

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AERONÁUTICA**

CARLOS JOSÉ SABAINI PAVAN

**ESTUDO DO HIDROGÊNIO COMO COMBUSTÍVEL EM
AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS [ARP]**

**TAUBATÉ – SP
2016**

CARLOS JOSÉ SABAINI PAVAN

**ESTUDO DO HIDROGÊNIO COMO COMBUSTÍVEL EM
AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS [ARP]**

Monografia apresentada para a
obtenção do Título de Especialista
em Engenharia Aeronáutica pela
Universidade de Taubaté.

Orientado por: Prof. Dr. Giorgio Eugenio
Oscare Giacaglia

Coorientador Prof. Dr. Wendell de
Queiroz Lamas.

**TAUBATÉ - SP
2016**

CARLOS JOSÉ SABAINI PAVAN

**ESTUDO DO HIDROGÊNIO COMO COMBUSTÍVEL EM
AERONAVES NÃO TRIPULADAS**

Monografia apresentada para a
obtenção do Título de Especialista
em Engenharia Aeronáutica pela
Universidade de Taubaté.

Data: ____/____/____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura _____

Prof. Dr. José Rubens de Camargo UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura _____

Prof. Dr. Wendell de Queiróz Lamas UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Assinatura _____

*Para minha esposa Beatriz e nossos
filhos, Isaac e Heron.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida.

A minha família, pois estive ausente, pelo estudo, por vários dias.

Ao meu orientador, por ter muita paciência e compreensão comigo.

A todos os professores que sempre foram muito dedicados e atenciosos.

Aos amigos que compartilharam cada dia que nos encontrávamos para os estudos.

A todos aqueles que de alguma forma ajudaram a semear, cultivar e colher os frutos desses anos de curso.

*"[...] só quando a última árvore for
derrubada, o último peixe for morto e o
último rio for poluído é que o homem
perceberá que não pode comer dinheiro".*

Provérbio Indígena

RESUMO

A monografia baseia como o Hidrogênio poderá ser utilizado como combustível complementar, ou seja, logo após ter sido produzido, o hidrogênio é injetado no motor onde se mistura com o combustível existente, no caso do nosso estudo de monografia é a gasolina aeronáutica (Avgas). A mistura resultante tem uma combustão mais eficaz, reduzindo o consumo de combustível e a quantidade de poluentes liberados no ar. O hidrogênio é a referência do estudo por uma questão muito básica, é um composto com grande capacidade de armazenar energia e sendo também um combustível de baixo peso molecular e maior quantidade de energia por unidade de massa que qualquer outro combustível conhecido e também por ser praticamente zero em poluentes.

Será uma pesquisa eminentemente documental utilizando vários artigos, livros e revistas especializadas para compreensão e entendimento da tese. Os resultados revelarão que a utilização do hidrogênio como combustível é viável, econômico com baixa taxa de poluentes. É um combustível barato e seguro.

Palavras-chave: Hidrogênio, Combustível do Futuro, Célula de Combustível, Gerador de HHO.

ABSTRACT

The paper bases such as hydrogen may be used as a supplementary fuel, or shortly after being produced, hydrogen is injected into the engine where it mixes with the fuel in the case of our monograph study is the aircraft gasoline (Avgas). The resulting mixture has a more efficient combustion, reducing fuel consumption and the amount of pollutants released in the air. Hydrogen is the study reference by a very basic issue is a compound of great capacity to store energy and also with a low molecular weight fuel and greater amount of energy per unit mass than any other known fuel and because it is practically zero pollutants. It will be an eminently documentary research using many articles, books and journals for understanding and understanding of the thesis. The results reveal that the use of hydrogen as a fuel is viable, economical with low pollutant rate. It is a cheap and safe fuel.

Keywords: Hydrogen, Future Fuel, Fuel Cell, HHO generator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Global Hawk	15
Figura 2 – BQM1BR.....	16
Figura 3 – VANT FALCÃO.....	17
Figura 4 – Desenho do Reservatório Criogênico.....	22
Figura 5 – Distribuição de Tensões na Área de Contato do Tanque / Suporte.....	22
Figura 6 – Bicos Injetores de Fluxo Direto.....	24
Figura 7 – Micro Bico Injetor de Combustão.....	24
Figura 8 – Nox (Número de Oxidação)	25
Figura 9 – Teste de Inflamabilidade Hidrogênio X Querosene.....	26
Figura 10 – EasyJet – Hydrogen Sistemas de Célula de Cargas.....	27
Figura 11 – Antares DLH-R3.....	28
Figura 12 – Phantom Eye (Boeing)	29
Figura 13 – Global Observer AeroVironment.....	30
Figura 14 – Célula de Combustível de Hidrogênio.....	32
Figura 15 – Avião Totalmente Alimentado por Célula a Hidrogênio.....	33
Figura 16 – Sistema de Célula de Combustível.....	33
Figura 17 – Gerador de Hidrogênio.....	36
Figura 18 – Nanoesfera de Plástico de Captura de Hidrogênio.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível
APU	Auxiliary Power Unit
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
CBT	Companhia Brasileira de Tratores
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
LDI	Lean Direct Injection
NASA	National Aeronautics and Space Administration
Nox	Número de Oxidação
V-1	Vergeltungswaffe 1
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VANT SAR	Veículo Aéreo Não Tripulado Sensoriamento Remoto

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO	7
1 INTRODUÇÃO	12
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo geral	13
1.2.2 Objetivos específicos	13
1.3 Delimitação do Estudo	13
1.4 Materiais e Métodos	13
3 HISTÓRIA DOS VANTs	15
3.1 VANTs	15
3.2 No Brasil	16
3.3 No Mundo	18
4 COMBUSTÍVEL	19
4.1 Gasolina	20
4.2 Querosene	21
5 HIDROGÊNIO	22
5.1 História	22
5.2 Na Aviação Civil	28
5.3 Na Aviação Militar	31
5.4 Célula a Combustível de Hidrogênio	33
5.5 Gerador de HHO	36
5.5.1 Aditivos na água	38
5.5.2. Quais aditivos que podem colocar para facilitar na eletrólise de HHO? ..	39
6 FUTURO DO HIDROGÊNIO COMO COMBUSTÍVEL AERONÁUTICO	40
7 RESULTADOS	41
8 DISCUSSÃO	42
9 CONCLUSÃO	43
9.1 Sugestões de Trabalhos Futuros	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

A indústria de defesa é o principal setor de desenvolvimento de alta tecnologia. Dentre elas se destaca a indústria aeronáutica, que possui uma competência a nível mundial e é de grande importância no desenvolvimento tecnológico, econômico e empresarial. Nessa vanguarda do desenvolvimento de novos materiais, a indústria aeronáutica vem estudando e pesquisando novas fontes de energia menos poluentes e renováveis e podendo gerar grande economia financeira.

Mais recentemente, seus olhos se voltaram para a aplicação de combustíveis para aeronaves civis e militares, tripuladas ou remotamente pilotadas. Nessa mesma direção, vislumbra-se a utilização do hidrogênio (H_2) como combustível aeronáutico, por meio da utilização de eletrolisadores e/ou células a combustível (CaC), como já é utilizado em veículos automotivos, inclusive em coletivos.

O eletrolisador também chamado por gerador de hidrogênio, separa as substâncias formadoras da água (H_2O), utilizando o H_2 para a geração de energia elétrica, que é a mesma energia motriz do motor em uso em carros híbridos ou em motores adaptados em aeronaves não tripuladas como o Phantom Eye da empresa Boeing.

O hidrogênio é considerado por muitos como o combustível do futuro, por ser uma fonte de energia renovável e inesgotável, não poluente que trará grandes benefícios à humanidade e principalmente ao meio ambiente. O hidrogênio apresenta uma grande capacidade de gerar energia, sendo um combustível de baixo peso molecular e com maior relação entre a quantidade de energia por unidade de massa que qualquer outro combustível conhecido. O hidrogênio, resfriado ao estado líquido, ocupa espaço equivalente a 1/700 do que quando no estado gasoso (SOUZA, 2016).

A utilização do hidrogênio combustível seria uma opção que demandaria poucas modificações no formato original das aeronaves, pois o pouco espaço ocupado pelo eletrolisador, não demandaria modificações ou ajustes a um sistema tão complexo de uma aeronave, ficando apenas o trabalho de homologação junto aos órgãos oficiais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral da monografia é conhecer e entender a aplicação do hidrogênio (H₂) como combustível totalmente ecológico na aviação civil, na aviação militar, em aeronaves tripuladas e em aeronaves remotamente pilotadas.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos se apresentam:

- Descrever as vantagens e desvantagens do hidrogênio como combustível para motores em aeronaves civis, militares e remotamente pilotadas, também conhecidas como VANT ou *drone*;
- Avaliar a capacidade do combustível, suas propriedades, sua capacidade para voos em grandes altitudes, economia (autonomia) na sua utilização, seus efeitos nos motores e seu perigo em um eventual acidente/incidente.

1.3 Delimitação do Estudo

Neste trabalho será demonstrado de uma forma abrangente os desafios científicos e tecnológicos que a monografia propõe a superar e atingir os objetivos em elucidar como é viável a utilização do hidrogênio como combustível tanto na sua forma gasosa ou líquido, desmistificando em ser um combustível perigoso. O hidrogênio combustível deixando de ser utilizado apenas em carros, como também poderá ser usado em aeronaves tripuladas ou remotamente pilotadas. Citam referências que ajudarão os analisadores entenderem a proposta do desafio mencionado.

1.4 Materiais e Métodos

Esse estudo refere-se a uma pesquisa documental. Pesquisa eminentemente teórica, com bases nas pesquisas que foram realizadas, em livros, artigos científicos, revistas e banco de dados digitais.

