

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE  
CAMPUS DE NATAL  
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

**ANA MELISSA PAULA BRITO**

**GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO PARA USO DOMÉSTICO NO COZIMENTO DE  
ALIMENTOS**

**NATAL  
2017**

**ANA MELISSA PAULA BRITO**

**GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO PARA USO DOMÉSTICO NO COZIMENTO DE ALIMENTOS**

Monografia apresentada ao Departamento de Ciência e Tecnologia como requisito para a obtenção do título de bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Brismark Goes da Rocha

**NATAL  
2017**

**ANA MELISSA PAULA BRITO**

**GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO PARA USO DOMÉSTICO NO COZIMENTO DE ALIMENTOS**

Aprovada em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr. Brismark Goes da Rocha – Orientador  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

---

Dr. Andréa Jane da Silva  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

---

Me. João Batista Souza Costa  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Dedico este trabalho a minha tia, Rita, por todo o suporte dado após minha chegada à Natal. E aos meus pais, por me deixarem voar. Sem vocês, nada disso seria possível.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar forças e discernimento para entender as coisas que eu não posso mudar, saber que tudo acontece quando tem que acontecer, nada é por acaso e em vão.

A minha família, por estarem sempre presente, me incentivando e dando forças para continuar em buscar dos sonhos que almejo. Em especial, a minha mãe, Antonia Neta, por ter cuidado tão bem de mim e por ser o espelho da minha vida, espero um dia ser 10% do que és. Amo vocês!

A UERN, que durante esses quatro anos se tornou minha segunda casa, sempre com pessoas maravilhosas ao meu redor, principalmente os amigos da copa com quem sempre tive afinidade. Ao corpo docente maravilhoso de professores, que sempre buscam extrair o melhor e melhorar o ponto fraco de cada estudante, especialmente Andréa Jane, por ter contribuído fortemente para a conclusão deste trabalho e por sua paciência infinita diante os atrasos.

Ao meu professor e orientador, Brismark Goes, pela paciência, empenho e dedicação na realização deste trabalho. Por ter incentivado e acreditado em mim ao entrarmos neste desafio. Excelente profissional e ser humano.

Ao meu namorado, Allyson Thales, por ouvir minhas reclamações cotidianamente e por sempre ajudar quando necessário. Além de todo o amor e carinho dado nos dias estressantes.

Aos meus amigos, Herbert Farias, Karina Almeida e Romilda Saldanha, por dizerem inúmeras vezes que eu era capaz, que conseguiria obter êxito e não pensasse em desistir. Por me fazerem esquecer os problemas acadêmicos, me proporcionando momentos incríveis e inesquecíveis.

Aos colegas da turma, que não concluíram o curso, especialmente Tamires Farias, Caio Alves e Cássia Carla com quem compartilhei bons e maus momentos.

Aos que ficaram, por suportar minhas irritações, pelas tardes que ficávamos na UERN, por todos os momentos engraçados e principalmente por toda a RECIPROCIDADE, pois nunca houve egoísmo entre nós.

Aos que acreditaram que seria capaz de concluir este curso, esta monografia e a todos que colaboraram de forma direta e indireta.

Aos que duvidaram minha eterna gratidão, pois foi essencial para me fazer ter mais força de vontade para continuar nessa árdua caminhada e concluir tudo, aqui estou para dizer: consegui!

## RESUMO

Com a expansão populacional e o avanço em novas tecnologias, a cada dia aumenta a necessidade de se ter fontes de energia, o que tem proporcionado uma forte preocupação da sociedade, aliada à importância de preservação do meio ambiente, uma vez que os combustíveis fósseis podem esgotar-se mais cedo ou mais tarde. Este estudo surge com o intuito de futuramente proporcionar mais uma opção de exploração de uma energia para o preparo de alimentos. O objetivo deste estudo é realizar o cozimento de alimentos por meio da geração de hidrogênio mediante a separação do hidrogênio da molécula de água, por meio de eletrólise. A metodologia adotada para a elaboração desse trabalho consiste de pesquisa experimental, no qual foi feita uma bancada de testes e utilizamos um kit gerador de hidrogênio que é encontrado no mercado. Os resultados foram satisfatórios no que diz respeito à produção do gás, mas não na cocção de alimentos. Dessa forma, é necessário um aprimoramento no equipamento de testes, uma vez que é necessário solucionar o problema do acúmulo de pressão para conseguir atingir o objetivo geral deste trabalho.

**Palavras – chaves:** Energia Alternativa. Eletrólise. Hidrogênio.

## **ABSTRACT**

With the population expansion and the advance in new technologies, the need to have energy sources is increasing, which has given a strong concern of the society, allied to the importance of preservation of the environment, since fossil fuels can Run out sooner or later. This study arises with the intention of providing another option for the exploration of an energy for the preparation of food. The objective of this study is to perform the cooking of foods through the generation of hydrogen by separating the hydrogen from the water molecule by means of electrolysis. The methodology adopted for the elaboration of this work consists of experimental research, in which a bench of tests was made and we used a hydrogen generator kit that is found in the market. The results were satisfactory with respect to the gas production, but not in the cooking of food. Therefore, it is necessary to improve the test equipment, since it is necessary to solve the problem of the accumulation of pressure to achieve the general objective of this work.

Keywords: Alternative Energy. Electrolysis. Hydrogen.

