

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

PÂMALA SAMARA VIEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA GERADOR DE HIDROGÊNIO PARA O
COZIMENTO DE ALIMENTOS**

**NATAL
2018**

PÂMALA SAMARA VIEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA GERADOR DE HIDROGÊNIO PARA O
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 Goés da
Rocha.

**NATAL
2018**

PÂMALA SAMARA VIEIRA

**DESENVIMENTO DE UM SISTEMA GERADOR DE HIDROGÊNIO PARA O
COZIMENTO DE ALIMENTOS**

Aprovada em 28 de junho de 2018

BANCA EXAMINADORA

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

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

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

RESUMO

Um dos principais desafios atualmente é a transformação da energia de forma limpa e renovável, pois, os atuais combustíveis que são usados como a biomassa, carvão e o GLP provocam um grande impacto na saúde do ser humano e no meio ambiente. A sua queima gera a emissão de gases poluentes no ar, tanto no meio doméstico que está sendo feita a cocção de alimentos, como no meio ambiente. Posto isso, existem estudos que comprovam a eficiência do hidrogênio como um promissor vetor energético para o cozimento de alimentos, a diferença está na forma como essa molécula de hidrogênio é obtida. Neste estudo, o caráter inovador é a montagem e adaptação de um sistema capaz de gerar o gás hidrogênio e a queima controlada. Esse gás foi obtido por meio da separação da molécula de água pelo processo de eletrólise. Uma vez que esse gás foi gerado, utilizou-se em um fogão de uso doméstico para fazer o cozimento do alimento. A metodologia adotada para o desenvolvimento da pesquisa é de caráter experimental, no qual foi utilizada uma bancada de testes desenvolvida no semestre anterior que tem como autora Brito (2017). Porém, o trabalho não foi concluído devido ao aparecimento de problemas no sistema, como o acúmulo de pressão. Diante disso, nesta pesquisa foram solucionados dificuldades frente aos problemas como: a implementação de uma válvula unidirecional para não ocorrer o acúmulo de pressão, além de duas válvulas de alívio e um monômetro analógico. O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um sistema capaz de gerar o gás hidrogênio pelo processo de eletrólise e assim fazer a cocção do alimento. Sendo assim, deu-se início o processo de cozimento do alimento em que foi colocado 400 mL de água em um recipiente de alumínio e posteriormente inserido quatro ovos submersos na água. Foi averiguado que de fato estava iniciando o cozimento do alimento, pois o recipiente estava esquentando. No entanto, o procedimento foi interrompido devido ao derretimento da barra sindal que está presente em um compartimento da bancada de testes e ao vazamento da solução apresentado no borbulhador. Dessa forma, foi solucionado o problema com a barra sindal, mas ainda assim é necessário a confecção de uma nova peça para a tampa superior e inferior do borbulhador do mesmo material do gerador, o poliacetato.

Palavras chave: 1. Energia alternativa. 2. Eletrólise. 3. Gás hidrogênio.

ABSTRACT

One of the main challenges today is the transformation of energy in a clean and renewable way, because the current fuels that are used as biomass, coal and LPG cause a great impact on human health and the environment. Your burn generates the emission of polluting gases in the air, both in the domestic environment that is being done the cooked food, as in the environment. However, there are studies that prove the efficiency of hydrogen as a promising energetic vector for the cooking food, the difference is in the way how this hydrogen molecule is obtained. In this study, the innovative character is the assembly and adaptation of a system capable of generating the hydrogen gas and controlled burning. This gas was obtained through the separation of the water molecule by the electrolysis process. Once this gas was generated, it was subsequently used in a cooker for use domestic to make the cooking of the food. The methodology adopted for the development of the research it's experimental character, in which it was used a bench of tests developed in the previous semester that has as author Brito (2017). But, the work was not completed due to the appearance of problems in the system, such as the accumulation of pressure. Therefore, in this research, difficulties were solved in the face of problems as: the implementation of a unidirectional valve for not occur the pressure buildup, besides two relief valves and an analog monometer. The general objective of this work was to develop a system capable of generating the hydrogen gas by the electrolysis process and so doing the food cooking. Therefore, it started the process of cooking the food in which was placed 400mL of water in an aluminum container and posteriorly inserted four eggs submerged in the water. It was ascertained that in fact was beginning the cooking of the food because the container was heating up. However, the procedure was interrupted due to the melting of the sindal bar that is present in a test bench compartment and to the leakage of the solution presented in the bubbler. In this way, the problem with the sindal bar was solved, but it's still necessary a confection of the new piece for the top cover and bottom of the bubbler of the same material of the generator, the polyacetate.

Keywords: Alternative energy. Electrolysis. Hydrogen gas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Dependência primária da população em relação a diversos tipos de combustíveis por região.....	14
Figura 2 - Porcentagem da população e quantidade de pessoas por região que confiam no uso da biomassa para cocção de alimentos.....	15
Quadro 1 - Comparação do poder calorífico de diversos combustíveis.....	17
Figura 3 - Eletrólise da água.....	20
Figura 4 - Bancada para realização dos testes.....	24
Figura 5 - Espigão tipo “Fêmea” ¼”.....	25
Figura 6 - Espigão tipo “Macho” ¾”.....	25
Figura 7 - Braçadeira 10 – 13mm.....	25
Figura 8 - Ilustração dos queimadores do fogão.....	26
Figura 9 - Gerador inclinado na bancada de testes.....	27
Figura 10 - Compartimento superior do gerador.....	27
Figura 11 - Peça superior confeccionada para gerador.....	28
Figura 12 - Peça inferior confeccionada para o gerador.....	29
Figura 13a - Tubo eletrodos, visão vertical.....	30
Figura 13b - Tubo eletrodos, visão superior.....	30
Figura 14 - Solução retirada do gerador.....	31
Figura 15 - Mensuração pH da solução após desmontagem do gerador.....	32
Figura 16 - Mensuração da solução após correção do pH.....	32
Figura 17 - Momento da correção do pH.....	33
Figura 18 - Mensuração da condutividade da solução após desmontagem do gerador.....	33
Figura 19 - Mensuração da condutividade da solução após correção do pH.....	33
Figura 20 - Peça confeccionada de Poliacetato.....	35
Figura 21 - Controlador de amperagem (1).....	36
Figura 22 - Saída do tubo de venturi.....	37
Figura 23 - Queima do papel com gás hidrogênio.....	38
Figura 24 - Bico injetor adaptado no fogão.....	38

Figura 25 - Cozimento do alimento.....	38
Figura 26 - Controlador de amperagem (2).....	39
Figura 27 - Temperatura do material.....	39
Figura 28 - Derretimento da barra sindal.....	39
Figura 29 - Barra sindal, vista inferior e superior	40
Figura 30 - Slot para fusível, novo e anterior(aquecido).....	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. O USO DO HIDROGÊNIO OBTIDO POR MEIO ELÉTROLISE PARA O COZIMENTO DE ALIMENTOS	12
2.1 A HISTÓRIA DA ENERGIA	12
2.2 PANORAMA MUNDIAL DO USO DE DIFERENTES COMBUSTÍVEIS PARA A COCÇÃO DE ALIMENTOS.....	14
2.3 O HIDROGÊNIO	16
2.4 PROCESSOS DE OBTENÇÃO DO HIDROGÊNIO.....	18
2.4.1 Eletrólise	19
2.5 FORMAS DE COZINHAR EM DESENVOLVIMENTO.....	21
3. SISTEMA DE GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO PARA O COZIMENTO DE ALIMENTOS	23
3.1 GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO POR MEIO DO PROCESSO DE ELETRÓLISE: EXPERIMENTO	24
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por necessidades energéticas em uma escala mundial continuam aumentando significativamente. Um dos principais desafios da sociedade moderna é a produção de energia de forma limpa e os efeitos continuados na saúde de bilhões de pessoas. Em particular, 2,8 bilhões de pessoas, cerca de 38% da população mundial utilizam como forma primária de energia a queima da biomassa como forma de cozinhar os alimentos (IEA, 2017). Com isso, é possível dizer que estes números tem consequências na emissão dos gases do efeito estufa, nas taxas de desmatamento e problemas de saúde relacionados com a poluição do ar, uma vez que uma grande porcentagem ainda utiliza esse meio de cozimento de alimentos (IEA,2017). Diante de tal fato, podemos salientar que falta acesso a formas de cozinhar limpas, e que substituindo esses meios por uma base mais renovável trará vantagens importantes como diminuição dos poluentes na atmosfera e taxas reduzidas de problemas de saúde.

A maioria da populações que enfrentam a pobreza energética está disposta na África Subsaariana, e nas áreas rurais do mundo em desenvolvimento e cozinham a maior quantidade dos seus alimentos usando o carvão, madeira e até querosene, que pode ser consumido acidentalmente por crianças (IEA, 2017). Na carência de novas políticas, a quantidade de pessoas que dependem de combustíveis sólidos para cozimento dos alimentos só tende a crescer e as implicações destas práticas incluem impactos severos sobre as mudanças ambientais e a saúde do ser humano, pois, a queima desses combustíveis usados geram poluentes nocivos de ar domésticos.

