

# Estudos Interdisciplinares: Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Sabrina Passoni Maraviesk

(Organizadora)



**Atena**  
Editora

Ano 2018

Sabrina Passoni Maraviesk  
(Organizadora)

# Estudos Interdisciplinares: Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Atena Editora  
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**Revisão:** Os autores

#### **Conselho Editorial**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E82	Estudos interdisciplinares: ciências exatas e da terra e engenharias / Organizadora Sabrina Passoni Maraviesk. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-85107-57-4 DOI 10.22533/at.ed.574181510  1. Ciências exatas e da terra. 2. Engenharia. I. Maraviesk, Sabrina Passoni.  CDD 507
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A obra “Estudos Interdisciplinares Ciências Exatas e da Terra e Engenharias” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, e neste volume, em seus 18 capítulos, apresenta uma diversidade de estudos realizados nas diversas áreas das ciências exatas, da terra e das engenharias.

As Ciências Exatas e da Terra englobam diversas áreas como: a Física, a Matemática, Probabilidade e Estatística, a Química, a Ciência da Computação, a Astronomia, a Geociências e a Oceanografia. Estas áreas têm o importante papel de fornecer a base do conhecimento para as Engenharias e por este motivo, as Ciências Exatas e da Terra, englobam alguns dos campos mais promissores em pesquisas na Ciência, Tecnologia e Inovação.

Atualmente existem mais de trinta opções de formação acadêmica em Engenharia. E as mais comuns dentre elas são: Civil, Elétrica, Agrônômica, Mecânica, Ambiental, Florestal, Sanitária, de Computação, Química, de Alimentos, de Segurança do Trabalho, de Energias, Industrial, Produção, Biomédica, entre tantas outras.

A interdisciplinaridade entre estas áreas é um processo natural e inevitável, pois a formação dos profissionais engenheiros, seja qual for a Engenharia, necessita da relação entre diversas áreas do conhecimento.

O profissional formado em qualquer uma das áreas citadas acima se destaca pela capacidade de saber inovar com base na ciência, utilizando uma ou mais tecnologias. Isso se faz possível se este profissional tiver conhecimento das áreas que envolvam as relações humanas: como gestão, comunicação, liderança, habilidade de trabalho em equipe, empreendedorismo e criatividade. Atualmente não basta apenas ser bom em matemática e física, é preciso ser multi-intelectual.

Este volume é dedicado à interdisciplinaridade nas diversas áreas das Ciências Exatas e da Terra e das Engenharias, pois o mercado atual exige uma revolução tecnológica e cabe a nós pesquisadores, das diversas áreas, buscarmos conhecer as demandas atuais para promover essas inovações de forma interdisciplinar, e não isoladamente. Neste sentido, esta obra foi dividida em cinco áreas: Administração, Agronomia, Engenharia Civil somado à Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Elétrica e Ensino.

Na área de Administração, o leitor identificará a interdisciplinaridade entre gestão e planejamento ambiental de áreas urbanas destacando atividades econômicas que são potenciais poluidores, buscando assim, inovação na área de Engenharia Mecânica para minimizar danos ambientais. E ainda, que para entender o comportamento do consumidor para um determinado produto, neste caso, a carne bovina se faz necessário o conhecimento da área de Alimentos e Produção Industrial.

Na Agronomia, métodos e programas estatísticos são utilizados para mostrar que a população de nematódeis varia com propriedades físicas do solo. Em outro estudo, mostra-se a forte relação da agronomia com os conhecimentos de química quando

trata-se da eficiência de uso de Nitrogênio ou da sua remobilização no cultivo do arroz. Na quantificação da perda de solos de uma bacia Hidrográfica é possível identificar a interdisciplinaridade com a matemática e a geociências.