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis
BTU	Unidade Térmica Britânica
CNTP	Condições normais de temperatura e pressão
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GN	Gás natural
NUPEG	Núcleo de Estudo de Petróleo e Gás
ppm	partes por milhão
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte

## LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus celsius
A	Amperes
cm	Centímetros
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
g	Gramas
H <sub>2</sub>	Gás hidrogênio
H <sub>2</sub> O	Água
Kj	Quilojoule
lb	Libra
mL	Mililitro
mol	Moléculas
NaOH	Hidróxido de sódio
NO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrogênio
ns <sup>1</sup>	Número quântico do subnível s
pol	Polegadas
V	Volts

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Oferta de energia primária no Brasil em 2013.....	15
Figura 2 – Processo de eletrólise em meio aquoso.....	18
Figura 3 – Kit gerador de hidrogênio.....	22
Figura 4 – Outros equipamentos.....	23
Figura 5 – Bancada para realização de testes.....	23
Figura 6 – Substância enviada pelo fornecedor.....	24
Figura 7 – Equipamento de absorção atômica.....	25
Figura 8 – Teste de chama.....	25
Figura 9 – Ligamento do sistema.....	26
Figura 10 – Válvula unidirecional.....	28
Figura 11 – Sensor de pressão.....	29
Figura 12 – Placa arduino UNO.....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Síntese dos preços do GLP no Rio Grande do Norte.....	16
Tabela 2 – Análise dos cátions do grupo V.....	25
Tabela 2 – Diâmetro dos bicos injetores (1/100mm).....	27
Tabela 3 – Diâmetro mínimo para cada queimador (cm).....	28

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	15
2.1	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS.....	15
2.1.1	Gás liquefeito de petróleo - GLP.....	16
2.2	ELETRÓLISE.....	18
2.3	HIDROGÊNIO.....	19
<b>3</b>	<b>GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO POR MEIO DE ELETRÓLISE: UM EXPERIMENTO</b> .....	22
3.1	MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.2	RESULTADOS.....	26
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	30
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	31

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a principal fonte de energia utilizada no Brasil provém de combustíveis fósseis, como o carvão mineral, o petróleo e o gás natural, fontes essas que são não-renováveis, ou seja, têm a tendência de ficarem escassas. Dessa forma, há uma preocupação da sociedade com o futuro em relação a escassez dessa fonte, além dos impactos provocados por tais fontes, que geram emissão de poluentes provenientes da ação humana.

Haja vista que mundialmente há uma tendência de que ocorra escassez dessas fontes, além de serem consideradas poluentes, se têm buscado novas fontes de combustíveis que sejam renováveis e limpas, de forma que diminuam os impactos ambientais ocasionados pela má utilização de recursos não renováveis.

Uma excelente opção para diminuir a emissão de gases poluentes na atmosfera é o hidrogênio que quando queimado com o ar produz menos poluentes atmosféricos que os combustíveis atuais. Além disso, a produção do hidrogênio ocorre por meio do processo de eletrólise, um processo simples, uma vez que utiliza a água como matéria prima (CONELHEIRO; LUCIANO, 2012).

Uma alternativa atraente para gerar o hidrogênio, é a decomposição da água, pois ela é praticamente inesgotável na natureza, e seria recuperada na própria combustão do hidrogênio. Dessa forma, o hidrogênio torna-se atrativo por sua combustão ser limpa.

Essa alternativa de obtenção de hidrogênio dar-se por meio de eletrólise – uma reação não espontânea que precisa de uma fonte externa (bateria) para atuar em seu processo –, sem a fonte externa não acontece o processo de eletrólise.

Esse trabalho surge com o intuito de futuramente proporcionar mais uma opção de exploração de uma energia para o preparo de alimentos. Como há pouco trabalho referente ao uso do hidrogênio e sua aplicabilidade, se faz necessário o estudo da sua utilização enquanto um gás de cozinha. Portanto, é um trabalho relevante para a sociedade e que pode gerar novos estudos a partir deste.

O objetivo geral deste trabalho é realizar a cocção de alimentos por meio da geração do hidrogênio mediante a separação do hidrogênio da molécula de água por meio de eletrólise.

Para atingir o objetivo geral, alguns objetivos específicos foram definidos: montagem de uma bancada de teste para instalação do kit gerador de hidrogênio, identificar o diâmetro do bico ejetor do queimador do fogão e controlar a pressão interna no sistema.

A metodologia adotada para a elaboração desse trabalho consiste de pesquisa experimental. De acordo com Gil (2007) citado por Engel e Tolfo (2009, p.36), “a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto”.

O trabalho foi realizado na Universidade do Estado do Rio Grande do Norte em local aberto do Complexo Cultural da UERN.

Foram realizados dois testes de queimas para observar se estava sendo gerado o gás hidrogênio e se conseguiríamos acender um queimador.

Esta monografia está dividida em quatro seções. A primeira seção apresenta a introdução com os objetivos, a justificativa para a escolha do tema e a metodologia que será utilizada neste trabalho.

Em seguida, a segunda seção é composta pela fundamentação teórica necessária para realização desse trabalho. Expondo a utilização de combustíveis fósseis e o impacto ambiental. Ainda nesta seção, tem-se a definição sobre o processo que utilizaremos, a eletrólise, e também as características do GLP. Por fim, relatamos sobre o hidrogênio.

A terceira seção corresponde ao experimento descrevendo os materiais e métodos utilizados para sua preparação e contempla os resultados obtidos nos testes realizados.

A última seção apresenta a conclusão referente ao estudo e sugestões de trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção corresponde aos tópicos essenciais para a compreensão da temática abordada neste trabalho.

