadas com o auxílio de um multímetro. A escolha da solução foi feita através desses testes. Em seguida foram feitos testes da melhor concentração para gerar a corrente desejada para o projeto.

4.1.6 ADAPTAÇÃO DO KIT NO VEÍCULO TIPO CORSA CLASSIC

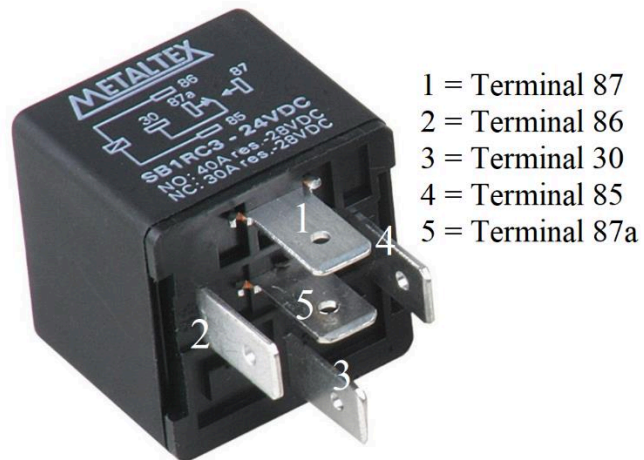
Materiais utilizados para adaptação do Veículo:

- Célula Geradora de Hidrogênio;
- Fusível;
- Relé;
- Reservatório de Água / Borbulhado;
- Reservatório de Filtro;
- Solução de Hidróxido de Sódio com concentração de 40 %;
- Válvula Anti-chamas.

Foi utilizado um relé automotivo com tensão de funcionamento de 12 Volts de Tensão e Corrente Máxima de 40 Ampères, o mesmo apresenta cinco terminais, dos quais foram utilizados quatro terminas, como mostrado na Figura 10.

- O terminal 86 - Ligado ao terminal negativo da bateria;
- O terminal 85 - Conectado a alimentação da bomba de gasolina;
- O terminal 87 - Ligado ao terminal positivo do gerador de hidrogênio;
- O terminal 30 - Conectado ao fusível que está ligado à bateria do veículo;
- O terminal 87a - Desativado.

Figura 10 - Relé Automotivo.



Fonte: Arquivo Próprio.

Foi utilizado um fusível¹⁶ de 20 Ampères de Corrente, na cor amarela, conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11- Fusível para proteção contra sobrecarga.

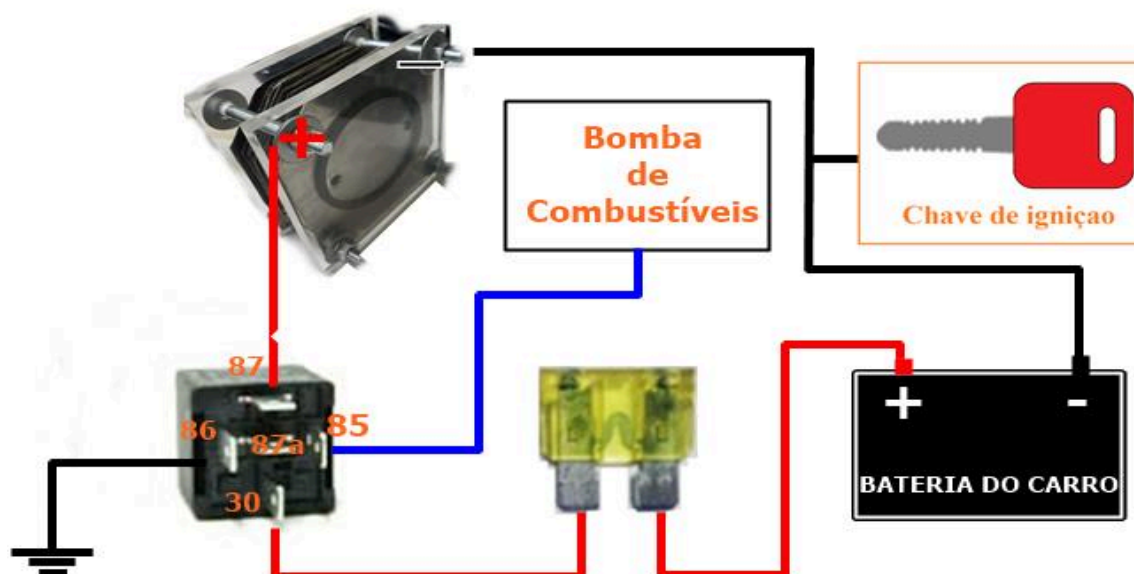


Fonte: Arquivo Próprio.

¹⁶ Dispositivo de proteção contra sobrecargas.

O sistema elétrico foi ligado conforme está sendo mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Sistema Elétrico.



Fonte: Arquivo Próprio.

Com isso o gerador de hidrogênio funcionará somente quando o carro estiver ligado, já que o relé fará o acionamento do gerador apenas quando houver o acionamento da chave do veículo. Isso fará com que todo o hidrogênio produzido na célula seja utilizado pelo motor, evitando possíveis explosões, uma vez que o hidrogênio é bastante inflamável. Uma vez que a chave do veículo for desligada, o relé acionará novamente e fará o desligamento do gerador e em caso de sobrecarga no circuito, o fusível limitará a corrente até 20 Ampères, abrindo o circuito para uma corrente superior a essa, fazendo a proteção a todo o sistema elétrico.

Foi utilizado para o armazenamento da solução, um reservatório de água feito de material do tipo plástico com dois litros de volume, conforme mostrado na Figura 13.

Figura 13 - Reservatório onde será armazenada a solução.



Fonte: Arquivo Próprio.

Foi utilizado um filtro, como mostrado na Figura 14, que teve a função de realizar a separação do gás de possíveis bolhas que possam conter líquidos, garantindo assim, que somente o gás será utilizado na queima durante o processo de combustão do motor.

