



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

ESTUDO DE MOTORES À COMBUSTÃO INTERNA ALIMENTADOS COM COMBUSTÍVEL ADITIVADO COM HIDROGÊNIO.

Código: CON10-0196

Lennon Walbron Piqueno de Souza, lennonwalbron@yahoo.com.br

Rafael Oliveira de Araújo, rafael.cvz@gmail.com

Heitor Rodrigues Araújo Campos, heitor.rac@gmail.com

Mirella da Silva Rodrigues, mirella.dsr@gmail.com

Roberto Aliandro Varella, ravarella@gmail.com

Leonardo da Rocha Caixeta, caixeta.lr@gmail.com

Sumaya Carolina Santos Gonçalves, sumaya.su@gmail.com

Rafael Morgado Silva, rafael.morgadosilva@gmail.com

Carlos Alberto Gurgel Veras, gurgel@unb.br

¹Universidade de Brasília, Campus Darci Ribeiro, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica Asa Norte, Brasília DF.

Resumo: *Uma das grandes buscas da sociedade moderna é a redução na emissão de poluentes, principalmente dos gases que provocam o efeito estufa. Uma das formas de atingir este objetivo é melhorar o rendimento termodinâmico de motores de combustão interna, sejam motores ciclo Otto, normalmente utilizados em automóveis de pequeno porte, ou motores a ciclo Diesel, utilizados tanto em frotas de grandes veículos quanto em motores estacionários. Este estudo apresenta uma proposta de solução, com concepção simples, para maximizar a combustão em motores de combustão interna e conseqüentemente minimizar os impactos causados pelo uso de combustíveis fósseis. Por meio de uma célula eletrolítica, equipamento utilizado para realizar a eletrólise da água, instalado no cofre do motor do veículo, realiza-se o processo de eletrólise utilizando energia elétrica fornecida pelo sistema elétrico do automóvel. Os produtos da eletrólise, que incluem em sua maior parte os gases hidrogênio e oxigênio, são adicionados à mistura ar-combustível no coletor de admissão, aditivando a mistura a ser injetada no motor. Essa nova mistura apresenta características vantajosas, como a maior homogeneidade na queima, maior eficiência e propagação mais rápida da chama, resultando em um aumento global da eficiência termodinâmica do motor. Tal aumento possibilita a obtenção de maior torque, redução do consumo de combustível e redução da emissão de gases poluentes.*

Palavras-chave: *Hidrogênio; Motores; Combustível; Emissões.*

INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de redução de emissões de poluentes incentiva a busca de novas soluções e alternativas que minimizem os impactos ambientais causados pelo uso de automóveis.

Este projeto apresenta uma solução simples para a redução da emissão de gases poluentes conseqüentes da queima de combustíveis fósseis em motores de combustão interna, utilizados na maior parte dos veículos atualmente. Um equipamento denominado célula eletrolítica quebra a molécula de água em gases hidrogênio e oxigênio, que por sua vez são utilizados no processo de combustão de um motor de combustão interna permitindo uma queima mais eficiente. A reação de eletrólise da água, que ocorre na célula eletrolítica, utiliza como fonte de energia a eletricidade disponível na bateria do veículo.

A célula eletrolítica desenvolvida para esse projeto não difere muito, a não ser pelo tamanho, das células industriais. Trata-se de um cilindro fechado onde estão dispostos dois eletrodos em seu interior, um positivo e um negativo, enrolados no formato de uma célula de rolo suíço e separados por isolantes de borracha. Na sua tampa estão dispostos os conectores dos eletrodos e um orifício para a saída dos gases, os quais são conduzidos ao coletor de admissão do motor através de uma mangueira. Esses gases são misturados ao ar aspirado naturalmente pelo motor e, em seguida, ao combustível (gasolina, etanol, diesel, gnv, etc.). O uso dessa nova mistura injetada nos cilindros do motor modifica as condições de operação do mesmo e sua queima apresenta características mais interessantes se comparada à mistura ar-combustível tradicionais, seja nos motores Ciclo Diesel ou Ciclo Otto.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

Visando facilitar o entendimento dessa tecnologia, o objetivo geral deste trabalho é apresentar soluções de construção, montagem e utilização dos equipamentos necessários para a produção e utilização dos produtos da eletrólise da água em motores de combustão interna bem como avaliar as modificações ocorridas, visando obter maior rendimento e conseqüentemente maior torque, potência e menor consumo de combustível, diminuindo assim os níveis de emissões de poluentes.

ESTADO DA ARTE

Os primeiros registros sobre a produção e utilização de hidrogênio em veículos dotados de motores de combustão interna datam da década de 70 quando **Houseman e Cerini (1974)** publicaram um trabalho sobre um “Gerador interno de hidrogênio para injeção parcial de hidrogênio em motor de combustão interna”. Outros pesquisadores do mesmo laboratório deram continuidade à pesquisa nos anos seguintes.

