

# REDUÇÃO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL CONVENCIONAL PELA ADIÇÃO DE GÁS HIDROGÊNIO

Reduction of conventional fuel consumption by the addition of hydrogen gas

Caio Henrique Barbosa<sup>1</sup>, José Humberto Machado Tambor<sup>2</sup>

1. Graduando em engenharia mecatrônica, Faculdade ENIAC

2. Doutor em ciências, professor titular na Faculdade ENIAC

[jose.humberto@eniac.edu.br](mailto:jose.humberto@eniac.edu.br)

## RESUMO

O combustível fóssil como a gasolina apresenta um consumo razoável dentro das opções comerciais disponíveis no mercado. O custo por litro deste combustível é elevado em relação a outros países e a diferença aumenta se relacionarmos o salário mínimo nesta comparação. O presente trabalho mostra como a injeção de gás hidrogênio, juntamente com a gasolina, auxilia na redução de consumo, além de reduzir emissões de gases de efeito estufa. Para a geração de gás, foi criada uma célula de hidrogênio, com controle da corrente elétrica gerada por meio de um circuito PWM. Um automóvel da marca Renault, modelo Sandero 1.0 com 16 válvulas e 77 cavalos foi utilizado para os testes com e sem a injeção de gás hidrogênio. Os testes foram realizados em um percurso misto de estrada e cidade. Foram analisados o fator lambda, consumo e torque e o mais relevante foi a redução de consumo que atingiu 53%. O sistema atingiu a economia esperada sem apresentar qualquer dano ao veículo.

**Palavras-Chave:** combustível fóssil, redução de consumo, adição de gás hidrogênio.

## ABSTRACT

Fossil fuel such as gasoline has a reasonable consumption within the commercial options available in the market. The cost per liter of this fuel is high compared to other countries and the difference increases if we relate the minimum wage in this comparison. The present work shows how the injection of hydrogen gas, together with gasoline, assists in the reduction of consumption, besides reducing emissions of greenhouse gases. For the generation of gas, a hydrogen cell was created, with control of the electric current generated by means of a PWM circuit. A Renault-brand car, model Sandero 1.0 with 16 valves and 77 horsepower was used for testing with and without the injection of hydrogen gas. The tests were performed on a mixed route of road and city. The lambda factor, consumption and torque were analyzed and the most relevant was the reduction of consumption that reached 53%. The system has achieved the expected economy without presenting any damage to the vehicle.

**Key-words:** fossil fuel, reduction of consumption, hydrogen gas addition.

## INTRODUÇÃO

O mundo, na atualidade, demanda de uma grande frota de veículos que utilizam combustíveis fósseis e renováveis tais como: gasolina, álcool e diesel sendo, contudo previsível o esgotamento de fontes energéticas fósseis, o que leva à necessidade de encontrar, em um futuro próximo, fontes alternativas que sejam seguras, limpas, renováveis e economicamente viáveis, para obtenção desse tipo

de energia. Contudo, a solução para esta crise energética anunciada deve estar em sintonia, principalmente, com a diminuição da poluição ambiental. (CONELHEIRO ARQUIMEDES, 2012).

## **1. GÁS HIDROGÊNIO**

Nesse contexto, o gás hidrogênio ( $H_2$ ) surge como uma alternativa válida dado que é o elemento mais abundante no universo e sua combustão direta produz uma quantidade significativa de energia e libera como “resíduos” apenas água. Uma das alternativas adotadas para o processo de produção de hidrogênio é através da eletrólise da água, pois além de ser um processo relativamente simples que não gera nenhum resíduo que venha a ser prejudicial ao meio ambiente, a produção do hidrogênio torna-se uma técnica eficiente de transformação e economia combustível. (CONELHEIRO ARQUIMEDES, 2012); (SALIBA-SILVA,2009)

## **2. JUSTIFICATIVA DO USO**

Diante do contínuo aumento dos valores do combustível no Brasil é de grande importância a concentração em sistemas que suprimam esse abuso de preços, onde o hidrogênio se faz útil para alcançar esses objetivos, através de um sistema eficaz de produção e injeção de hidrogênio em pontos estratégicos do motor. 2

## **3. METODOLOGIA**

Para o desenvolvimento do projeto as seguintes etapas foram planejadas: 1- Estudo do processo de geração de hidrogênio, 2- Análise do motor ciclo Otto, 3- Fundamentação de sistema de injeção eletrônica, 4- Dimensionamento da célula eletrolítica HHO (FIGURA 2) ,6- confecção do protótipo e instalação do mesmo,5- Injeção de hidrogênio em motor ciclo Otto, 6- Estudo dos resultados, 7- Conclusão do projeto.