Logo, o mundo está longe de estar a caminho de alcançar o acesso universal à forma de cozinhar os alimentos de forma limpa, porém, caminha para atingir tal feito. Um exemplo disso é que esse parâmetro vem ganhando força e sendo apoiado por políticas específicas como programas de “acesso à cozinha limpa”, destacado pela Agência Internacional de Energia. Esse programa define-se basicamente em instalações de cozinha utilizado na residência que seja limpa, ou seja, não poluentes e eficiente, e que não prejudique a saúde do ser humano. O principal destaque é no

uso do Gás Liquefeito do Petróleo - GLP que na atualidade é um dos meios mais eficientes no cozimento de alimentos (IEA, 2017).

Com isso, devido a problemática com o uso destes meios de cozimento, apontamos o hidrogênio como forma de gerar um gás capaz de fazer a cocção dos alimentos, uma vez que é ambientalmente sustentável e energeticamente eficiente quando comparado a biomassa e ao GLP. Neste sentido, o caráter inovador da pesquisa é a montagem e adaptações em um sistema desenvolvido no semestre 2017.2, que utiliza o hidrogênio, pelo processo de eletrólise, como vetor energético para o cozimento de alimentos.

Dentre todas as formas de energia, o hidrogênio surge como uma hipótese para a produção de energia para o cozimento de alimentos, pois, de acordo com a autora da pesquisa desenvolvida anteriormente, Brito (2017), uma alternativa para gerar o hidrogênio é decompondo a molécula da água através da eletrólise, que é caracterizado por ser um processo químico simples, limpo e a água é recuperada na sua própria com combustão do hidrogênio.

O sistema consiste em aparelhos capazes de produzir o gás hidrogênio, que são eles: o gerador de hidrogênio, borbulhador, um controlador de amperagem (kit PWM), uma fonte externa de energia (bateria), chaves de liga/desliga e um fusível. Utilizando esse equipamento, foi realizado testes de queima para observar se o gás hidrogênio estava sendo gerado e após o experimento foi constatado que de fato ele foi produzido.

Uma vez que foi confirmado a produção do hidrogênio em forma de gás, este trabalho tem como o objetivo geral de desenvolver um sistema gerador de hidrogênio para o cozimento de alimentos. Para atingir o objetivo geral, alguns objetivos específicos foram definidos: estudar como controlar a pressão do sistema da bancada de testes, estudar formas de evitar o retrocesso da chama, pesquisar sobre o diâmetro do bico queimado em função da pressão do gás gerado, realizar o teste de queima, registrar a pressão do sistema e registrar a corrente elétrica e a tensão do sistema.

Com vistas a alcançar os objetivos propostos, decidiu-se realizar uma pesquisa do tipo experimental. Optou-se para o desenvolvimento deste trabalho o método experimental, pois como se trata de uma forma de cozinhar não convencional, é necessário compreender os fenômenos intrínsecos que envolvem a eficiência do hidrogênio em forma de gás obtido pelo processo de eletrólise da água para cozimento de alimentos.

Desta forma, vamos primeiramente solucionar alguns problemas que foram encontrados ao longo do experimento, pois conforme disse Brito (2017), o trabalho não foi concluído uma vez que não foi solucionado o problema com o acúmulo da pressão no sistema e ocorreu o estouro do antichamas. Será possível fazer o controle da pressão do sistema por meio da instalação de um manômetro analógico. Por fim, será instalado uma válvula unidirecional para evitar o retrocesso da chama, uma válvula de alívio para aliviar a pressão do sistema, o registro de passagem do gás e inicialmente será utilizado o bico injetor do fogão para o gás butano (diâmetro 0.5mm a 0.6mm), uma vez não sendo satisfatória a queima estudaremos o diâmetro do bico ejetor apropriado para o hidrogênio, visto que, segundo Brito (2017) a agulha da seringa utilizada no teste é inapropriada.

Esta monografia está estruturada em 4 (quatro) partes. Nesta introdução, foi apresentado uma contextualização do tema proposto partindo do assunto mais geral ao mais específico. Ainda nesta introdução foram mostrados o objetivo geral e os específicos, e a metodologia adotada para essa pesquisa. No referencial teórico são expostos os tópicos fundamentais para a compreensão da temática abordada neste trabalho, como a história da energia, mostrando também as características do hidrogênio, as formas de se obtê-lo e as aplicações. Posteriormente, a seção de materiais e métodos corresponde aos experimentos realizados na Universidade do Estado do Rio Grande do Norte em Natal, em que serão descritos todos os procedimentos que foram utilizados na pesquisa e encerramos a pesquisa com a avaliação dos resultados obtidos, incluindo sugestões para trabalhos futuros.

2. O USO DO HIDROGÊNIO OBTIDO POR MEIO ELÉTROLISE PARA O COZIMENTO DE ALIMENTOS

Neste capítulo serão apresentados os conceitos centrais com base em diversos autores que darão todo o embasamento teórico para o desenvolvimento desta pesquisa, conceitos esses que podem ser descritos como, a história da energia, o panorama mundial entre os diversos meios de cocção de alimento, além da caracterização do hidrogênio, tal como a forma como será obtido por meio do processo de eletrólise e por fim algumas pesquisas que mostram o uso do hidrogênio para o cozimento de alimentos.

2.1 A HISTÓRIA DA ENERGIA

Tudo que existe no universo é alguma forma de energia, qualquer ação que implique, por exemplo, um movimento podemos pressupor que exista energia. O sol é uma fonte de energia pois é capaz de fornecê-la em forma de luz e calor, principalmente para os alimentos que mantêm o corpo humano funcionando.

Desde o surgimento do homem na Terra, suas necessidades energéticas estão em constante evolução. Há milhares de anos, o Homem viveu em períodos em que a única energia que utilizava era proveniente exclusivamente da força muscular. Por viver em grupos nômades, os homens primitivos desenvolveram atividades de caça para satisfazer suas primeiras necessidades que eram comuns a todos naquela época, como a alimentação proveniente das proteínas animais, que ocasionou na criação de instrumentos que auxiliassem a caça. Depois da própria força humana, a primeira fonte de energia utilizada foi o fogo, que se originou pelo atrito da madeira com as pedras, começando assim o domínio do homem sobre a produção de energia em seu benefício, como fazer a cocção dos seus alimentos — carnes, vegetais e frutos — tornando sua alimentação mais fácil, além de proteger-se dos predadores e se aquecer. Com o passar dos anos, deu-se o desaparecimento das fontes alimentares e mudanças climáticas que causaram a migração do homem e ocasionaram no

desenvolvimento de outros métodos produtivos como agricultura e pecuária. (NAVARRO, 2006)

Com isso, os vários grupos humanos em diferentes localidades passaram a aperfeiçoar suas técnicas de acordo com suas necessidades, como exemplo, Rosa (2015) nos diz que a energia vinda dos animais que domesticavam era usada para realizar trabalhos, como o transporte de cargas e bombeamento de água nas irrigações. Já a energia solar era utilizada na alimentação. A energia proveniente dos ventos teve um grande aproveitamento, pois foi a partir dela que o se pôde descobrir novas terras, representando também um grande marco nos moinhos de ventos e rodas d'água.

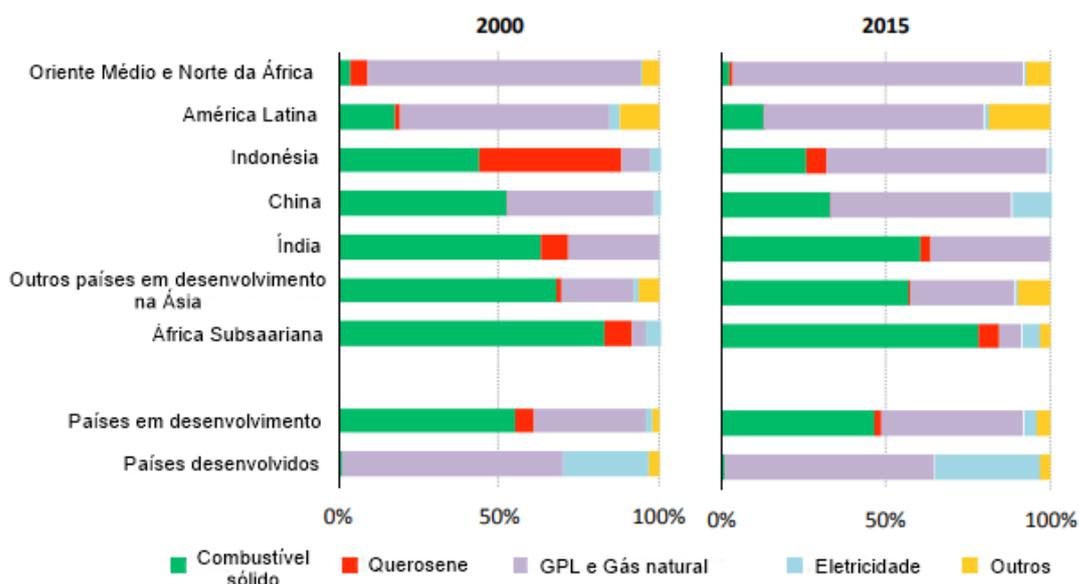
No entanto, o grande destaque da energia utilizada pelo homem se deu na Revolução Industrial, “que teve início na Inglaterra em meados do século XVIII e estendeu-se para outros países a partir do século XIX.” (COTRIM, 2005, p. 275). Foi com o surgimento da máquina a vapor, que marcou significamente o mundo de máquinas e tecnologias que conhecemos hoje. Rosa (2015) ressalta que na maior parte da nossa história, o crescimento das diferentes formas de energia foi constante.