### 2.1 COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

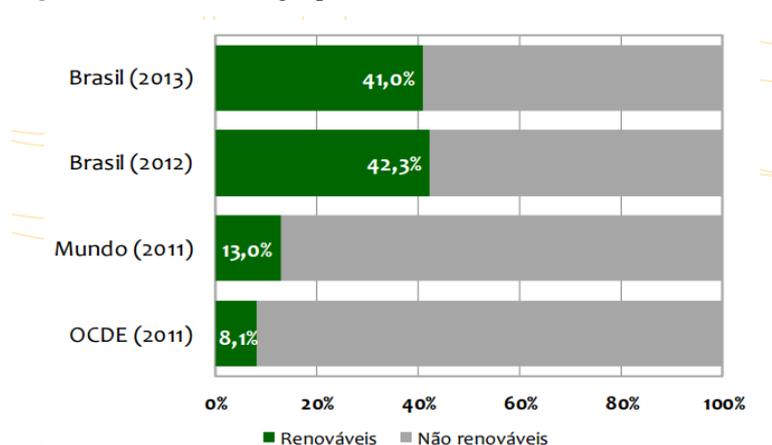
Apesar do avanço tecnológico recente, a principal fonte de energia utilizada no Brasil ainda é derivada de fontes não renováveis e altamente prejudiciais ao meio ambiente já que a sua queima produz gases, como o dióxido de carbono, que comprometem a atmosfera terrestre.

Os combustíveis fósseis são derivados de matéria orgânica animal e vegetal, a biomassa, ou seja, eles são formados por processos naturais que ocorrem por intermédio da decomposição dos organismos (PACHECO, 2006).

A energia fóssil é produzida a partir de petróleo, gás natural e carvão. Esses resíduos – hidrocarbonetos – são o resultado da decomposição de organismos vivos durante eras geológicas e os efeitos da temperatura, pressão e certas bactérias. Ao contrário das fontes de energia renováveis, as fontes de energia fósseis desaparecerão quando as reservas planetárias estiverem esgotadas (PIVA, 2010, p.31).

Esses combustíveis existem desde os primórdios quando o ser humano buscava maneiras de sobreviver e conseguir alimentos para sua nutrição. Desse modo, eles aprenderam a manipular o fogo e cozinhar seus alimentos por meio da queima de lenha.

**Figura 1:** Oferta de energia primária no Brasil em 2013



Fonte: EPE (2014, p.18)

A Figura 1 mostra que a oferta brasileira de energia em 2013 ainda permaneceu dominada pelas fontes não renováveis (como o carvão mineral, petróleo e gás natural), apesar dessa dominação, as fontes renováveis, como a energia eólica e solar, têm se mostrado elevadas se compararmos com a oferta mundial produzida em 2011, apesar de ocorrer uma diminuição na oferta brasileira em 2013 se comparado a 2012. Essa diminuição no Brasil foi ocasionada pela redução na oferta de energia hidráulica, decorrente do período de estiagem que o país vem enfrentando.

### 2.1.1 Gás liquefeito de petróleo – GLP

De acordo com a PETROBRÁS (2013, p.3):

Define-se como gás liquefeito do petróleo, GLP, a mistura formada, em sua quase totalidade, por moléculas de carbono e hidrogênio (hidrocarbonetos) de três a quatro átomos de carbono que, embora gasosos nas condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP), podem ser liquefeitos por resfriamento e/ou compressão.

O GLP é popularmente conhecido como o gás de cozinha, gás este que utilizamos para fazermos o cozimento de alimentos. A seguir mostraremos o preço cobrado desse gás nas principais cidades do Rio Grande do Norte de acordo com dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

Tabela 1 – Síntese dos preços do GLP no Rio Grande do Norte

DADOS MUNICIPIO										
MUNICIPIO	Nº DE POSTOS PESQUISADOS	Preço ao Consumidor					Preço Distribuidora			
		PREÇO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	PREÇO MÍNIMO	PREÇO MÁXIMO	MARGEM MÉDIA	PREÇO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	PREÇO MÍNIMO	PREÇO MÁXIMO
CAICO	4	56,75	2,36	55	60	20,31	36,45	0,64	35,99	36,9
MOSSORO	4	52,5	2,89	50	55	15,88	36,62	1,18	35,9	37,98
NATAL	37	53,97	2,53	50	60	18,01	35,97	0,98	33,9	36,99
PARNAMIRIM	17	53,65	2,83	50	60	18,8	34,84	2,65	31,9	41,79
SAO JOSE DE MIPIBU	4	56,25	4,79	50	60	16,35	39,9	3,67	35,8	42,9

Fonte: ANP (2016)

Podemos notar a variação de preço em cada município. Esses dados foram obtidos por meio de média ponderada de acordo com as informações passadas pelos distribuidores do gás butano à ANP.

Dessa forma, podemos justificar o fato de algumas comunidades – principalmente carentes –, continuarem a usar a lenha para a cocção de seus alimentos, tendo em vista o preço do GLP cobrado no mercado do Rio Grande do Norte.

Outra forma de utilização do gás de cozinha é como combustível para automóveis. Ora, se como gás de cozinha já existe o risco eminente de uma explosão, imagine então esse gás sendo utilizado como combustível automotivo, pois o uso em automóveis não é regulamentado além de sua instalação ocorrer de maneira artesanal.

“[...] o GLP é um produto inflamável, mais pesado que o ar e, quando vaza, como tende a se concentrar em pontos mais baixos, há grande risco de incêndio. É um produto asfixiante devendo-se tomar diversas medidas de segurança no manuseio e utilização do produto” (PETROBRÁS, 2013, p.8).

É importante que saibamos do impacto desse gás de cozinha não somente para o ser humano, mas também para o meio ambiente, como apresentamos a seguir.

A informação ecológica acerca do GLP esclarece que não é esperado impacto ambiental pelo produto, mas que um efeito adverso causado por sua utilização seria o *smog* fotoquímico. Segundo a LIQUIGÁS (2015, p.9) diz que o GLP “contribui para a formação do *smog* fotoquímico pela degradação na atmosfera através de reações fotoquímicas para formar oxidantes fotoquímicos e interferindo no ciclo fotoquímico dos óxidos de nitrogênio”

O *smog* fotoquímico é uma mistura de poluentes secundários como, por exemplo, dióxido de nitrogênio e ozônio, que são formados por meio de reações fotolíticas entre dióxido de nitrogênio e hidrocarbonetos (BRICKUS, L.; NETO, F., p.69).