Na década seguinte deu-se início a uma série de pesquisas semelhantes em universidades na Índia. Dentre essas, destacam-se a de **Gopal et al. (1982)** que demonstrou as vantagens da utilização de hidrogênio como combustível em um motor ciclo Diesel e a de **Rao et al. (1983)**, que constatou aumento da eficiência térmica e redução de emissão de hidrocarbonetos não-queimados ao utilizar hidrogênio de forma a modificar a mistura ar-combustível original em um motor Diesel.

Estudos mais recentes realizados na Malásia por **Shukor (2006)** permitiram o desenvolvimento de um equipamento capaz de produzir hidrogênio em um automóvel, sem, contudo armazenar o gás aproveitando o potencial do mesmo como combustível alternativo. Essa pesquisa serviu de base para o fabricante de automóveis, LMG, que lançou no ano seguinte dois veículos dotados de um equipamento semelhante ao proposto pelo pesquisador injetando o hidrogênio produzido juntamente com a gasolina no motor de combustão interna. O fabricante afirma uma redução de mais de 50% no consumo de gasolina.

Desde então, algumas empresas no Canadá e nos Estados Unidos comercializam equipamentos semelhantes para instalação em automóveis dotados de motores Otto ou Diesel. Entre as características comuns a esses produtos destacam-se as propostas de aumento de potência e redução de consumo de combustível fóssil, com conseqüente redução de emissões de poluentes.

Essa idéia já motivou pesquisas em vários países. Na Alemanha, por exemplo, a BMW e a ArvinMeritor, conhecidas empresas do ramo automotivo estão testando alguns protótipos que funcionam tanto a gasolina quanto a hidrogênio. Ambas as pesquisas já se encontram em estágio avançado de desenvolvimento buscando os mesmos objetivos citados anteriormente, e se mostram promissoras quanto a resultados em curto prazo.

PRINCÍPIOS TEÓRICOS - MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Para avaliar a utilização do hidrogênio como combustível em um motor de combustão interna é necessário conhecer os princípios relevantes para o processo de combustão nesses motores. Além disso, é imprescindível conhecer as características do hidrogênio.

Processos Relevantes no Cilindro

Abaixo são apresentados de forma sucinta os processos mais importantes que ocorrem em motores de combustão interna ao se injetar hidrogênio no coletor de admissão.

Dentre os mecanismos de um motor que são afetados pelo uso do hidrogênio é de suma importância avaliar as seguintes características:

- Atraso de ignição;
- Detonação;
- Pré-ignição;
- Relação ar-combustível;
- Propagação da combustão;
- Velocidade de queima e deflagração;
- Temperatura de ignição.

Emissões

A emissão de poluentes é uma característica importante a ser avaliada. Os gases poluentes como o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx) e hidrocarbonetos não queimados (HC) devem ser avaliados para saber a real situação de queima do motor. O termo emissões de motores se refere principalmente aos poluentes na exaustão do motor.

Ao utilizar o hidrogênio espera-se uma redução desses gases, provenientes da exaustão do motor, já que essas emissões são fortemente influenciadas pelas características da combustão, assim como o instante de ignição, a carga, a velocidade e, principalmente, a relação ar-combustível.

Para misturas muito ricas, isto é, com excesso de combustível, ocorre maior concentração de CO pelo fato de a combustão ser incompleta. Já em misturas pobres o CO está sempre presente devido à dissociação, mas sua concentração diminui à medida que a temperatura de combustão é reduzida (**Kumar (2003)**).

As emissões de hidrocarbonetos não queimados podem ser reduzidas pelo excesso de ar, isto é, utilizando uma mistura pobre. Mas existe um limite em que a flamabilidade da mistura se reduz muito, provocando um aumento líquido das emissões de hidrocarbonetos. Além disso, misturas muito pobres provocam perda de potência. Deve-se procurar a mistura mais adequada, já que tanto misturas ricas como misturas excessivamente pobres provocam o aumento de emissões. Essas emissões são originadas pela extinção da frente de chama causada por pontos frios. Regiões como as ranhuras dos anéis de pistões são particularmente importantes nesse caso.

Outro composto formado na câmara de combustão é o NOx que está diretamente relacionado com a temperatura de chama e a velocidade da combustão, que são maiores na combustão do H₂, sabe-se também que o potencial calorífico de um combustível está relacionado com a sua composição.

CARACTERÍSTICAS DO HIDROGÊNIO

O hidrogênio é o elemento químico mais abundante do universo. Por ser muito ativo quimicamente ele se combina rapidamente com outros elementos, formando compostos. De todos os gases é o mais leve e se dispersa rapidamente se não for confinado. Apresenta alto poder calorífico, cerca de 120 kJ/g, o maior de todos os combustíveis conhecidos. O hidrogênio é altamente inflamável e pode entrar em combustão desde que componha 4% a 74% do volume do ar. Sua chama, se puro, é invisível. Se comparado a outros gases apresenta alta taxa de difusão, isto é, suas moléculas se espalham facilmente em consequência de seu movimento aleatório e sua energia.