A interdisciplinaridade na Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo é ainda mais acentuada, principalmente no que diz respeito à utilização da matemática, química, física, geociências, tecnologias, gestão e sustentabilidade. Nos estudos, verifica-se que é possível propor soluções ambientais por meio de estudos alternativos, como por exemplo, o uso do bagaço de cana-de-açúcar incorporado à liga asfáltica de borracha, uso de radar de penetração no solo para análise de revestimentos asfálticos, manejo sustentável das águas pluvias no meio urbano, utilização de ferramentas de análise multicritério na concepção de sistemas de abastecimento de água provinda de corpos hídricos subterrâneos, qualidade da água e otimização dos projetos arquitetônicos e o crescimento populacional, planejamento e drenagem urbana.

Na Engenharia Elétrica questões bastante atuais são abordadas a fim de conduzir os pesquisadores à tecnológicas sustentáveis, como é o caso do uso do hidrogênio como combustível e a reciclagem de placas de circuito.

Por fim, a área de Ensino que, dentre todas é a mais interdisciplinar de todas as outras áreas. Nesta, são abordadas algumas questões como motivação e a importância da metodologia adotada em sala para se trabalhar o ensino-aprendizagem nas engenharias, licenciaturas e tecnologias.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos nas Ciências Agrárias, os agradecimentos dos Organizadores e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes, professores e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias promovendo a interdisciplinaridade nas diferentes áreas das Ciências Exatas e da Terra e das Engenharias.

Sabrina Passoni Maravieski

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DO PERFIL POLUIDOR DAS ATIVIDADES INDUSTRIAIS INSTALADAS NOS MUNICÍPIOS DE MARINGÁ, PAIÇANDU E SARANDI NO PERÍODO DE 2000 A 2015.	
<i>Eloah Maria Machado Davantel</i>	
<i>Allan Barbeiro Modos</i>	
<i>Heloisa Helena da Silva Machado</i>	
<i>Júlio César Dainezi de Oliveira</i>	
<i>Silvia Luciana Fávaro</i>	
<i>Wagner André dos Santos Conceição</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>15</b>
ATRIBUTOS CONSIDERADOS POR CONSUMIDORES PARA A COMPRA DE CARNE BOVINA – ESTUDO DE CASO COM UNIVERSITÁRIOS DE CAMPO MOURÃO	
<i>Valderice Herth Junkes</i>	
<i>Andréa Machado Groff</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>24</b>
IMPACTO DOS CUSTOS DE TRANSAÇÃO NA GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DA INDÚSTRIA NAVAL: ESTUDO DE CASO EM UM ESTALEIRO CEARENSE	
<i>Carlos David Pedrosa Pinheiro</i>	
<i>Priscila Maria Barbosa Gadelha</i>	
<i>Maxweel Veras Rodrigues</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>40</b>
AVALIAÇÃO DA POPULAÇÃO DE NEMATÓIDES DE VIDA LIVRE E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO EM CULTIVO DE ADUBOS VERDES	
<i>Erinaldo Gomes Pereira</i>	
<i>Amanda Elisa Marega</i>	
<i>Nágila Maria Guimarães de Lima Santos</i>	
<i>Cássia Pereira Coelho Bucher</i>	
<i>Ricardo Luiz Louro Berbara</i>	
<i>Luiz Rodrigues Freire</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>48</b>
PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA DE REMOBILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO DE MUTANTES DE ARROZ osap18	
<i>Cássia Pereira Coelho Bucher</i>	
<i>Erinaldo Gomes Pereira</i>	
<i>Andressa Fabiane Faria de Souza</i>	
<i>Carlos Alberto Bucher</i>	
<i>Manlio Silvestre Fernandes</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>53</b>
QUANTIFICAÇÃO DA PERDA DE SOLOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAPÓ UTILIZANDO A EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS	
<i>Diogo Yukio Uema</i>	
<i>Laine Milene Caraminan</i>	