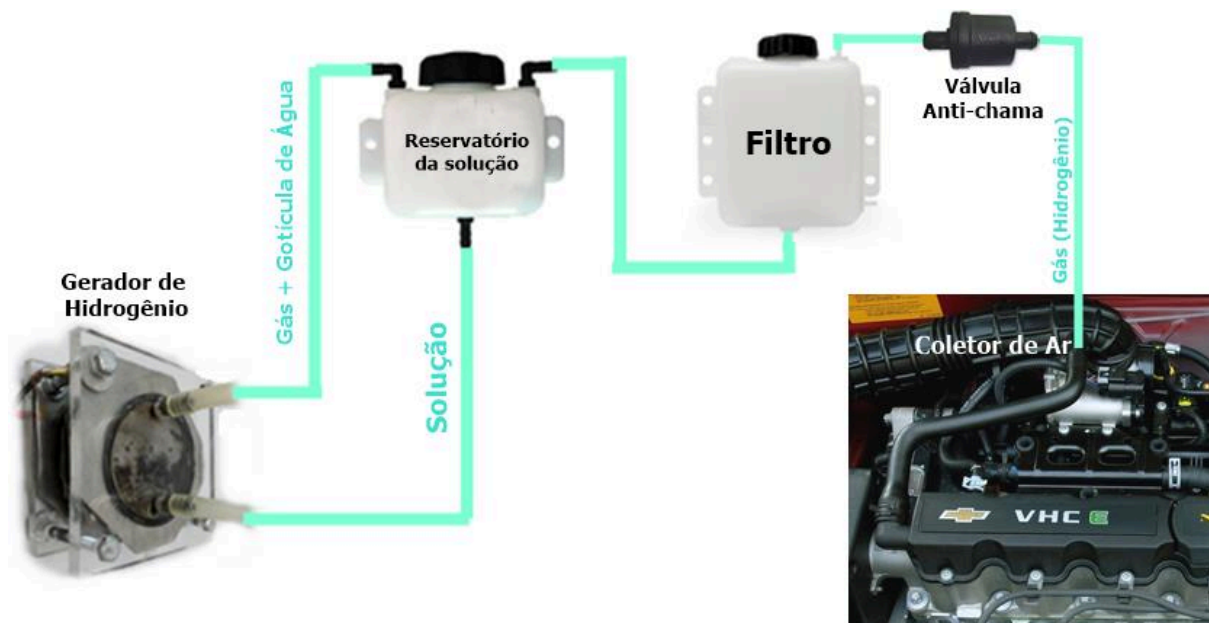
Figura 14 - Filtro utilizado na separação do gás com as bolhas.



Fonte: Arquivo Próprio.

A demonstração da instalação do sistema de geração de hidrogênio encontra-se ilustrado na Figura 15.

Figura 15 - Instalação do sistema de geração de hidrogênio.



Fonte: Arquivo Próprio.

O reservatório de água foi fixado no veículo com 15 cm de altura em relação a célula de hidrogênio, fazendo com que a solução de hidróxido de sódio consiga descer do reservatório através da força gravitacional. Quando for acionada a ignição do veículo, o relé ativar o gerador fazendo com que aconteça a eletrólise e o hidrogênio, junto com pequenas moléculas de água, se desloque até o filtro em que se encontrará armazenado o gás. Em seguida, será injetado na entrada de ar da câmara de combustão do motor, onde passará antes por uma válvula anti-chamas, evitando explosões no sistema. Com a adição de pequenas quantidades de hidrogênio à gasolina, é esperado um aumento na velocidade da chama e um aumento nas explosões no pistão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 DIMENSIONAMENTO DA CORRENTE ELÉTRICA MÁXIMA DO GERADOR DE HIDROGÊNIO

Conforme mostra a Equação 01, temos que I_{AML} (Corrente do alternador em marcha lenta) equivale a:

$$I_{AML} = 0,8 \times 60 \quad [01]$$

$$I_{AML} = 48 \text{ Ampères}$$

Após a realização de vários experimentos, o valor encontrado foi o equivalente a 30 Ampères de corrente, entretanto, por medidas de segurança afim de se evitar sobrecarga, adicionou-se mais 10 % desse valor e ao final, o valor da D_{MCV} resultou em 33 Ampères de corrente.

$$D_{MCV} = 33 \text{ Ampères}$$

I_{CLBF} obteve-se conforme a Equação 02 e a Corrente Elétrica Máxima do Gerador de Hidrogênio conseguiu-se a partir da Equação 03, chegando aos seguintes valores;

$$I_{CLBF} = 10 \% (60) \quad [02]$$

$$I_{CLBF} = 6 \text{ Ampères}$$

$$I_{CEMG} = 48 - 33 - 6 \quad [03]$$

$$I_{CEMG} = 9 \text{ Ampères}$$

5.2 DIMENSIONAMENTO DAS PLACAS

A área útil para geração foi calculada conforme a Equação 04.

$$A_{\text{útil}} = \frac{1}{2} \left(\frac{9 \times 1,0 \text{ cm}^2}{0,051 A} \right) \quad [04]$$

$$A_{\text{útil}} = 88,24 \text{ cm}^2$$

Para obteve-se Área do Círculo do Gerador, a A_{CG} de acordo como mostra-se na Equação 05.

$$A_{CG} = \frac{88,24cm^2}{0,85} \quad [05]$$

$$\boxed{A_{CG} = 103,8 \text{ cm}^2}$$

Logo, a área necessária para a geração do hidrogênio é igual a 103,8 cm². Utilizaremos um anel de oring para vedação entre as placas, para que a solução possa ficar em contato com os eletrodos durante a reação. O raio do anel de vedação foi calculado a partir da área de um círculo, conforme mostra a Equação 07.

Extraindo a raiz quadrada de ambos os lados da equação, obtém-se:

$$R_{AQ} = \sqrt{\left(\frac{A_{CG}}{\pi}\right)} \quad [07]$$

$$R_{AQ} = \sqrt{\left(\frac{103,8cm^2}{3,141592}\right)}$$

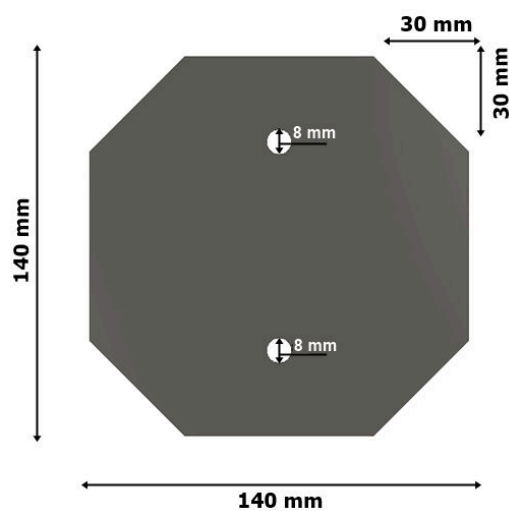
$$\boxed{R_{AQ} = 5,74 \text{ cm}}$$

Encontrou-se um raio necessário, para o anel de oring capaz de fornecer uma área suficiente para geração do hidrogênio, sendo um valor de aproximadamente a 5,74 cm. Porém por disponibilidade de oferta no mercado utilizou-se uma vedação com o valor de 5,0 cm de raio, já que foi a próxima do valor do R_{AQ}, sem ultrapassar seu tamanho, satisfazendo a necessidade do projeto, sem causar prejuízos para o sistema.