A tabela seguinte apresenta alguns dados sobre o hidrogênio, a gasolina e o diesel.

Tabela 1: Propriedades do hidrogênio, gasolina e diesel.

<i>Propriedade</i>	<i>Hidrogênio (H₂)</i>	<i>Diesel</i>
Poder calorífico inferior (kJ/g)	120	42,3
Temperatura de auto-ignição (K)	858	553
Temperatura da chama no ar (K)	2.591	ND
Limite de flamabilidade no ar (vol. %)	4 - 75	0,6 – 6,5
Energia mínima de ignição no ar (mJ)	0,02	ND
Limite de detonabilidade no ar (vol. %)	18 - 59	ND
Coefficiente de difusão no ar (cm ² /s)	0,61	ND
Densidade de energia por peso (kWh/kg)	33,3	ND
Densidade de energia por volume (kWh/L)	0,53	0,84

(Lambe, S. M., Watson, H. C., 1992), (Kumar et al, 2003)¹.

¹ Com adaptação de unidades.

Combustão do Hidrogênio

As diferentes propriedades do hidrogênio em relação aos combustíveis convencionais afetam diretamente os processos citados na seção anterior.

Por possuir um baixo limite de ignição, a combustão do hidrogênio pode ser facilmente iniciada mesmo em misturas pobres, facilitando seu uso em motores Otto. Entretanto, essa característica pode ocasionar problemas de detonação quando utilizadas quantidades elevadas de hidrogênio, limitando assim, a quantidade desse gás na mistura. Dessa maneira o seu uso em motores de ciclo Diesel deve ser feito juntamente com o combustível, nunca puro – (RAO et al., 1983). Por isso, este trabalho propõe a utilização do hidrogênio em pequenas proporções de forma a modificar a mistura ar-combustível original de um motor.

Outra peculiaridade do hidrogênio é sua alta temperatura de auto-ignição, 858k, o que minimiza problemas relacionados à pré-ignição por pontos quentes na câmara de combustão, mas, por outro lado, dificulta seu uso em motores de ignição por compressão, nos quais a ignição se inicia normalmente em temperaturas mais baixas fazendo-se necessário o uso de técnicas mais avançadas de injeção do hidrogênio (Gopal et al. 1982). Uma solução é atrasar a injeção do hidrogênio para depois da injeção do diesel, quando a combustão já teria se iniciado e a temperatura na câmara de combustão atingido maiores valores (Gopal et al., 1982). Essa técnica se torna complexa à medida que nessa etapa a pressão no interior da câmara de combustão fica elevada, dificultando a injeção do hidrogênio (Gopal et al.).

Apesar de apresentar alto poder calorífico em termos de massa, em termos de volume o poder calorífico do hidrogênio é baixo, isto é, tem baixa densidade energética, fato justificado por sua baixa massa específica, de 0,085 kg/m³. Isso pode favorecer um menor ganho ou até mesmo perda de potência caso o volume de hidrogênio adicionado à mistura ar-combustível seja proporcionalmente grande, (Gopal et al., 1982), podendo ser observado no gráfico 3. No caso de motores de ignição por centelha, que trabalham com misturas ar-combustível mais homogêneas, ou seja, as quantidades utilizadas de combustível e de ar são próximas, esse problema se torna ainda maior, limitando a quantidade de hidrogênio a ser adicionada. (Gopal et al., 1982).

Já no caso de um motor ciclo Diesel, que trabalha com relação ar-combustível maior, variando de 20:1 potência máxima até 50:1 em marcha lenta, o hidrogênio ao ser adicionado representará um pequeno volume diante de todo o volume de ar admitido pelo motor, mas devido ao seu alto poder calorífico em termos de massa, poderá fornecer um ganho significativo de potência ao motor.

Portanto, como não é possível regular a vazão mássica do hidrogênio, e sim sua vazão volumétrica, deve-se buscar a melhor proporção em volume de hidrogênio a ser adicionado à mistura ar-combustível para cada caso de combustível e motor utilizado, já que no ciclo Diesel, o fator limitante é a razão de compressão e no ciclo Otto é a relação ar-combustível. Por esses motivos, o volume de hidrogênio a ser adicionado às misturas não pode ser muito elevado.

Além de apresentar alto poder calorífico por massa, outras vantagens da utilização do hidrogênio consistem no fato de sua alta velocidade de chama, da ordem de 265 a 325 cm/s (Gopal et al., 1982). Essa velocidade é muito maior que as velocidades típicas de propagação de chama de misturas ar-gasolina por exemplo. Assim, o hidrogênio apresenta excelente adaptação a motores de ignição por centelha com características de alta velocidade de rotação. No caso de hidrocarbonetos, a velocidade de propagação de chama é da ordem de 30 cm/s apenas.