Nesta fase da pesquisa documental, foi realizada uma primeira organização do material, quando se tornou indispensável olhar para o conjunto de documentos de forma analítica, buscando averiguar como poderia proceder para torná-lo inteligível, de acordo com o objetivo de explorar todo o conhecimento do tema em questão, o estudo hidrogênio como combustível.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Kordesch et al. (1996) apresentara um trabalho explicando que o eletrólito nesta célula de combustível é uma membrana de permuta iónica que é boa condutora de prótons do ânodo para o cátodo. Por sua vez, o combustível utilizado é o hidrogénio com elevado grau de pureza.

Dahl e Suttrop (1998) este trabalho apresentara resultado num aumento em NO x níveis e a redução desses níveis necessita de modificação adicional a ser feita ao desenho combustor nos modelos de sistema de combustão a seco ou aumentar taxa de diluição obtida por adição de vapor.

Marek *et al.* (2005) Os resultados destas experiências demonstraram as capacidades de hidrogénio para atingir os mesmos níveis de NO X modernos combustores avançados querosene LDI.

O estudo resultara em melhor desempenho nos bicos injetores e melhor qualidade no tamanho das gotas de combustível.

Alrousan (2010) este trabalho demonstrara um sistema de geração de HHO inovador, simples e avaliar o efeito do gás hidroxila HHO, como um melhorador de desempenho do motor, em combustível gasolina sobre o desempenho do motor e as emissões.

Yilmaz *et al.* (2010) este trabalho demonstrara um sistema de geração de HHO inovador, simples e avaliar o efeito do gás hidroxila HHO, como um melhorador de desempenho do motor, em combustível gasolina sobre o desempenho do motor e as emissões.

Gonçalves (2012) apresentara um trabalho que tem como objetivo principal realizar uma pesquisa sobre a tecnologia de células a combustível.

Esse trabalho proporcionou obter um melhor conhecimento teórico sobre as células do tipo PEM.

Kim e Kwon (2012) O trabalho apresentara uma célula de combustível PEM usando um hidreto de química como uma fonte de hidrogénio. O gerador de hidrogénio extrai hidrogénio usando um catalisador de hidrólise a partir de uma solução de boro-hidreto de sódio alcalino.

Angheben (2013) apresentara um trabalho que consiste em estudar a utilização do hidrogênio na forma de blendas com o óleo diesel. Nessa forma o hidrogênio aumenta a autonomia do veículo automotor.

Esse trabalho auxilia na compreensão sobre a viabilidade dessa forma de utilização.

Silva (2013) afirmara que o hidrogênio pode ser usado em células a combustível como fonte de energia sendo utilizado no setor industrial, residencial e de transportes.

Esse trabalho possibilita identificar qual e que tipo de célula a combustível a ser utilizada para casos específicos.

CBT (2016) O primeiro VANT no Brasil foi o BQM1BR, fabricado pela extinta Companhia Brasileira de Tratores (CBT), em São Carlos, SP, essa aeronave serviria de alvo aéreo e vou apenas uma vez no ano de 1983.

EasyJet (2016) A EasyJet detalhou um plano inovador para construir um avião equipado com uma célula e combustível de hidrogênio.

Northrop (2016) A Northrop Grumman Corporation é uma multinacional norte-americana que atua no ramo da indústria aeroespacial e defesa.

Souza (2016) Estudos revelam que o hidrogênio será fundamental na produção energética mundial dos próximos anos, devido às emissões de gases do efeito estufa na atmosfera e o aquecimento global, que precisam urgentemente de redução.

3 HISTÓRIA DOS VANTs

3.1 VANTs

Veículos aéreo não tripulado (VANT) ou aeronave remotamente pilotada (ARP) ou ainda *drones* (zangão em inglês) é toda e qualquer aeronave que não necessita de pilotos embarcados, ou seja, dentro da aeronave. Essas aeronaves são pilotadas a distância por meios eletrônicos, sob a supervisão de pilotos experientes.

Inspirados nas bombas voadoras alemães do tipo V-1 e nos aeromodelos, foram desenvolvidas para serem utilizadas em missões onde o risco eminente à vida dos pilotos é grande.

A Figura 1 ilustra o voo de uma aeronave não tripula fabricada pela empresa Northrop Grumman. (2016).



Figura 1 - RQ-4 Global Hawk Northrop Grumman

Fonte: <http://www.northropgrumman.com/Pages/default.aspx>

Originalmente, tinham como objetivo permitir a utilização em missões de vigilância e ataque, evitando que os pilotos fossem expostos ao combate. As primeiras experiências de aeronaves não tripuladas foram realizadas na década de 60 pela Marinha dos Estados Unidos. Em 1973 a Força Aérea dos Estados Unidos admitiu a utilização dessas aeronaves.

3.2 No Brasil

O primeiro VANT no Brasil foi o BQM1BR, visto na Figura 2, fabricado pela extinta Companhia Brasileira de Tratores (CBT), em São Carlos, SP, essa aeronave serviria de alvo aéreo e vou apenas uma vez no ano de 1983. Sua turbina, com empuxo de 30 kg, o levava a uma velocidade máxima de 560 km/h. A principal tarefa do BQM-1BR era servir de alvo aéreo para treinamentos militares.

A Figura 2 ilustra o Protótipo da aeronave não tripula fabricada pela empresa Companhia Brasileira de Tratores (2016).



Figura 2 - BQM1BR Protótipo da CBT no Museu da TAM

Fonte: <http://www.museutam.com.br/>

Já a partir do ano de 2000, os VANT's para o uso civil ganharam força e então surgiu o Projeto Arara (Aeronave de Reconhecimento Autônoma e Remotamente Assistida) desenvolvido em uma parceria do Instituto de Ciências Matemáticas e da Computação da Universidade de São Paulo (ICMC-USP) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Em 2009, a AGX, a Aeroálcool e a Orbist iniciaram um projeto chamado VANT-SAR e em 2011 a AGX desenvolveu a primeira aeronave 100 % nacional, denominada Tiriba, terá 20 horas de autonomia de voo e poderá cumprir missões com até 4.000 km de alcance. A velocidade de cruzeiro do modelo chega a 200 km/h.

O Falcão, da AVIBRAS Indústria Aeroespacial, visto na Figura 3, é o primeiro VANT para o uso militar no Brasil, com autonomia de 16 horas e que pode carregar 150 kg de equipamentos. Sua estrutura é feita em fibra de carbono e todo seu *software* é desenvolvido dentro das dependências da fábrica. Serão utilizados pelas Forças Armadas em missões de reconhecimento, de aquisição de alvos, de apoio à direção de tiro, de avaliação de danos e de vigilância terrestre e marítima.



Figura 3 - VANT Falcão na AVIBRAS

Fonte: <https://www.avibras.com.br/site/nossos-produtos-e-servicos/sistemas-de-defesa/falcao.html>

No Brasil, somente é permitido o uso de VANT's com piloto remoto, quer dizer que equipamentos autônomos sem intervenção externa durante o voo são terminantemente proibidos pela defesa aérea brasileira. Logo, todo VANT que possui um piloto remoto é automaticamente chamado de RPA (*Remotely-Piloted Aircraft*, em português, aeronave remotamente pilotada).

Ainda há de ser feito muito pelo desenvolvimento desses tipos de aeronaves no Brasil, com apoios governamental e privados e uma regulamentação para voos, surgirão várias empresas inovando, tanto na construção como no uso de combustível alternativos.

3.3 No Mundo

Em dezembro de 1986, foi lançado o VANT Pioneer que fornecia imagens em tempo real de alvos específicos ou de campos de batalha. Sua estreia aconteceu nas operações militares em Granada, no Líbano e na Líbia. Ainda em uso, o Pioneer é lançado de um foguete, pesa cerca de 200 kg e alcança mais de 170 km/h. Ele é capaz de flutuar e pode ser recuperado em aterrissagens no mar.

Já em 1994, a empresa General Atomics produziu o MQ Predador, com uma autonomia de 25 horas, e aceleração a 360 km/h, seu teto operacional de voo é de 29.000

pés, e transporta 1.075 lb (488 kg) de carga interna e externa. A aeronave pode transportar várias cargas úteis no alto, incluindo Electro-Optical / Infrared (EO / IR) com designação laser, Radar de Abertura Sintética (SAR), relé de comunicações, e quatro mísseis Hellfire. Essa versão atualizada permitiu não apenas o reconhecimento, mas também missões de ataque, como na Bósnia, no Iraque e no Afeganistão.

Heron é o VANT fabricado pela empresa Indústria Aeroespacial de Israel (IAI). Essa aeronave não tripulada foi lançada em 2006 para vigilância e reconhecimento, capaz de voar 50 horas, alcançar 30.000 pés de altitude e com um alcance de 350 km, porém foi utilizado por Israel na Guerra do Líbano de 2006. É utilizado pela Polícia Federal do Brasil.

Uma nova versão, o Heron TP, com envergadura de 26 metros e alcance de 40.000 pés, foi lançado oficialmente em fevereiro de 2010

Atualmente vários países vem desenvolvendo suas aeronaves não tripuladas para utilizar em todos os tipos de missões.

4 COMBUSTÍVEL

A definição de combustível é qualquer corpo cuja combinação com outra seja exotérmica e, em geral, qualquer substância que reage com o oxigênio produzindo calor.

Há várias substâncias que podem ser utilizadas como combustível. Define-se essa queima como combustão, que ocorre nas câmaras de combustão dos veículos automotivos ou aeronáuticos.

Esse combustível precisa atingir uma determinada temperatura para ocorrer a combustão. Essa temperatura é chamada de “temperatura de ignição”. O combustível é classificado segundo o estado em que se apresenta:

- Sólido;
- Líquido;
- Gasoso.