### **3.1 FLASHPOINT**

O hidrogênio é o elemento mais abundante no meio ambiente e entre suas propriedades estão duas características que alimentam o interesse em estudos automobilísticos, são eles: grande capacidade de expansão, altamente inflamável. Todos os combustíveis queimam somente no estado gasoso ou em forma de vapor. Combustíveis como o hidrogênio e metano são gases a condição atmosférica, enquanto outros combustíveis como gasolina ou diesel precisam converter-se a vapor antes de serem queimados. A característica que descreve como facilmente estes combustíveis podem ser convertidos a vapor é o flashpoint. O flashpoint é definido como a temperatura em que o combustível produz vapores para formar uma mistura explosiva juntamente com o ar. (NETO EMILIO,2005);(Hydrogen Properties). A tabela 1 mostra alguns valores de *flashpoint* e diferentes combustíveis.

Tabela 1 – Valores do *flashpoint* para alguns combustíveis 3

Combustível	<i>Flashpoint</i>
Hidrogênio	< -253°C
Metano	-188 °C
Propano	-104 °C
Gasolina	Aprox. -43 °C
Metanol	11 °C

Modificada de *Hydrogen Properties, College of the Desert*

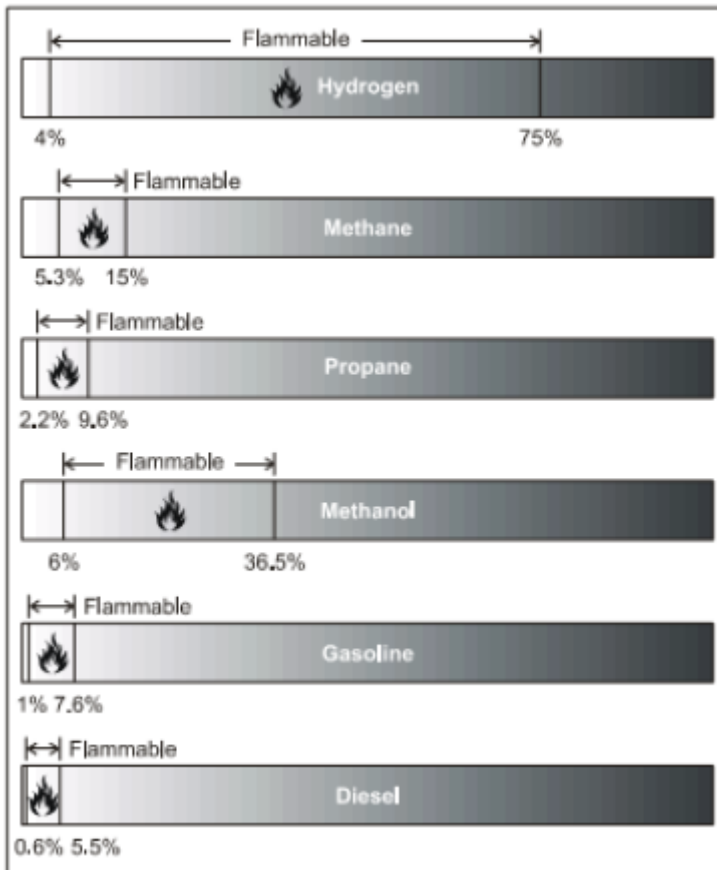
### 3.2 EXTENSÃO DE FLAMABILIDADE

A extensão de flamabilidade de um gás é definida em termos de seu limite mínimo de flamabilidade e seu limite máximo de flamabilidade. O limite mínimo de flamabilidade de um gás é a menor concentração de gás que poderá sustentar a própria propagação da chama quando misturado e aceso. Abaixo do limite mínimo de flamabilidade não existe combustível para suportar uma combustão, a mistura ar/combustível é muito fraca. (Hydrogen Properties).