Pode-se dizer com razoável grau de certeza que a principal ameaça a existência da raça humana sobre a Terra são as mudanças climáticas, causadas pelo aumento nas concentrações atmosféricas dos gases que causam o aumento do efeito estufa, que é o que podemos observar nos últimos dias com a sensação que temos de que a cada dia está ficando mais quente e a sensação térmica é bem maior do que o está sendo marcado na escala Celsius (GOLDEMBERG, J.; LUCON, O., 2006-2007).

O gás carbônico atingiu nível recorde de 400 ppm (partes por milhão) em 2015, este mesmo nível já tinha atingido alguns lugares durante alguns meses, mas nunca em uma escala global e por um ano inteiro. Dessa forma, o planeta entra em uma nova era com esse recorde e dificilmente esse índice de gás carbônico baixará daqui para frente. O gás carbônico, que é um dos gases do efeito estufa, é um dos principais responsáveis pelo aquecimento global uma vez que ele permanece por milhares de anos concentrado na água e na atmosfera. Vale salientar

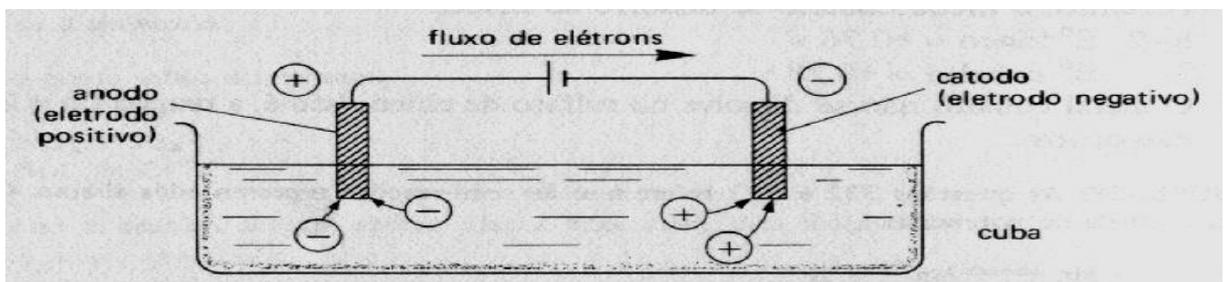
que a última vez em que o gás carbônico atingiu esse nível de 400 ppm foi a quatro ou cinco milhões de anos atrás (JORNAL, 2016).

## 2.2 ELETRÓLISE

“Em geral a eletrólise é um processo químico provocado pela aplicação de uma corrente elétrica, e começou a ser usada a partir da constatação de que substâncias iônicas possuem a capacidade de conduzir corrente elétrica quando presentes em soluções aquosas” (SENRA, 2014, p.13).

Como podemos observar na Figura 2, os elétrons passam do anodo para o catodo por meio de um fio externo; os cátions, por sua vez, direcionam-se para o catodo e os ânions para o anodo. A fonte externa, no caso a bateria que utilizaremos, fornecerá corrente para impulsionar os elétrons por um fio em uma direção determinada (ATKINS, P.;JONES, L. p.543).

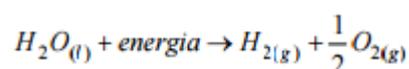
**Figura 2:** Processo de eletrólise em meio aquoso



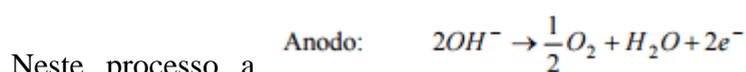
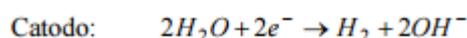
Fonte: POLITI (1946, p.287)

Quando acontece o processo de eletrólise a molécula da água irá ser quebrada e posteriormente o gás será liberado. O oxigênio será liberado no ambiente e o hidrogênio será utilizado para queimar no fogão.

Segundo Bolton (1996, apud NETO, 2007, p.2) A reação do processo de eletrólise da água é:



Bolton (1996, apud NETO, 2007, p.2) diz ainda que “A energia absorvida no processo é convertida em calor nos eletrodos e energia química na forma de hidrogênio gasoso. As reações nos eletrodos são descritas como:”



água é consumida e apenas dois elétrons participam da dissociação da molécula da água (NETO, L. R; 2007).

### 2.3 HIDROGÊNIO

Em 1766, foram estudadas pela primeira vez as propriedades físicas de um gás inflamável produzido a partir de reações com metais, que foram obtidas no ano de 1670 pelo químico Robert Boyle (DIAS, 2015).

Seu nome, hidrogênio, foi dado por Lavoisier, que se baseou nos estudos já realizados por Cavendish, após ele perceber que a queima desse elemento geraria água. Foram iniciadas pesquisas sobre uma pilha que seria movida pelo hidrogênio e oxigênio, denominado de células combustíveis, onde o ramo é bastante promissor (CEMING, 2012).

Segundo Senra et al. (2014, p.4):

O hidrogênio é uma fonte renovável de energia, não tóxica, corrosiva ou cancerígena e embora seja inflamável, possui rápida dispersão e alto coeficiente de difusão, e possui quantidade de energia por unidade de massa maior que qualquer outro petróleo conhecido (52.000 BTU/lb ou 120,7kJ/g), cerca de três vezes mais que o petróleo em seu estado líquido.

Na citação acima, Senra diz que o hidrogênio é uma fonte renovável de energia, no entanto, Rosa (2015, p.377) diz que o hidrogênio não é uma fonte de energia, pois necessita de energia para ser obtido. Dessa forma, pode ser observado que os autores se contradizem acerca do hidrogênio ser ou não uma fonte de energia.