5.3 MODELAGEM

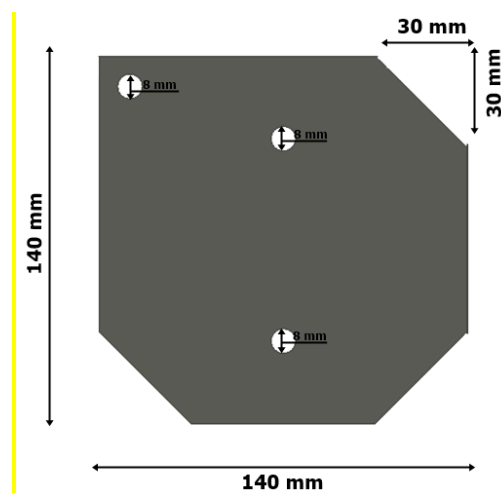
Com os valores necessários para o desenvolvimento do gerador, realizou-se a modelagem de todas as peças para sua fabricação utilizando-se o *software Autodesk Inventor 3D*, onde primeiro foram desenhadas as placas neutras e as placas positivas e negativas, conforme mostrado nas Figuras 16 e 17, respectivamente. Para as placas utilizadas como eletrodos, escolheu-se como materiais para sua fabricação o aço inox 316l, com 1,5 mm de espessura por ser muito resistente a corrosão e bom condutor.

Figura 16 - Vista frontal com as dimensões da placa neutra.



Fonte: Arquivo Próprio.

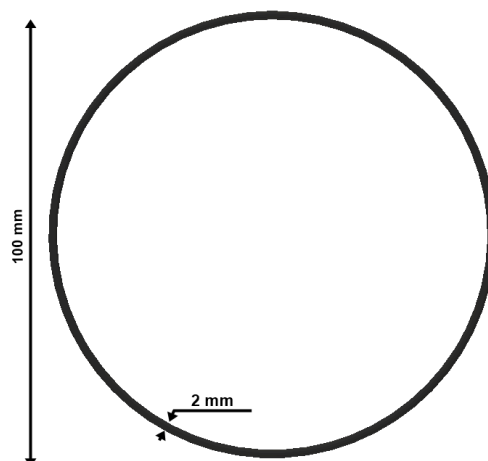
Figura 17 - Vista frontal das placas positiva e negativa.



Fonte: Arquivo Próprio.

Após isso, modelou-se os anéis de vedação com as dimensões disponíveis no mercado, com 5,0 cm de raio e 2 mm de espessura conforme mostra a Figura 18.

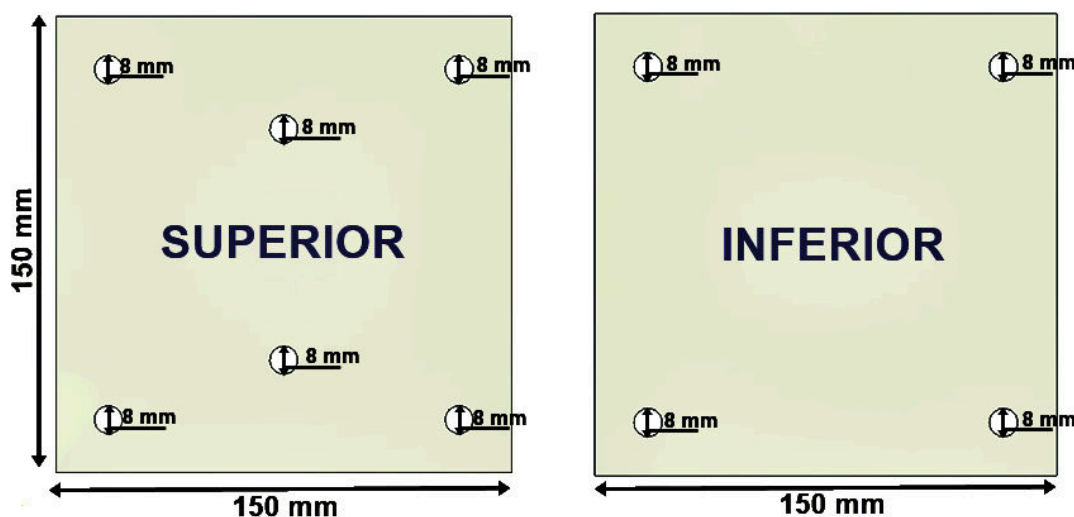
Figura 18 - Anel de oring com as dimensões.



Fonte: Arquivo Próprio.

Em seguida modelou-se as placas para a parte superior do gerador, conforme mostrado na Figura 19. Uma para parte superior do gerador, com dois furos centrais para entrada e saída do fluido e uma outra placa, para a parte inferior, com quatro furos em suas bordas, coincidentes com a da placa da parte de cima afim de fixar os parafusos da parte superior. O material utilizado para a construção foi o acrílico com 10 mm de espessura, já que consegue trabalhar em ótimas condições até a temperatura de ebulição da água e por ser bastante resistente.