Além disso, a queima do hidrogênio é limpa, não apresentando elementos contribuintes para a poluição atmosférica, o efeito estufa ou o aquecimento global, como hidrocarbonetos não queimados, monóxido de carbono CO e dióxido de carbono CO₂.

Formas de Produção do Hidrogênio

Dentre as formas de produção do hidrogênio, destacam-se os métodos de:

- Oxidação catalítica (ou reforma de vapor), a partir de hidrocarbonetos. Utiliza temperaturas e pressões elevadas;
- Eletrólise da água. Método simples, mas que requer muita energia elétrica.
- Gaseificação a partir do carvão. Gera muitas impurezas e utiliza altas temperaturas. (Wendt e Kreysa(1999)).

Desses métodos, o único que se adéqua à produção em um veículo é o da eletrólise da água, por poder ser realizado em condições normais de temperatura e pressão. Sua maior desvantagem ocorre devida à elevada quantidade de energia elétrica despendida, entretanto, como no caso deste projeto a produção de hidrogênio se limita a pequenas quantidades, a eletricidade fornecida pelo conjunto alternador - bateria de um automóvel é suficiente. Além disso, os outros métodos geram poluentes e utilizam fontes não-renováveis, o que os torna inválidos diante da proposta desse projeto que é reduzir as emissões de poluentes e utilizar uma fonte limpa e abundante de energia.



Segurança

A maior preocupação pública quanto ao uso do hidrogênio como combustível diz respeito à segurança. O hidrogênio por si só não é inflamável, para isso é necessária a presença de oxigênio e de uma fonte de ignição (energia de ativação da combustão). A presença do oxigênio é de difícil controle, pois está presente na atmosfera e também é um produto da eletrólise da água. O maior risco então é a fonte de ignição, que pode ser um impacto, atrito, vibração, calor, arco ou centelha elétrica e ainda a presença de elementos catalisadores, que podem ocorrer na célula eletrolítica, o que exige cuidados na operação e na fabricação da mesma, pois o hidrogênio apresenta limites de ignição bastante baixos, o que obriga a utilizar um equipamento livre de riscos de ignição.

Entretanto, devido ao seu alto coeficiente de difusão no ar, o hidrogênio se dispersa rapidamente no caso de um vazamento, minimizando os riscos. Além disso, como observado pela **Tab. (1)**, o hidrogênio não tem a característica explosiva, como ocorre com a gasolina. Assim, no caso de um acidente o risco de explosão é pequeno. O hidrogênio se incendeia sem, entretanto, explodir. Já no caso de um incêndio com gasolina, o risco de ocorrer uma explosão é muito maior.

Sobre a utilização de hidrogênio como combustível em automóveis, a maior preocupação está relacionada ao seu armazenamento em reservatórios a alta pressão e o risco de vazamentos, especialmente em áreas não ventiladas, como garagens ou mesmo o interior de um veículo. Mas esse risco é minimizado neste projeto, já que não é previsto o armazenamento do gás, o qual é consumido instantaneamente, logo que produzido.

ELETRÓLISE DA ÁGUA

A eletrólise é o processo de forçar uma reação a ocorrer na direção não-espontânea pelo uso de corrente elétrica. No caso da água, é o processo de dissociação eletrolítica da água em moléculas diatômicas de hidrogênio e oxigênio, a partir de eletricidade, utilizando baixa tensão e corrente elevada. O principal objetivo da realização da eletrólise da água é a obtenção do hidrogênio na forma gasosa, produto majoritário dessa reação, que envolve a produção de oxigênio e uma pequena quantidade de vapor de água. A produção de vapor de água é consequência indireta, já que não é produzido pelo processo de eletrólise, mas é resultado do aquecimento dos eletrodos da célula eletrolítica. A eletrólise de um mol de água produz um mol de hidrogênio gasoso e meio mol de oxigênio gasoso, em suas formas diatômicas comuns.

Para forçar uma reação em um sentido não-espontâneo, a fonte externa de energia, no caso uma bateria, deve gerar uma diferença de potencial maior que a diferença de potencial que deveria ser produzida pela reação inversa. No caso,



Para conseguir a reação não espontânea



Assim, deve-se aplicar, através da fonte externa, no mínimo 1,23 V para superar o potencial da reação natural na direção oposta. Na prática, a diferença de potencial aplicada deve ser significativamente maior que o potencial da célula para reverter a reação espontânea e atingir uma velocidade significativa de formação de produtos. Deve-se levar em consideração também a possível presença de outros íons na solução que possam ser reduzidos ou oxidados pela corrente aplicada. Com aproximadamente 1,65 - 1,8 V (valores utilizados nas melhores e mais avançadas células eletrolíticas comerciais) é possível obter uma eficiência energética de aproximadamente 70% a 90%. Para uma tecnologia mais simples e menos eficiente é recomendável utilizar uma tensão mais elevada, para garantir a realização do processo. (**Wendt & Kreysa, 1999**). Neste trabalho considera-se uma célula eletrolítica operando a 2,5 V.