Na exploração de novas fontes alternativas de energia que facilitassem as atividades e necessidades na vida do ser humano, foram descobertas diversas formas de energia, sendo elas em forma de alimento, movimento, luminosa etc. Os avanços técnicos aliados ao aprimoramento dos métodos produtivos fizeram com que se iniciasse a era de outras fontes de energia, a dos combustíveis de origem fóssil (carvão mineral, petróleo e gás natural), sendo elas responsáveis pelo desenvolvimento da eletricidade e conseqüentemente do mundo. Mas à medida que o ser humano evoluiu, foi necessária a busca por novas fontes de energia concentrada para impulsionar cada vez mais a descoberta de novas tecnologias. Devido ao aumento populacional também ocorreu o aumento do consumo de energia, tendo a humanidade a necessidade de adquirir novas fontes de energia aliado ao desenvolvimento cada vez maior da tecnologia.

2.2 PANORAMA MUNDIAL DO USO DE DIFERENTES COMBUSTÍVEIS PARA A COZINHA DE ALIMENTOS

O uso tradicional de biomassa sólida, carvão e querosene para cozinhar suas refeições em si não é motivo de preocupação. Porém, as formas ineficientes de se obter esses recursos sendo adquiridos de forma insustentável e o uso desenfreado frente à escassez de combustível que vivemos atualmente se torna a grande problemática do momento. Uma vez que existem diversas consequências para o meio ambiente, a saúde do ser humano, bem como o desenvolvimento social e econômico. Conforme a IEA (2017) nos mostra na (Figura 1), podemos observar que grande parte da população no mundo ainda depende do combustível sólido¹ e grande parcela dessas pessoas vivem em áreas rurais do mundo em desenvolvimento. Podemos observar também que o GLP e gás natural tiveram um aumento e o uso do querosene e carvão diminuiu significativamente.

Figura 1: Dependência primária da população em relação a diversos tipos de combustíveis por região.

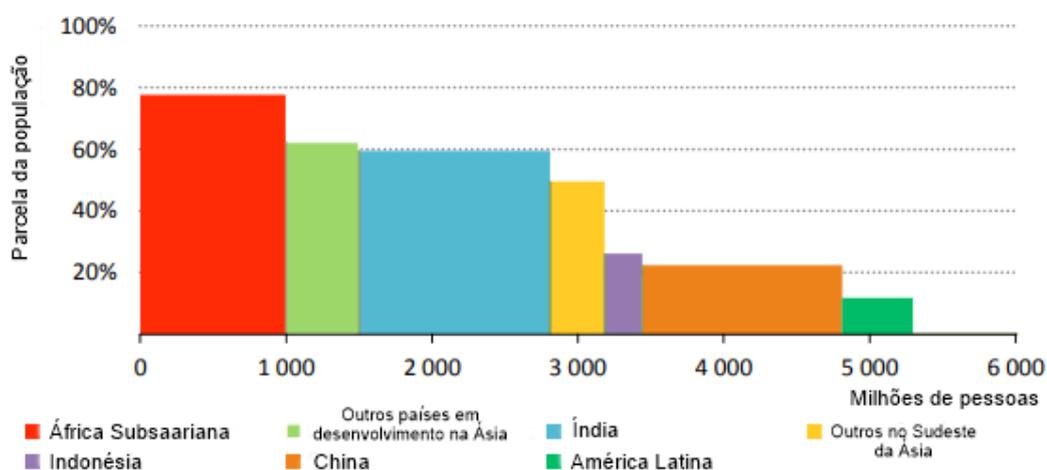


Fonte: Banco de Dados de Energia Doméstica - OMS (2016) apud IEA (2017), p. 57. (adaptado)

¹ Combustível sólido refere-se a biomassa sólida e carvão.

Apesar da crescente conscientização da população em meios aos riscos do uso desses combustíveis, uma grande parte dessa população ainda tem confiança no uso da biomassa para o cozimento do seus alimentos como podemos observar na (Figura 2).

Figura 2: Porcentagem da população e quantidade de pessoas por região que confiam no uso da biomassa para cocção de alimentos, 2015.



Fonte: Banco de Dados de Energia Domiciliar – OMS apud IEA (2017), p. 61. (adaptado)

Segundo Foell et al. (2011), milhares de pessoas morrem em decorrência da queima ineficiente da biomassa nas regiões, como também os impactos ambientais locais, tais como a degradação do solo e desmatamento. E em nível global as grandes emissões de gás poluentes do efeito estufa que geram as mudanças climáticas. Diante de tal fato, é fundamental a busca e implementação por novas formas de se conseguir fazer a cocção dos alimentos, uma vez que os combustíveis comumente usados criem riscos à saúde do ser humano e ao meio ambiente.

2.3 O HIDROGÊNIO

Em 1784, Henry Cavendish mostrou que o gás hidrogênio se forma a partir de reações com metais. Seu nome, hidrogênio, foi dado mais tarde por Antoine Lavoisier que se baseou nos estudos já realizados de Cavendish. (SANTOS; SANTOS, 2005)

O hidrogênio está na sua maior totalidade concentrada em forma de água (H_2O), resumindo-se a um elemento simples e abundante no universo. Encontrado frequentemente na sua forma molecular (H_2), estando presente em diversos lugares e em variadas formas, porém, nunca como um único elemento, sempre associado a outros elementos. Por não ser uma fonte primária e demandar uma certa quantidade de energia para se obtê-lo, é conveniente dizer que ele não deve ser referido como uma fonte energética, e sim como um vetor energético, pois embora muito abundante no mundo, o hidrogênio não é uma fonte de energia, tal como os combustíveis fósseis e sim uma fonte intermediária. (ROSA, 2015)

Primeiro elemento da tabela periódica, o átomo de hidrogênio, cujo símbolo químico é o H, é caracterizado por ser leve e não possuir os pesados átomos de carbonos, é por esta razão que o hidrogênio é vantajoso para o uso em jatos e foguetes já que para estes o peso é um elemento importante. Quando comparado aos combustíveis conhecidos o hidrogênio é o que possui a maior energia por unidade de massa (Quadro 1), e quanto maior a quantidade de energia liberada, maior a eficiência do combustível.

Quadro 1: Comparação do poder calorífico de diversos combustíveis.

Combustível:	Valor do Poder Calorífico Superior (a 25° C e 1 atm)	Valor do Poder Calorífico Inferior (a 25° C e 1 atm)
Hidrogénio	141,86 KJ/g	119,93 KJ/g
Metano	55,53 KJ/g	50,02 KJ/g
Propano	50,36 KJ/g	45,6 KJ/g
Gasolina	47,5 KJ/g	44,5 KJ/g
Gasóleo	44,8 KJ/g	42,5 KJ/g
Metanol	19,96 KJ/g	18,05 KJ/g

Fonte: SANTOS, F. A. C. M. dos; SANTOS, F. M. S. M. dos. (2005).

No seu estado natural e sob condições normais – 0 °C e 1 atm – o átomo de hidrogênio, que é formado por um próton e um elétron, além de ter um baixo peso molecular, é um gás incolor, e por isto sua chama não é visível pois emite pouca luz no espectro visível (17 à 25%) ao passo que o propano, butano e gasolina emitem de 34 a 43% no espectro, transmitindo uma menor radiação em caso de acidentes. Outras características são que é um gás inodoro e insípido (ESTÊVÃO, 2008). A principal vantagem é que as reações químicas que convertem ele em energia produzem apenas água e calor, ou seja, geram menos poluentes na atmosfera.