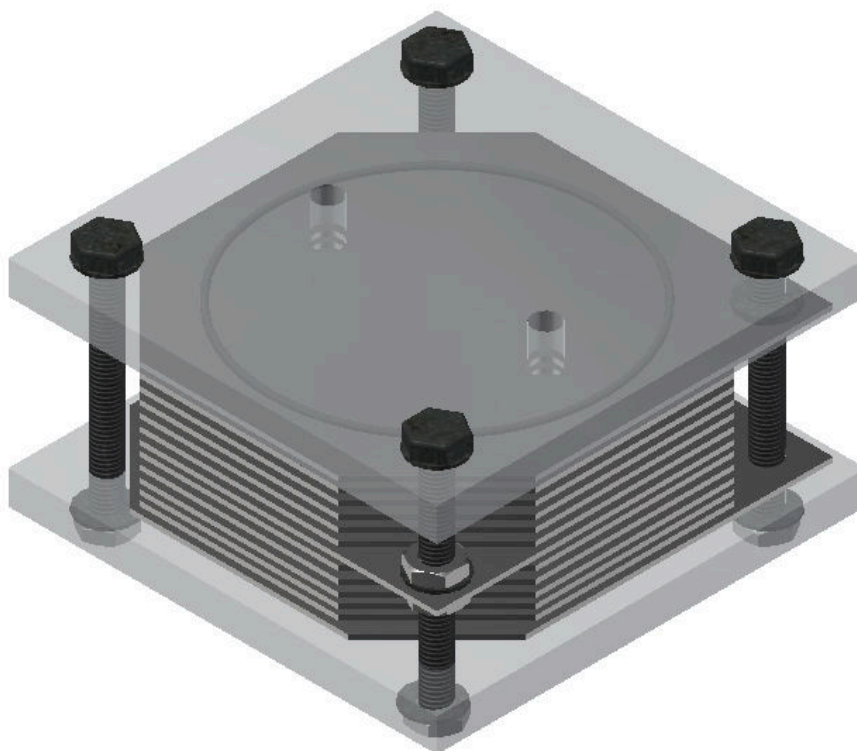
Figura 19 - Vista frontal das placas superior e inferior de acrílico.



Fonte: Arquivo Próprio.

Em seguida modelou-se os parafusos, sendo do modelo sextavado¹⁷ com porcas, com 8 mm diâmetro e 10 cm de comprimento. Após a fixação das placas, terá início a montagem do gerador, conforme mostra a Figura 20.

Figura 20 - Perspectiva do gerador de hidrogênio no *Software Inventor Autodesk 3D*.



Fonte: Arquivo Próprio.

¹⁷ O parafuso do tipo sextavado é um dos fixadores mais utilizados como peça de construção e reparo. Seu nome se deve à sua cabeça com seis faces.

5.4 CONSTRUÇÃO DO GERADOR

A construção do gerador iniciou-se, produzindo inicialmente as placas superior e inferior de acrílico, realizou-se os cortes e furos nas duas placas. E logo após fixou-se os conectores das mangueiras, conforme mostrado na Figura 21.

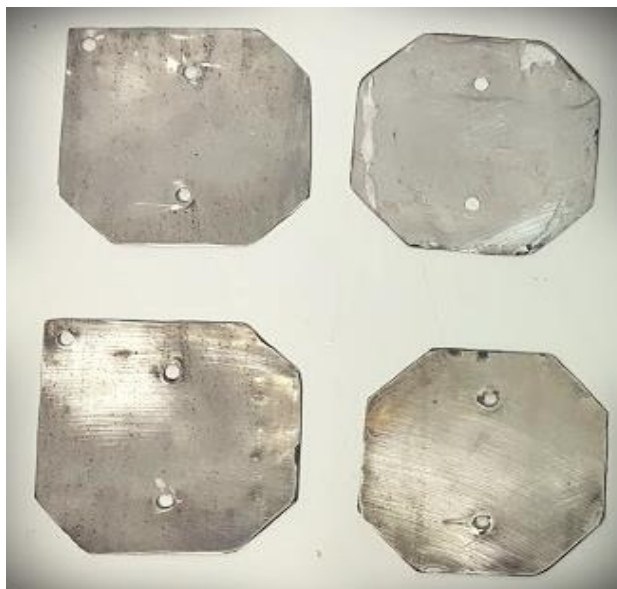
Figura 21 - Placas de acrílico superior e inferior finalizadas.



Fonte: Arquivo Próprio.

Em seguida produziu-se as placas neutras, positivas e negativas, utilizando ferramentas de cortes e furos para fabricação, em seguida lixou-se as superfícies das placas, fazendo com que reduzir-se as imperfeições e aumentando a condutividade entre as placas de acordo com Figura 22.

Figura 22 - Placas (eletrodos) positivas, negativas e neutras finalizadas.



Fonte: Arquivo Próprio.

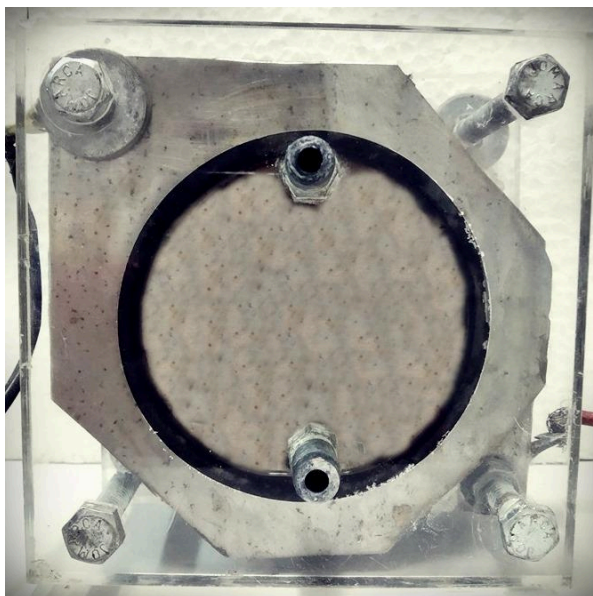
Utilizou-se para realização da montagem do gerador, de dez placas neutras, uma positiva e duas negativas e os anéis de oring entre as placas, como pode ser visto nas Figuras 23, 24 e 25, respectivamente.

Figura 23 - Perspectivas do gerador de hidrogênio montado.



Fonte: Arquivo Próprio.

Figura 24 - Vista frontal do gerador de hidrogênio montado.



Fonte: Arquivo Próprio.

Figura 25 - Vista frontal do gerador de hidrogênio montado.



Fonte: Arquivo Próprio.

5.5 ELETRÓLISE

5.5.1 Primeiro Teste: Eletrólise utilizando K_2SO_4 (Sulfato de Potássio)

A Figura 26 mostra as soluções de K_2SO_4 ; 2,5 %, 5 % e 10 % utilizadas para realizar o primeiro teste da eletrólise.

Figura 26 - Soluções de Sulfato de Potássio.



Fonte: Arquivo Próprio.

As soluções obtidas foram adicionadas no reservatório. O reservatório da solução foi conectado ao gerador de hidrogênio com o auxílio de uma mangueira de silicone, com a fonte de alimentação regulada em uma tensão igual a 13,8 volts de Tensão¹⁸, houve a produção de hidrogênio por meio da eletrólise e, com o auxílio de um multímetro, foi feita a checagem da corrente consumida na reação, conforme mostra a Figura 27.

¹⁸ Tensão necessária para o funcionamento de um automóvel.