Também é possível encontrá-lo na forma natural ou artificial. Neste trabalho se descreverá o hidrogênio como combustível para as aeronaves não tripuladas, porém antes se descreverão brevemente dois combustíveis aeronáuticos conhecidos no meio da aviação, gasolina e o querosene.

4.1 Gasolina

A gasolina aeronáutica, também conhecida como AVGAS, é uma mistura de hidrocarboneto com cinco a nove átomos de carbonos e faixa de ebulição entre 30 e 170 °C. A gasolina de aviação utiliza chumbo como melhorador de octanagem.

Estequiometria da gasolina

Para que a queima do combustível ocorra dentro dos padrões técnicos do ciclo e a expansão dos gases produza a pressão e o trabalho desejados, é necessário que a massa de combustível injetada no motor seja misturada a uma quantidade de ar. Forma-se assim a mistura combustível-ar, cuja dosagem é feita pela injeção eletrônica ou pelo carburador.

A gasolina é uma mistura de vários hidrocarbonetos, que, na média típica, pode ser representada por C_8H_{18} .

Assim, a estequiometria da combustão completa da gasolina é definida na equação:



$$\text{Combustível: } [C] 8 \times 12 + [H] 18 \times 1 = 114$$

$$\text{Ar: } [O] 12,5 \times 32 + [N] 47 \times 28 = 1716$$

$$\text{Proporção Estequiométrica: } 1716 / 114 = 15$$

Ou seja, são necessárias 15 unidades de massa de ar para cada unidade de massa de gasolina injetada no motor. É importante reiterar que estes cálculos são ideais, ou seja, consideram apenas as estequiometrias das massas de combustível e de ar para uma reação de combustão completa.

A gasolina de aviação é o combustível utilizado predominante em aviões de pequeno porte que possuem motores a pistão, do tipo ciclo Otto com ignição por centelhas.

São aviões empregados na aviação agrícola, particularmente comercial, em treinamento e formação de pilotos, aeronaves esportivas e experimentais.

Vantagens do uso de gasolina: A gasolina é mais eficiente que um motor a Diesel quando no arranque e desenvolvimento do carro. A utilização de gasolina com aditivos

ajuda a manter limpos os sistemas de injeção, pois o desgaste das peças diminui protegendo o motor.

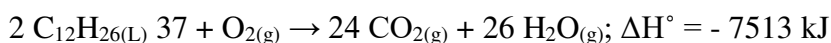
Desvantagens do uso de Gasolina: preço, comparado ao gás natural veicular e álcool, por exemplo. Polui o ar com as emissões de CO₂; fonte esgotável, pois depende do petróleo.

A gasolina de aviação regulamentada pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível – ANP para o mercado brasileiro é do tipo GAV-100 LL (*low lead* / baixo teor de chumbo), tendo como coloração característica o tom azul, seguindo o que é praticado no exterior (Nº FISPQ: BR0033 Versão: 3, 07/02/2014).

4.2 Querosene

O querosene aeronáutico é um derivado do petróleo obtido por destilação direta com faixa de temperatura de 150 a 300 °C, um hidrocarboneto com número de átomos variando de nove a 15. Esse tipo de combustível é utilizado para geração de energia a motores a reação (turbinas a gás).

A reação de combustão pode ser aproximada como se segue, com a fórmula molecular C₁₂H₂₆:



Existem dois tipos de querosene de aviação produzidos e comercializados no Brasil:

- O de uso para aviação civil, conhecido como QAV-1;
- O de uso para aviação militar, com a sigla QAV-5.

A vantagem em ser menos volátil que a gasolina é uma grande vantagem em termos de segurança no manuseio. O querosene comum de aviação tem um ponto de fulgor entre 38 °C e 60 °C, ou seja, somente produz vapores inflamáveis a partir dessas temperaturas. Só para efeitos de comparação, a gasolina tem um ponto de fulgor de -42,8 °C, sendo, portanto, muito mais perigosa.

A presença de água no querosene de aviação é um dos maiores problemas enfrentados pelos operadores de aeronaves a reação. A umidade do ar, condensada em baixas temperaturas, encontradas em grandes altitudes, se mistura sob a forma de gotículas ao querosene e se decanta com grande dificuldade. Eliminar totalmente a água

do querosene é praticamente impossível, e o maior problema é essa água congelar e entupir os filtros, tornando-se como uma das principais desvantagens.

A diferença básica entre os dois tipos de combustível está na maior restrição com relação à presença de compostos leves de forma a garantir a segurança no manuseio e na estocagem do produto em embarcações (Nº FISPQ: BR0031 Versão: 2, 30/05/2014).

5 HIDROGÊNIO

O hidrogênio é o elemento químico mais simples, mais leve, menor e mais abundante no Universo.

Em condições normais de pressão e temperatura, o hidrogênio é um gás não tóxico, inflamável, incolor e inodoro.

Uma molécula de hidrogênio, de fórmula H_2 , é composta por dois átomos de hidrogênio, cada um com um elétron (carga elétrica negativa) e um próton (carga positiva).

5.1 História

O gás hidrogênio foi o primeiro produzido artificialmente e formalmente descrito por T. von Hohenheim (também conhecido como Paracelso, 1493 – 1541) por meio da reação química entre metais e ácidos. O hidrogênio foi liquefeito pela primeira vez por James Dewar, em 1898, ao usar resfriamento regenerativo, no ano seguinte produziu o hidrogênio sólido.

A primeira vez que o gás de hidrogênio foi utilizado para voo ocorreu no ano de 1783 quando Jacques Charles fez o enchimento do primeiro balão que provia de maneira confiável a viagem aérea.

Nos dias atuais o hidrogênio é considerado por muitos como o “combustível do futuro”, por ser uma fonte de energia renovável e inesgotável, não poluente, que trará grandes benefícios à humanidade e, principalmente, ao meio ambiente.

O hidrogênio líquido é visto como excelente combustível para uso em voos de altas altitudes e de voos de grandes durações.

Seu maior problema ainda é o reservatório ou tanque que deve ser resistente como um isolamento térmico. Uma estrutura adiabática foi analisada usando a teoria de contato

de Hertz e método de simulação numérica. Um método de análise de estrutura simples e eficaz do tanque e pontos de contatos também foram empregados da mesma forma.

O resultado do estudo citado pela publicação mostra que o suporte de isolamento pode produzir perda de calor da estrutura do suporte mais de 85 %, enquanto que a tensão máxima de pontos de contato que suporta a estrutura pode ser nove vezes maior do que a estrutura convencional (XU *et al.*, 2015).

A Figura 4 ilustra um tanque criogênico e suas estruturas e divisões.

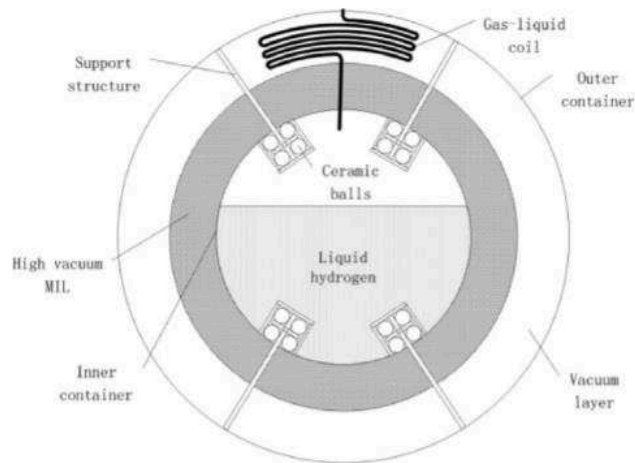


Figura 4 - Desenho do reservatório criogênico (XU *et al.*, 2015)

A Figura 5 ilustra o resultado da análise do cálculo de elementos finitos na distribuição de tensões da área de contato do tanque criogênico.

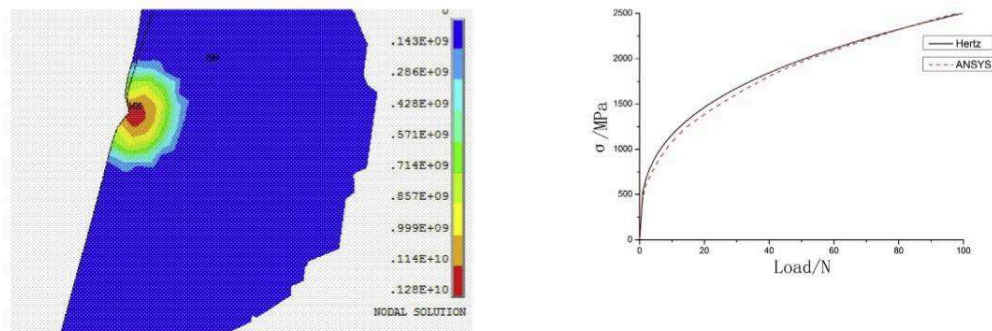


Figura 5 - Distribuição de tensões na área de contato do tanque / suporte (XU *et al.*, 2015)

A seleção do motor para uma aeronave é uma parte importante de todo o processo do *design* de aeronaves. Como qualquer projeto de aeronaves convencionais, ou não, requisitos básicos do motor são em grande medida ditada pela potência e tipo de combustível utilizado.

Após a escolha do motor a combustão do tipo ciclo Otto, nesta mesma direção, vislumbra-se a utilização do hidrogênio (H₂) como combustível aeronáutico, o gás hidrogênio como combustível alternativo ou utilizando como secundário foi considerado no passado o seu potencial uso nas aeronaves.

O uso da adição de hidrogênio aos combustíveis convencionais produz melhores resultados, embora o uso do hidrogênio puro em câmaras de combustão convencionais tem resultados que são inferiores aos combustíveis convencionais. Isso é devido à geometria dos combustores (câmaras) serem inadequados para mistura eficaz do hidrogênio e o ar.