2.4 PROCESSOS DE OBTENÇÃO DO HIDROGÊNIO

O gás hidrogênio não ocorre naturalmente na Terra, raramente a molécula de hidrogênio é encontrada como um único elemento, existindo sempre combinado a outros elementos, como oxigênio, nitrogênio e carbono. Para que o hidrogênio possa ser usado como uma fonte energética, precisamos usá-lo na sua forma molecular, por isso, ele deve ser separado dos elementos que a ele estão associados, ou seja, para se produzir o hidrogênio na sua forma molecular H_2 (hidrogênio gasoso), é preciso submeter a molécula a alguns métodos que tem como base a separação das matérias-primas que o contêm. Por esse motivo, o hidrogênio não é considerado um tipo de energia, e sim um vetor energético. Existem diversos processos para obtenção do hidrogênio, que são processos: químicos, eletrolíticos, biológicos, fotolíticos e termolíticos. (ROSA, 2015)

Existe no mundo hoje variadas fontes e formas para se obter e produzir o hidrogênio gasoso (H_2), a escolha do melhor método de produção do hidrogênio depende do grau de pureza e a quantidade total que se quer produzir. Atualmente as principais fontes para sua obtenção são de origem fóssil como o gás natural, petróleo e carvão, sendo de todo o hidrogênio produzido 48% de gás natural, 30% petróleo, 18% carvão e 4% da eletrólise da água. (DOS SANTOS et al., 2012).

Em relação às formas de produção de hidrogênio, ele pode se encaixar em diversas categorias, que são elas:

Produção de hidrogênio em grandes quantidades em usinas estacionárias, como, por exemplo, na produção da amônia.

Produção de hidrogênio em pequenas quantidades por usinas compactas a bordo para o uso em veículos de células a combustível.

Produção de hidrogênio em quantidades modestas para a indústria alimentícia e outros pequenos consumidores.

A produção de hidrogênio para o uso em geração de eletricidade residencial compacta ou local (e água quente). (ROSA, 2015, p.379)

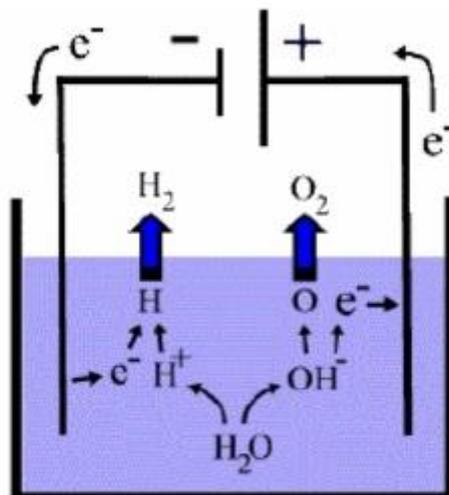
Apesar de ser necessário submeter a molécula de hidrogênio a um processo químico para se obtê-lo em forma de gás, o mesmo apresenta vantagens importantes que o qualificam como um combustível promissor para o desenvolvimento de novas tecnologias. Em contrapartida, o principal desafio está na forma de armazenar esse gás, pois, não existe no mundo hoje infraestrutura para suprir as necessidades de produção, armazenamento, transporte e distribuição do hidrogênio produzido.

2.4.1 Eletrólise

No processo de eletrólise da água, como a molécula de H_2O pura não conduz corrente elétrica, para se obter o hidrogênio é necessário submeter a água a um processo químico desencadeado a partir de uma fonte externa, no caso a bateria que utilizaremos. A eletrólise é um processo não-espontâneo de oxirredução em que é possível converter energia elétrica em energia química separando os elementos químicos de um composto em íons por meio de uma corrente elétrica. (ATKINS, P.; JONES, L., 2012)

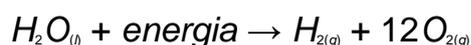
Como é possível observar na Fig. (1), para efetuar a eletrólise foi mergulhado dois eletrodos, um positivo e um negativo em uma solução eletrolítica. Por um fio externo, os elétrons passam do ânodo para o cátodo e através do eletrólito os cátions se movem em direção ao catodo e os ânions em direção ao anodo. (ATKINS, P.; JONES, L., 2012, p. 543)

Figura 3: Eletrólise da água.

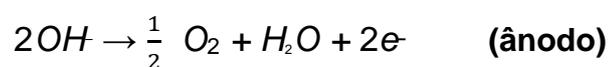
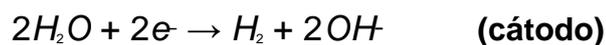


Fonte: Neto (2007).

A reação que ocorre através deste processo que quebra a molécula da água em hidrogênio e oxigênio é traduzida segundo Neto (2007, p. 11) pela seguinte equação química:



Neto (2007) ainda nos diz que depois que ocorrer a dissociação dos compostos e obter os elementos químicos, a energia que foi absorvida no processo transforma-se em calor nos eletrodos e o hidrogênio gasoso é liberado em forma de energia química. E as reações químicas que acontecem em particular nos eletrodos são:



É conveniente salientarmos que ainda segundo (NETO, 2007, p. 12), “Neste processo, a água é consumida, e somente dois elétrons estão envolvidos na dissociação de uma molécula da água”. Após ocorrer o processo de eletrólise da água, o oxigênio da reação é liberado no ar e o hidrogênio em forma de gás será utilizado no fogão.

2.5 FORMAS DE COZINHAR EM DESENVOLVIMENTO

No cenário atual em que vem se esgotando as reservas de energia é natural desenvolver tecnologias para o aproveitamento da energia solar, uma vez que o sol é uma fonte de energia, pois é capaz de fornecê-la em forma de luz e calor, principalmente para os alimentos que mantêm o corpo humano funcionando. Utilizando esse tipo de energia, foi desenvolvido um método de cozimento de alimentos sustentável, limpo e livre de emissões, resultado de uma pesquisa desenvolvida por Farooqui (2015), em que foi utilizado um fogão solar a base de tubo de vácuo. Foram realizados cinco experimentos com pesos diferentes de respectivas cargas de água, onde foi constatado por diversos parâmetros que o fogão tem uma alta eficiência de energia, sendo capaz de alcançar temperaturas de cozimento elevadas, acima de 250°C. Porém, os projetos de cozimento solar envolvem uma problemática, pois dependem da disponibilidade da luz solar, além de limitar o local de cocção dos alimentos em uma área específica.

À vista disso podemos citar outra forma limpa e eficiente de cozimento de alimentos, o hidrogênio. Uma vez que o uso hidrogênio vem aumentando exponencialmente com o desenvolvimento de pesquisas. Os vários projetos podem determinar se a quebra da água por meio do processo de eletrólise, que é um processo conhecido, é capaz de suprir os desafios da demanda por combustíveis fósseis, não só na produção de eletricidade, mas nos transportes e indústrias, assim como no cozimento de alimentos. Pois de acordo com Lepecki (2011) são diversos as aplicações que envolvem o hidrogênio, como industriais, combustíveis (automóveis e foguetes) e geração de eletricidade.

Sendo assim, de acordo com uma pesquisa desenvolvida e aplicada em Gana, Jamaica e Indonésia que são exemplos de economias que estão em desenvolvimento e utilizam combustível fóssil, principalmente o GLP, carvão e fogões a lenha. Foi implementado um sistema alternativo de cozimento e que substitui os combustíveis tradicionais de cozinha por uma forma mais limpa e eficiente - o hidrogênio solar. O sistema de hidrogênio solar desenvolvido é composto por painéis solares fotovoltaicos que alimentam uma planta eletrolisadora de membrana de troca (PEM), o hidrogênio resultante do processo é bombeado para a infraestrutura e distribuídos as famílias para uso doméstico, utilizando métodos e técnicas testados experimentalmente para tratar de questões técnicas e de segurança. Posteriormente são gerados dados estatísticos, e os perfis de demanda energética de cozinha são criados e mostrados em um estudo de caso através de um modelo número (TRNSYS) desenvolvidos pelos autores. Os resultados obtidos foram satisfatórios pois mostraram que a aplicação do sistema utilizando hidrogênio solar atendeu as demandas de cozinha das comunidades de cada país (TOPRISKA et al., 2016). Com isso, podemos dizer que a substituição dos sistemas de cozimento convencionais pelo sistema de hidrogênio solar tem significativas vantagens, como o custo de capital e o uso de um combustível limpo produzido localmente.