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>64</b>
ANÁLISE COMPARATIVA DA DENSIDADE MÁXIMA TEÓRICA (DMT) DE UMA MISTURA ASFÁLTICA COM A INCORPORAÇÃO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR POR MEIO DO MÉTODO RICE	
<i>Arthur Pereira Neto</i> <i>Allan Barbeiro Modos</i> <i>Jesner Sereni Ildefonso</i> <i>Ronan Yuzo Takeda Violin</i>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>74</b>
LEVANTAMENTO DE SEÇÕES COM EMPREGO DO RADAR DE PENETRAÇÃO (GPR) NA RODOVIA BR-153-ANÁPOLIS-GO	
<i>Antonio Lázaro Ferreira Santos</i> <i>Welitom Rodrigues Borges</i> <i>Isabela Resende Almeida</i> <i>Lucas Pereira Gonçalves</i> <i>Rafael Pereira Lima</i> <i>Rafael Araujo Rocha</i>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>82</b>
MANEJO SUSTENTÁVEL DAS ÁGUAS PLUVIAIS NO MEIO URBANO: O CASO DE BRASÍLIA	
<i>Tereza Cristina Esmeraldo de Oliveira</i> <i>Maria do Carmo de Lima Bezerra</i>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>96</b>
MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	
<i>Daniel Cordeiro Ferreira</i>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>109</b>
OTIMIZAÇÃO DO PROJETO ARQUITETÔNICO CF40-G1 DO PROGRAMA DE ACELERAÇÃO DO CRESCIMENTO – PAC EXECUTADO PELA COHAPAR	
<i>Allan Barbeiro Modos</i> <i>Arthur Pereira Neto</i> <i>Eloah Maria Machado Davantel</i> <i>Heloisa Helena da Silva Machado</i> <i>Berna Valentina Bruit Valderrama</i> <i>Júlio César Dainezi de Oliveira</i>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>122</b>
PLANOS DIRETORES DE DRENAGEM URBANA: CONCEPÇÃO E CENÁRIO ATUAL	
<i>Bruna Forestieri Bolonhez</i> <i>Bárbara Lorrayne da Silva Motta</i> <i>Paulo Fernando Soares</i>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>132</b>
QUALIDADE DA ÁGUA NAS TRÊS BACIAS MAIORES (70%) CONTRIBUINTES DA BAÍA DE GUANABARA: GUAPI-MACACU, CACERIBU E IGUAÇU-SARAPUÍ	
<i>Ana Carolina Cupolillo Bruno Morena</i> <i>David Neves de Oliveira</i>	

*Herman de Castro Lima Neto  
Hélder Martins Silva  
Emmanoel Vieira da Silva-Filho  
Elisamara Sabadini Santos  
Edison Dausacker Bidone*

**CAPÍTULO 14 ..... 150**

O HIDROGÊNIO COMO VETOR ENERGÉTICO

*Diego Rafael Laurindo  
Oswaldo Hideo Ando Junior*

**CAPÍTULO 15 ..... 167**

RECICLAGEM DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO: UM ESTUDO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS PARA RECUPERAÇÃO DE METAIS

*Maria do Socorro Bezerra da Silva  
Raffael Andrade Costa de Melo  
André Luis Lopes Moriyama  
Carlson Pereira Souza*

**CAPÍTULO 16 ..... 180**

ANÁLISE DO PERFIL, MOTIVAÇÃO, SATISFAÇÃO E EXPECTATIVAS DOS ACADÊMICOS DO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIANGULO MINEIRO

*Vinícius Henrique Vivas  
Priscila Pereira Silva  
Luciene Alves  
Geoffroy Roger Pointer Malpass*

**CAPÍTULO 17 ..... 196**

CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL: IMPORTÂNCIA DA APRENDIZAGEM NO CURSO DE LICENCIATURA EM MATEMÁTICA

*Jerry Gleison Salgueiro Fidanza Vasconcelos  
Maria de Lourdes Silva Neta  
Antônio Cícero do Vale  
Erick Dieb Souza*

