

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS SENSORES DE OXIGÊNIO EM MOTORES DE CICLO OTTO COM A UTILIZAÇÃO DE HIDROGÊNIO

Ronaldo Caron¹
 Marcellus Tiburcio Fontenelle²
 Keila Daiane Ferrari Orso³

RESUMO

A sonda lambda monitora a concentração de oxigênio nos gases do processo de combustão do motor de ciclo Otto. Com o controle da queima dos gases da combustão pode-se controlar a injeção de combustível e a emissão de poluentes emitidos para a atmosfera. A combustão utilizando elementos químicos e substâncias diferentes das empregadas usualmente em motores de combustão interna de ciclo Otto podem gerar informações diferentes, as quais podem não ser corretamente interpretadas pelos sensores e pela central de injeção eletrônica gerando um funcionamento irregular do motor. Objetiva-se avaliar os parâmetros enviados pela variação da tensão da sonda lambda e interpretados pela central de injeção eletrônica com a adição de hidrogênio juntamente com o ar atmosférico nos motores de combustão interna ciclo Otto. Um dos combustíveis alternativos que podem substituir os combustíveis fósseis utilizados atualmente em grande escala é o hidrogênio. Alguns dos métodos de obtenção do hidrogênio é a eletrólise da água que segundo os especialistas não compensa a nível energético, pois o gás obtido não é superior à energia gasta para o obter. Sua utilização está sendo cada vez mais estudada e aperfeiçoada para a utilização em motores de combustão interna de ciclo Otto.

Palavras-chave: Eletrólise da água. Combustão interna. Hidrogênio. Sonda lambda.

1 INTRODUÇÃO

O sensor de oxigênio também chamado de sonda lambda é um componente que monitora a concentração de oxigênio nos gases resultantes da queima na câmara de combustão (BOSCH, 2005).

Para Bosch (2005), com o monitoramento da queima, pode-se controlar a injeção de combustível na câmara de combustão, reduzindo o consumo e a quantidade de poluentes emitidos pelos motores. A preocupação com o volume de emissões de poluentes lançados na atmosfera pelos veículos de combustão interna é de extrema importância. Atualmente criam-se leis com o propósito para reduzir e controlar a poluição atmosférica.

A situação problemática estudada está voltada ao funcionamento dos componentes que podem sofrer influência direta dos agentes vindos da atmosfera. Os sensores que monitoram o

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica da UCEFF. E-mail: ronaldocaron1979@gmail.com

² Docente do curso de Engenharia Mecânica da UCEFF. E-mail: mtfontenelle@gmail.com

³ Docente do curso de Engenharia Mecânica da UCEFF. E-mail: keilaorso@hotmail.com

desempenho do motor colhem informações do ar de admissão e dos gases, produtos da combustão.

O comportamento dos sensores de oxigênio do motor de ciclo Otto com a utilização de hidrogênio gasoso adicionado ao ar de admissão serão abordados no estudo. **Qual a influência do uso do hidrogênio gasoso adicionado ao ar atmosférico?**

A combustão utilizando elementos químicos e substâncias diferentes das usualmente empregadas em motores de combustão interna ciclo Otto podem gerar informações diferentes, as quais podem não ser corretamente interpretadas pelos sensores e pela central eletrônica, gerando um mau funcionamento do motor. Nesse contexto, objetiva-se avaliar os parâmetros interpretados pela central de injeção eletrônica com a adição de hidrogênio juntamente com o ar atmosférico nos motores de combustão interna ciclo Otto.

As reservas limitadas de combustíveis fósseis também são um gargalo do sistema atualmente usado pela frota de veículos mundial. Um dos combustíveis alternativos que podem substituir os combustíveis fósseis é o hidrogênio. O hidrogênio é o elemento mais abundante no universo, no entanto não é encontrado puro no ambiente terrestre, ele sempre vem acompanhado de outro elemento. Sua utilização está sendo cada vez mais estudada e aperfeiçoada para a utilização em motores de combustão interna de ciclo Otto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O motor de combustão interna é uma máquina que gera energia e em consequência disso produz trabalho mecânico a partir de uma fonte de calor, ele converte energia na forma de calor em energia na forma de trabalho. Um motor de combustão interna deve possuir uma estrutura rígida para suportar as elevadas pressões e velocidades a que poderá estar sujeito (MARTINS, 2013).

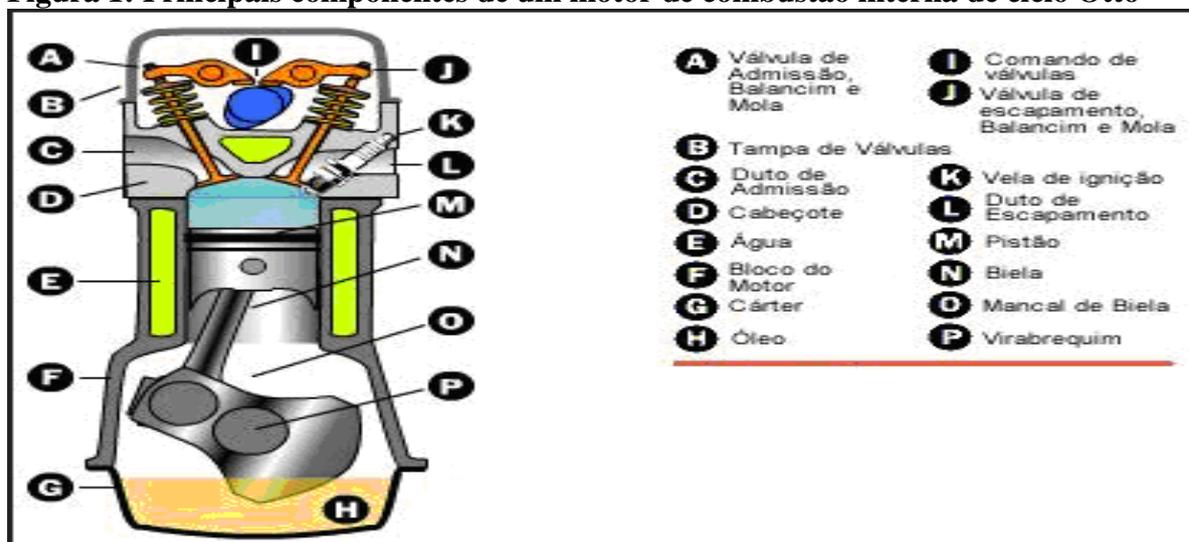
A conversão de energia química em calor é realizada através de combustão, enquanto a conversão subsequente em trabalho mecânico é realizada permitindo-se que a energia do calor aumente a pressão dentro de um meio, que então realiza o trabalho na medida em que se expande (BOSCH, 2005).