Com o valor de tensão determinado, deve-se calcular também a quantidade de produtos formados, que em seguida serão utilizados na combustão em um motor. Esse cálculo está baseado na Lei de Faraday da eletrólise: “O número de mols de produtos formado por uma corrente elétrica é estequiometricamente equivalente ao número de mols de elétrons fornecidos”. Assim, desde que seja conhecido o número de mols de produto formado, é possível calcular a massa dos produtos, ou no caso de gases, seus volumes.

Uma célula eletrolítica é uma célula eletroquímica na qual a eletrólise tem lugar. A célula eletrolítica é o equipamento responsável pela produção do hidrogênio a ser utilizado como combustível nos motores de combustão interna. Tal produção ocorre através do processo de eletrólise da água, melhor detalhado a seguir. A fonte de energia para esse processo eletroquímico será uma bateria automotiva. Nesse tipo de célula os dois eletrodos usualmente estão

no mesmo compartimento, imersos em água, e operam tipicamente a baixa tensão e alta corrente. Para a perfeita reação, deve-se utilizar água destilada, juntamente com a solução iônica, nesse caso, o ideal seria utilizar o sulfato de potássio por oferecer uma proteção catódica para célula eletrolítica. No entanto foi utilizada água com cloreto de sódio para análise, por ser o único sal que estava disponível no laboratório.

Dessa forma, a célula eletrolítica desenvolvida nesse projeto se resume a um recipiente isolado, que contem em seu interior os eletrodos imersos em água adicionados de cloreto de sódio.

Os eletrodos são dispostos em uma forma conhecida como célula de rolo suízo, em que existem apenas dois eletrodos, de aço inoxidável austenítico AISI 304, enrolados e separados por uma fina camada de material isolante, no caso tiras de borracha, por ser o único material encontrado que fornece um espaçamento pequeno entre as chapas e que também não retém o fluxo de gases produzidos pela célula, de maneira a não permitir o contato entre os eletrodos e ao mesmo tempo mantê-los o mais próximo possível. Os eletrodos têm dimensões de 2000mm de comprimento, 110mm de altura, e 0,10mm de espessura.

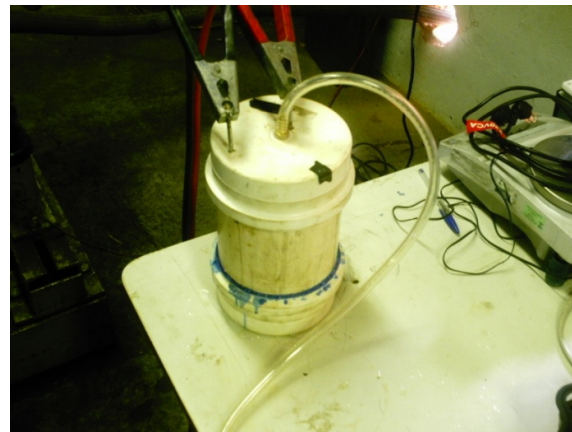
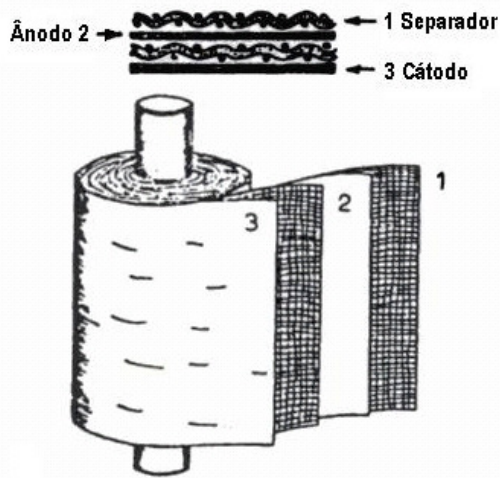


Figura 1. Configuração básica da célula de rolo suízo (Wendt e Kreysa (1999)).

Figura 2. Célula eletrolítica montada.

Para o reservatório da célula eletrolítica foi escolhido um recipiente cilíndrico fabricado em PVC (poli cloreto de vinila), por ser um bom isolante elétrico, não sofrer corrosão e ter relativa resistência. O cilindro foi construído a partir de um tubo com diâmetro igual a 150 mm e altura de 200 mm, sendo fechado nas partes inferior e superior por tampas do mesmo material.