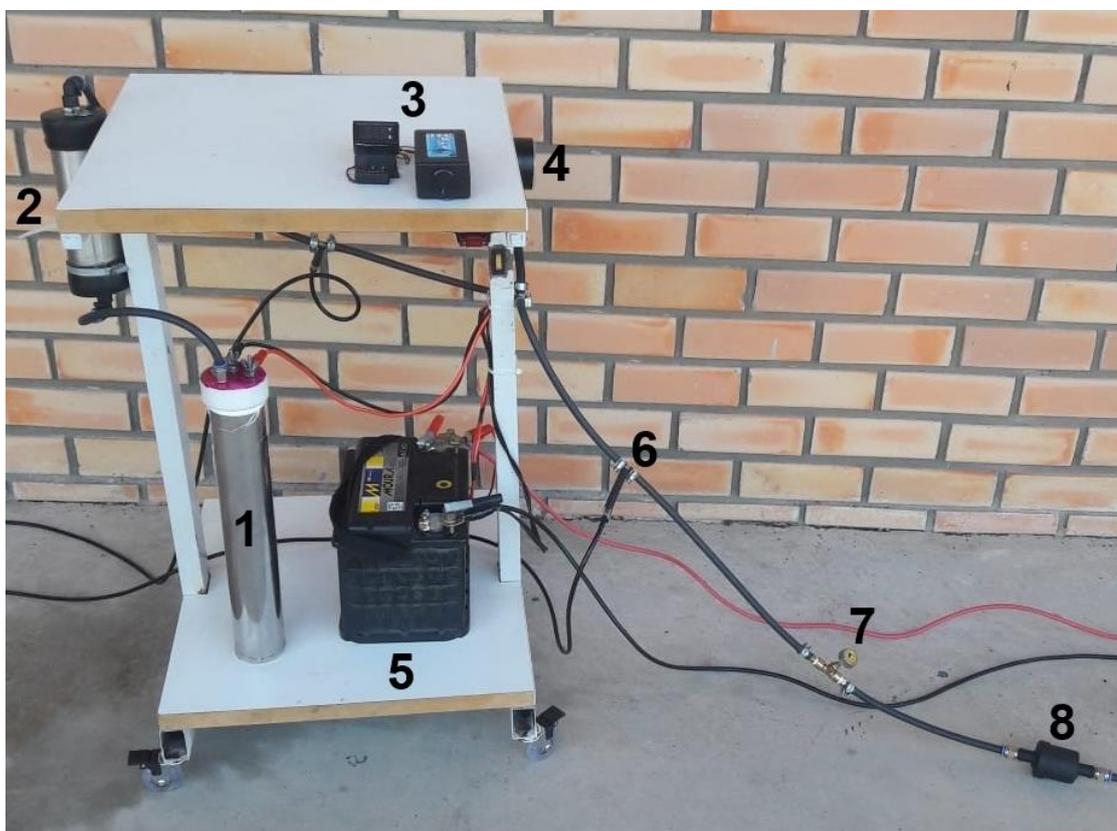
3. SISTEMA DE GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO PARA O COZIMENTO DE ALIMENTOS

Cozinhar é umas das principais aplicações de energia para pessoas em todo o mundo, e quando consideramos que quase 2,7 bilhões de pessoas ainda fazem a cocção do alimento utilizando os combustíveis fósseis tradicionais, analisando que no cenário atual com o aumento demasiado da população global e conseqüentemente as reservas de energia vem se esgotando, é bastante natural o desenvolvimento de tecnologias viáveis para o aproveitamento de fontes de energia em toda sua extensão para cozinhar os alimentos, bem como outras aplicações. Desta forma, o caráter inovador da pesquisa é o desenvolvimento de um sistema gerador de hidrogênio para o cozimento de alimentos. À vista disto, foi idealizado um sistema que junto com outros equipamentos é capaz de gerar hidrogênio através da quebra da molécula da água pelo processo de eletrólise, liberando o hidrogênio em forma de gás para ser usado em um fogão de uso doméstico. Para atender este objetivo foi desenvolvido uma metodologia que vai desde o ajuste da bancada de testes, uma vez que ela já estava montada, passando por adaptações ao longo dos experimentos para se obter de forma satisfatória o gás hidrogênio e depois ser utilizado no fogão para o cozimento de alimentos.

3.1 GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO POR MEIO DO PROCESSO DE ELETRÓLISE: EXPERIMENTO

Utilizando um sistema já montado na pesquisa desenvolvida no semestre 2017 que tem como autoria Brito (2017), seguimos com os experimentos visando atender aos objetivos propostos neste trabalho. A bancada (Figura 4) utilizada para os testes tem como componentes: 1 – gerador de hidrogênio; 2 – borbulhador; 3 – kit PMW (TECH DELFIN); 4 – manômetro; 5 – bateria; 6 – válvula de alívio; 7 – registro de passagem; 8 – válvula unidirecional, chaves de liga/desliga e um fusível. Foram instaladas duas válvulas de alívio de 7.5 Psi, evitando assim o estouro da mangueira com o aumento da pressão. A solução utilizada no gerador de hidrogênio foi a hidróxido de sódio com pH 14.

Figura 4: Bancada para realização dos testes.



Fonte: Autor.

Inicialmente a mangueira da bancada de teste foi conectada por meio de dois espigões (Figuras 5 e 6) a mangueira do fogão sendo fixada com braçadeira metálica de rosca sem fim de 10 a 13 mm (Figura 7).

Figura 5: Espigão tipo “Fêmea” 1/4”.



Fonte: Planlub.

Figura 6: Espigão tipo “Macho” 3/4”.



Fonte: JWM Elétrica.

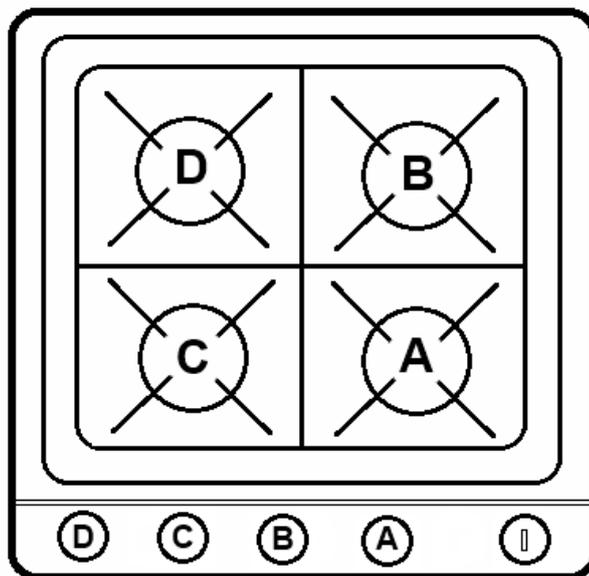
Figura 7: Braçadeira 10 – 13mm



Fonte: Mercado livre.

Foi utilizado um registro de passagem para regular a pressão e vazão do fluido gerado. O teste teve início com amperagem de 3.53 A e tensão de 12.8 V (corrente contínua) com os queimadores do fogão “A”, “B”, “C” e “D” (Figura 10) na posição aberta, e não ocorre acúmulo de pressão suficiente na mangueira para movimentar o indicador do manômetro, tendo início o processo de fechamento no intervalo a cada cinco minutos entre os queimadores. Dado início o fechamento pelo queimador “D” e finalizando com “A”. Durante todo o processo foi investigado a possibilidade de vazamentos por meio da colocação de espuma obtida de um detergente nos conectores da bancada de teste e mangueira.

Figura 8: Ilustração dos queimadores do fogão.



Fonte: Autor.

Após o fechamento do queimador “A” ocorreu a movimentação do indicador do manômetro e ao atingir 3.0 Psi as válvulas de alívio de 7.5 Psi começaram a aliviar a pressão do sistema, na qual só deveriam iniciar esse processo ao atingir 7.5 Psi. Quando a pressão do sistema atingiu 3.2 Psi foi observado um vazamento no conector do gerador de hidrogênio em “F” (Figuras 9 e 10) e sua inclinação “G” (Figura 9), pois a pressão ocasionou a formação de uma bolha na base do gerador. A formação da bolha ocorreu devido ao material que é de borracha e tem como uma das suas propriedades a elasticidade. As válvulas de alívio foram substituídas pelas de 11.5 Psi.

Figura 9: Gerador inclinado na bancada de testes.



Fonte: Autor.

Figura 10: Compartimento superior do gerador.



Fonte: Autor.

Onde:

F – Local de vazamento;

C1 – Conector de 10 mm para encaixe mangueira;

C2 – Conector externo para corrente elétrica;

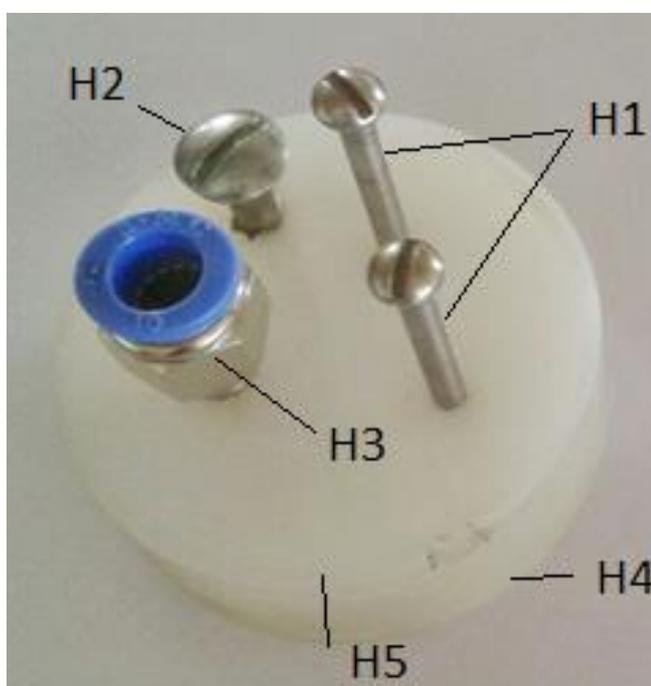
C3 – Tampa de borracha para vedação do cilindro;

C4 – Braçadeira de rosca sem fim 57 a 78 mm;

C5 – Cilindro gerador de aço inox 316 com comprimento de 380 mm e diâmetro interno de 610.4 mm.