O motor de ignição por centelha é um motor com pistão e formação externa ou interna de mistura ar/combustível. A formação externa da mistura e a distribuição do combustível na câmara de combustão são fatores importantes que influenciam o grau de homogeneização que

pode ser atingido pela formação interna da mistura (BOSCH, 2005).

A Figura 1, demonstra os principais componentes de um motor de combustão interna de ciclo Otto.

Figura 1: Principais componentes de um motor de combustão interna de ciclo Otto



Fonte: Adaptado de: <http://brasilecola.uol.com.br/quimica/funcionamento-motor-combustao.htm>. Acesso em 08 de março de 2018.

A ignição confiável de misturas homogêneas de ar/combustível só é possível dentro de uma janela estreitamente definida da relação ar/combustível (fator de excesso de ar $\lambda^4 = 0,6$ a 1,6) e a velocidade da chama cai rapidamente na medida em que o fator de excesso de ar λ aumenta os motores SI com formação homogênea de mistura devem operar em uma faixa $\lambda = 0,8$ a 1,4 (a melhor eficiência global é obtida em $\lambda = 1,2$ a 1,3) (BOSCH, 2005).

Ainda para Bosch (2005), a faixa λ é restrita adicionalmente a 0.98 a 1.02 para motores com conversores catalíticos de três vias. Considerando esta faixa λ estreita, a carga deve ser controlada pela quantidade de mistura que entra nos cilindros (controle de quantidade).

A otimização da eficiência global dos motores de combustão interna deu origem ao crescente esforço de desenvolvimento direcionado para motores com formação interna de mistura heterogênea. A melhor eficiência é um resultado da compressão mais alta e perdas mais baixas de estrangulamento (BOSCH, 2005).

Segundo Bosch (2005), as misturas homogêneas e heterogêneas são similares, visto

⁴ λ - No estudo de ondas, lambda representa o comprimento de onda

que a eficiência econômica e as emissões não tratadas dependem do processo de combustão que ocorre após a ignição. A combustão pode ser influenciada em uma grande extensão pelos fluxos e turbulência que podem ser produzidos na câmara de combustão pela geometria do duto de admissão e câmara de combustão.

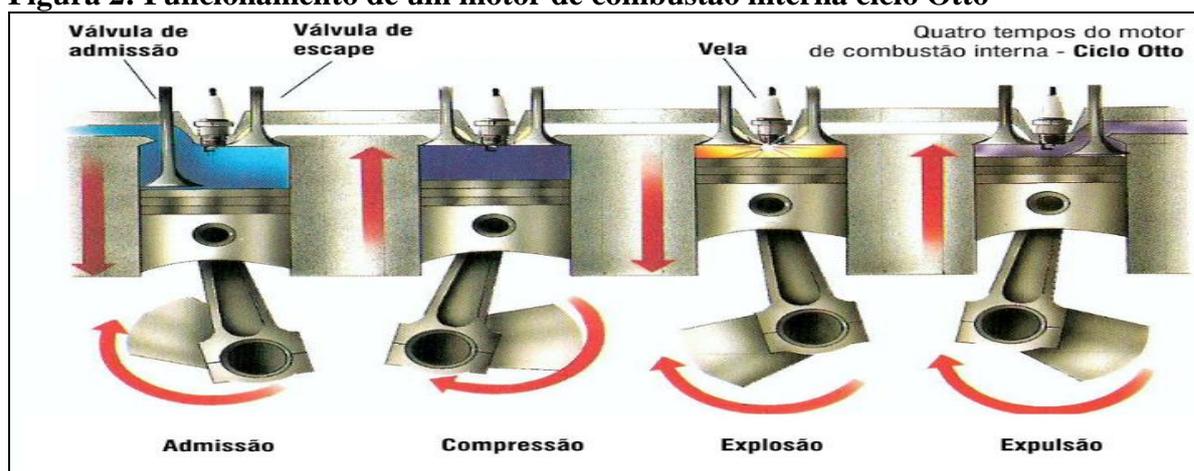
2.1 FUNCIONAMENTOS DOS MOTORES QUATRO TEMPOS

De acordo com Abreu, Lima e Senra (2014) o princípio de funcionamento dos motores quatro tempos são admissão, compressão, explosão e escape. No processo de admissão a válvula de admissão permite a entrada de uma mistura ar e combustível na câmara de combustão, enquanto o pistão se move de forma a aumentar o espaço no interior da câmara.

Na compressão o pistão se move de forma a comprimir a mistura, fazendo seu volume diminuir. No término da compressão um dispositivo elétrico gera uma centelha que ocasiona a explosão da mistura ocasionando sua expansão. Para finalizar a exaustão ou escape é quando a válvula de saída se abre e permite que o gás queimado na explosão saia pelo escapamento. A expansão leva a máquina ao próximo estado, onde retorna ao seu estado inicial, reiniciando o ciclo novamente (ABREU; LIMA; SENRA, 2014).

A Figura 2 demonstra o funcionamento de um motor de combustão interna de ciclo Otto.

Figura 2: Funcionamento de um motor de combustão interna ciclo Otto



Fonte: Adaptado de: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABbGcAD/ciclos>. Acesso em 06 de março de 2018.

Os motores de combustão interna geram energia através da conversão de energia química contida no combustível em calor e o calor em trabalho mecânico (BOSCH, 2005).

Segundo Souza; Silva; Bastos (2010), o motor tem a sua capacidade definida em termos de potência, onde o rendimento é a relação entre a potência produzida e a potência calorífica entregue, ou seja, é a eficiência de transformação de calor em trabalho.

2.2 RELAÇÕES ESTEQUIOMÉTRICAS ENTRE COMBUSTÍVEL E AR

A combustão da mistura ar combustível dentro do cilindro é um dos processos que controlam a potência, eficiência e emissões de poluentes dos motores. Nos motores de ignição por centelha o combustível é misturado com o ar já no sistema de admissão. Após a compressão desta mistura, uma descarga elétrica inicia o processo de combustão. Uma chama se desenvolve a partir do núcleo criado pela centelha e propaga-se através do cilindro até as paredes da câmara, onde se extingue (ABREU; LIMA; SENRA, 2014).