Equação de estado

A incerteza na densidade é de 0,1 %, a temperaturas entre o ponto triplo para 250 K e a pressões até 40 MPa, exceto na região crítica, onde uma incerteza de 0,2% na pressão é geralmente atingida. Na região entre 250 e 450 K e a pressões de 0,1 a 300 MPa, a incerteza na densidade é de 0,04 %. A temperaturas entre 450 e 1000 K, a incerteza na densidade aumenta para 1 %. A pressões entre 300 e 2000 MPa, a incerteza na densidade é de 8 %. Velocidade de dados de som são representados dentro de 0,5 % abaixo de 100 MPa. A incerteza estimada para capacidades de calor é de 1,0 %. As incertezas estimadas de pressões de vapor e densidades de líquido saturado calculados usando o critério de Maxwell são 0,2 % para cada propriedade (LEACHMAN *et al.*, 2009).

Condutividade térmica

A incerteza na condutividade térmica inferior a 100 K é estimada em 3 % abaixo de 150 atm. ou superior a 10 % abaixo de 700 atm. Para temperaturas em torno de 100 K em baixas densidades, a incerteza é de cerca de 1 %. Acima de 100 K, a incerteza é estimada ser da ordem de 10 % (LEACHMAN *et al.*, 2009).

Viscosidade

A incerteza na viscosidade varia de 4 % a 15 %.

Dados auxiliares

Membros de referência

Energia interna $L = 0$ a 273,16 K para o líquido saturado.

Entropia $S = 0$ a 273,16 K para o líquido saturado.

Propriedades dos fluidos adicionais

Temperatura crítica (T_c) 33,145 K

Pressão crítica (P_c) 12,794 atm

Densidade crítica (D_c) 31,263 kg / m³

Fator acêntrico - 0,219

Ponto de ebulição normal 20,369 K

Momento de dipolo 0.0 Debye

Por essa razão, foram realizados estudos para projetar novas câmaras para uma melhor e mais eficaz queima desse combustível. Existem dois conceitos de combustores de hidrogênio que representam como maiores probabilidades de serem os mais adequados.

Os dois conceitos são *Lean Direct Injection* (LDI), pesquisado pela NASA por Marek *et al.* (2005) e o conceito *Micro-Mix Combustion* por Dahl e Suttrop (1998).

Esses dois conceitos são semelhantes em sua metodologia que estabelece que é a principal preocupação com o desejo de aumentar a mistura de combustível. A intensidade de hidrogênio e ar é muito maior em ambos os modelos e evita formações que resultam em emissões de NO_x mais elevadas. Aumentando a intensidade da mistura, o comprimento da chama irá ser reduzido, tendo completado a combustão mais cedo com o tempo de resistência reduzida (KHANDELWAL *et al.*, 2013).

A Figura 6 ilustra os bicos injetores de linha ou fluxo direto.

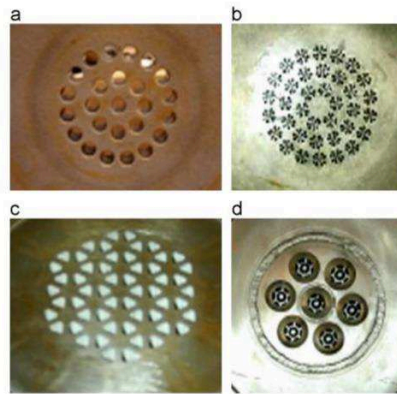


Figura 6 - Bicos injetores de fluxo direto (KHANDELWAL *et al.*, 2013).

A Figura 7 ilustra o Micro bico injetor denominados Micro-Mix.

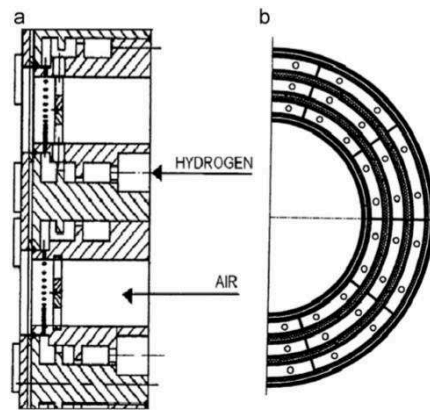


Figura 7 - Micro bico injetor de combustão (KHANDELWAL *et al.*, 2013).

A Figura 8 ilustra o Número de Oxidação (NOx) de um elemento químico.

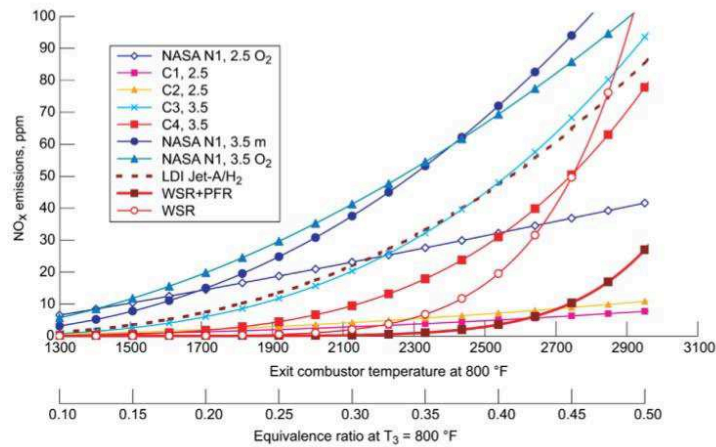


Figura 8 - NOx (KHANDELWAL *et al.*, 2013).

O hidrogênio foi demonstrado ser um combustível muito vantajoso para o futuro da aviação, permitindo a redução das emissões proporcionando ao mesmo tempo um desempenho excepcional.

ASPECTOS POSITIVOS

- É o elemento mais abundante do universo.
- O Hidrogênio não é tóxico.
- Redução da emissão de gases causadores do efeito estufa, como o CO₂ e o CH₄.
- Redução da poluição sonora, pois as células a hidrogênio operam silenciosamente.
- Redução da emissão de partículas na atmosfera, como fumaça e fuligem.
- Crescimento econômico, desenvolvimento e criação de empregos em diversas áreas.

ASPECTOS NEGATIVOS

- Tecnologia mais cara.
- Em um modelo de extração de hidrogênio há dependência de hidrocarbonetos, petróleo e seus derivados, produtos tóxicos.
- Ainda não uma célula a hidrogênio que alie preço e eficiência.
- A necessidade da utilização de metais nobres como, por exemplo, a platina que é um metal caro e raro.
- Os problemas e os custos associados ao transporte e distribuição.

O hidrogênio combustível é inflamável como qualquer outro combustível, embora haja um certo folclore associado que implica como um elevado risco a segurança.

O hidrogênio na maioria dos casos, uma comparação aos outros combustíveis é demonstrada mais seguro e menos devastador. Diferente aos outros combustíveis um pequeno vazamento do hidrogênio não representa um grande risco de inflamabilidade, quando corretamente ventilado, isso devido ao fato de que o hidrogênio ser um elemento mais leve, permitindo ser rapidamente dissipada ao meio ambiente.

Esse vazamento é indesejado sim, por questão óbvia, pois essa é uma perda de energia primária.

Estudos realizados na Universidade de Miami compararam um vazamento de combustível de hidrogênio com o combustível querosene aeronáutico. Ambos os combustíveis são inflamáveis. Enquanto o querosene por ser um combustível líquido

espalha e preencherá o máximo de espaço possível, já o hidrogênio por ser gasoso, terá uma fuga localizada para atmosfera.

Observando a Figura 9, se tem dois carros com vazamento dos combustíveis, tanto de hidrogênio como de querosene. O vazamento de hidrogênio fica restrito à fuga do gás para a atmosfera enquanto o de querosene espalha por todo o carro.

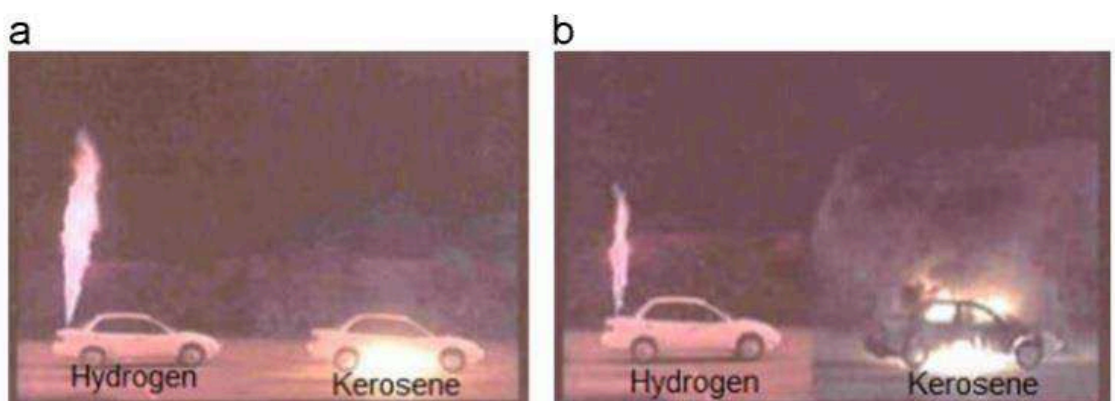


Figura 9 - Teste de inflamabilidade hidrogênio X querosene (KHANDELWAL *et al.*, 2013).

Se esse teste fosse realizado em uma aeronave, com toda certeza o fogo se espalharia pela aeronave que estiver com o combustível querosene elevando o risco, com prováveis perdas de vidas. Enquanto se o combustível fosse o hidrogênio, o fogo ficaria restrito ao local da fuga do gás minimizando as perdas de vidas ou prejuízo da aeronave (KHANDELWAL *et al.*, 2013).

A utilização do hidrogênio com combustível na aviação pode ser a solução mais econômica menos poluente, mais “segura”, porém atualmente as pesquisas presentes são muito mais focadas no sentido de motores automotivos.