Figura 27 - Corrente consumida pelo o sistema utilizando a solução K_2SO_4 , 2,5 % de concentração.



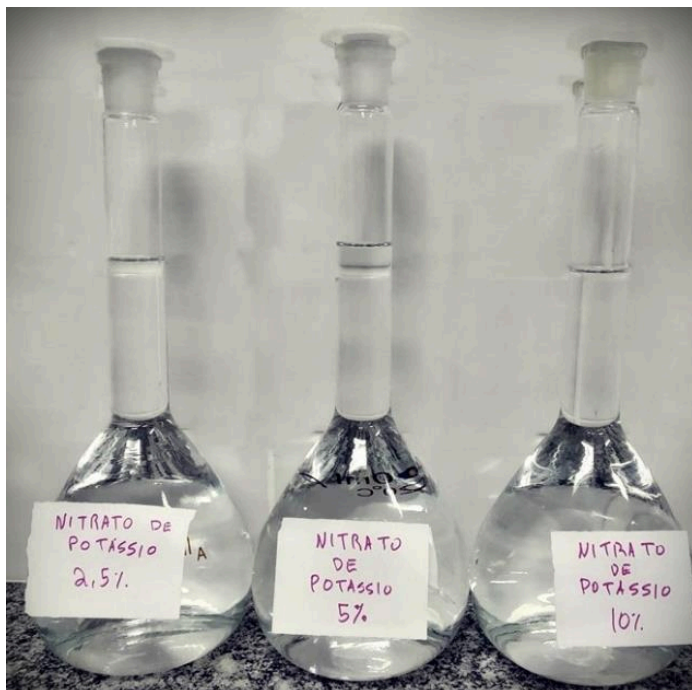
Fonte: Arquivo Próprio.

Após a realização do primeiro teste, o mesmo procedimento foi feito para as soluções de 5 % e 10 % de concentração de K_2SO_4 , respectivamente, onde ao final, foi obtida a concentração de solução mais eficiente para ser usada no processo de eletrólise do Sulfato de Potássio.

5.5.2 Segundo Teste: Eletrólise utilizando KNO_3 (Nitrato de Potássio)

A Figura 28 mostra as soluções de KNO_3 2,5 %, 5 % e 10 % utilizadas para realizar o primeiro teste da eletrólise.

Figura 28 - Soluções de Nitrato de Potássio.



Fonte: Arquivo Próprio.

Foram adicionados 1000 ml da solução de 2,5% de concentração de Nitrato de Potássio no reservatório, e após conectado ao Gerador de Hidrogênio, a fonte de alimentação foi ligada e ajustada a uma tensão de 13,8 volts de Tensão, houve a produção de hidrogênio por meio da eletrolise e, com o auxílio de um multímetro, foi feita a checagem da corrente consumida na reação, conforme mostrado na Figura 29.

Figura 29 - Processo realizado para produção de hidrogênio e verificação da corrente utilizando KNO_3 2,5 % de concentração.



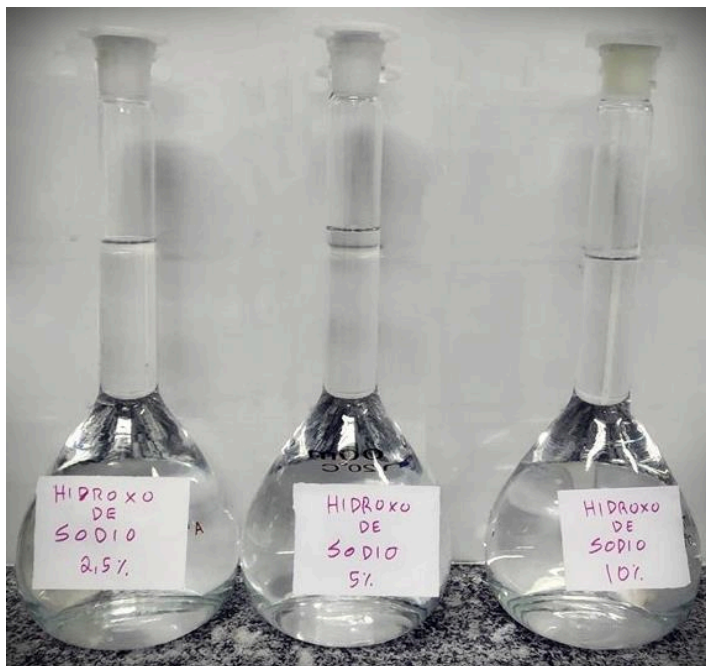
Fonte: Arquivo Próprio.

Fazendo uso das soluções com concentrações de 5 % e 10 % de concentração de KNO_3 , analisou-se o nível de corrente no multímetro consumida pelo gerador para obtenção da solução mais eficiente para ser usada no processo de eletrólise do Nitrato de Potássio.

5.5.3 Terceiro Teste: Eletrólise utilizando NaOH (Hidróxido de Sódio)

A Figura 30 mostra as soluções de NaOH 2,5 %, 5 % e 10 % utilizadas para realizar o primeiro teste da eletrólise.

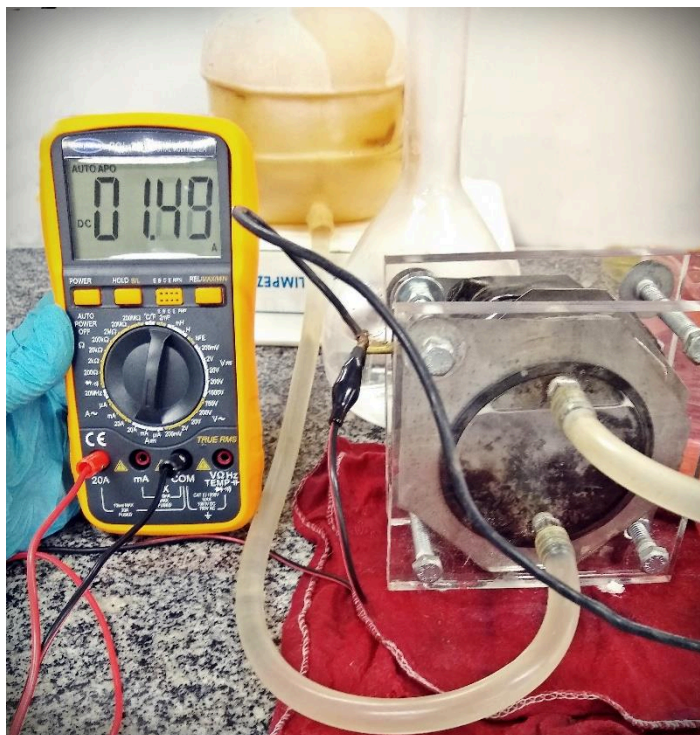
Figura 30 - Soluções de Hidróxido de Sódio.