O elemento químico hidrogênio, cuja sigla é H, é o primeiro elemento da tabela periódica, correspondente a família 1A devido sua distribuição eletrônica apresentar o mesmo subnível mais energético que todos os outros elementos dessa família. Seu número atômico é 1, logo, sua distribuição eletrônica é 1s<sup>1</sup> (DIAS, 2015).

De acordo com Atkins e Jones (2012, p.615):

Embora o hidrogênio tenha a mesma configuração eletrônica de valência dos elementos do grupo 1,  $ns^1$ , e forme íons +1, ele tem pouca semelhança com os metais alcalinos. O hidrogênio é um ametal que se assemelha aos halogênios: ele só precisa de um elétron para completar sua configuração de elétrons de valência, pode formar íons -1 e existe como uma molécula diatômica,  $H_2$ . Entretanto, as propriedades químicas do hidrogênio são muito diferentes das propriedades dos halogênios. Como ele não pode ser claramente identificado com nenhum grupo de elementos, não vamos associá-lo a grupo algum.

Cerca de 89% de todos os átomos do universo são hidrogênio, por isso é um elemento químico abundante. Entretanto, existe muito pouco hidrogênio livre na Terra. Isso acontece pelo fato de o hidrogênio ser muito leve e movimentar-se com velocidades médias tão altas que tendem a escapar da gravidade do nosso planeta (ATKINS, P.; JONES, L. p.615).

A maior parte do hidrogênio da Terra está na forma de água, nos oceanos ou presa no interior de minerais e argilas. Porém pode ser encontrado também nos hidrocarbonetos que formam os combustíveis fósseis, como o carvão, petróleo e gás natural (ATKINS, P.; JONES, L. p.615).

Segundo Rosa (2015, p.377), o hidrogênio, na melhor das hipóteses, é um excelente vetor de energia, sendo promissor como:

Combustível para veículos terrestres e aquáticos, especialmente quando usados em células a combustível de alta eficiência;  
Combustível para aeronaves de grande porte e naves espaciais devido à elevada razão energia/peso quando na forma criogênica;  
Combustível doméstico e industrial para a geração de calor e eletricidade, e;  
Como um meio de transportar grande quantidade de energia em longas distâncias.

Uma aplicação do hidrogênio é o processo utilizando células de combustão, no qual um transdutor eletroquímico, de operação contínua, converte energia química em elétrica. Esse processo se dá por meio da combinação de um átomo de oxigênio com dois átomos de hidrogênio, que produzirá água, energia elétrica e térmica (STEFANELLI, [2016?]). Sua operação produz baixo impacto ambiental.

A utilização de células de combustão em espaçonaves surgiu da necessidade de gerar eletricidade para a mesma e também como suporte de vida, uma vez que o produto formado no processo de eletrólise é a água. Por isso, as células a combustível de hidrogênio são as mais atraentes, isso acontece pelo fato de utilizarem um combustível renovável.

O principal desafio está na forma de como vai armazenar esse gás. Uma vez que em locais confinados ele pode ocasionar asfixia ou até mesmo explosões.

A seguir falaremos sobre os materiais e os métodos utilizados para a realização do experimento.

### 3 GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO POR MEIO DE ELETRÓLISE: UM EXPERIMENTO

Nesta seção, serão discutidos os procedimentos para montagem da bancada de testes e os equipamentos constituídos na sua arquitetura. Além disso, será explicado como ocorre o processo de eletrólise no gerador de hidrogênio.

Por fim, serão analisados os resultados obtidos da queima, que ocorreu em dois dias, e a insatisfação diante os problemas existentes para utilizar o gás hidrogênio no processo de cozimento de alimentos, que será detalhado no último tópico deste capítulo.

#### 3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

O hidrogênio foi obtido da separação da molécula de  $H_2O$ , utilizando o gerador de hidrogênio, kit Gerador, encontrado no mercado comercial (Figura 3). O hidrogênio gerado foi posteriormente liberado de forma controlada para queima em um fogão de uso doméstico ou liberado em ambiente aberto, evitando o acúmulo do gás para reduzir o risco de acidentes. Também foi instalado um controlador de amperagem “kit PWM” (Marca TECH DELPIN) para controlar a quantidade de gás gerada, com o intuito de aumentar a segurança do processo.

**Figura 3:** Kit gerador de hidrogênio



Fonte: autor

Foram utilizados outros equipamentos (Figura 4) como um balão volumétrico de vidro com capacidade de 1000 ml, carregador de bateria, termômetro analógico, balança digital, multímetro e uma bateria automotiva de 12 (V) e 75 (A).

**Figura 4:** Outros equipamentos



Fonte: autor.

Foi feito uma bancada (Figura 5), para a realização dos testes, composta por: 1 - kit PWM; 2 - borbulhador; 3 - kit gerador de hidrogênio; 4 - bateria; 5 - chave (ligar/desligar); 6 - fusível.

**Figura 5:** bancada para realização dos testes



Fonte: autor

O fornecedor do equipamento enviou uma substância dizendo ser solução de ácido sulfúrico (Figura 6), no entanto, por meio do pH foi observado que se tratava de uma base e para descobrir qual substância se tratava, uma vez que o fornecedor não soube nos dizer, foi feito um teste experimental utilizando o equipamento de espectrometria de absorção atômica no NUPEG da UFRN.

**Figura 6:** Substância enviada pelo fornecedor



Fonte: autor

Colocamos uma pequena porção da amostra na espectrometria de absorção atômica (Figura 7) e observamos a coloração da chama (Figura 8). Originalmente esse processo usa um fio de platina preso a um bastão de vidro, e em seguida mergulha o fio numa solução de ácido clorídrico concentrado e é aquecido num bico de Bunsen observando a coloração da chama. Este processo é repetido até que o fio não apresente coloração alguma à chama.