5.2 Na Aviação Civil

A europeia Airbus vem trabalhando e pesquisando a utilização do hidrogênio como combustível, mas não para alimentar os motores principais, mas a APU (*Auxiliary Power Unit*), um motor auxiliar para geração de energia elétrica e para partida dos motores principais.

Esse projeto de pesquisa será conduzido por *Hydrogen South Africa (HySA)*, centro de competência localizado na Universidade de Wester Cape, na cidade do Cabo.

A EasyJet detalhou um plano inovador para construir um avião equipado com uma célula e combustível de hidrogênio. Esse projeto ainda se encontra na fase embrionária de desenvolvimento e está sendo em torno de células a combustível de hidrogênio que será localizado no compartimento de cargas.

Esse sistema será utilizado nos freios durante o taxiamento. A energia produzida pelo hidrogênio irá diretamente para os motores elétricos instalados no freio, acionando seu travamento. Essa economia representa 4 % do combustível utilizado durante o pouso, ou seja, representa quatro milhões de milhas por ano em economia para cada avião, segundo descreve Ian Davies engenheiro chefe da empresa. Essa economia será revertida em custo mais baixo nos preços das passagens.

A Figura 10 ilustra como será a distribuição do sistema de energia híbrida a ser desenvolvido pela EasyJet (2016).

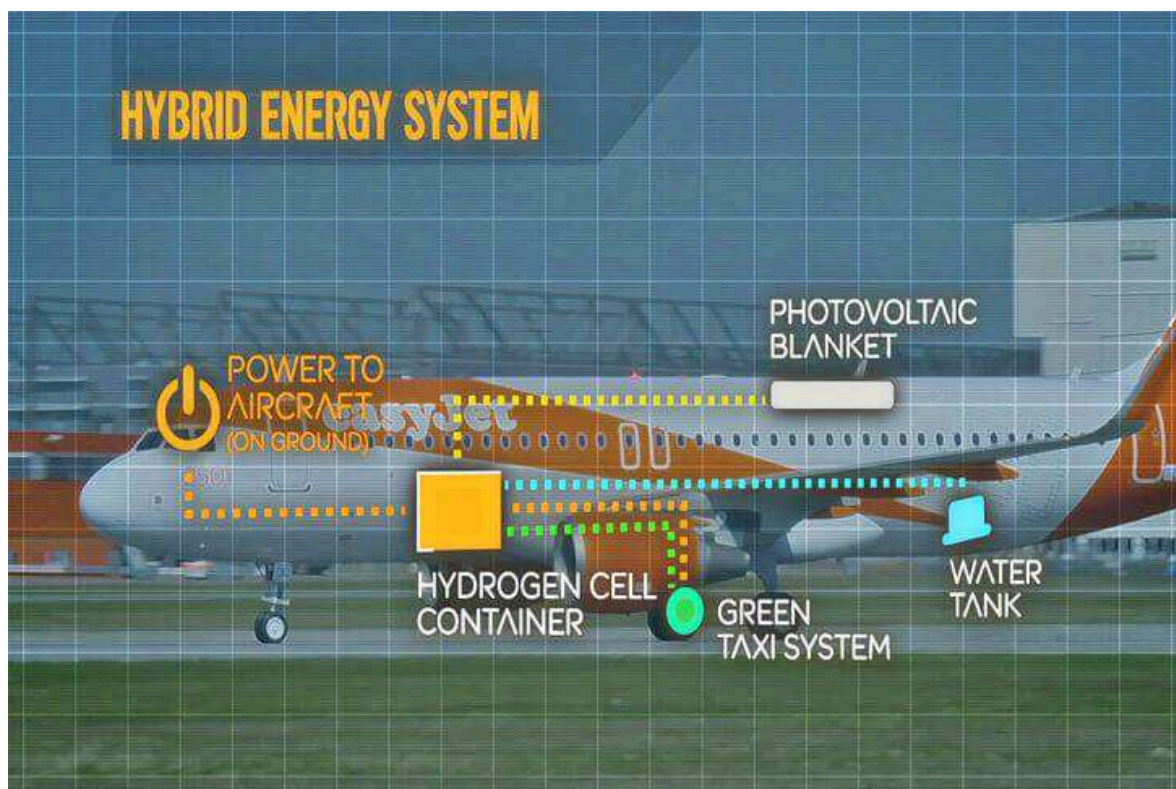


Figura 10 - Sistema de célula a combustível na EasyJet (2016)

Fonte: EASYJET. EasyJet reveals concept designs for hybrid plane. [online]. 2-Fev-2016. Disponível em: <http://mediacentre.easyjet.com/stories/9658>

O primeiro do mundo a realizar voo utilizando apenas hidrogênio como combustível foi o Antares DLR-H₂, desenvolvido pelo Centro Aeroespacial da Alemanha (DLR) e o seu sistema de propulsão pelo Instituto de Tecnologia Termodinâmica do DLR em parceria com a Lange Aviation, BASF Fuel Cells e Serenergy.

O grande diferencial do avião é o fato dele ser alimentado por uma célula a combustível de hidrogênio ultra eficiente.

A Figura 11 ilustra o primeiro voo de uma aeronave utilizando 100% hidrogênio como combustível.



Figura 11 - Antares DLR-H2

Fonte: http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10203/339_read-8244#/gallery/12337

Hoje na aviação civil há um maior estudo no desenvolvimento e utilização do hidrogênio como combustível aeronáutico, porém há muita restrição ao uso deste combustível para os motores principais, seja na homologação das aeronaves ou desconfiança dos passageiros por falta de informações de segurança, o que deverá no futuro mudar totalmente esse paradigma.

5.3 Na Aviação Militar

O Phantom Eye é o avião não tripulado da Boeing que utiliza o hidrogênio como combustível. O protótipo voa por quatro dias a uma altitude de 60.000 pés (20 km). O avião pode não ter o *design* mais bonito, mas será ecológico, pois a propulsão a hidrogênio será a chave do seu sucesso.

É muito eficiente, oferece uma grande economia de combustível e o único subproduto gerado é a água, considerado uma aeronave verde. Além da Boeing outras empresas trabalham juntas para seu desenvolvimento final.

A Figura 12 ilustra como é disposta os sistemas da aeronave não tripulada da Boeing.

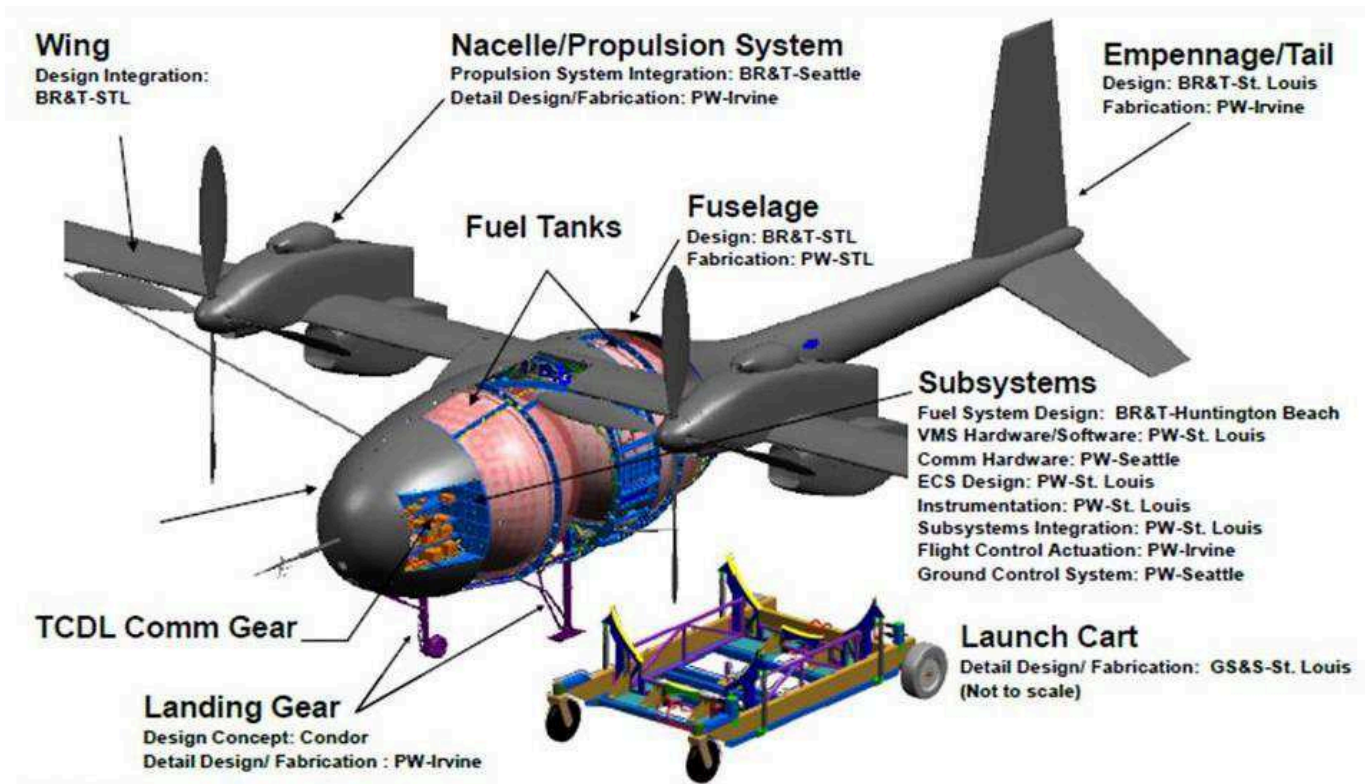


Figura 12 - Phantom Eye da Boeing

Fonte: <http://www.boeing.com/defense/phantom-eye/>

A AeroVironment desenvolve sua aeronave não tripulada a hidrogênio combustível, chamada de Global Observer, que voa a uma altitude 65.000 pés, sendo desenvolvida para operar como um sistema de satélite geoestacionário estratosférico com cobertura regional. A sua maior operação será vigilância e reconhecimento marítimo, atualmente a empresa trabalha no seu segundo protótipo.