Para solucionar os problemas devido a formação da bolha na base do gerador e o vazamento, foram confeccionadas duas peças com roscas de tecnil para as substituições das vedações de borracha fornecidas pelo fabricante do gerador. Na parte superior do cilindro foi aberta uma rosca interna para adaptação da peça (Figura 11).

Figura 11: Peça superior confeccionada para gerador.

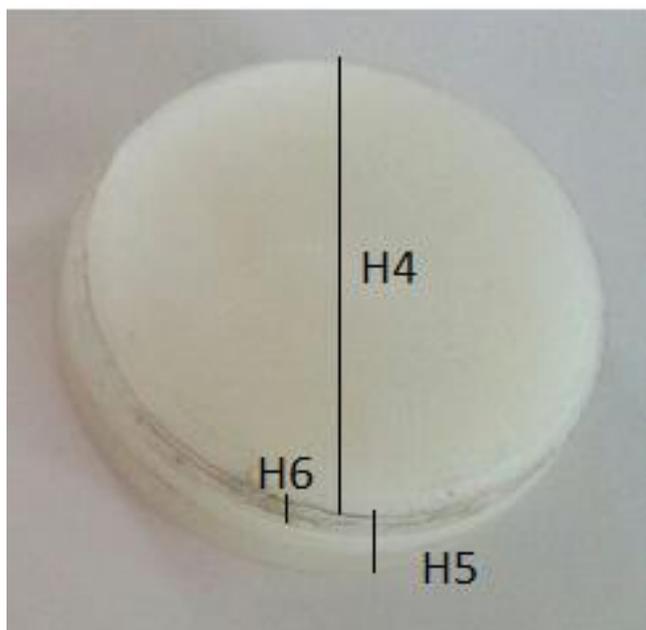


Fonte: Autor.

- H1 – Parafusos de (4.76 x 38.1 mm) para conectar a corrente elétrica;
- H2 – Parafuso de (6 x 16 mm) para vedar compartimento de abastecimento do gerador com a solução eletrolítica;
- H3 – Conector de 10 mm para mangueira de saída do hidrogênio;
- H4 – Tampa superior do cilindro com diâmetro externo de 71.70 mm e 62.43 mm interno;
- H5 – Altura da tampa 28.35 mm.

Na base do cilindro do gerador foi aberta uma rosca externa (Figura 12) para a substituição da vedação de borracha pela peça inferior de tecnil com diâmetro externo de 71.70 mm, uma vez que na peça anterior era apenas um encaixe de borracha fixada por uma braçadeira.

Figura 12: Peça inferior confeccionada para o gerador.



Fonte: Autor.

H4 – Diâmetro interna da peça 595.3mm;

H5 – Altura da peça 17.98 mm;

H6 – Altura de rosca 10.04 mm.

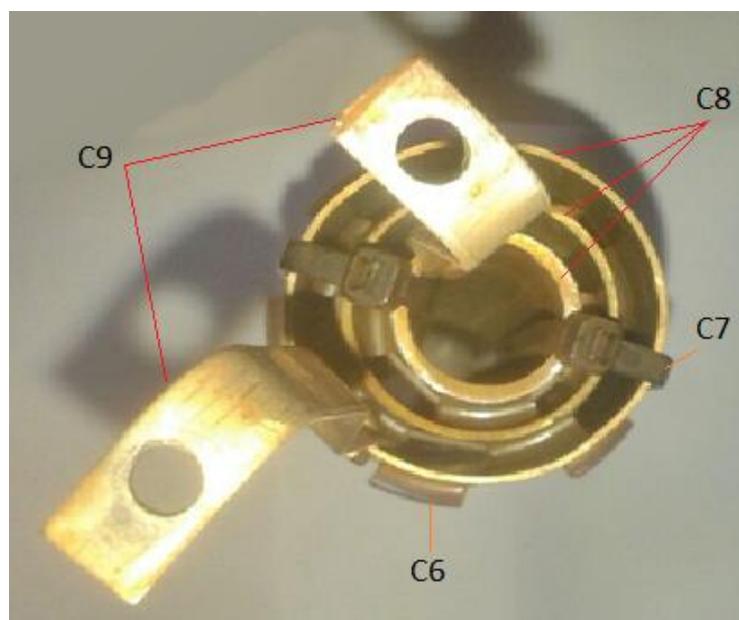
Ao ser desmontado o gerador de hidrogênio foi observado que internamente apresentava três tubos metálicos entrepostos que funcionam como eletrodo (Figura 13a e 13b). Os tubos são separados por anéis e fitas de fixação fabricados com material polimérico que é um material isolante, tendo a função de evitar o contato da corrente elétrica positiva com a negativa entre os tubos. Caso ocorra o contato ocasionará o que chamamos de curto circuito. A corrente elétrica sairá do polo positivo para o negativo por meio da solução (Figura 14).

Figura 13a: Tubo eletrodos, visão vertical.



Fonte: Autor.

Figura 13b: Tubo eletrodos, visão superior.



Fonte: Autor.

Onde:

C6 – Anel polimérico;

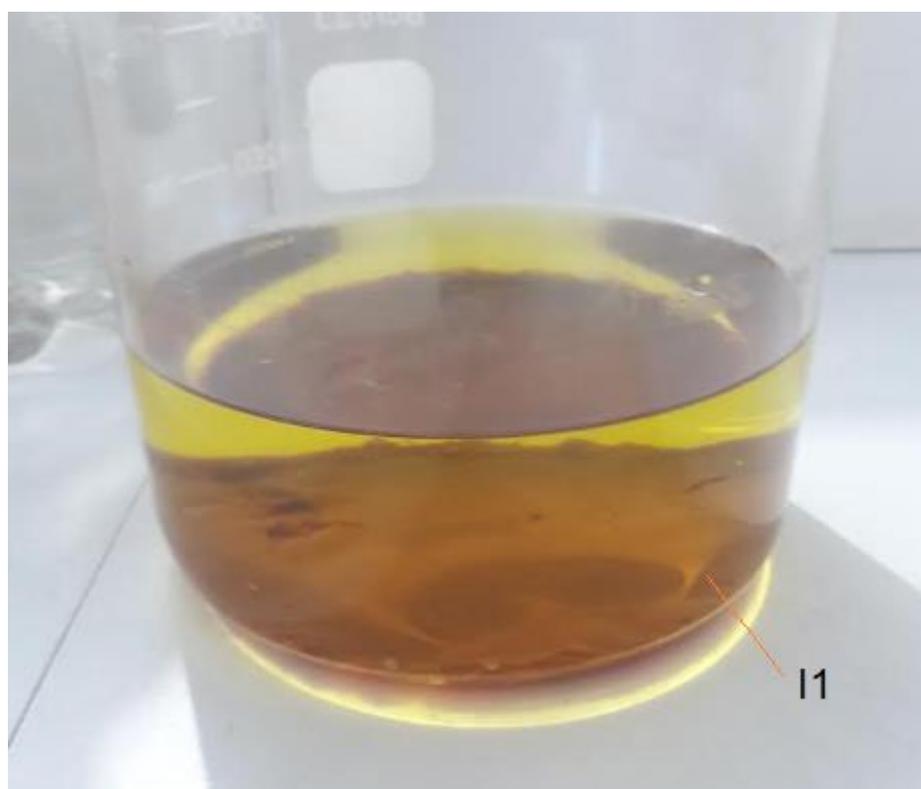
C7 – Fita polimérica;

C8 – Tubos metálicos com comprimento de 267 mm e diâmetro interno de 213,8 mm, 349 mm e o mais externo de 495.2 mm, cada tubo possui espessura de 12.4 mm;

C9 – Hastes (100 mm) para conectar a corrente elétrica;

C10 – Descoloração.

Figura 14: Solução retirada do gerador.