Na tampa superior existe um orifício para a saída dos gases, que em seguida são conduzidos por uma mangueira. Também sobre a tampa superior estão dispostos os terminais elétricos dos eletrodos.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para avaliar o trabalho de forma experimental foram utilizados os equipamentos listados abaixo:

- Dinamômetro hidráulico (100 cv, 5000 rpm), para avaliação de torque e potência do motor;
- Balanças digitais para a medição de perda mássica dos produtos da eletrólise da água e medição do consumo de combustível;
- Termopar tipo K;

Os ensaios seguiram uma rotina previamente estabelecida, com os seguintes parâmetros:

- Rotações de avaliação: 1300, 1450, 1600, 1800, 1900 e 2000 rpm;
- Por se tratar de um motor estacionário a diesel, o governador controla o fluxo de combustível para as rotações fixadas.
- Combustíveis utilizados: Diesel;
- Injeção dos gases advindos da célula eletrolítica através do coletor de admissão.

Dados coletados:

- Potência efetiva
- Consumo específico de combustível
- Eficiência térmica
- Percentual de hidrogênio fornecido

Motor Avaliado: Yanmar BTD33 (30 cv, 3000 rpm, 1717 cm³, taxa de compressão 17,3:1), 4 cilindros, Diesel;

RESULTADOS PRELIMINARES

Esse trabalho se encontra em uma etapa intermediária, dessa maneira foram coletados alguns dados preliminares com a finalidade de verificar a consistência da pesquisa, testar o funcionamento da célula eletrolítica, assegurar o bom prosseguimento do trabalho e definir as etapas seguintes para a finalização do mesmo.

Célula Eletrolítica

Através da medição da perda mássica de água durante o funcionamento da célula eletrolítica é possível estimar o fluxo de hidrogênio que está sendo produzido. Ao ser posta em funcionamento a célula eletrolítica apresentou uma produção mássica de 0,029 gramas a cada segundo a uma temperatura de 60°C e 54A passando entre os pólos da célula, correspondendo a um fluxo volumétrico de hidrogênio de 2,657 l/min.

Motor

Para esse ensaio o motor foi testado com a regulagem de combustível no ponto máximo, e ficou variando a carga no dinamômetro, e também com os gases provenientes da célula eletrolítica, comparando os dados obtidos ao utilizar esses gases. Foram coletados os dados de consumo específico de diesel, potência do motor e eficiência termodinâmica para os casos de operação utilizando apenas diesel e diesel aditivado de hidrogênio em diferentes rotações. Os resultados obtidos estão indicados nos gráficos abaixo.

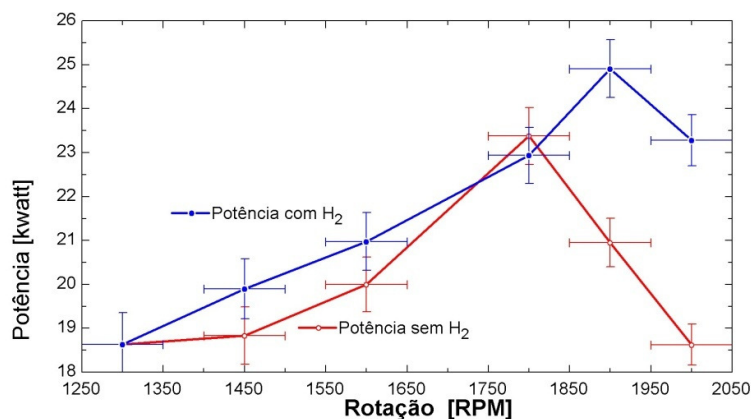


Gráfico 1. Potência efetiva do motor.

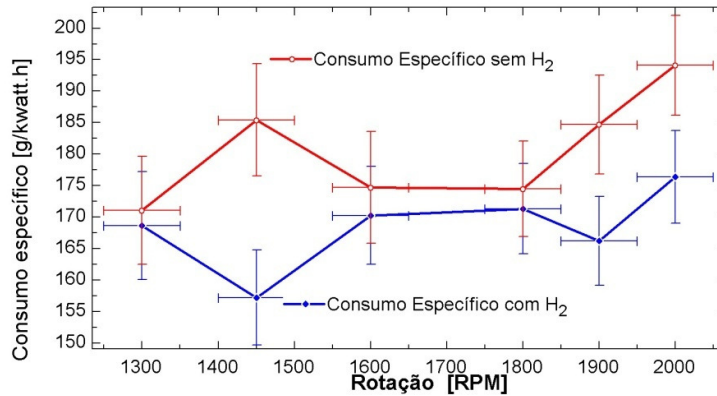


Gráfico 2. Consumo específico de diesel.

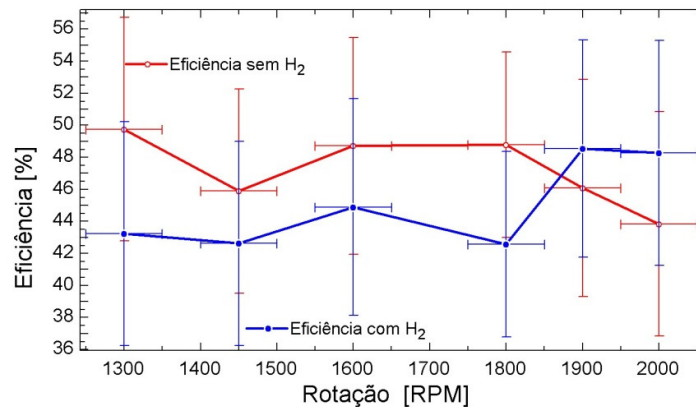


Gráfico 3. Eficiência térmica.