Acima do limite superior de flamabilidade não há oxigênio para suportar a combustão, a mistura de ar/combustível é muito rica. Entre estes dois limites há o grau de flamabilidade em que o ar+combustível está na quantidade certa para queimar quando acesos. Uma mistura estequiométrica ocorre quando as moléculas de oxigênio e hidrogênio estão presentes na proporção exata necessária para completar a reação de combustão. (Hydrogen Properties).

Figura 1 – Extensão de flamabilidade para vários combustíveis a temperatura atmosférica.

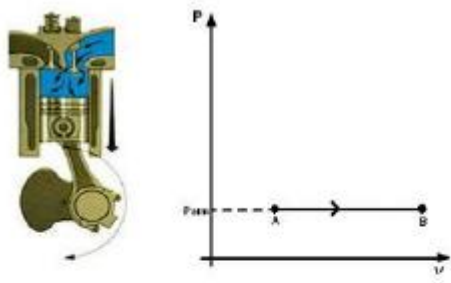
Fonte: [Hydrogen Properties, pagina 20]



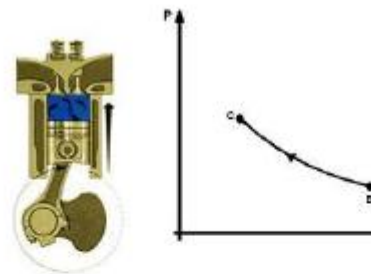
### 3.3 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

Os motores automotivos de combustão interna trabalham através de mistura de ar/combustível de tal modo que os mesmos são misturados e comprimidos afim de aumentar a pressão no cilindro de expansão e em sequência essa mistura pressurizada é explodida gerando movimento que move o veículo. O ciclo termodinâmico do motor de combustão interna é chamado ciclo Otto, onde se subdivide de 4 tempos de trabalho com variação de volume e pressão, 1° tempo admissão (figura A) é quando a mistura ar/combustível entra na câmara de expansão, 2° tempo compressão (figura B) é o momento em que a mistura ar/combustível é comprimida na câmara de expansão, 3° tempo explosão (figura C) é o momento que a mistura pressurizada é queimada gerando movimento, 4° tempo escape (figura D) é quando os resíduos da explosão são retirados da câmara de expansão para iniciar novamente o ciclo.

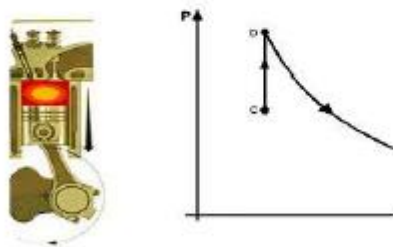
Figura 2 – ciclo termodinâmico do motor de combustão interna.



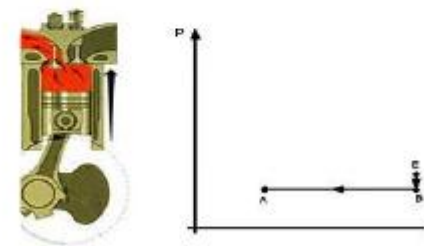
A - admissão



B - compressão



C - explosão



D - escape

Fonte: [Uol Educação, Física do automóvel e GREF, com adaptações]. 5

### 3.4 RELAÇÃO ESTEQUIOMÉTRICA – AR X COMBUSTÍVEL

Para que haja uma mistura ideal de carburante e comburente não basta apenas mesclar o ar e o combustível. Há uma necessidade de se conseguir uma boa vaporização desse carburante de forma que ele se misture muito bem com o ar. A quantidade de mistura varia de acordo com o combustível, por exemplo: um veículo movido a gasolina precisa misturar doze partes de ar para uma parte combustível, diferente do etanol que precisa trabalhar com relação 8:1 ou seja, oito partes de ar para uma parte de combustível está relação chama-se relação estequiométrica. (NASCIMENTO,2008).

### 3.5 FATOR LAMBDA ( $\lambda$ )

Para medir a relação estequiométrica utiliza-se o fator lambda, que é o quociente da mistura ar/combustível real pela ideal. O valor ideal do fator  $\lambda$  é igual a 1 como é mostrado na tabela 2 (NASCIMENTO,2008).