**Figura 7:** Equipamento de absorção atômica

Fonte: autor

**Figura 8:** Teste de chama

Fonte: autor

O teste de chama indicou que o produto em questão era o Hidróxido de Sódio, já que quando a chama oxidante, utilizando a espectrometria de absorção atômica, apresentou mudança na coloração, tornando-se laranja durante a queima do sódio. Se fosse o hidróxido de potássio, haveria modificação da chama, apresentando uma coloração violeta. Com os dados obtidos foi feita uma tabela, Tabela 2, na qual indica a presença do sódio e de fato a confirmação de que não se tratava de ácido sulfúrico e nem potássio.

**Tabela 2:** Análise dos cátions do grupo V

Reagente	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
<b>Teste de queima</b>	Coloração laranja	Não houve coloração	Não houve coloração

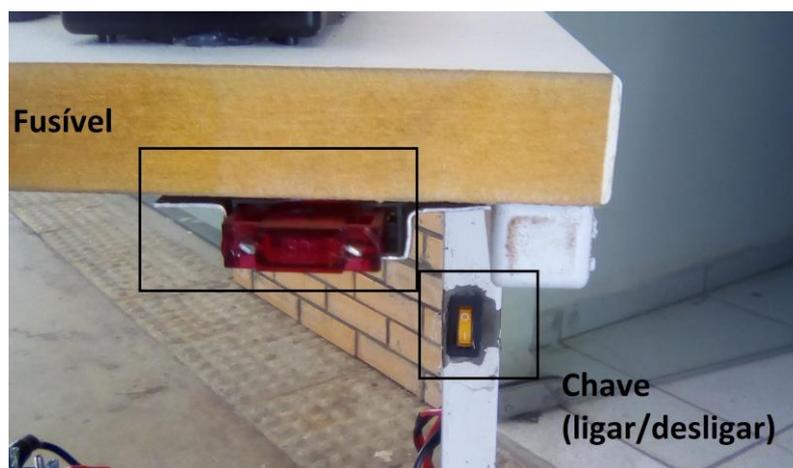
Fonte: autor

Em seguida, foram diluídos cinco mL de hidróxido de sódio, enviado pelo fornecedor do kit, em um balão volumétrico de 1000 mL. Após a diluição, foram colocados 650 mL, da solução do ácido com água destilada, no gerador de hidrogênio, 200 mL no borbulhador, 250 mL no antichamas e 150 mL guardado para completar o borbulhador quando estiver abaixo do nível. Em todo o processo de diluição foi utilizada água destilada.

Após o preenchimento de cada equipamento com a solução, foram conectados os cabos na bateria, ligando o gerador, como pode ser observado na Figura 5. Depois de conectado começou a ocorrer o processo de eletrólise e a produção do hidrogênio.

Para aumentar a segurança do nosso estudo, o processo só acontece após inserir o fusível como mostrado na Figura 5. Uma vez inserido, liga a chave e só assim começa a acontecer à produção do gás hidrogênio.

**Figura 9:** Ligamento do sistema



Fonte: autor

### 3.2 RESULTADOS

No primeiro teste para geração do hidrogênio, a bateria possuía uma tensão de 12,40 volts e corrente que variou entre 6,4 a 6,53 A, dados observados por meio do PWM. Neste teste foi gerado o hidrogênio, observado por meio de bolhas que saíam da mangueira submersa no antichamas. A certeza da geração do hidrogênio ocorreu quando se pegou parte da bolha em uma colher e ao aproximá-la da chama de um isqueiro ocorreu à imediata explosão.

No teste da queima do hidrogênio, inicialmente foi utilizada uma agulha de seringa que derreteu. Entre as possíveis causas para este resultado é atribuída à aerodinâmica da ponta da agulha, pois a chama se formou na saída da agulha e não após a saída; outra variável que pode ter contribuído embora em menor proporção foi a pressão criada na geração do gás hidrogênio que foi 2 lb/pol., registrado por meio de um manômetro analógico; e/ou o tipo de material da agulha (metal). Observou-se que o diâmetro do bico do ejetor do gás também

poderia ter influenciado o resultado, por exemplo, no maçarico o bico ejetor possui diâmetro que varia de (3/10 mm) a (4/10 mm).

Quando se utiliza um queimador de fogão com gás butano em vez do gás natural, pode ser observado que a formação da chama apresenta a cor amarela o que é atribuído queima incompleta devido o fator do diâmetro do gás natural ser maior que o gás butano, logo a descoberta do diâmetro do queimado para o hidrogênio ainda é um desafio, pois ainda não foi encontrado na literatura o uso do hidrogênio em fogão de doméstico nem industrial.

Após esse primeiro teste, foram colhidas algumas informações sobre o bico ejetor utilizado para cada gás, como pode ser observado na Tabela 2, com o intuito de descobrir qual utilizaria para geração do gás hidrogênio. O bico ejetor do gás natural, por exemplo, tem seu diâmetro diferente em relação ao GLP.

De acordo com a Tabela 2 - que corresponde ao COOKTOP um tipo de fogão instalado em superfícies planas e que não possui forno -, o número equivale à quantidade de queimadores, estes são subdivididos em auxiliar, semirrápido e rápido, que está associado a sua queima. Como pode ser observado, cada queimador possui um diâmetro de bico ejetor diferente tanto para o gás liquefeito de petróleo (GLP) quanto para o gás natural (GN).