Segundo Abreu; Lima; Senra; (2014), nos motores de ignição por compressão, o combustível é injetado no interior do cilindro contendo ar já a uma alta temperatura e pressão, próximo do final do curso de compressão. A autoignição de partes da mistura em desenvolvimento, do combustível injetado já evaporizado com o ar quente, dando início ao processo de combustão, que se espalha rapidamente. Para que a combustão aconteça à queima contínua à medida que a mistura ar combustível atinge adequada composição.

O Fator Lambda mede o desvio da mistura realmente admitida no cilindro com relação à mistura ideal ou estequiométrica, e pode ser utilizado para caracterizar os diferentes tipos de mistura, independentemente do combustível utilizado (ABREU; LIMA; SENRA, 2014).

De acordo com Abreu; Lima; Senra (2014), quando a mistura admitida no cilindro possui menos ar e mais combustível está se caracteriza como uma mistura rica ($\lambda < 1$), a que corresponde à mistura ideal (excesso de ar), parte do oxigênio não é utilizada. No entanto, a combustão também se torna ineficiente com aumento do nível de emissões e, quando ultrapassado um determinado patamar, a combustão não é mais possível. Para motores ciclo Otto, a condição de máximo rendimento com mínimo de consumo e emissão de poluentes, acontece para mistura estequiométrica ou próximo dela ($\lambda = 1$). No caso oposto, ou seja, quando a mistura possui menos combustível e mais ar caracterizada como mistura pobre ($\lambda > 1$) o que corresponde à mistura ideal (excesso de ar), parte do oxigênio não é utilizada. No entanto, a combustão também se torna ineficiente com aumento do nível de emissões e, quando ultrapassado um determinado patamar, a combustão não é mais possível (ABREU;

LIMA; SENRA, 2014).

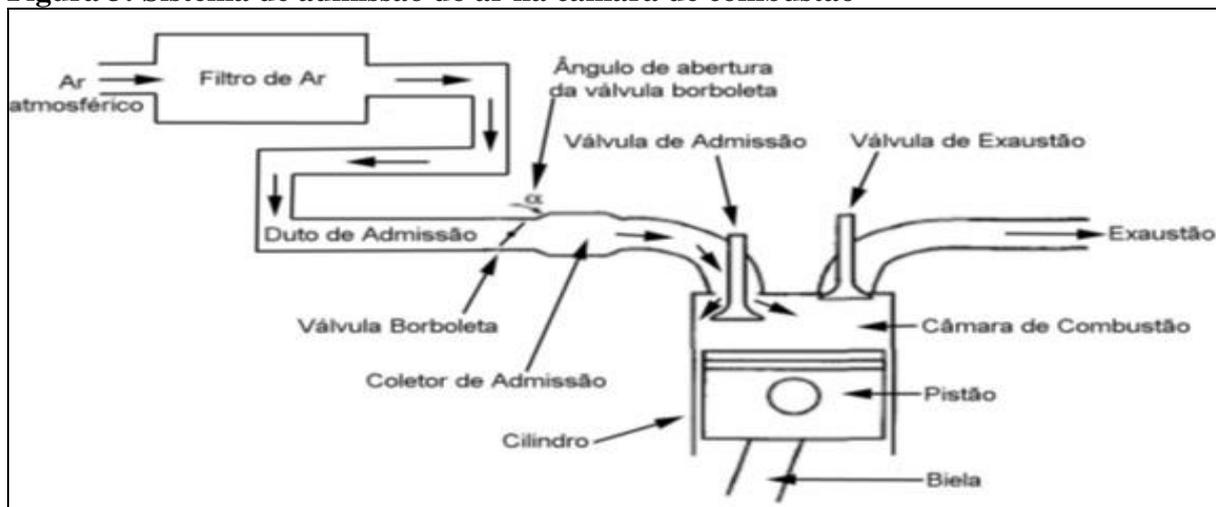
2.3 PROCESSOS DE COMBUSTÃO

A reação térmica inicial que ocorre entre o fornecimento de energia de ignição pela vela e a reação exotérmica da mistura ar/combustível é a fase de ignição. Esta fase é constante através do tempo e o único fator influente é a composição da mistura (BOSCH, 2005).

Ainda para Bosch (2005), as velocidades crescentes do motor são acompanhadas por um vácuo de ignição maior, em função do percurso do pistão, que muda junto com o fator de excesso de ar. O momento de ignição deve ser avançado na medida em que a velocidade do motor aumenta, assim como o fator λ .

O transiente de liberação de calor é determinado pela taxa de combustão, que por sua vez, é definida pela velocidade da chama e pela área frontal da chama. A velocidade da chama depende dos processos de difusão na frente da chama e atinge um pico de aproximadamente 20 a 40 m.s-1⁵ em misturas de gasolina/ar com aproximadamente 10% de deficiência de ar ($\lambda=0,9$) (BOSCH, 2005). Conforme a Figura 3, pode-se entender o caminho percorrido pelo ar no sistema de admissão no motor de combustão interna de ciclo Otto.

Figura 3: Sistema de admissão do ar na câmara de combustão



Fonte: Adaptado de: <https://www.embarcados.com.br/motores-de-combustao-admissao-injecao-e-ignicao/>. Acesso em 09 de março de 2018.

Se percebe na Figura 3, que ocorre uma grande dificuldade do sistema de alimentação

⁵ M.s-1 – milésimo de segundo

em colocar o ar atmosférico no interior do cilindro para posterior combustão.

2.4 SENSOR DE OXIGÊNIO

O sensor de oxigênio é um componente que determina a concentração de oxigênio do gás de escape de um veículo em relação à concentração ambiente. Sua função é auxiliar no controle de emissão dos gases de escapamento de acordo com as leis regulamentadoras de cada país, funcionando como realimentação do sistema de gerenciamento eletrônico do motor (HADDAD, 2012).

Também chamado de sonda lambda, que se refere à letra grega que descreve a quantidade de ar na mistura ar-combustível. Antigamente os carros utilizavam somente carburadores sem um controle sobre a queima do combustível.

Observando a Figura 4, pode-se visualizar uma sonda lambda utilizada em veículos automotores de ciclo Otto.

Figura 4: Sensor de Oxigênio ou Sonda Lambda



Fonte: Adaptado de: <http://k2autosshop.com.br/produto/sensor-oxigenio-sonda-lambda-mercedes-benz-classe-a160190/>. Acesso em 09 de março de 2018.