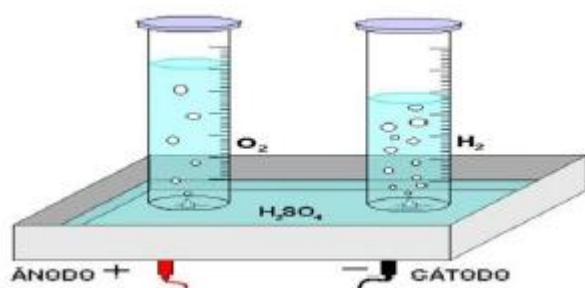
Tabela 2 – relação fator lambda e o tipo de mistura

Fator $\lambda$	Tipo de mistura	Quantidade de ar
> 1	Pobre	Excesso
= 1	Ideal	Ideal
< 1	Rica	Falta

### 3.6 CÉLULA DE GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO

Analisando as informações acima é possível criar a analogia da implantação do Hidrogênio ( $H_2$ ) na admissão de ar do veículo para auxiliar a mistura no sistema de combustão do veículo, afim de utilizar as propriedades de explosão e expansão do hidrogênio para que o motor gere economia na utilização do combustível. A maneira mais fácil de gerar hidrogênio é através da eletrólise da água de efeito corona, onde é feito um recipiente com chapas metálicas inoxidável imersa em água juntamente com ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) que servirá como reagente eletrolítico (FIGURA 3), que quando polarizado cria-se uma carga resistiva onde conseqüentemente gera corrente elétrica entre os contatos onde os polos servem com dissociador molecular onde o polo negativo (-) “libera” o hidrogênio ( $H_2$ ) e o polo positivo (+) libera o oxigênio ( $O_2$ ). (BOTTON, J. P, 2007)

Figura 3 – geração de hidrogênio



FONTE: [resumoescolar.com.br /quimica/eletrolise-da-agua]

Ao projetar a célula de hidrogênio foi necessário observar a necessidade de um sistema eficiente onde gere uma grande quantidade de hidrogênio de maneira ininterrupta, para sanar este problema foi incluído junto das placas inoxidáveis um reservatório de mesmo material para fazer a borbulha do sistema e melhorar a geração do hidrogênio (figura A), para criar a eletrólise fui confeccionada placas inoxidáveis espaçadas por anéis de vedação, ao todo foram sete placas sendo duas ligadas ao polo negativo e uma ligada ao polo positivo (figura 4).

Figura 4 – Projeto em CAD (solidworks)



Figura A

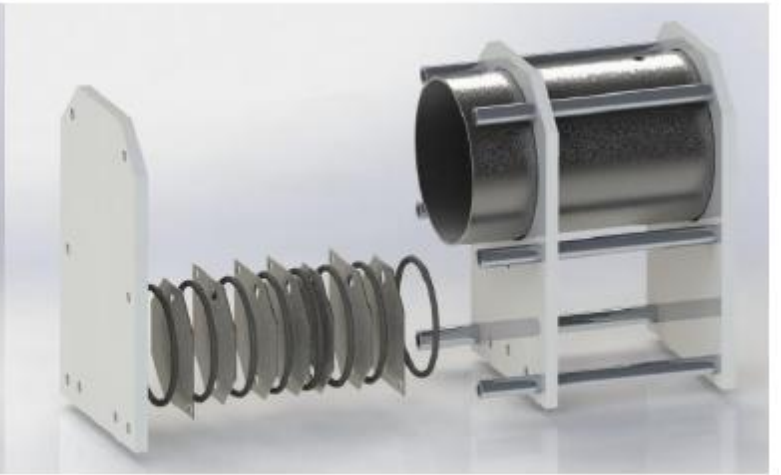


Figura B

Fonte: [Autor]

Para fazer o controle da corrente do sistema foi criado um circuito PWM, onde a função é modular a largura de pulso de sinal fazendo com que o sistema consiga manter a tensão fixa e variando a corrente. Segue abaixo a imagem do circuito eletrônico (figura A) e o sistema montado na célula de hidrogênio (figura B).