A Figura 13 ilustra o voo do primeiro protótipo da empresa AeroVironment.



Figura 13 - Aeronave Global Observer AeroVironment

Fonte:

https://www.avinc.com/resources/press_release/global_observer_aerovironments_extreme_endurance_unmanned_aircraft_system_a

Na aviação não tripulada, em especial desenvolvimentos militares, há um maior uso do hidrogênio como combustível, mesmo porque a homologação fica restrita a aeronaves experimentais, também por não colocar em risco vidas de pilotos ou passageiros diretamente. A economia prevista nessas operações não é primária, mas sim em permanecer um maior tempo em voo, pois suas missões são o reconhecimento e ou vigilância.

5.4 Célula a Combustível de Hidrogênio

5.4.1 Célula a combustível – energia elétrica a partir do hidrogênio

Célula a combustível é um transdutor eletroquímico de operação contínua, que converte energia química em energia elétrica ao combinar um átomo de oxigênio a dois de hidrogênio, produzindo água, energia elétrica e energia térmica. Essa operação é extremamente eficaz, pois converte diretamente energia química em energia elétrica, sem as perdas da conversão da energia química dos combustíveis fósseis, por exemplo em energia térmica para posterior conversão em energia elétrica (sem as restrições termodinâmicas do ciclo de Carnot).

A célula é de operação contínua, pois diferentemente das baterias químicas, gera energia elétrica enquanto houver fornecimento de combustível e de oxidante, sem nunca perder a carga, como acontece com as pilhas e baterias comuns.

O sistema de conversão da energia elétrica utilizado pelas células a combustível opera em eletrólise reversa, combinando átomos de hidrogênio a átomos de oxigênio formando água nesse processo. Essa característica permite a utilização de uma vasta série de espécies químicas compostas predominante por hidrogênio.

Há um grande interesse em desenvolver essas células a combustível utilizando hidrogênio puro:

- Evita a contaminação dos eletrodos em reações adversas;
- Reduz o número de componentes do sistema;
- Aumenta o rendimento do sistema em virtude da maior densidade do hidrogênio;
- Dentre outras.

O hidrogênio é fornecido no lado do anodo. Essa espécie química não é encontrada no meio ambiente sem estar combinada com outro elemento, por isso é necessário separar, e algumas vezes, armazenar e transportar para ser utilizado como combustível (KORDESCH *et al.*, 1996).

A Figura 14 ilustra de forma esquemática o funcionamento de uma célula de combustível de hidrogênio

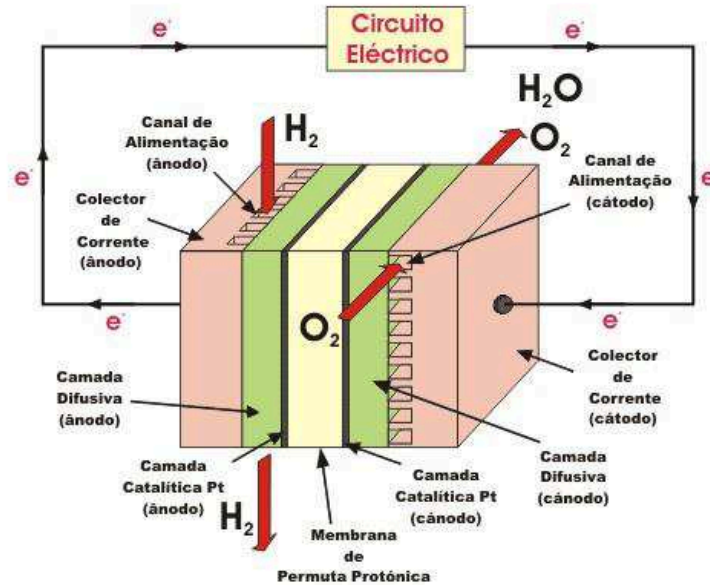


Figura 14 - Célula a combustível de hidrogênio

Fonte: <http://celulasdecombustivel.planetaclix.pt/oquesao.html>

As células a combustível de hidrogênio poderão torna-se a principal fonte de energia para aeronaves de pequenos portes ou até mesmo substituir os APUs em aeronaves maiores, para serem totalmente elétricos.

Já estudos e voos experimentais com esse tipo de combustível na aviação geral, aeronaves totalmente elétricas. Estudo de viabilidade para o uso de células a combustível em aeronaves de transporte.

Primeiramente definir quais sistemas deverão ser contemplados, pois essa etapa é fundamental, pois define o ciclo de trabalho do sistema de célula e consequentemente o seu *design*.

Exemplo de sistemas que poderão ser substituídos:

- Os *flaps* das asas que são controlados hidráulicamente, o atuador hidráulico poderá ser substituído por atuadores elétricos;
- Trem de pouso Principal e auxiliar, tem seu recolhimento e extensão através de atuadores hidráulicos, tanto no sistema normal quanto no sistema de emergência, também poderão ser trocados por atuadores elétricos;
- *Steering* ou sistema de direção de uma aeronave, todo servo assistido por atuadores hidráulico e facilmente trocado por elétricos.

A Figura 15 ilustra o avião totalmente alimentado por célula combustível a hidrogênio.

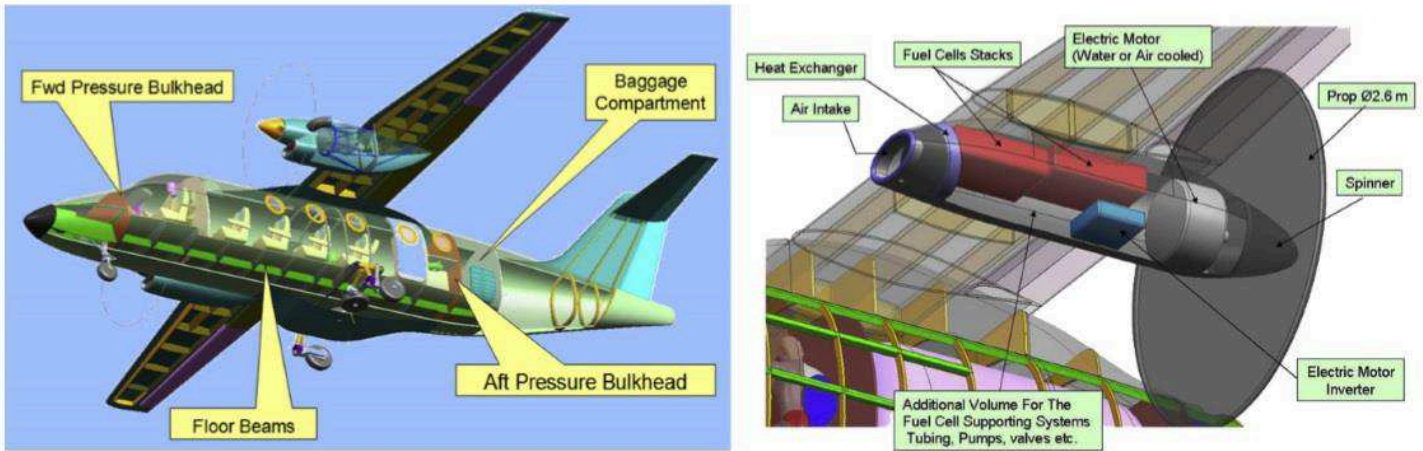


Figura 15 - Avião totalmente alimentado por célula combustível a hidrogênio (ROMEIO *et al.*, 2012)

A Figura 16 ilustra o sistema de célula e onde armazenar o hidrogênio combustível.



Figura 16 - Sistema de células de combustível / sistema de armazenamento de hidrogênio (ROMEIO *et al.*, 2012)

Na aviação de pequeno porte, as células terão mais desenvolvimento do que nos aviões de grande porte, pois as restrições dos órgãos de homologação aeronáutica ainda são mais rígidas, por questão de segurança, mas que no decorrer dos anos com maior investimento e estudos não possa mudar (ROMEIO *et al.*, 2012).

5.5 Gerador de HHO

Geradores de hidrogênio que utilizam a água para gerar esse gás são muitas vezes chamados de células secas ou células molhadas.

Principal diferença entre esses dois tipos de células geradores de HHO reside essencialmente na arquitetura da sua construção e na forma como está permite que as placas que promovem a eletrólise na água, assegurem essa função a 100 % mesmo que o nível de água no depósito fique baixo.

Assim não tem que se preocupar em verificar a cada duas horas se o gerador está com água, mas poderá utilizar o equipamento durante 20 ou 30 horas sem qualquer preocupação.

As placas que promovem a eletrólise da água para extrair o hidrogênio estão permanentemente em contato com água em toda a sua superfície.

A principal diferença é que em uma célula molhada o depósito da água que vai gerar o gás HHO é o próprio corpo do gerador que contém as placas eletrolisadores.

Em uma determinada superfície, deve estar sempre toda em contato com a água para atingir o maior número de moléculas de água e assim produzir gás de hidrogênio na sua máxima capacidade de produção.

Com o passar das horas e quanto mais gás vai sendo produzido, o nível da água vai descendo porque está transformando em HHO, ou seja, em duas moléculas de hidrogênio e uma de oxigênio todas elas separadas.

Parte das placas eletrolisadores que antes estavam cem por cento mergulhadas na água, passam agora a ficar parte delas descoberta e diminuindo a produção do gás, até chegar ao zero.