Fonte: Arquivo Próprio.

Após isso, foram adicionados no reservatório do gerador, 1000 ml da solução de NaOH com 2,5 % de concentração, e com a fonte de alimentação conectada ao gerador e ajustada em 13,8 volts de Tensão, houve a produção de hidrogênio por meio da eletrolise e, com o auxílio de um multímetro, foi feita a checagem da corrente consumida na reação, como é mostrado na Figura 31.

Figura 31 - Verificação da corrente consumida pelo gerador durante a eletrolise.



Fonte: Arquivo Próprio.

O mesmo procedimento foi realizado para as soluções com 5 % e 10 % de concentração de KNO_3 para realização da eletrólise, onde, ao analisar a solução com 10 % de KNO_3 , foi observado que não houve variação do valor da corrente, concluindo que a fonte de alimentação não tinha potência suficiente para gerar uma corrente mais alta no sistema, já que a geração de hidrogênio utilizando o KNO_3 foi bastante superior quando comparado ao processo realizado utilizando o K_2SO_4 e KNO_3 , como mostrado na Tabela 01. Como solução para esse problema, optou-se pela utilização de uma bateria de carro de 60 Ampères de corrente para a realização dos testes para o NaOH . Realizou-se novamente os testes com as concentrações de 5 % e 10 % com o auxílio de um multímetro, verificou-se um aumento considerável na corrente, já que a potência da bateria era suficiente para o abastecimento do sistema.

Tabela 01 - Correntes obtidas nos testes das soluções.

Solução	Corrente I (mA) Concentração de 2,5 %	Corrente II (mA) Concentração de 5,0 %	Corrente III (mA) Concentração de 10 %
K₂SO₄ (Sulfato de Potássio)	0	30,00	70,00
KNO₃ (Nitrato de Potássio)	31,7	74,7	149,2
NaOH (Hidróxido de Sódio)	1490	2850	4400

Fonte: Arquivo Próprio.

Ao final dos testes, observou-se um melhor aproveitamento da eletrólise quando utilizada a solução de Hidróxido de Sódio, porém, as concentrações utilizadas para os testes não foram suficientes para a obtenção da corrente dimensionada no projeto.

Novos testes foram realizados, utilizando soluções com novas concentrações, de 20 %, 30 %, 40 % e 50 % de Hidróxido de Sódio, respectivamente. Conforme os resultados obtidos ao final dos novos testes, a solução escolhida para ser usada no processo de eletrólise foi a de 40 % de concentração de NaOH, por apresentar uma corrente utilizada no sistema no valor de aproximadamente 9 Ampères, sendo uma valor eficiente para a geração de hidrogênio, já que como mostra-se na Tabela 02, as concentrações abaixo de 40 % tinha-se uma redução na geração de hidrogênio, como visto nos experimentos e utilizando uma concentração de 50 %, mostrou um valor de corrente maior que 9 Ampères, como mostra-se na Figura 32, o que poderia sobrecarregar e superaquecer o sistema tendo em vista seu dimensionamento.

Tabela 02- Correntes obtidas nos utilizando NaOH.

Solução	Corrente I (A) Concentração de 20 %	Corrente II (A) Concentração de 30 %	Corrente III (A) Concentração de 40 %	Corrente IV (A) Concentração de 50 %
NaOH (Hidróxido de Sódio)	6,72	7,86	8,91	9,12

Fonte: Arquivo Próprio.

Figura 32 – Sistema utilizando uma bateria de carro como fonte de alimentação para o sistema, com solução na concentração de 50 % de NaOH.

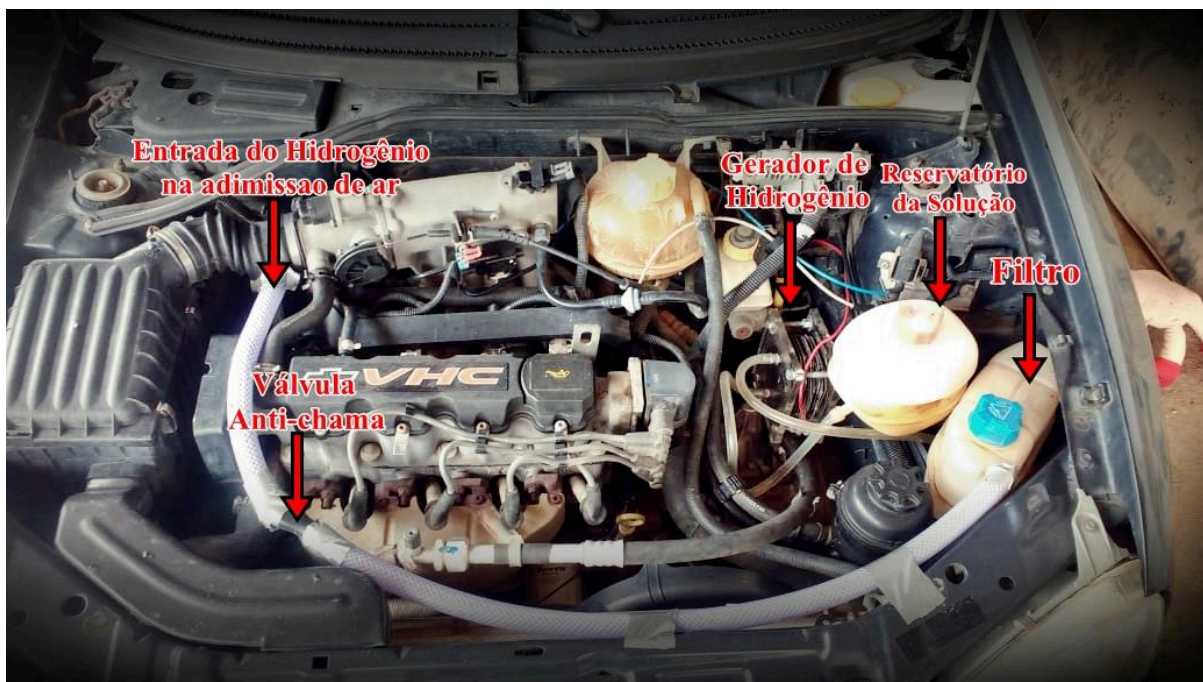


Fonte: Arquivo Próprio.