**Tabela 2:** Diâmetro dos bicos ejetores (1/100 mm)

<b>Número</b>	<b>Queimador</b>	<b>B.E GLP</b>	<b>B.E GN</b>
<b>4</b>	Auxiliar	50	77
<b>1 – 2</b>	Semirrápido	66	101
<b>3</b>	Rápido	87	129

Fonte: Manual de instruções COOKTOP – L604 FTI

Os queimadores também possuem diâmetros específicos, ou seja, é ideal que se utilize panelas de acordo com o diâmetro especificado na Tabela 3. O uso de panelas com diâmetros diferentes ocasiona a saída da chama por baixo e conseqüentemente se tem o aproveitamento menor do calor.

**Tabela 3:** Diâmetro mínimo para cada queimador (cm)

Número do queimador	Diâmetro
4	14
1 – 2	20
3	10

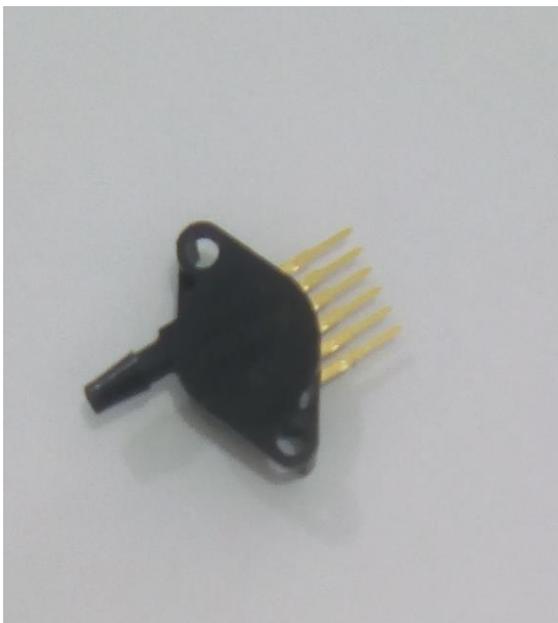
Fonte: COOKTOP – L604 FTI

Na realização do segundo teste, foi adaptada a mangueira do hidrogênio de 10 mm a mangueira do fogão de (3/8 pol.), por meio de um adaptado de cobre. Na ocasião, ocorreu à explosão do antichamas.

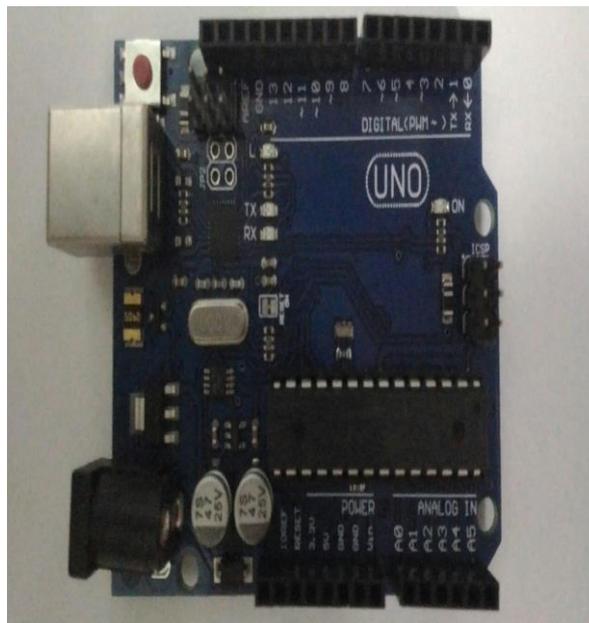
A explosão do antichamas foi ocasionada pelo acúmulo do gás no sistema, por esta razão foram feitos encaminhamentos frente a essa explosão: providenciou-se uma válvula para evitar o retrocesso da chama (Figura 10); um sensor de pressão (Figura 11) e uma placa arduino UNO (Figura 12) para controlar a pressão do sistema.

**Figura 10:** Válvula unidirecional

Fonte: autor

**Figura 11:** Sensor de pressão

Fonte: autor

**Figura 12:** Arduino UNO

Fonte: autor

Como foi dito anteriormente, o controle da pressão será feito pela utilização do sensor e o arduino mutuamente, uma vez que o arduino é de fácil manejo por utilizar uma linguagem de programação padrão (C/C++). O sistema funcionará com valores de pressões iniciais e finais, determinadas no código em C/C++, na qual ao ultrapassar esses valores de pressões, irá ocorrer a condição de parada, que fará com que o sistema seja desligado para que não haja acúmulo da pressão e conseqüentemente explosões.

Para solucionar o problema com o diâmetro, é necessário fazer pesquisas e comparações do diâmetro utilizado para cada tipo de gás. Por meio de pesquisa bibliográfica, notamos que o diâmetro para utilizar na saída do gás hidrogênio seria aproximadamente 0,55 mm. Obtivemos giclês de diversos diâmetros, de uma oficina de motos, para fazermos essa adaptação do diâmetro, no entanto, não foi possível verificar se este diâmetro seria apropriado, uma vez que o problema com o retrocesso da chama não foi solucionado.

O retrocesso da chama ocorre quando a velocidade de saída do gás é menor do que a velocidade de combustão. Para que não ocorra esse retrocesso da chama, é necessário que as velocidades, de saída e combustão, sejam iguais (CASSIO, 2006).

No entanto, não foi possível fazer novos testes, porque não foram entregues em tempo hábil os equipamentos (sensor de pressão e placa Arduino), pois seria necessário mais tempo para a conclusão da parte prática deste trabalho.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste estudo era fazer o cozimento de alimentos utilizando o gás hidrogênio obtido por meio de eletrólise. No entanto, não foi alcançado pelo fato de não ter sido solucionado o problema com o acúmulo da pressão existente no sistema, impedindo a continuação dos experimentos, uma vez que poderiam ocorrer novas explosões.