Figura 6- circuito de controle de corrente PWM

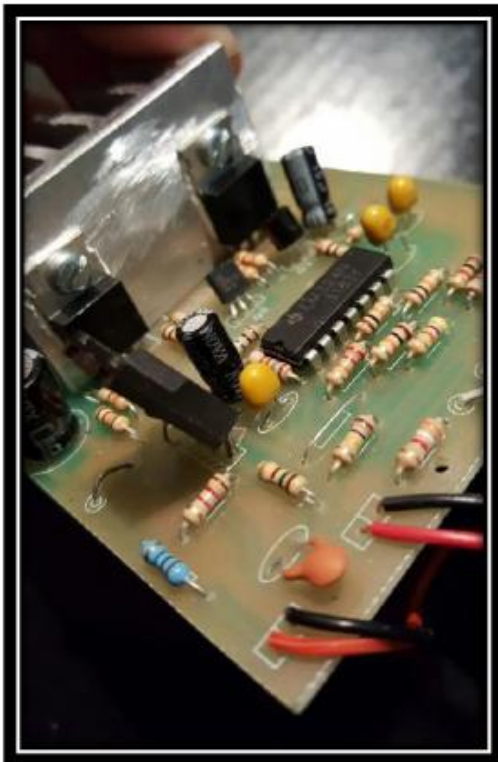


Figura A



Figura B

Fonte: [Autor]

#### 4. RESULTADOS

Para efetivar os estudos do comportamento do hidrogênio nos motores automotivos, optamos por testes práticos em um Sandero 1.0 16v flexpower 2013 com 77cv e injeção multi ponto e um scanner automotivo Delphi onde tiramos as leituras do veículo sem a célula de hidrogênio e posteriormente as leituras com o sistema de geração de hidrogênio instalado. Os primeiros parâmetros levados em consideração foi a estequiometria da mistura, consumo de combustível e por último a potência do veículo.

Como critério de análise foi efetuado um percurso de 50km, sendo que 38km é em estrada com velocidade máxima de 100km/h e 12km em via urbana com velocidade limitada em 50km/h, o percurso foi desenhado para pessoas que utilizam o carro moderadamente para percursos rápidos como casa/serviço. O combustível utilizado em ambos o teste foi a Gasolina aditivada Grid para que não tenhamos mascaramento de gasolina suja nos testes, tudo isso foi pensado para manter a confiabilidade do experimento.

Figura 7 – célula de hidrogênio instalado no veículo

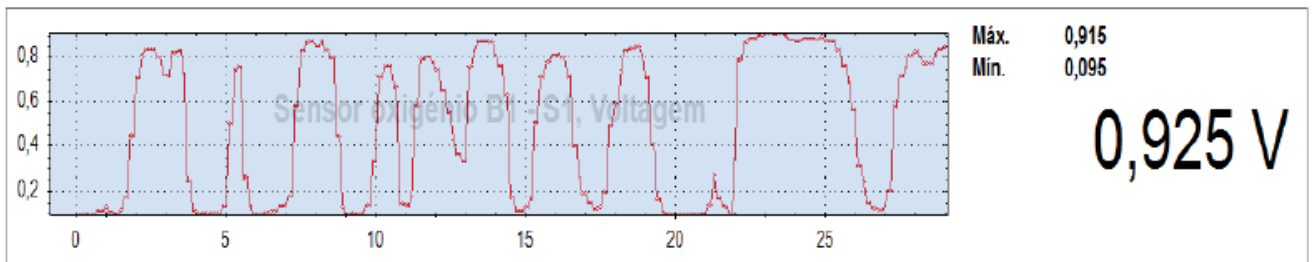


Fonte: [Autor]

#### **4.1 TESTE DE FATOR LAMBDA**

O Primeiro teste realizado foi a estequiometria através do fator lambda, a primeira análise foi feita com o veículo sem a célula de hidrogênio.

Figura 8- Gráfico da mistura ar/combustível sem célula de Hidrogênio



Fonte: [Autor]

Através do gráfico acima é possível observar a variação das misturas através do fator lambda em função da tensão lida pela sonda lambda do veículo, onde 0,450V corresponde a  $\lambda=1$  conhecido como valor estequiométrico ou valor ideal (tabela 2).