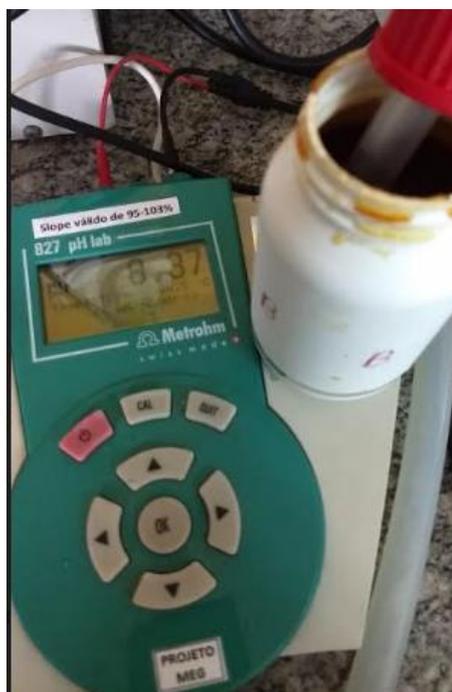
Fonte: Autor.

A solução apresenta uma tonalidade escura, e é possível observar as impurezas presentes na parte decantada (I1). A coloração da solução pode ser atribuída a reação química ocorrida entre a solução eletrolítica e o esmalte de proteção dos tubos que pode ser observado ao longo da figura 14a, um outro fato a ser observado é que após

a inserção da solução no gerador o pH de 11.5 reduziu para 8.37 (Figura 15) e a condutividade de 3.165 mS (mili Siemens) para 2.283 mS (Figura 18). Essa mudança ocasionou a não geração do hidrogênio. Para solucionar o problema foi realizada a correção do pH da solução para 12.63 (Figura 16). A solução foi colocada em agitação magnética e foram acrescentadas gotas da solução Hidróxido de Sódio (NaOH) diluído em álcool 70% a 2 mol/L (Figura 17).

Este processo ocasionou aumento na condutividade elétrica de 2.283 mS para 13.568 mS (Figura 18 e 19). Quanto maior for a condutividade elétrica em uma solução, menor será a resistência elétrica consequentemente maior corrente elétrica o que proporciona maior quantidade de gás hidrogênio sendo gerado.

Figura 15: Mensuração pH da solução após desmontagem do gerador.



Fonte: Autor.

Figura 16: Mensuração da solução após correção do pH.



Fonte: Autor.

Figura 17: Momento da correção do pH.



Fonte: Autor.

Figura 18: Mensuração da condutividade da solução após desmontagem do gerador.



Fonte: Autor.

Figura 19: Mensuração da condutividade da solução após correção do pH.



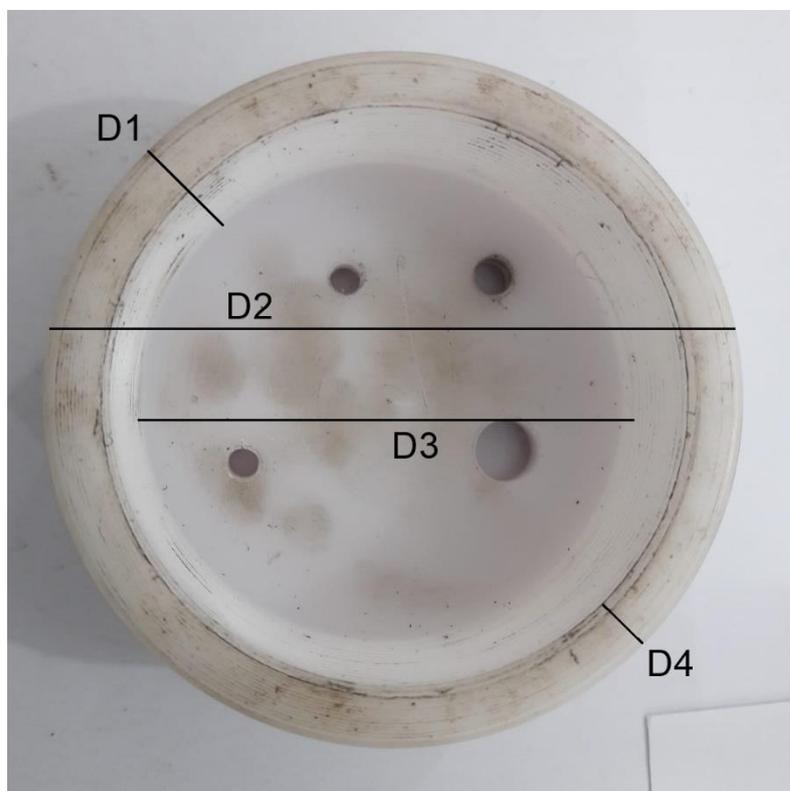
Fonte: Autor.

Após a correção do pH da solução, a mesma foi retornada ao gerador em que se deu início ao teste de queima do hidrogênio e de forma imediata a pressão do sistema atingiu 2.5 Psi, porém, o teste foi interrompido, uma vez que apresentou vazamento da solução entre as rocas do gerador e da peça confeccionada (Figura 11) mesmo com a fita veda rosca.

O vazamento é atribuído ao tipo de material (Tecnil) e a espessura da peça confeccionada (2.23 mm). Dado que o tecnil é um material que possui uma elasticidade (não mensurado), o material se acomodou ao cilindro do gerador ocasionando assim a folga da peça. Esta acomodação também pode ser atribuída ao fato da rosca do gerador ter sido confeccionada na parte externa, já que na peça inferior (Figura 12) também possui rosca, no entanto, está presente na parte interna do gerador, o que dificulta a elasticidade do material.

Diante disso, visando solucionar o problema com o vazamento da peça de tecnil foi necessário confeccionar uma nova peça superior do gerador com um material que apresentasse elasticidade menor que o tecnil. A nova peça é composta do material poliacetato, caracterizado por ser um polímero (Figura 20). Após a confecção da nova peça foram feitos testes e observou-se que foi solucionado o problema com o vazamento. Pode assim dar continuidade aos experimentos, uma vez que não havia mais problemas.

Figura 20: Peça confeccionada de Poliacetato.



Fonte: Autor.

Onde:

D1 – Altura externa 28.51 mm;

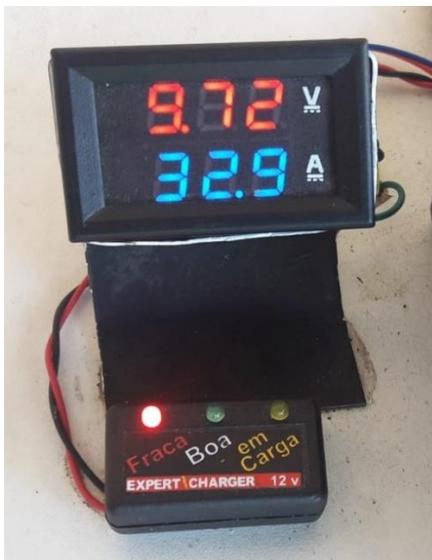
D2 – Diâmetro externo 75.14 mm;

D3 – Diâmetro interno 61.57 mm;

D4 – Parede do material 6.82 mm e rosca 16.08 mm;

O teste teve início com os queimadores do fogão “A”, “B”, “C” e “D” na posição fechados, onde ocorreu o acúmulo de pressão suficiente na mangueira para movimentar o indicador do manômetro. Ao fechar o manípulo do fogão, o gás de hidrogênio foi liberado e conduzido via tubos (mangueiras) até o queimador escolhido “B”, a pressão se manteve constante de 1.0 Psi e tensão e amperagem (Figura 21) estáveis.

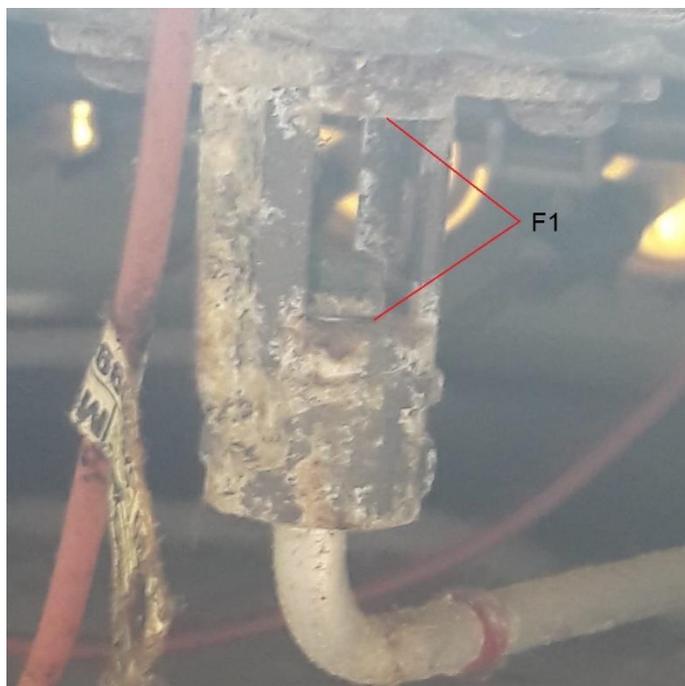
Figura 21: Controlador de amperagem (1).



Fonte: Autor.