As células secas de HHO têm uma arquitetura em que o depósito da água é separado do gerador e o próprio depósito tem uma entrada e uma saída de água, ambas conectadas ao gerador de hidrogênio por tubos, além da entrada para reabastecimento de água. Assim, a água circula do depósito para o gerador e retorna ao depósito sucessivamente, permitindo que as placas eletrolisadores estejam cem por cento mergulhadas e em contato com a água, em 24 horas de utilização contínua, mesmo que a água no depósito esteja a cinquenta por cento. Isso permite à célula geradora de HHO produzir sempre a quantidade de gás máxima da sua capacidade de produção e tranquiliza o utilizador que não necessita de estar constantemente a reabastecer a célula.

Geradores de hidrogênio de grande porte, a nível industrial, são baseados nos mesmo princípios das pequenas células portáteis usadas em caminhões e em automóveis e por isso são utilizadas células secas também.

Outra razão pela qual se utilizar as células secas é que essas não aquecem tanto como as células molhadas pelo fato da água estar em constante circulação e movimento e isso já comprovou que permite uma melhor eficiência a gerar gás HHO.

O PORQUE CHAMADO DE HHO:

Gás de Brown, gás hidróxi ou gás HHO, são nomes dados ao gás hidrogênio e oxigênio produzido juntos em um eletrolisador. A mistura estequiométrica é relacionada com a da água. O gás de Brown foi desenvolvido e patentado pelo professor Yull Brown em 1977 com a finalidade de demonstrar a possibilidade de produzir aquecimento através do gás proveniente da água (ALROUSAN, 2010).

O gás hidróxi ou gás HHO é formado por H_2 e O_2 separados por moléculas distintas, em seu estado mono atômico (um único átomo por molécula) gerado pelo processo de eletrólise da água, normalmente com eletrólitos como NaOH, KOH ou aditivos como o NaCl (YILMAZ *et al.*, 2010).

Gás de Brown é a forma gasosa de água, onde as moléculas de hidrogênio e oxigênio não são combinadas, ao invés de gás de H_2O Brown, listado como HHO. Gás de Brown é introduzida na câmara de combustão de um motor para aumentar a eficiência de energia e produzir emissões mais limpas do motor, através da utilização de um componente de passagem de gás de Brown para admissão de ar do motor.

O gás de hidrogênio e de oxigênio, tanto no seu diatômico e estados monoatômicos Brown são usados em uma câmara de combustão para melhorar a eficiência do motor. Gás de Brown é produzido por um eletrolisador que utiliza a eletricidade produzida pela bateria do motor para dividir a água em seus elementos básicos de dois átomos de hidrogênio separados e um único átomo de oxigênio. Como os átomos monoatômicos de hidrogênio e oxigênio se movem através da entrada de ar, alguns dos átomos de reforma e combinam com diatômicas átomos de água.

COMBUSTÃO

A presença de átomos individuais de hidrogênio e oxigênio combinado com outros átomos de hidrogênio e oxigênio dentro da câmara aumenta a explosão do gás que combina com o combustível quando acender velas de ignição. Na combustão tradicional,

átomos de hidrogénio próximas das velas de ignição está acesa e os átomos eletrolisadas toda a câmara inflamar, aumentando a eficiência da câmara de combustão, de acordo com o gás de Brown. Em câmaras de combustão, a eficiência da queima de combustíveis, como a gasolina, GLP e diesel, é aumentada em entre 8 e 35 por cento, dependendo do projeto do motor e do volume de gás utilizado.

EMISSÕES

A redução das emissões de uma câmara de combustão interna é conseguida após a introdução do gás de Brown para a câmara de combustão. O uso de gás de Brown é relatado por gás de Brown para reduzir as emissões de um motor entre 20 e 60 por cento. Após um período de entre 60 e 200 quilômetros de uso, a introdução do gás de Brown começa a limpar o motor e proporcionar um melhor desempenho. Os motores a diesel são geralmente queima mais limpa do que os motores a gasolina, o que significa que os efeitos do gás de Brown são visíveis mais rapidamente nos motores diesel do que gasolina.

CARBURADOR

Para instalar um eletrolisador para empurrar o gás de Brown na câmara de combustão de um motor, o eletrolisador é ligado ao carburador do motor de um lado e recebe energia a partir da bateria utilizada para arrancar o motor. Um carro com gás de Brown funciona como um motor híbrido, combinando os átomos produzidos a partir de água para combinar com o combustível o motor foi projetado para correr.

5.5.1 Aditivos na água

Para geradores com placas muito distantes, a água normal de torneira não irá funcionar; será preciso usar água da chuva ou destilada no lugar. A água destilada, apesar de segura, não é mais recomendada para geradores HHO, pois muitos reconhecem os benefícios de usar água mineral em seu lugar. Não se usa água que contenha cloro de qualquer tipo. Um filtro pode ser necessário para retirar aditivos indesejados. Caso se opte por usar água comum de torneira, os eletrodos frequentemente ficarão marrons e com resíduos devido ao acúmulo de produtos químicos não filtrados.

5.5.2. Quais aditivos que podem colocar para facilitar na eletrólise de HHO?

SODA CÁUSTICA

Também conhecida como hidróxido de sódio, a soda cáustica pode ser encontrada em muitos supermercados em flocos, grânulos ou em soluções de 50 %. Soda, como um aditivo para HHO, deixará os seus eletrodos limpos e sua solução com uma produção ideal de gás por um preço acessível. A soda cáustica pode ser perigosa porque pode corroer o seu gerador se não resfriada. Mas, se armazenada em um recipiente lacrado à vácuo e usada com água destilada, é um poderoso aditivo.

KOH

KOH, ou hidróxido de potássio, é um aditivo poderoso na produção de combustível de hidrogênio. Assim como soda cáustica, o KOH deixará os eletrodos limpos e irá levar a uma taxa de produção de 100 % no seu gerador. A desvantagem do KOH é que é de perigosa operação e não está disponível em todo lugar. Outra opção é carbonato de potássio, que é barato, seguro e é um aditivo efetivo (dependendo do modelo da sua célula), apesar de ser mais efetivo quando misturado com KOH para gerar mais amperes na célula eletrolítica.

ÁLCOOL

Como as células HHO funcionam melhor quando mantidas em temperaturas menores do que 50 ° C o álcool irá funcionar como um líquido anticongelante em climas e estações frias.

BICARBONATO DE SÓDIO

Quando o HHO foi lançado como um conceito, acreditava-se que o bicarbonato de sódio seria o aditivo ideal, mas isso não é verdade. O bicarbonato não quebra o gás, ele na verdade produz monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrogênio, e não irá produzir gás HHO até que todo o carbono seja eliminado da solução. Além disso, você terá que usar o dobro de bicarbonato do que de soda cáustica por conta da estequiometria de reação (KIM; KWON, 2011).

A Figura 17 ilustra de forma esquemático o funcionamento do gerador de hidrogênio (HHO).

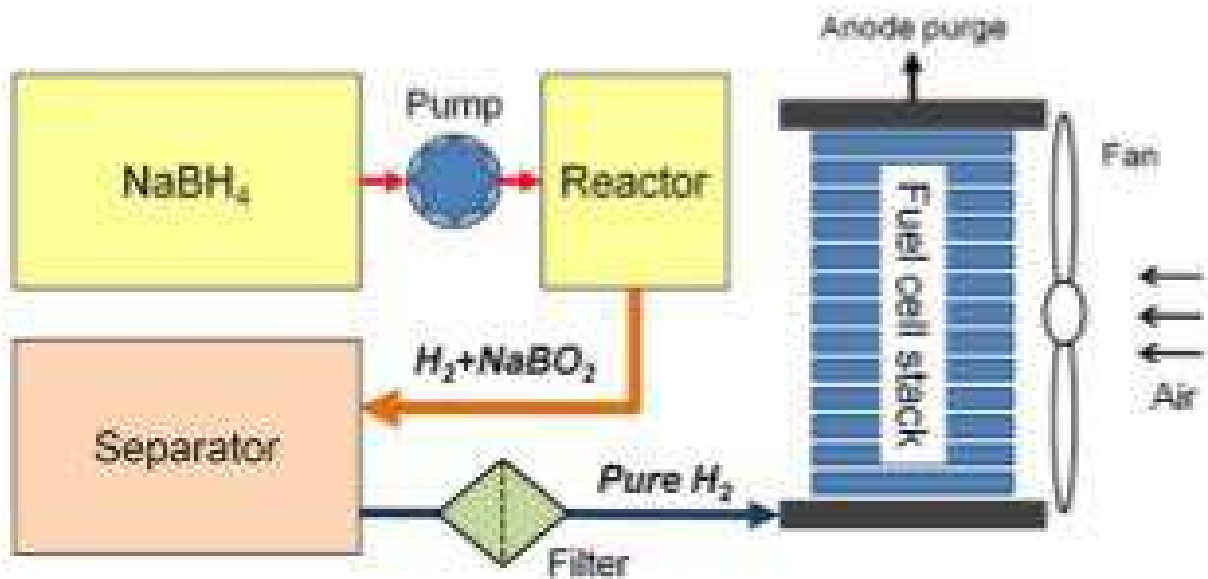


Figura 17 - Gerador de hidrogênio (KIM; KWON, 2011)

Os geradores de HHO podem ser facilmente instalados nas aeronaves de pequenos portes, tais como aeronaves leves esportivas.

6 FUTURO DO HIDROGÊNIO COMO COMBUSTÍVEL AERONÁUTICO

O futuro do hidrogênio como combustível, não será o modo como empregado, mas sim como armazenado e distribuído, evitando acidentes e incidentes. Esse método que captura o gás em microesferas de plástico que se comportam como líquidos, facilitando o transporte e o armazenagem do combustível.

Nessa linha de pensamento surge a empresa britânica Cella Energy que desenvolveu esse tipo de captura em microesferas.