Foram feitos dois testes de geração do hidrogênio, obtendo como resultado a certeza de que o gás hidrogênio estava sendo produzido e que deve ser feita uma alteração no diâmetro do bico ejetor para que seja possível utilizar esse gás na cocção de alimentos. No último teste, foram levantados apontamentos para evitarmos o retrocesso da chama, na ocasião, fizemos a instalação de uma válvula unidirecional.

Para futuros trabalhos sugerimos a utilização de um sensor de pressão que seria controlado por um arduino, com o intuito de controlar a quantidade de pressão existente na geração do hidrogênio; o estudo do efeito da variação da pressão; o estudo da variação da corrente elétrica e o estudo da variação do diâmetro do bico ejetor do gás.

## REFERÊNCIAS

ANP. **Sistema de levantamento de preços.** Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo Por Estado Index.asp](http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo%20Por%20Estado%20Index.asp)>. Acesso em: 10 nov. 2016.

ATKINS, P.; JONES, L. **Eletrólise.** In: \_\_\_\_\_. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente.** 5 ed., Porto Alegre: Bookman, 2012, p. 543 – 553.

ATKINS, P.; JONES, L. **Hidrogênio.** In: \_\_\_\_\_. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente.** 5 ed., Porto Alegre: Bookman, 2012, p. 615.

BRICKUS, L.; NETO, F. **A qualidade do ar de interiores e a química.** Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v22n1/1140>>. Acesso em: 3 mar 2017.

CASSIO, H. **Retrocesso de chama.** NOSA Certification Authority: 2006. Disponível em: <<http://www.ncabrazil.com.br/artigo-05.asp>>. Acesso em: 15 mai 2017.

CONELHEIRO, L. T. P.; LUCIANO, A. **Desenvolvimento de um sistema gerador de hidrogênio para utilização como combustível alternativo em veículos automotores.** In: VI Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Científica, 2012, Maringá. Anais eletrônicos...Maringá: CESUMAR, 2012, Disponível em: <[http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/mostras/vi\\_mostra/luis\\_thiago\\_panage\\_conelheiro.pdf](http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/mostras/vi_mostra/luis_thiago_panage_conelheiro.pdf)>. Acesso em: 03 out. 2016.

DIAS, Diogo Lopes. **Hidrogênio.** Disponível em: <<http://manualdaquimica.uol.com.br/quimica-geral/hidrogenio.htm>>. Acesso em: 4 jun.2016.

EPE. **Balanco energético nacional:** relatório síntese ano base 2013. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/BEN%202014%20Rel%20S%20C3%20ADntese%20ab%202013a.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

ESTEFANELLI, E.J. **Célula a combustível: energia elétrica a partir do hidrogênio.** Disponível em: <<http://www.stefanelli.eng.br/webpage/celula-combustivel/celula-a-combustivel.html>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

GOLDEMBERG, J. ; LUCON, O. **Energias renováveis:** um futuro sustentável. Revista USP, São Paulo, n.72, p. 6-16, dez./ fev. 2006 – 2007. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13564/15382>>. Acesso em: 23 out. 2016.

JORNAL hoje. Apresentado por Sandra Annenberg e Evaristo Costa. São Paulo: Rede Globo, 24 out. 2016, 13h20min. Duração 45 min. **Nível de gás carbônico na atmosfera atinge nível recorde em 2015.** Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-hoje/edicoes/2016/10/24.html#!v/5399064>>.

LIQUIGÁS. **Ficha técnica de informações de segurança de produto químico – FISPQ.** Disponível em:<[https://www.liquigas.com.br/wps/wcm/connect/a94a95004640d0be8ce7cddd2947447b/GLP\\_27\\_05\\_15.pdf?MOD=AJPERES](https://www.liquigas.com.br/wps/wcm/connect/a94a95004640d0be8ce7cddd2947447b/GLP_27_05_15.pdf?MOD=AJPERES)>. Acesso em: 24 out. 2016.

NETO, R. L.; **Geração e combustão do hidrogênio obtido através do processo de eletrólise da água.** Disponível em: <[http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2007/Artigos/Art\\_TCC\\_018\\_2007.pdf](http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2007/Artigos/Art_TCC_018_2007.pdf)>. Acesso em: 9 abr. 2017.

PACHECO, F. **Energias Renováveis:** breves conceitos. Conjuntura e Planejamento, Salvador: SEI, n. 149, p. 4-11, out. 2006. Disponível em: <[http://ieham.org/html/docs/Conceitos\\_Energias\\_renov%C3%A1veis.pdf](http://ieham.org/html/docs/Conceitos_Energias_renov%C3%A1veis.pdf)>. Acesso em: 24 out. 2016.

PETROBRÁS. **Gás liquefeito de petróleo:** informações técnicas. Disponível em: <<http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/manual-tecnico-gas-liquefeito-petrobras-assistencia-tecnica-petrobras.pdf>>. Acesso em: 24 out. 2016.

PIVA, R. B. **ECONOMIA AMBIENTAL SUSTENTÁVEL: OS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E AS ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS.** 2010. 81 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26107/000755427.pdf?>>. Acesso em: 21 out. 2016.

POLITI, E. **Eletrólise.** IN:\_\_\_\_. Química: curso completo. São Paulo, 1946., p. 287;

ROSA, A. V. D. **Hidrogênio.** In: \_\_\_\_\_. Processos de energias renováveis. 3 ed., Rio de Janeiro: Elsevier, 2015, cap.11, p.377.

SENRA, F.O. et al. **Estudo da aplicação de hidrogênio e gasolina em motor ciclo Otto.** USF: São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2629.pdf>>. Acesso em: 9 abr. 2017.

SUBMARINO. **Manual de equipamento cooktop – L604 FTI.** 2017. Disponível em: <<http://img.submarino.com.br/manuais/113072457.pdf>>. Acesso em: 15 mai 2017.