Com a introdução da injeção eletrônica desenvolveu-se um sensor para medir a concentração de oxigênio resultante da combustão. Se a quantidade de oxigênio for menor que a esperada, diminui-se a quantidade de combustível injetado para a próxima combustão, aumentando-se a concentração de oxigênio nos gases de escapamento e vice-versa, conseguindo-se assim a menor emissão de poluentes. Este controle permitiu um melhor rendimento do motor, a redução do consumo de combustível e a consequente redução de

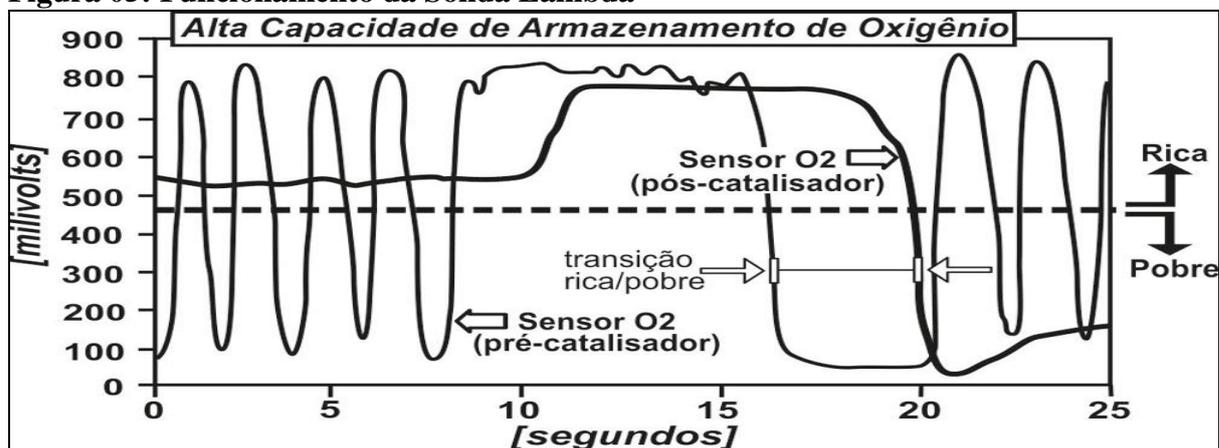
poluentes emitidos (HADDAD, 2012).

Para Brunetti (2012), a sonda lambda é formada por um eletrólito cerâmico de óxido de zircônia (ZrO_2) estabilizado por óxido de ítrio (Y_2O_3), em forma de cadinho, coberto por platina nas superfícies interior e exterior. A superfície interior está em contato com o ar e a exterior com os gases de escape, que converte para o seu equilíbrio termodinâmico.

A camada exterior de platina é ligada à massa e o sinal da sonda é retirado da camada interior. A altas temperaturas o eletrólito cerâmico torna-se condutor e gera uma carga galvânica que caracteriza o teor de oxigênio dos gases de escapamento. Existe uma fina camada cerâmica porosa a revestir o eletrodo externo da sonda, de modo a protegê-la externamente da agressão dos gases de escapamento (BRUNETTI, 2012).

Para Haddad (2012), após atingir sua temperatura de trabalho, a função do sensor é comparar a quantidade de oxigênio do gás de exaustão com o ar de referência e enviar um sinal como tensão de saída ou alteração da resistência em função da diferença dos dois. A unidade de controle da injeção eletrônica processa os dados recebidos e altera a mistura, ajustando a quantidade de combustível a fim de melhorar a eficiência do motor, trabalhando próximo à mistura estequiométrica. A Figura 5, que demonstra a variação da tensão da sonda lambda.

Figura 05: Funcionamento da Sonda Lambda



Fonte: Adaptado de: <http://turbobr.pbworks.com/w/page/22531763/Sonda%20Lambda>. Acesso em 09 de março de 2018.

A característica de resposta da sonda é que a tensão varia de maneira abrupta entre um máximo e um mínimo. Existem sensores com uma resposta mais linear, nos quais a tensão varia quase linearmente com a riqueza da mistura. Mesmo esses sensores não dão bons

resultados para misturas ricas, pois nesse caso quase não há oxigênio presente nos gases de escape (BRUNETTI, 2012).

2.5 HIDROGÊNIO

O hidrogênio foi descoberto pelo cientista britânico Henry Cavendish, num estudo apresentado à Real Sociedade de Londres em 1776, ele descreveu uma experiência em que produzira água combinando oxigênio e hidrogênio com o auxílio de uma centelha elétrica (RIFKIN, 2003).

Como os elementos ainda não haviam recebido seus respectivos nomes, ele chamou a um “ar sustentador da vida” e a outro “ar inflamável”. O químico francês Antoine Laurent Lavoisier repetiu com êxito a experiência de Cavendish em 1875 e chamou o ar sustentador da vida de oxigênio e o “ar inflamável” de hidrogênio (RIFKIN, 2003).

O primeiro uso prático do hidrogênio, o que não surpreende, foi na guerra. Um químico, Guyton de Norvean, sugeriu que o gás hidrogênio poderia ser produzido em grandes quantidades e usado em balões de reconhecimento. O primeiro gerador de hidrogênio foi construído num acampamento nos arredores de Paris em 1794 (RIFKIN, 2003).

Ainda para Rifkin (2003), o primeiro cientista a descrever o potencial do hidrogênio, foi Jonh Burden Sanderson Haldane, que mais tarde se tornou um dos mais distintos geneticistas do século 20. Em 1923, ainda na casa dos 20 anos, Haldane proferiu uma palestra na Universidade de Cambridge prognosticando que a energia do hidrogênio seria o combustível do futuro. Ele passou a enumerar, num tratado científico, os argumentos a favor do hidrogênio, descrevendo como ele seria produzido, armazenado e empregado.

O hidrogênio é extremamente inflamável no ar, entre 4% e 75% por volume de ar. A energia necessária para inflamá-lo é muito pequena e, em algumas condições, pode ocorrer auto inflamação (ESTEVÃO, 2008).

Haldane principiou com uma defesa vigorosa da superioridade do hidrogênio sobre as outras formas de energia. Ele descreveu que o hidrogênio líquido, em proporção a seu peso, é o mais eficiente método conhecido de armazenar energia, já que proporciona três vezes mais calor por libra que o petróleo (RIFKIN, 2003).

Na atmosfera não existe hidrogênio livre, ele está sempre associado a outros elementos. Para obtê-lo será necessário gastar energia na dissociação de uma fonte primária.

Dispõe da mais alta energia por unidade de peso comparada com qualquer outro combustível, pois é o elemento mais leve e não tem os átomos de carbono em sua cadeia (ABREU; LIMA; SENRA, 2014).