Tabela 2: Dados para construção dos gráficos.

ROTAÇÃO [RPM]	Potência [kW]	Potência H ₂ [kW]	Consumo H ₂ [g/kW.h]	Consumo [g/kW.h]	Eficiência [%]	Eficiência H ₂ [%]
1300±50	18.64±0.7169	18.64±0.7169	168.6±8.585	171.1±8.588	49.75±2.498	43.23±6.982
1450±50	18.83±0.6469	19.90±0.6864	157.2±7.542	185.4±8.895	45.90±2.202	42.62±6.374
1600±50	20.00±0.6252	20.98±0.6558	170.3±7.781	174.7±8.870	48.71±2.473	44.89±6.761
1800±50	23.38±0.66497	22.94±0.6475	171.3±7.166	174.5±7.573	48.78±2.117	42.58±5.785
1900±50	20.95±0.5518	24.91±0.6559	166.2±7.061	184.7±7.848	46.07±1.957	48.54±6.779
2000±50	18.62±0.4662	23.28±0.5825	176.4±7.352	194.1±7.927	43.84±1.790	48.27±7.012

No ensaio com o motor ciclo diesel, em que se fixou a maior carga no dinamômetro, foram obtidos os seguintes resultados: ao se utilizar os gases provenientes da célula eletrolítica, houve aumento de potência de 18,9% em seu pico e redução de consumo de diesel de 15% no ponto mais baixo. Nas rotações iniciais, a eficiência térmica estava menor em relação à correspondente ao diesel puro, o que pode ser explicado pelo volume constante de hidrogênio injetado na câmara de combustão, entretanto, em rotações mais elevadas, o valor da eficiência térmica aumentou, ultrapassando o valor encontrado no ensaio sem hidrogênio. Esse ensaio demonstra que existe uma quantidade ideal de hidrogênio a ser injetada em motores diesel, mostrando dessa forma que o excesso de hidrogênio injetado, sendo em quantidades maiores do que o necessário no processo acarreta perda de eficiência, mesmo ocorrendo um aumento da potência.

Isso leva a conclusão que existe uma quantidade ideal de hidrogênio a ser utilizada, mantendo o compromisso entre ganho de potência, redução do consumo de combustível e aumento de eficiência térmica. Essa quantidade depende do

motor avaliado e das condições de operação, e pode ser encontrada através da variação da corrente na célula eletrolítica e os resultados de desempenho do motor.

Quando analisá-se o gráfico de potência pode-se perceber também que ao injetar hidrogênio, nesse motor específico que possui governador, o motor se adequa a nova situação de queima e dessa maneira nota-se a mudança de regime de trabalho nessa curva.

Todas as medidas desse ensaio foram feitas com todos os circuitos da célula ligados nos circuitos do motor. Nenhuma fonte externa de energia foi conectada para alimentar a célula, portanto não existiu a necessidade de calcular quanto a bateria forneceu para a célula, sendo somente coletado o dado de corrente a cada instante, pois com esse dado que foi possível saber a quantidade de hidrogênio produzida pela célula, por essa ter sido previamente caracterizada.

O torque mostrado no visor da célula de carga já apresentava o valor líquido do ensaio.

A eficiência do combustível com hidrogênio foi calculada da seguinte maneira:

$$\eta = \frac{P}{\dot{m}_c \cdot PCI_c + \dot{m}_{H_2} \cdot PCI_{H_2}} \times 100$$

Onde P é potência, PCI_c é o Poder calorífico inferior do combustível, \dot{m}_{H_2} é o fluxo de massa de hidrogênio injetado no motor, \dot{m}_c é o fluxo de combustível injetado juntamente com o H_2 .

O Consumo específico foi calculado segundo a equação abaixo, onde C_{ec} é o consumo específico, \dot{m} (fluxo mássico) de combustível injetado no cilindro.

$$C_{ec} = \frac{\dot{m}}{P}$$

COMENTÁRIOS E PRÓXIMAS ETAPAS

Essa etapa intermediária do projeto foi muito importante para verificar o real efeito dos gases produzidos pela célula quando adicionados ao motor, no entanto algumas modificações estão em andamento, como o desenvolvimento de uma fonte conversora de tensão e corrente, para que o aparato experimental funcione em seu ponto ótimo, e novos ensaios considerando a adição do eletrólito sulfeto de potássio, o qual fornece as condições suficientes para a eletrólise, e ao mesmo tempo fornece uma proteção catódica à célula, evitando dessa maneira eventuais danos a longo prazo causados pela corrosão.