5.6 ADAPTAÇÃO DO KIT NO VEÍCULO

Com base no que foi apresentado na metodologia, realizou-se a montagem dos equipamentos no veículo. Fixou-se as peças de modo a evitar que elas se movessem com as vibrações devido ao deslocamento do veículo. Pode-se visualizar na Figura 33, os componentes fixados no automóvel.

Figura 33 – Sistema adaptado no veículo.



Fonte: Arquivo Próprio.

5.7 TESTE NO VEICULO

Utilizando de veículo tipo Chevrolet Corsa Classic, mostrado na Figura 34, foram realizados alguns percursos na cidade de Caraúbas – RN. De acordo com a Figura 35, com uma distância média de 5,7 km/h, o percurso foi realizado duas vezes em cada teste, resultando em aproximadamente 11,4 km/h por teste realizado.

Figura 34 - Veículo utilizado para os testes.



Fonte: Arquivo Próprio.

Figura 35 - Trajeto realizado pelo o veículo nos testes.



Fonte: Adaptada. Arquivo próprio.

Metade desse percurso foi realizado na zona urbana, simulando um transito comum mantendo-se uma velocidade média de 40 km/h, enquanto a outra parte do trajeto foi realizada na pista de decolagem de Caraúbas, a uma velocidade média de 80 km/h, simulando o percurso

do veículo na estrada. Ao final, foram realizados 16 testes, os quais foram divididos da seguinte forma:

- 4 testes utilizando somente gasolina (ar condicionado desligado);
- 4 testes utilizando gasolina com a adição do hidrogênio (ar condicionado desligado);
- 4 testes utilizando somente gasolina (ar condicionado ligado);
- 4 testes utilizando gasolina com a adição do hidrogênio (ar condicionado ligado).

O veículo foi abastecido com 100 % da capacidade total do tanque de combustível e a cada percurso realizado, completou-se o tanque, até chegar ao nível em que estava antes da realização dos testes. Os dados obtidos no teste estão descritos nas Tabelas 03, 04, 05 e 06.

Tabela 03 - Teste utilizando somente gasolina (com ar condicionado desligado).

Somente Gasolina	Distância percorrida (m)	Gasto com o Combustível Consumido (R\$)	Quantidade de Combustível Consumido (ml)	Consumo médio (km/L)
Percurso I	11330	4,25	938	12,08
Percurso II	11400	4,45	982	11,61
Percurso III	11340	4,36	962	11,79
Percurso IV	11420	4,29	948	12,05

Fonte: Arquivo Próprio.

Obtendo-se assim através de uma média aritmética do consumo dos testes realizados, conforme mostra-se na Tabela 03, obteve-se um consumo médio para o veículo com somente gasolina (com ar condicionado desligado) no valor de 11,88 km/L.

Tabela 04 - Teste utilizando gasolina mais adição do hidrogênio (com ar condicionado desligado).

Gasolina com a adição de Hidrogênio	Distância percorrida (m)	Gasto com o Combustível Consumido (R\$)	Quantidade de Combustível Consumido (ml)	Consumo médio (km/L)
Percurso I	11400	4,04	892	12,78
Percurso II	11420	4,13	911	12,54
Percurso III	11410	4,07	899	12,69
Percurso IV	11390	4,14	914	12,46

Fonte: Arquivo Próprio.

Por meio de uma média aritmética foram encontrados para o consumo médio dos quatros percurso realizados, como mostra na Tabela 04, um consumo médio para o veículo com gasolina e a adição do hidrogênio (ar condicionado desligado) o valor de 12,61 km/L.

Tabela 05 - Teste utilizando somente gasolina (com ar condicionado ligado).

Somente Gasolina	Distância percorrida (m)	Gasto com o Combustível Consumido (R\$)	Quantidade de Combustível Consumido (ml)	Consumo médio (km/L)
Percurso I	11410	4,89	1079	10,57
Percurso II	11330	4,65	1027	11,03
Percurso III	11370	4,84	1068	10,65
Percurso IV	11380	4,91	1083	10,51

Fonte: Arquivo Próprio.

Realizando uma média aritmética do consumo médio obtido nos testes, obteve-se um consumo médio para o veículo com somente gasolina (ar condicionado ligado) o valor de 10,69 km/L, com os dados da Tabela 05.

Tabela 06 - Teste utilizando gasolina mais adição do hidrogênio (com ar condicionado ligado).

Gasolina com a adição de Hidrogênio	Distância percorrida (m)	Gasto com o Combustível Consumido (R\$)	Quantidade de Combustível Consumido (ml)	Consumo médio (L/km)
Percurso I	11430	4,49	982	11,64
Percurso II	11380	4,50	993	11,46
Percurso III	11410	4,63	1002	11,39
Percurso IV	11360	4,40	972	11,69

Fonte: Arquivo Próprio.

Com os valores de consumo médio mostrados na Tabela 06, encontrou-se um valor para o consumo médio para o veículo com gasolina e a adição do hidrogênio (ar condicionado ligado) o valor de 11,55 km/L.

Conforme os resultados obtidos pode-se afirmar que o ar condicionado estando ligado ou não, com o uso do H₂ como forma de aditivo na queima de combustível, há uma redução no consumo de combustível, sendo cerca de 6,14 % quando o ar condicionado encontra-se desligado e de 8,04 % quando se utiliza o ar condicionado. Há um ganho de potência quando faz-se o uso do hidrogênio, tendo em vista que, quando o H₂ não está em uso, um pouco do combustível adicionado no motor não queima completo, fazendo com que a longo prazo surja formação de Iodo nos pistões do motor e sujeiras nas velas.

Tendo em vista esses benefícios, podemos afirmar que, uma vez percorrido o mesmo trajeto com menos combustível, há de fato uma diminuição no uso dos combustíveis fósseis, responsáveis por grandes desastres ambientais devido aos diversos gases liberados pela sua queima, como é o caso dióxido de carbono.

6 CONCLUSÕES

O uso do hidrogênio gera menos poluição devido o processo de queima mais eficiente, reportando menos sujeiras causadas pela não queima do combustível. Portanto, ao longo prazo, além de uma redução no consumo, fazendo com que se tenha um custo menor por deslocamento do veículo, há também uma grande contribuição ao meio ambiente por tratar-se de uma fonte de energia limpa e renovável incentivando mais estudos sobre o uso do hidrogênio como combustível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew N.O. Fundamentos de circuitos elétricos. 3 ed. São Paulo Mc Graw Hill, 2008.