Conforme Abreu; Lima; Senra (2014), o hidrogênio surge como uma alternativa válida, dado que sua combustão direta produz uma quantidade significativa de energia e libera apenas água. O hidrogênio é uma fonte renovável de energia, não tóxica, corrosiva ou cancerígena e embora seja inflamável, possui rápida dispersão e alto coeficiente de difusão, e possui quantidade de energia por unidade de massa maior que qualquer outro petróleo conhecido (52.000 BTU/lb⁶ ou 120,7kJ/g⁷), cerca de três vezes mais que o petróleo em seu estado líquido.

Sua aplicação através de células a combustível produz apenas energia e água. O hidrogênio pode ser obtido a partir de: combustíveis fósseis, água e processos biológicos. O hidrogênio compõe 75% da massa do universo e 90% de suas moléculas, como a água (H₂O) e as proteínas nos seres vivos. A definição deste elemento, quando encontrado em seu estado natural e sob condições ambientes de temperatura e pressão, e tratar-se de um gás incolor, inodoro, insípido e muito mais leve que o ar. O hidrogênio compõe 30% da massa solar, sendo a fonte da energia do Sol, pela qual é produzido o aquecimento da Terra, favorecendo a vida em nosso planeta, o que se constitui num ótimo exemplo do potencial energético deste elemento. Para transformação do hidrogênio em energia elétrica é necessária sua combustão (RIFKIN, 2003).

Quando o hidrogênio é queimado com oxigênio puro, os únicos subprodutos são o calor e a água, o que seria sua utilização ideal, porém o processo para obtenção do oxigênio puro, que é instável, não é de fácil realização. Quando queimado com ar, constituído por cerca de 68% de nitrogênio e 21% de oxigênio, que é significativamente mais fácil de se obter na natureza, alguns óxidos de nitrogênio são formados. Ainda assim, a queima de hidrogênio com ar produz menos poluentes atmosféricos que os combustíveis fósseis (RIFKIN, 2003).

A adição de pequenas quantidades de hidrogênio à gasolina, aumenta a velocidade da chama em todas as relações equivalentes da gasolina, tornando possível o motor trabalhar com uma mistura pobre de ar gasolina (ESTEVÃO, 2008).

Fica evidente que no uso do hidrogênio como combustível provoca, em geral

⁶ BTU/lb – Unidade térmica britânica por libra

⁷ KJ/g - KiloJoules

pouquíssimos impactos ambientais, sendo justamente este o fator que tem promovido os estudos que objetivam uma presença mais significativa deste elemento no consumo de energia de inúmeros países (TOLMASQUIM,2003).

Conforme Tolmasquim (2003), quando queimado como um combustível convencional, sejam em motores estacionários, turbinas e gás, veículos automotivos, caldeiras ou aquecedores, o uso do hidrogênio provoca a emissão de praticamente um único tipo de poluente: o NO_x . Esse composto está presente em toda combustão que utiliza o ar atmosférico como comburente, onde o nitrogênio aparece como 78% em volume. Mesmo assim, as quantidades de NO_x emitidas pelo uso do hidrogênio são inferiores aos teores medidos no caso dos combustíveis tradicionais, como gasolina e óleo diesel.

Quando utilizado em células a combustível de baixa temperatura (alcalinas, de eletrólito sólido e de ácido fosfórico) para a geração de eletricidade, a emissão de poluentes é quase nula, resultando significativamente apenas água no processo (TOLMASQUIM, 2003).

É evidente que no uso de um combustível não se deve considerar apenas os efeitos ambientais ou as emissões associadas com seu uso direto, mas também os efeitos provocados na sua geração, processamento, armazenamento, enfim, todo o ciclo do combustível. No caso do uso energético do hidrogênio este aspecto é fundamental, uma vez que este gás pode ser produzido por inúmeros processos, alguns baseados em fontes renováveis e outros em fontes não renováveis de energia (TOLMASQUIM, 2003).

Neste estudo serão apresentadas as emissões de duas formas de geração de hidrogênio:

- a) Reforma a vapor de hidrocarbonetos;
- b) Eletrólise da água.

2.5.1 Produção a partir da reforma de hidrocarbonetos

A reforma é definida como a conversão catalítica e endotérmica de um combustível líquido, sólido ou gasoso, disponível comercialmente, para um gás combustível (H_2). A maioria dos processos utiliza hidrocarbonetos leves para a extração do hidrogênio.

Os hidrocarbonetos leves são aqueles com cadeias carbônicas situadas entre o metano e a nafta com pontos de ebulição inferiores a 250°C . Esses compostos podem reagir com a água à temperatura de 300 a 700°C em presença de catalizadores, resultando numa mistura de

gases contendo principalmente H_2^8 , CO^9 , CO_2^{10} e CH_4^{11} (TOLMASQUIM, 2003).

Ainda para Tolmasquim (2003), para isolar o hidrogênio a partir da água ou algum hidrocarboneto é necessária uma reação endotérmica, que para ocorrer, utiliza o calor fornecido pela queima de parte do hidrocarboneto. Conseqüentemente, a planta emite gases nocivos para a atmosfera. No caso da eletrólise, o processo é isento de emissão no local, mas essa emissão pode ser realocada para a usina geradora de energia elétrica se ela utilizar um combustível fóssil como fonte primária. Com uma aproximação, a emissão específica de CO_2 podem ser relacionadas a estas exigências primárias de energia.

Os processos de geração de hidrogênio baseados no uso de combustíveis fósseis como o carvão, gás natural e hidrocarbonetos derivados do petróleo, leves ou pesados, levam inevitavelmente à emissão de CO_2 , considerados o principal responsável pelo efeito estufa. Além desse gás, há a emissão de outros compostos, considerados poluentes atmosféricos, como o SO_x^{12} (na quantidade presente no combustível fóssil), o NO_x^{13} (depende da quantidade de ar atmosférico utilizado no processo de combustão dos combustíveis fósseis) e também outros poluentes presentes em quantidades menores (TOLMASQUIM, 2003).

Em termos de emissões totais, o CO_2 é o que se apresenta em maior quantidade, chegando a atingir 99% das emissões aéreas totais, a maior parte do CO_2 (84%) é liberado na planta de hidrogênio no processo de reforma do gás natural. A seguir aparecem o metano e outros hidrocarbonetos, NO_x , SO_x , CO_x , particulados, benzeno e N_2O^{14} (TOLMASQUIM, 2003).