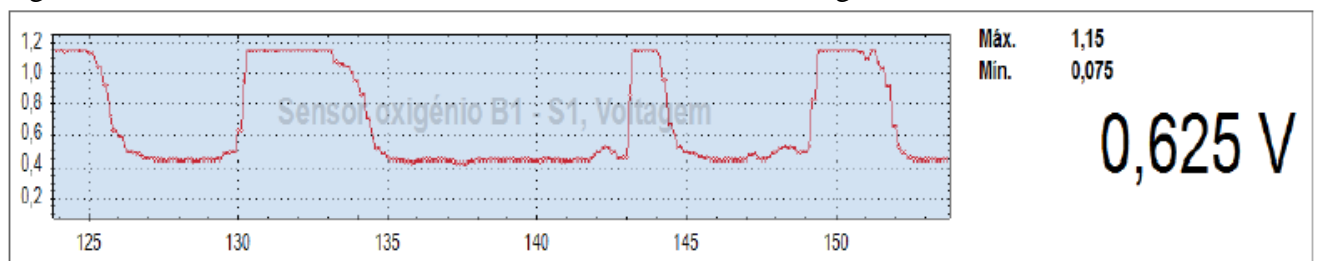
Para identificar a mistura basta utilizar os critérios da fórmula  $\lambda$ .

$$\lambda = \frac{\text{mistura real}}{\text{mistura ideal}} = \frac{\Delta \text{ tensão}}{0,450} = \frac{0,9 - 0,095}{0,450} = \frac{0,805}{0,450} = 0,680$$

$$\lambda \text{ real} = \frac{0,680}{0,450} = 1,51 \rightarrow \text{mistura pobre}$$

Através dos cálculos é possível analisar que a média do fator da lambda está em  $\lambda=1,51$  que corresponde a mistura demasiadamente pobre, ou seja com excesso de ar na mistura, e analisando o gráfico o sinal estequiométrica de 0,450V é instável, onde varia o sinal e não estabiliza no valor ideal.

Figura 8- Gráfico da mistura ar/combustível com célula de Hidrogênio



Fonte: [Autor]

Para identificar a mistura basta utilizar os critérios da fórmula  $\lambda$ .

$$\lambda = \frac{\text{mistura real}}{\text{mistura ideal}} = \frac{\Delta \text{ tensão}}{0,450} = \frac{1,15 - 0,075}{0,450} = \frac{0,700}{0,450} = 0,55$$

$$\lambda \text{ real} = \frac{0,550}{0,450} = 1,22 \rightarrow \text{mistura pobre}$$

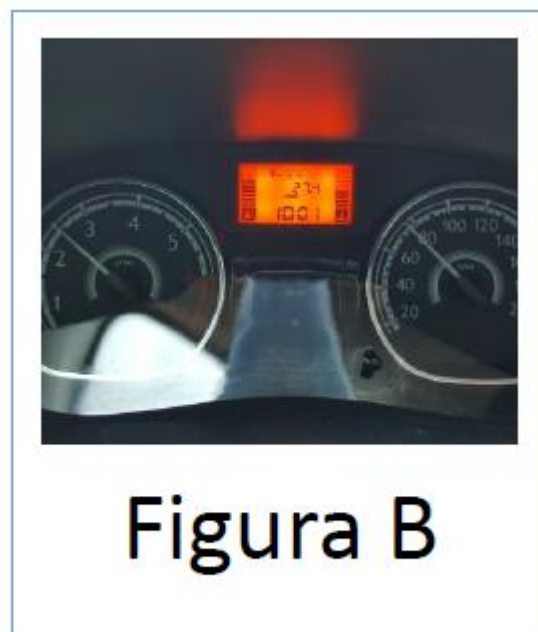
Através dos cálculos do fator lambda com a célula de hidrogênio foi possível constatar que o valor estequiométrico melhorou 23% ( $\lambda=1,22$ ) em relação ao veículo em condições originais, e analisando o gráfico da sonda lambda com a célula de hidrogênio é correto afirmar que o veículo está mais instável pois tende a manter o fator lambda no valor ideal ( $\lambda=1 \rightarrow 0,450V$ ).

#### 4.2 TESTE DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

Para auxiliar o teste de consumo de combustível foi utilizado os parâmetros do computador de bordo do veículo, onde seguimos rigorosamente os mesmos percursos e velocidades com os critérios descrito acima, feito isso para não mascarar os resultados.