Com relação aos ensaios a serem realizados na próxima etapa são eles o Ciclo Otto, com gasolina e também álcool, e o Diesel. Os motores serão testados em vários níveis de rotação e carga, comparando os resultados obtidos do uso dos combustíveis convencionais com aqueles combustíveis adicionados pelos gases da eletrólise da água, verificando os efeitos provocados pelo uso da célula eletrolítica e desenvolvendo a curva característica da célula em seu estágio final de desenvolvimento. O processo de combustão será avaliado através dos resultados oferecidos pelo aparato experimental, medindo a potência e analisando os gases de exaustão liberados pelos motores.

Dessa forma, busca-se avaliar as vantagens e desvantagens da proposta deste trabalho, analisando seus resultados e buscando determinar as melhores condições de uso da célula eletrolítica para cada condição de operação e motor.

Todas essas próximas etapas já foram iniciadas e têm previsão de conclusão em Julho de 2010, quando todos os ensaios já terão sido realizados e uma célula eletrolítica mais eficiente já terá sido construída, consolidando os objetivos do projeto.

REFERÊNCIAS

- Gopal, G., Srinivasa Rao, P., Gopalakrishnan, K.V. and Murthy, B.S., 1982, "Use of hydrogen in dual fuel engines". International Journal of Hydrogen Energy, vol. 7, p. 267–272, 1982.
- Houseman, J., Cerini, D., 1974, "On board hydrogen generator for a partial hydrogen injection internal combustion engine". SAE (Society of Automotive Engineering).
- Kumar, M.S., Ramesh, A., Nagalingam, B., 2003, "Use of hydrogen to enhance the performance of a vegetable oil fuelled compression ignition engine". International Journal of Hydrogen Energy, vol. 28, p. 1143-1154.
- Lambe, S. M., Watson, H. C., 1992, "Low polluting, energy efficient c.i. hydrogen engine". International Journal of Hydrogen Energy, vol. 17, p. 513-525.
- Rao, B. H., Shrivastava, K. N., Bhakta, H. N., 1983, "Hydrogen for dual fuel engine operation". International Journal of Hydrogen Energy, vol. 8, p. 381–384.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

WENDT, H.; KREYSA, G. *Electrochemical Engineering: Science and Technology in Chemical and Other Industries*. [S.l.]: Ed. Springer, 1999.

Shukor, S.R.A., 2006, "An Economical Route to the Production of Hydrogen Energy from Waste Materials: An Alternative Fuel for Vehicles". *Research Sea, Malásia*. 18 July 2007

<http://www.researchsea.com/html/article.php/aid/869/cid/2/research/cheap_and_safe_production_of_hydrogen_fuel.html?PHPSESSID=d2711fb1fad2287e83541226ec781cff>.

DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

Lennon Walbron Piqueno de Souza, lennonwalbron@yahoo.com.br

Rafael Oliveira de Araújo, rafael.cvz@gmail.com

Heitor Rodrigues Araújo Campos, heitor.rac@gmail.com

Mirella da Silva Rodrigues, mirella.dsr@gmail.com

Roberto Aliandro Varella, ravarella@gmail.com

Leonardo da RochaCaixeta, caixeta.l.r@gmail.com

Sumaya Carolina Santos Gonçalves, sumaya.su@gmail.com

Rafael Morgado Silva, rafael.morgadosilva@gmail.com

Carlos Alberto Gurgel Veras, gurgel@unb.br

¹Universidade de Brasília, Campus Daeci Ribeiro, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica Asa Norte, Brasília DF.

STUDY OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES DOPED WITH HYDROGEN.

Abstract code: CON10-0196

***Abstract.** A major search of modern society is the reduction in the emission of pollutants, especially gases that cause global warming. One way to achieve this goal is to improve the thermodynamic efficiency of internal combustion engines, Otto cycle engines are normally used in small cars, and diesel cycle engines are used in both fleets of large vehicles and in stationary engines. This study proposes a solution, with simple design, to maximize the combustion in internal combustion engines and therefore minimize the impacts caused by the use of fossil fuels. Through an electrolytic cell, equipment used to perform the electrolysis of water, installed in the vehicle, by side the engine, performs the process of electrolysis using electricity supplied by the electric motor. The products of electrolysis, which include mostly hydrogen gas and oxygen, are added to the fuel-air mixture in the intake manifold, the additive mixture being injected into the engine. This new blend has beneficial characteristics such as greater uniformity in the burning, more efficient and faster propagation of the flame, resulting in an overall increase in thermodynamic efficiency of the engine. This increase enables the achievement of greater torque, reduce fuel consumption and reduce gaseous emissions.*

***Keywords:** Internal Combustion Engine, Hydrogen, Water's Electrolysis.*

DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.