2.5.2 Produção a partir da eletrólise da água

De acordo com a lei de Faraday a massa de qualquer substância libertada na eletrólise, é diretamente proporcional à quantidade de corrente elétrica que passa através da solução. Essas mesmas massas libertadas são proporcionais aos seus pesos equivalentes (ESTEVÃO, 2008).

⁸ H - Hidrogênio

⁹ CO – Monóxido de carbono

¹⁰ CO_2 - Dióxido de carbono

¹¹ CH_4 - Metano

¹² Dióxido de enxofre

¹³ Dióxido de azoto ou dióxido de nitrogênio

¹⁴ Óxido Nitroso

A eletrólise da água para produção de hidrogênio é um processo praticamente isento de emissões e o oxigênio gerado pode ser liberado para atmosfera ou armazenado para outros usos. As emissões significativas ocorrem quando a geração de energia elétrica, necessária para o processo de eletrólise, é realizada utilizando combustíveis fósseis (TOLMASQUIM, 2003).

Segundo Tolmasquim (2003), o uso de fontes primárias renováveis, como a energia solar (fotovoltaica ou térmica) e energia eólica, estas emissões são bastante reduzidas, praticamente não existindo emissões de composto de carbono na produção de hidrogênio por eletrólise da água. Porém, se a energia for de origem hidroelétrica, é necessário considerar as emissões de CO₂ e CH₄ resultantes da decomposição anaeróbica da biomassa submersa nos reservatórios.

No uso de biomassa (madeira, resíduos vegetais, álcoois e óleos vegetais), a quase totalidade de CO₂ emitido foi retirado da atmosfera pela planta durante seu crescimento, não podendo ser contabilizado como emissão de gás de efeito estufa. Entretanto, na maioria desses processos existe a combustão de parte da biomassa, havendo conseqüentemente a emissão de pequenas quantidades de NO_x e outros poluentes atmosféricos (TOLMASQUIM, 2003).

Conforme Tolmasquim (2003), os processos de tratamento e armazenamento do hidrogênio, seja na forma gasosa ou líquida, praticamente não implicam na emissão adicional de poluentes. Nesses casos, devem-se contabilizar apenas as emissões associadas à fonte primária de energia que fornece a eletricidade utilizada por bombas e compressores empregados na compressão do hidrogênio ou os referentes ao seu transporte.

Outro fator importante associado às vantagens ambientais do uso energético do hidrogênio é a eficiência de conversão desse gás em energia elétrica nos sistemas baseados em células a combustível. Em sistemas convencionais, como motores de combustão interna, estacionários ou móveis, turbinas a gás, entre outros, os rendimentos energéticos são semelhantes aos obtidos com combustíveis fósseis tradicionais (TOLMASQUIM, 2003).

Ainda para Tolmasquim (2003), em sistemas com células a combustível, os rendimentos são significativamente superior. Mesmo quando se utiliza um combustível fóssil como o gás natural para se obter hidrogênio, as quantidades de poluentes ou gases de efeito estufa emitidos serão menores, uma vez que se gasta menos combustível para se obter a mesma quantidade de energia.

Deve ser evitado, no entanto, o uso de hidrogênio de origem fóssil em motores à combustão interna, uma vez que a eficiência global do processo é, em muitos casos, inferior às alcançadas pelo uso direto do combustível (TOLMASQUIM, 2003).

3 METODOLOGIA

O presente estudo de caso foi realizado a fim de entender a variação da tensão da sonda lambda em um veículo Livina. Foi utilizado um gerador de hidrogênio que a instituição tem em seu laboratório de engenharia mecânica.

Para os testes o veículo Livina utilizado foi trazido até a UCEFF FACULDADES e nele instalado o gerador de hidrogênio e o scanner de injeção eletrônica da marca Napro para coletar os dados emitidos pelos sensores de oxigênio. Os primeiros dados coletados foram sem a instalação do gerador de hidrogênio e após coletados algumas informações foi instalado o gerador junto ao filtro de ar do motor. Com o gerador de hidrogênio instalado junto ao filtro de ar do veículo Livina foram coletadas informações que serão utilizadas para o estudo.

Com os dados coletados uma análise quantitativa foi feita com as informações recebidas dos sensores através das informações recebidas pela sonda lambda, com cálculo do hidrogênio gasoso gerada e a potência consumida pelo gerador de hidrogênio, foram selecionados os gráficos para utilização no artigo. Para a obtenção da massa extraída de hidrogênio e da potência consumida pelo gerador, foram utilizados cálculos e especificados nos resultados da pesquisa e na análise dos resultados.

4 RESULTADOS DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

No presente estudo de caso foi utilizado o gerador de hidrogênio que a instituição UCEFF possui em seu laboratório. Para interpretar o funcionamento da sonda lambda, com o uso do hidrogênio, foi utilizado um veículo de marca Nissan, modelo Livina, motorização 1.6 litros, com 16 válvulas. Para análise dos parâmetros foi utilizado um scanner da marca Napro, modelo PC-SCAN 3000 FL, versão número 15, fornecido pela empresa Napro Eletrônica Industrial LTDA.

No veículo Livina analisado nos testes, utiliza como sistema de unidade de gerenciamento de controle da injeção eletrônica o modelo Continental SIM32C.

A obtenção do hidrogênio ocorreu através de geração por eletrólise da água onde extraiu-se um composto gasoso formado por átomos de hidrogênio e de oxigênio. Foi utilizado um gerador de hidrogênio por eletrólise que produziu 1 litro/minuto da mistura $H_2 + O_2$, que corresponde à 0,166 g/min de H_2 puro, conforme cálculo abaixo.

Considerando a massa específica do hidrogênio foi possível chegar ao valor da vazão mássica de hidrogênio gasoso (H_2) gerada no sistema.

Fórmula para cálculo da massa gerada pelo hidrogênio:

Massa H_2 gerada = (Densidade do hidrogênio) x (Hidrogênio) x (hidrogênio produzido)

Massa H_2 gerada = 0.08988 g/l (Densidade do hidrogênio) x 2H (Hidrogênio) x 1 L/min (hidrogênio produzido)

Massa H_2 gerada= 0,166 g/min

A operação do equipamento consome 15 A na tensão de 12 V, e a potência utilizada no sistema em estudo está no cálculo abaixo.