Durante o processo foi colocada espuma obtida de detergente no venturi do fogão para visualizar se o gás estava sendo conduzido até o queimador. No entanto, foi observado que na saída do injetor o gás estava se dissipando pela entrada de ar primário no tubo de venturi na posição F1 (Figura 22), que serve de entrada para o oxigênio fazer a combustão com o gás combustível usado. Com isso, não estava conseguido enviar o gás hidrogênio para o queimador do fogão já que o mecanismo para queima do hidrogênio não requer o venturi, pois, na separação da molécula da água ocorre também a liberação do oxigênio concomitantemente com o hidrogênio.

Figura 22: Saída do tubo de venturi.



Fonte: Autor.

Diante desta problemática, acoplamos o bico injetor na mangueira e foi feito o teste de queima inicialmente em um papel de ofício para observarmos se o gás gerado era capaz de produzir uma chama. De fato foi possível verificar que o gás hidrogênio produzido foi satisfatório no que diz respeito a produção e queima (Figura 23), já que conseguimos visualizar na figura que o papel queimou. Posteriormente, foi feita uma adaptação no fogão (Figura 24) para tentar fazer o cozimento do alimento. A adaptação se deu pela substituição da vela do acendedor elétrico pelo bico injetor do hidrogênio. Quatro ovos foram inseridos em 400 mL de água que estava em um recipiente de alumínio (Figura 25) e deu-se início o processo de cozimento do alimento, com voltagem de 11.4V e amperagem de 14.0 A (Figura 26).

Figura 23: Queima do papel com gás hidrogênio.



Fonte: Autor.

Figura 24: Bico injetor adaptado no fogão.



Fonte: Autor.

Figura 25: Cozimento do alimento.



Fonte: Autor.

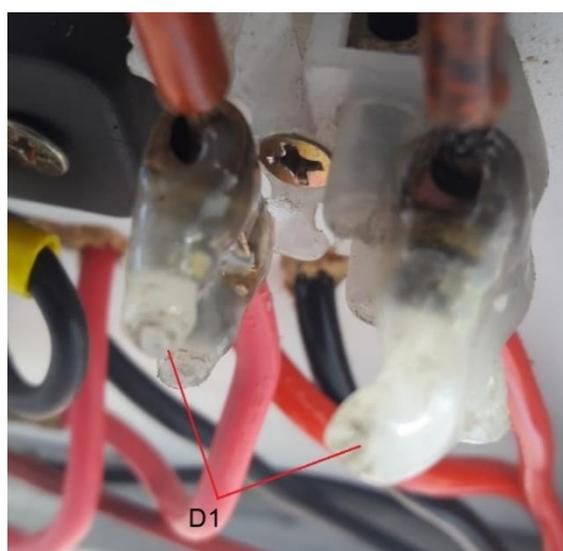
Figura 26: Controlador de amperagem (2).

Fonte: Autor.

No entanto, durante o processo de cozimento ocorreu o derretimento da barra sindal (D1), como podemos ver na (Figura 28) devido uma elevação na temperatura, chegando a 88 °C (Figura 27), na barra que conectava o chicote (fiação) de 2 mm do slot do fusível aos demais circuitos da bancada de testes (Figura 28). Isso se deu, pois, a barra sindal apresentava baixa amperagem, no máximo 10 A e o fusível era de 50 A. Com isso, foi providenciado a troca do sindal para 80 A (Figura 29), o slot do fusível com fiação de 4 mm (Figura 30) e o fusível para 40 A.

Figura 27: Temperatura do material.

Fonte: Autor.

Figura 28: Derretimento da barra sindal.

Fonte: Autor.

Figura 29: Barra sindal, vista inferior e superior **Figura 30:** Slot para fusível, novo e anterior(aquecido).



Fonte: Autor.



Fonte: Autor.

Com isso, o experimento foi interrompido e não pode-se dar continuidade, pois, o borbulhador estava apresentando vazamentos da solução entre as roscas e o conector de saída do hidrogênio para a tubulação. O vazamento é atribuído ao tipo de material (borracha) que é caracterizado por sua elasticidade. Diante disso, é necessário confeccionar uma nova peça superior e inferior do borbulhador com as mesmas características do material do gerador de hidrogênio, o poliacetato.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os combustíveis que são usados atualmente para o cozimento de alimentos, além de serem bem escassos, e não são acessíveis a todos além de gerar impactos ambientais e prejudiciais à saúde do ser humano. Nesse contexto, procura-se uma forma alternativa e competitiva para os combustíveis comumente usados. Uma possibilidade atualmente para essas alternativas é o hidrogênio.

Com o propósito de desenvolver um sistema alternativo de geração de hidrogênio para o cozimento de alimento, sendo ele limpo e energeticamente eficiente, foi pensando em uma bancada que junto com outros equipamentos produzissem o gás hidrogênio pelo processo de eletrólise, assim a separação da molécula de água gera o hidrogênio e oxigênio para ser usado em um fogão de uso doméstico.

A certeza que gás hidrogênio estava sendo produzido se deu através da queima do papel, e posteriormente a adaptação no fogão para que fosse possível cozinhar o alimento. O objetivo desta pesquisa era desenvolver um sistema para o cozimento de alimento utilizando o processo de eletrólise. Diante disso, o objetivo foi alcançado pois foi possível observar nos experimentos que o hidrogênio gerado tem uma potencialidade para formar a chama. Porém, não foi possível concluir a cocção do alimento uma vez que o borbulhador apresentou vazamentos.

Além do mais, o venturi não é adequado para queima do hidrogênio pois na separação da molécula da água já ocorre a liberação do oxigênio juntamente com o hidrogênio além de que sendo a leveza uma das propriedades do hidrogênio ocorreria perda do gás hidrogênio pela abertura primaria do venturi o que é um risco a acidentes. Sendo assim, para trabalhos futuros sugerimos a confecção de uma nova peça para o borbulhador com o material poliacetato para sanar o problema com o vazamento e gerar o hidrogênio de forma suficiente para fazer o cozimento do alimento. É sugerido também a adaptação do fogão, visto que na saída do injetor estava ocorrendo a fuga do gás utilizado pelo tubo de venturi.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATKINS, Peter; JONES, Loretta. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Tradução de Ricardo B de Alencastro. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BRITO, Ana M. P.; **Geração de hidrogênio para uso doméstico no cozimento de alimentos**. Natal, 2017. 32 f. Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia), Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

COTRIM, Gilberto. **História Global**: Brasil e Geral. Ensino Médio. Vol. único. 8.ed. São Paulo: Saraiva, 2005. 608 p.

DOS SANTOS, K.G. et al. Fermentação anaeróbia: uma alternativa para a produção de hidrogênio. **Rev. Bras. Energias Renováveis**, v.1, p.1-12, 2012.

ESTÊVÃO, Tânia E. R. **O hidrogênio como combustível**. Portugal, 2008. 89 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

FOELL, W., PACHAURI, S., SPRENG, D., ZERRIFFI, H. Household cooking fuels and technologies in developing economies. **Energy Policy** 2011.

FAROOQUI, S. Z. Impact of load variation on the energy and exergy efficiencies of a single vacuum tube based solar cooker. **Renew Energy** 2015;77, [152– 8].

IEA, International Energy Agency. 2017. World Energy Outlook 2017.

JWM Elétrica. Disponível em: <<http://jwmeletrica.loja-segura3.com/Produto-c-REGISTROS-E-VALVULAS-ESPIGAO-MACHO-FIXO-1-X-34-versao-48-48.aspx>> Acesso em: 10 de junho de 2018.

LEPECKI, W. A energia nuclear e a economia do hidrogênio. **Revista INEE**, 2011.

Mercado Livre. <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-856480297-abracadeira-rosca-sem-fim-38-x-12-10-x-13mm-100-pecas-_JM>

Acesso em: 10 de junho de 2018.

NAVARRO, R. F. A evolução dos materiais. Parte1: a Pré-história ao Início da Era Moderna. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 1, n. 1, p. 01-11, 2006.

NETO, Roberto L.; **Geração e combustão do hidrogênio obtido através do processo de eletrólise da água**. São Paulo, 2007. 46 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Planlub. Disponível em: <<http://www.planlub.com.br/produtos/fixo-femea/276-espigao-fixo-p-mangueira-1-4-pol-rosca-femea-5-16-pol-npt-em-latao.html>> Acesso em: 10 de junho de 2018.

ROSA, Aldo Vieira da. **Processos de energias renováveis**. 3 ed., Rio de Janeiro: Elsevier, 2015, 911 p.

SANTOS, F. M. S. M. dos; SANTOS, F. A. C. M. dos. O combustível “Hidrogênio”. **Millenium – Journal of Education, Technologies and Health**. N. 31 (10), maio 2005.

TOPRISKA, E., KOLOKOTRONI, M., DEHOUCHE, Z., NOVIETO, D.T., WILSON, E. A. The potential to generate solar hydrogen for cooking applications: case studies of Ghana, Jamaica and Indonesia. **Renew Energy** 2016;95, [495-15].