A empresa trabalhou durante quatro anos em pesquisa secreta, feita no Laboratório Rutherford Appleton desenvolvendo e patenteou o sistema de captura do gás de hidrogênio, esse processo de criação utiliza combustível nano-estruturado, criam-se microfibras de hidretos que absorvem o hidrogênio como se fosse esponjas.

As microesferas tipicamente medem cerca de 100 nanômetros. Essas microesferas, quando em grande quantidade, se comportam como se estivessem em fase líquida.

A Figura 18 ilustra a visão microscópica de uma Nanoesfera de hidrogênio.



Figura 18 - Nanoesfera de Plástico de Captura de Hidrogênio

Fonte: <http://cellaenergy.com/our-materials/>

Em longo prazo, o material da Cella Energy (2015) pode ser usado para produzir uma nova fonte de energia de combustível para o transporte de baixa emissão com facilidade de uso e baixo custo, sendo competitivo aos combustíveis fósseis.

7 RESULTADOS

É consenso que para uma futura solução de longo prazo para as preocupações ambientais e a dependência energética, o hidrogênio é uma opção realmente viável.

Embora a combustão de hidrogênio apenas emita NOx e vapor de água, o vapor de água que escapa para a atmosfera contribui para o aquecimento global. O seu efeito em aplicações aéreas pode ser eliminado reduzindo a altitude da aeronave e não produzindo rastros, o que não seria problema em relação à aviação leve esportiva e na maioria das aeronaves remotamente tripuladas.

Hoje com novas tecnologias, como as microesferas (nano tecnologia) de hidrogênio, sendo desenvolvidas para a fabricação, estocagem e transporte, faz com que esse combustível seja mais seguro, portando passíveis de ser utilizado não somente em aeronaves de pequenos portes, mas na aviação em geral.

8 DISCUSSÃO

Na seleção de um motor, seus sistemas e subsistemas e o *design*, são fundamentais em um projeto e desenvolvimento para fabricação de uma aeronave. Como também qual o tipo de combustível a ser utilizado.

O hidrogênio poderá ser o combustível na sua forma gasosa, alimentando o motor juntamente com o combustível primário, trazendo uma economia elevada e uma redução substancial na emissão de poluente.

O hidrogênio foi considerado no passado como combustível alternativo, hoje esse combustível é factível. Novas formas de fabricação fazem com que o hidrogênio seja mais seguro em relação ao querosene aeronáutico (QAV) ou mesmo à gasolina de aviação (AVGAS).

A escolha de célula a combustível (eletrólise) para transformar energia química em energia elétrica, pode ser viável para aviões comerciais auxiliando os comandos primário de voo, substituindo os atuadores servo assistidos, eliminando pesos das aeronaves, como vem estudando a empresa britânica EasyJet (Figura 10).

A célula a combustível de hidrogênio também poderá alimentar motores elétricos em pequenas aeronaves.

Já o gerador de HHO deverá ser mais utilizado na transformação em hidrogênio gasoso e utilizado como combustível auxiliar.

Assim podemos afirmar que em um período curto de tempo, aproximadamente 10 anos teremos o hidrogênio combustível sendo produzido em escala para o uso em aeronaves.

9 CONCLUSÃO

O hidrogénio foi demonstrado ser um combustível muito vantajoso para o futuro da aviação, permitindo a redução das emissões proporcionando ao mesmo tempo um desempenho excepcional. O combustível é inflamável como qualquer outro combustível, embora haja certo folclore associado com hidrogênio que implica o combustível a ter uma elevada qualidade do risco.

Na maioria dos casos, uma comparação dos combustíveis vai mostrar que o hidrogênio é o mais seguro e menos devastador, mais econômico e ecologicamente correto.

9.1 Sugestões de Trabalhos Futuros

Estudos futuro seria o desenvolvimento de novas tecnologias para produção, armazenamento e a distribuição do hidrogênio combustível.

Desenvolver geradores HHO de baixo custo e difundir sua utilização em carros, aviões e principalmente nas residências.

REFERÊNCIAS

AEROVIRONMENTS.

https://www.avinc.com/resources/press_release/global_observer_aerovironments_extreme_endurance_unmanned_aircraft_system_a. Acesso em 20/02/2016, 02h15

AL-ROUSAN, Ammar A. Reduction of fuel consumption in gasoline engines by introducing HHO gas into intake manifold. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 35, n. 23, p. 12930-12935, 2010. doi:10.1016/j.ijhydene.2010.08.144

ANGHEBEN, Antônio A. **Estudo Sobre a Combustão de Blendas de Hidrogênio e Diesel em Motores Ciclo Diesel**. 2013. Monografia (Curso Superior de Tecnologia em Bicombustíveis) – Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2013.

BOEING. <http://www.boeing.com/defense/phantom-eye/>. Acesso em 20/02/2016, 00h30.

BRASIL ESCOLA. <http://brasilecola.uol.com.br/quimica/conceito-numero-oxidacao-nox.htm>. Acesso em 28/06/2016, 02h30.

CBT. 2016. http://www.aviacaopaulista.com/museu_tam/121006_5.htm. Acesso em 20/03/2016, 02h00

CELLA ENERGY LTD. 2015. http://cellaenergy.com/wp-content/uploads/2015/11/ICIS-Chemical-Business_10.19.2015.pdf. Acesso em 06/02/2016, 23h50.

CELLA ENERGY LTD. 2016. <http://cellaenergy.com/cella-wins-icis-innovation-award/>. Acesso em 06/02/2016, 23h15.

DAHL, G.; SUTTROP, F. Engine control and low-NOx combustion for hydrogen fuelled aircraft gas turbines. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 23, n. 8, p. 695-704, 1998. doi:10.1016/S0360-3199(97)00115-8

DLR. http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10203/339_read-8244#/gallery/12337. Acesso em 19/04/2016, 23h50.

EASYJET. **EasyJet reveals concept designs for hybrid plane**. [online]. 2-Fev-2016. Disponível em: <http://mediacentre.easyjet.com/stories/9658>. Acesso em 19/04/2016, 01h45.

ESCOLA DE ENGENHARIA AERONÁUTICA DA UNIVERSIDADE POLITÉCNICA DE MADRID. <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/c15/Fuel%20properties.pdf>. Acesso em 22/05/2016, 00h30.

- GONÇALVES, Rafael O. **Estudo Teórico e Experimental de uma Célula a Combustível do Tipo PEM Didática**. 2013. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2013.
- KHANDELWAL, B.; KARAKURT, A.; SEKARAN, P. R.; SETHI, V.; SINGH, R. Hydrogen powered aircraft: The future of air transport. **Progress in Aerospace Sciences**, v. 60, p. 45-59, 2013. doi:10.1016/j.paerosci.2012.12.002
- KIM, T.; KWON, S. Design and development of a fuel cell-powered small unmanned aircraft. **Fuel and Energy Abstracts**, v. 37, n. 1, 615-622, 2012. doi: 10.1016/j.ijhydene.2011.09.051
- LEACHMAN, J. W.; JACOBSEN, R. T.; PENONCELLO, S. G.; LEMMON, E. W. Fundamental Equations of State for Parahydrogen, Normal Hydrogen, and Orthohydrogen. **Journal of Physical and Chemical Reference Data**, v. 38, p. 721-748, 2009.
- LEMONS, André L. M. Ciber-rebeldes. Disponível em: <<http://www.facom.ufba.br/pesq/cyber/lemons/rebelde.html>>. Acesso em: 15 jun. 2008.
- MAREK, C. J.; SMITH, T. D.; KUNDU, K. Low Emission Hydrogen Combustors for Gas Turbines Using Lean Direct Injection. In: 41st AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit. **Proceedings of...** AIAA-2005-3776, Tucson, Arizona, July 10-13, 2005.
- OLIVEIRA, Raimundo de. Consumo no Brasil teve aumento de 5,3 % no primeiro semestre. *Gazeta Mercantil*, Belém, 09 de set. 2003. **Energia**, p. A7.
- PETROBRAS.
<http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/gasolina-de-Aviação-GAV- Informacoes-Tecnicas.pdf>. Acesso em 19 /03/2016, 23h00.
- PETROBRAS.
<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/c9b9b18043a79bc7b8b5bfec2d0136c/fispq-avi-gasolina-avgas.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=c9b9b18043a79bc7b8b5bfec2d0136c>. Acesso em 19/03/2016, 23h20.
- PETROBRAS.
<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/0093880043a7ae538c958fecc2d0136c/fisp>

q-avi-querosene-jetal-antiestatica.pdf?MOD=AJPERES. Acesso em 19/03/2016, 23h40.

ROMEO, G.; BORELLO, F.; CORREA, G.; CESTINO, E. ENFICA-FC: Design of transport aircraft powered by fuel cell & flight test of zero emission 2-seater aircraft powered by fuel cells fueled by hydrogen. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 38, n. 1, p. 469-479, 2013. doi:10.1016/j.ijhydene.2012.09.064

SILVA, Fernando H. G. **Obtenção e uso de hidrogênio em célula de combustível para geração de energia limpa de fontes renováveis**. 2013. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Química) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2013.

SOUZA, Líria Alves De. **Combustível Hidrogênio**. Brasil Escola <http://brasilecola.uol.com.br/quimica/combustivel-hidrogenio.htm>. Acesso em 27/06/2016, 23h00.

XU, W.; LI, Q.; HUANG, M. Design and analysis of liquid hydrogen storage tank for high-altitude long-endurance remotely-operated aircraft. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 40, n. 46, p. 16578–16586, 2015. doi:10.1016/j.ijhydene.2015.09.028

YILMAZ, A. C.; ULUDAMAR, E.; AYDIN, K. Effect of hydroxy (HHO) gas addition on performance and exhaust emissions in compression ignition engines. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.35, n. 20, p. 11366-11372, 2010. doi:10.1016/j.ijhydene.2010.07.040