Fórmula para cálculo da potência consumida pelo gerador de hidrogênio:

Potência (Watts) = Corrente (Amperes) x Voltagem (Volts)

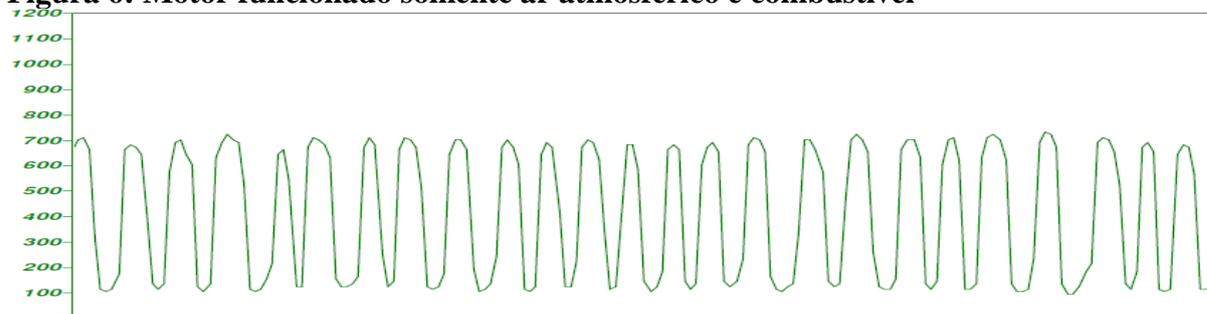
Potência = 15 Amperes (Corrente) x 12 Volts (Voltagem)

Potência = 180 Watts

A Figura 6 apresenta a variação da tensão da sonda lambda, que demonstra a leitura da concentração de oxigênio presente nos gases de combustão no escapamento do veículo testado, somente com o oxigênio ambiente. O combustível utilizado para o teste foi de gasolina do tipo comum com 27% de adição de etanol em sua composição.

A variação da tensão da sonda lambda ocorre linearmente entre 100 e 750 milivolts, o sensor de oxigênio não reconhece nenhuma interferência de fatores externos na interpretação dos gases resultantes do processo da combustão.

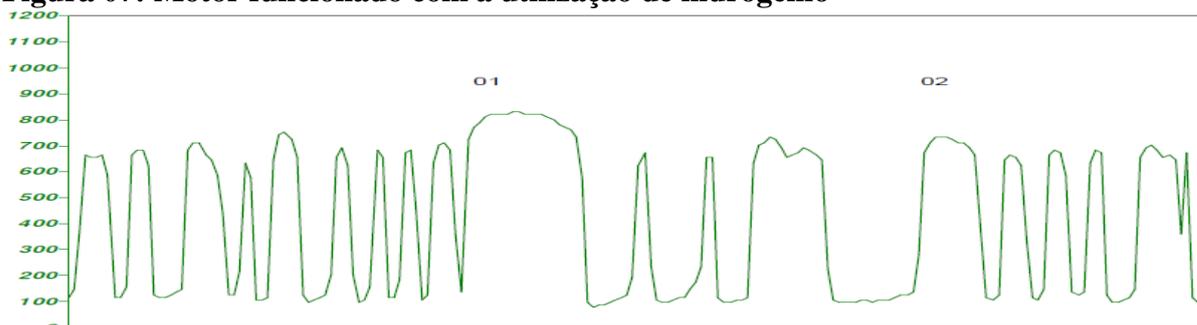
Figura 6: Motor funcionado somente ar atmosférico e combustível



Fonte: Scanner Napro (2018).

A Figura 7, mostra a variação da tensão da sonda lambda decorrente da variação da concentração de oxigênio presente nos gases de combustão no escapamento do veículo testado com adição de 0,166 g/min de hidrogênio gasoso, juntamente com o ar atmosférico em adição à gasolina. Observamos um intervalo maior entre o ponto 01 e o ponto 02, durante a leitura dos gases da combustão entre a fase rica em torno de 830 milivolts e a fase pobre em torno de 100 milivolts.

Figura 07: Motor funcionado com a utilização de hidrogênio



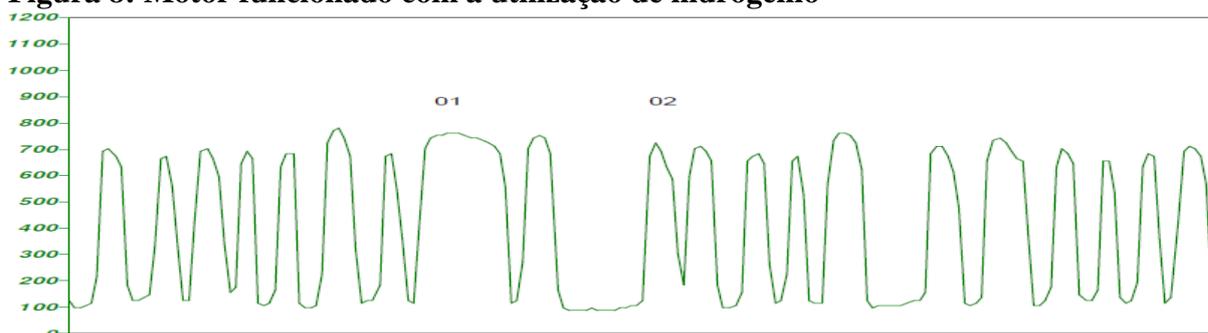
Fonte: Scanner Napro (2018).

Podemos notar que com a adição do hidrogênio gasoso ocorre uma falha na leitura com o aumento do tempo entre as oscilações entre as fases rica e pobre, indicando que a sonda lambda busca fazer a correção da quantidade de combustível injetada tanto na fase rica como na fase pobre provocada pela adição do novo combustível, o qual altera o teor de oxigênio livre (O_2) presente nos gases da combustão.

A sonda lambda reconhece a variação da tensão e o oxigênio que está presente nos gases decorrentes da combustão. Na fase rica em torno de 800 milivolts a sonda lambda não consegue reconhecer o oxigênio presente nos gases da combustão fazendo com que a central de injeção eletrônica interprete que deve reduzir a quantidade de combustível injetado pelos bicos injetores. Na fase pobre em torno de 100 milivolts ocorre o inverso, a central de injeção eletrônica não reconhece o combustível, somente oxigênio presente nos gases da combustão. No decorrer do processo a central de injeção eletrônica faz uma interpretação da queima e ajusta a mistura para receber juntamente com ar atmosférico e combustível o hidrogênio proveniente do gerador que está instalado junto ao filtro de ar.

Na Figura 8, mostra a variação da tensão da sonda lambda que demonstra a leitura da concentração de oxigênio presente nos gases de combustão no escapamento do veículo testado com adição de 0,166 g/min de hidrogênio gasoso em adição à gasolina.