ATKINS, Peter W. **Físico-Química I** :. Capítulo 1, pagina 192 – 200. 9 ed. LTC, 2012.

ÁVILA, Márcio Turra de Ávila. **Estudo de Motor de Combustão Interna, do Ciclo Otto, Movido a Etanol Previamente Vaporizado**. Tese de Mestrado. Universidade de São Paulo – USP/DEM, São Carlos – SP, 1994.

BACCAN, Nivaldo; ANDRADE, João Carlos de. Química Analítica Quantitativa Elementar. 3 ed. Edgard blucher, 2001.

BEM, Armando José Dal Bem. **Análise de Desempenho de um Motor Ciclo Otto Alimentado com Álcool de 75 INPM**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo- USP/DEM, São Carlos – SP, 2008.

BROWN, LEMAY & BURSTEN, QUÍMICA A CIÊNCIA CENTRAL - 9.ed- Capítulo 20, página 721-746. Pearson Prentice Hall ed. 2005.

CASSIOLATO, José Eduardo; LASTRES, Helena MM. **Arranjos e sistemas produtivos locais na indústria brasileira**. Revista de economia contemporânea, v. 5, n. 3, 2001.

CGEE. **Hidrogênio Energético no Brasil**. Pesquisa estruturada. Série documentos técnicos, n.07, Brasília, ago. 2010.

DRUMM, Fernanda Caroline et al. **Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 18, n. 1, p. 66-78, 2014.

ENEGEP. **Energia Renovável: A Energia do Hidrogênio Aplicada à Geração de Energia Elétrica Através de Células à Combustível**. Salvador, BA, Brasil, 06 a 09 de outubro de 2009.

FELTRE, Ricardo. **Fundamentos de Química**: vol. único. 4ª.ed. São Paulo: Moderna, 2005. 700 p.

GONÇALVES, Rafael de Oliveira. **Estudo teórico e experimental de uma célula a combustível do tipo pem didática**. Trabalho de conclusão de curso. UNIJUÍ - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. 2012.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

HILGEMBERG, Emerson Martins; GUILHOTO, Joaquim JM. **Uso de combustíveis e emissões de CO₂ no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto**. Nova Economia, v. 16, n. 1, p. 49-99, 2006.

KELLY, Patrick J. **A Practical Guide to Free Energy Devices**. Capítulo 10 - Vehicle Systems, página 125 – 129, apêndice, pag. A.569 – A.599. 2018.

MIRANDA, Gonçalves et al. **Células A Combustível Como Alternativa Para Redução De Co₂ Equivalente Na Frota De Veículos Leves**. InterfaceHS, v. 8, n. 2, 2013.

NAIMI, Youssef e ANTAR, Amal. **Hydrogen Generation by Water Electrolysis**. 2018. Capítulo revisado por pares de acesso aberto. Intech Open. Disponível em <<https://www.intechopen.com/books/advances-in-hydrogen-generation-technologies/hydrogen-generation-by-water-electrolysis>> Acesso em 06 de Jan. de 2019.

NEGRY, Marta Mariana de Oliveira Negry. **Análise Das Variações Em Ciclos Operacionais Em Um Motor Otto Em Homogeneous Charge Compression Ignition (Hcci)**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ/DEM/POLI, Rio de Janeiro – RJ, 2015.

NIDEJELSKI, Daniel Machado. **Projeto de um sistema de controle de combustíveis em tanques de armazenamento utilizando micro controlador arduíno**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, 2018.

O'MULLANE, A.P. **Electrochemistry**. 2013 - RMIT University, Melbourne, VIC, Australia.
PEREIRA, Elenita Malta. **O Ouro Negro: Petróleo e suas crises políticas, econômicas, sociais e ambientais na 2ª metade do século XX**. Revista Outros Tempos, v.5, n.6, p.01-19, dez. 2008.

PIVA, Rodrigo Barcellos. **Economia Ambiental Sustentável: Os Combustíveis Fósseis e As Alternativas Energéticas**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS/DCE, Porto Alegre - RS, 2010.

QUINTANEIRO, Tânia; BARBOSA, Maria Lígia de Oliveira; OLIVEIRA, Márcia Gardênia Barbosa. **Um Toque de Clássicos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2003, 2º edição Revista e Ampliada.

RAFAEL, Francisco Josélio. **Elaboração e aplicação de uma estratégia de ensino sobre os conceitos de calor e de temperatura**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN/CCET, Natal – RN, 2007.

ROY, Piyali. **Hydrogen Is The Most Common Element: Here's The Reason Why**. The Science Times. 2017. Disponível em < <http://www.sciencetimes.com/articles/11524/20170403/hydrogen-is-the-most-common-element-heres-the-reason-why.htm>> Acesso em 01 de Jan. de 2019.

RUDNIAK, Andréia. **Avaliação Das Emissões Gasosas De Diferentes Tipos De Combustíveis Utilizados Em Processos Industriais E Seus Impactos Ambientais**. Revista Tecnológica, Santa Cruz do Sul, v.13, n.1, p.25-34, jan./jun. 2009.

SILVA, Maria Gabriela Pinto Larcher Martins da Silva. **Produção de H₂ a partir de água, em pequena escala, utilizando elétrodos de Ni foam e com recurso a energia fotovoltaica**. Tese de Mestrado. Universidade De Lisboa/DEGGE, Lisboa – Portugal, 2017.

SOUZA, Gustavo. **Toyota Mirai: o primeiro carro movido a hidrogênio vendido em larga escala**. Carro Eletrico. 2018. Disponível em < <https://carroeletrico.com.br/blog/toyota-mirai/>>. Acesso em 02 de junho de 2019.

VELLOSO, João Paulo dos Reis. **Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil**. Instituto Nacional de Altos Estudos (INAE), Rio de Janeiro Cadernos: Fórum Nacional, v. 10, 2010.

YAN, R; Wang, Q. **Redox-Targeting-Based Flow Batteries for Large-Scale Energy Storage**. Advanced Materials, 2018.

ZARPELÃO, Sandro HM. **A longa Guerra do Golfo: Uma Análise Comparativa das Guerras do Golfo e do Iraque sob a Ótica das Doutrinas Powell e Bush (1991-2003)**. Anais do 4º. Encontro da ABRI, 2013.