O Primeiro teste feito sem a utilização do equipamento a média de consumo foi de 17,8 Km/L (figura A), o segundo teste feito com a célula de hidrogênio a média de consumo ficou em 27,4 Km/L (Figura B), ou seja o veículo utilizando o gerador de hidrogênio teve uma economia de 53% no consumo de combustível.

Figura 9 – A) leitura 17,8Km/L, B) 27,4Km/L

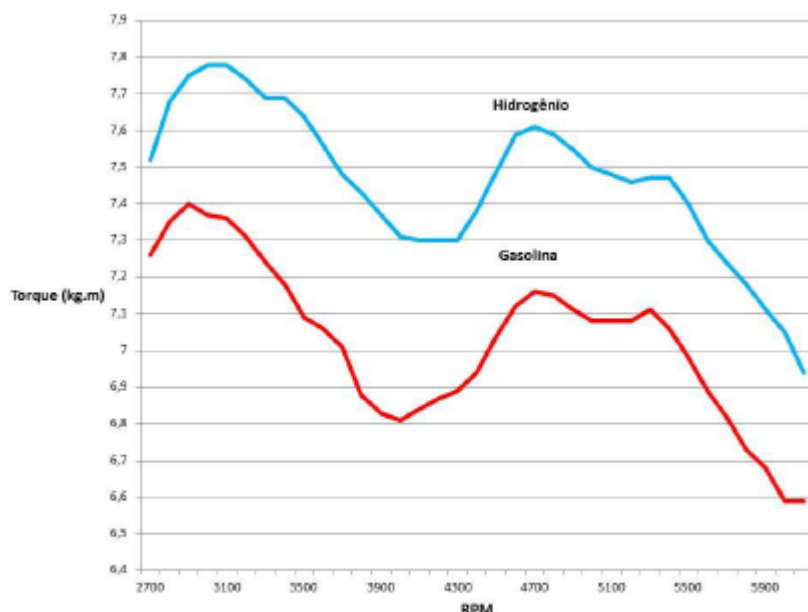


Fonte: [AUTOR]

#### 4.3 TESTE DE TORQUE

Para realizar o teste de torque utilizamos os recursos gráficos do scanner Delphi para sobrepor os valores de torque em função da rotação do motor, e mais uma vez o sistema de hidrogênio melhora o rendimento do veículo, a melhora da potência do motor foi de 4,1%

Figura 10 – gráfico comparativo do veículo com Hidrogênio



Fonte: [Autor]

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao término deste estudo experimental referente a aplicação do hidrogênio como combustível auxiliar em motores automotivos, é correta afirmar que o hidrogênio apesar de não ter mostrado uma melhora significativa de potência do motor, se mostrou muito eficiente em economia de combustível com melhora de aproximadamente 53%, outro ponto positivo do hidrogênio se dá na melhora de rendimento no controle de misturas com valor real de 23%.

Concluo que células geradoras de hidrogênio é uma ótima alternativa para economia de combustível sendo constatado nenhum tipo de avaria e/ou prejuízo ao veículo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOTTON, J. P. Líquidos iônicos como Eletrólitos para Reações Eletroquímicas. 2007, 174 pag. TESE (Ciências dos Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, abril de 2007.
- CONELHEIRO, L. T. P; ARQUIMEDES, L. Desenvolvimento de um sistema gerador de hidrogênio gasoso para utilização como combustível alternativo em veículos automotores. Outubro de 2012. Anal Eletrônico (Engenharia Mecatrônica). VI Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Científica. Centro Universitário de Maringá
- Hydrogen Properties*, College of the Desert, December 2001, Disponível em: [http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/tech\\_validation/pdfs/fcm01r0.pdf](http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/tech_validation/pdfs/fcm01r0.pdf) . Acesso em 01 out. 2016.
- NASCIMENTO, JOEL H.S.; Estudos dos processos físicos envolvidos nos motores que utilizam como combustível álcool e gasolina (ciclo Otto), Universidade Católica de Brasília, 2008.
- NETO, EMILIO H. G. *Hidrogênio Evoluir Sem Poluir*. 1ª. ed. Curitiba: Brasil H2 Fuel Cell Energy, 2005.
- SALIBA-SILVA, M. A; Linardi, M. Hidrogênio Nuclear – Possibilidades para o Brasil. Centro de células a combustível e hidrogênio, instituto de Pesquisa e Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP) São Paulo, 2009.