Figura 8: Motor funcionado com a utilização de hidrogênio



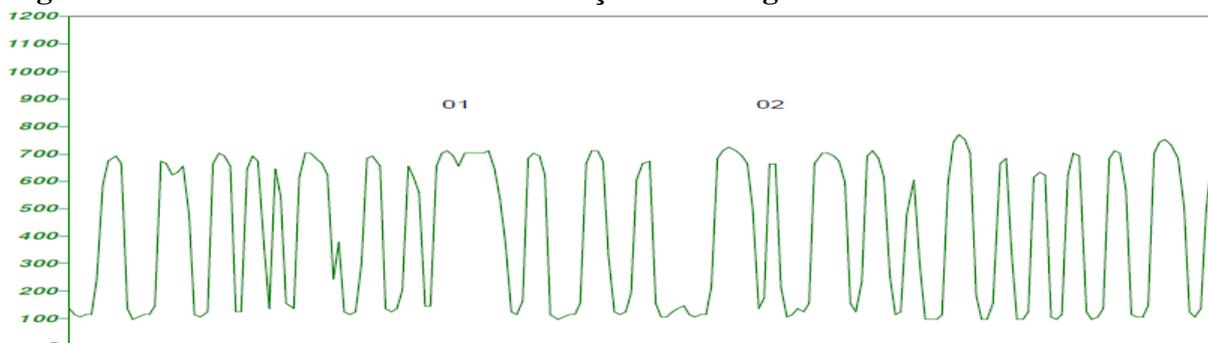
Fonte: Scanner Napro (2018).

Nesta Figura 8 observa-se um intervalo menor em relação a Figura 7 entre o ponto 01 e o ponto 02, entre a fase rica em torno de 830 milivolts e a fase pobre em torno de 90 milivolts. Comportamento semelhante ao apresentado no gráfico da Figura 7, no entanto com resposta mais rápida, uma vez que as informações dos novos teores de oxigênio presente nos gases da combustão já faziam parte da memória da central de injeção eletrônica.

Na Figura 9 mostra a variação da tensão da sonda lambda demonstrando a leitura da concentração de oxigênio presente nos gases de combustão no escapamento do veículo testado com adição 0,166 g/min de hidrogênio gasoso em adição à gasolina. Observamos que ocorre uma variação menor entre o ponto 01 e o ponto 02 em relação a figura 08, entre a fase rica em torno de 830 milivolts e a fase pobre em torno de 90 milivolts.

Aqui notamos que a central de injeção eletrônica faz um ajuste da mistura mais rapidamente e opera seguindo um padrão mais linear e a variabilidade da leitura e interpretação da queima é menos evidente que nos outros anteriores.

Figura 09: Motor funcionado com a utilização de hidrogênio



Fonte: Scanner Napro (2018).

Com o decorrer dos testes a central de injeção eletrônica capturou parâmetros que já haviam passados por sua memória e atuou com mais velocidade no ajuste das correções de injeção do combustível e consegue desenvolver um funcionamento mais linear.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os gráficos das Figuras 7, 8 e 9 demonstram que com o decorrer dos testes o sistema de gerenciamento da combustão vai se ajustando com o tempo à presença do combustível adicional (H_2). Foi observado um pequeno aumento no tempo de resposta entre a fase rica e a fase pobre, notando que a central de injeção eletrônica faz um ajuste após algum tempo de funcionamento do motor de combustão interna com a adição de hidrogênio.

Os combustíveis fósseis são um bem escasso na posse de apenas alguns países que cada vez estão se tornando mais caros e sua utilização libera poluentes para a atmosfera. Procura-se de forma alternativa e competitiva de produzir energia que possa substituir os combustíveis fósseis.

O uso do hidrogênio como combustível alternativo em motores de combustão interna tem sido bastante difundido, no entanto devemos levar em consideração que é necessária uma grande quantidade de energia de origem elétrica para a obtenção de pequenas quantidades de hidrogênio.

A desvantagem da utilização do hidrogênio obtido por eletrólise da água como combustível em motores de combustão interna que emprega o uso de uma grande quantidade de energia no processo, o que encarece e inviabiliza a produção em larga escala por este método para se produzir uma pequena quantidade de hidrogênio. A quantidade de hidrogênio gerado pelo gerador de hidrogênio não era suficiente para o motor operar alimentado apenas por H_2 .

Como sugestão para trabalhos acadêmicos futuros podemos incluir estudos sobre a utilização de cilindros acoplados nos veículos, que podem ser usados e substituídos quando estiverem descarregados.

Para uma transformação do mercado atualmente dominado pelos combustíveis fósseis, devemos continuar o desenvolvimento de estudos sobre a tecnologia do hidrogênio desde sua produção, distribuição, armazenamento, utilização e a questão sobre sua segurança.

REFERÊNCIAS

ABREU, Rodrigo Araújo de; LIMA, Kelly Aparecida Moreira de; SENRA, Fernando Osório. **Estudo da aplicação de hidrogênio e gasolina em motor ciclo Otto**. São Paulo, 2014.

BOSCH, Robert. **Manual de Tecnologia Automotiva**. São Paulo: Blucher. 25. Ed. 2005.

BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão Interna**. São Paulo: Blucher. 1. Ed. 2012.

ESTEVÃO; Tania. E. R. **O Hidrogênio como Combustível**. 2008. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58102/1/000129289.pdf>. Acesso em 08 de junho de 2018.

FIGUEIREDO, A.M.B. et al. **Pesquisa Científica e Trabalhos Acadêmicos – UCEFF** Faculdades. Chapecó: Ed. Arcus, 2014.

HADDAD, Adriana Bonito. **A Influência do Sensor de Oxigênio no Controle dos Poluentes Emitidos pelos Gases de Escapamento de um Veículo Automotor**. São Paulo, 2012.p. 57.

MARTINS, Jorge. **Motores de combustão interna**. 4. Ed. 2013.

RIFKIN, Jeremy. **A economia do Hidrogênio**. A criação de uma nova fonte de energia e a redistribuição do poder na terra. Ed.1. São Paulo, 2003.

SOUZA, Rodrigo G.; SILVA, Fábio M.; BASTOS, Adriano C.; SOUZA, R. G. Et al. **90 Desempenho de um conjunto moto gerador adaptado a biogás**. Ciências Agro técnicas. Lavras/MG. P. 190-195, 2010.

TOLMASQUIM, Mauricio T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro, 2003.