**CAPÍTULO 18 ..... 207**

UMA FORMA LUDICA DE APRENDER

*Anna Cristina Barbosa Dias de Carvalho*

**SOBRE A ORGANIZADORA..... 215**



## O HIDROGÊNIO COMO VETOR ENERGÉTICO

### Diego Rafael Laurindo

UNIOESTE, Departamento de Engenharia Elétrica  
Foz do Iguaçu - Paraná (Brasil)

### Oswaldo Hideo Ando Junior

UNILA, Instituto Latino-Americano de Tecnologia,  
Infraestrutura e Território  
Foz do Iguaçu - Paraná (Brasil)

**RESUMO:** A necessidade de expansão dos sistemas de geração de energia elétrica para atendimento a crescente demanda ao redor do mundo, encontrou na tecnologia aparato suficiente para tornar a geração distribuída uma realidade, possibilitando, através das fontes sustentáveis, o incremento da produção de energia elétrica sem a necessidade de agressão ao meio ambiente. Nesse contexto, as células a combustível se apresentam como uma tecnologia moderna, sendo uma das apostas para o futuro energético. O avanço da tecnologia permitirá que as células a combustível sejam amplamente utilizadas na geração distribuída, tendo a previsibilidade de produção de energia 24 horas por dia, 365 dias por ano, sendo essa uma das maiores vantagens frente as outras fontes, como solar e eólica. Assim, esse trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre a utilização do hidrogênio como vetor energético, explanando sobre a geração de hidrogênio, os métodos de

armazenamento dessa matéria, sua aplicação em células a combustível e por fim os vários tipos de células a combustível disponíveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hidrogênio, Vetor Energético, Células a Combustível, Fontes de Energia Renovável.

### 1 | INTRODUÇÃO

As conquistas tecnológicas obtidas nas últimas décadas mostram como a evolução dos componentes eletrônicos e das áreas em que os mesmos afetam tem ocorrido mais rapidamente do que se pôde prever. Contudo, os avanços para geração de energia elétrica podem não satisfazer a necessidade tecnológica, isso por questões como tamanho das áreas necessárias para instalação de usinas, valores e tempo de obra para operacionalização das diversas formas já conhecidas para geração de energia. Além disso, sabe-se que as fontes fósseis de energia são finitas e, deste modo, seu preço tende a aumentar ao longo dos anos, conforme sua escassez, tornando necessárias buscas por outras fontes de energia.

Nesse contexto, o hidrogênio se apresenta como o meio mais sustentável de energia, podendo ser utilizado na geração distribuída de energia (ENEGEP, 2011), e assim atender à crescente demanda por energia de modo mais

ágil e sustentável, além disso, de acordo com Marchetti (1990), projeta-se para 2080 uma “Economia do Hidrogênio”, onde 90% da energia será advinda desse elemento.

Contudo, o hidrogênio é um vetor energético, ou seja, não está presente na natureza, todavia, pode ser encontrado com extrema facilidade na superfície do planeta na forma de hidrocarbonetos, isso acaba por elevar o custo de obtenção já que deverá ser obtido de uma fonte primária.

Por outro lado, tecnologias de células a combustível, geração, armazenamento e transporte do hidrogênio já são realidade neste momento.

Assim, este trabalho pretende abordar os processos de geração, armazenamento e transporte do hidrogênio, bem como abordar de maneira mais minuciosa as células a combustível, elementos responsáveis por converter, através de reações eletroquímicas, o hidrogênio em energia elétrica, não emitindo resíduos poluentes ao meio ambiente.

## 2 | O HIDROGÊNIO

De acordo com Vargas et al. ([20--]), em seu estado natural e em condições normais, o hidrogênio é um gás incolor, inodoro e insípido. Estudos demonstram que este elemento possui uma grande capacidade de armazenar energia e, por este motivo, tem sido estudado como fonte renovável de energia elétrica e térmica.

É um elemento encontrado com facilidade no planeta Terra, está presente na água, no ar, nos seres vivos, no petróleo, sobretudo, é altamente inflamável (VARGAS et al., [20--]). Porém, devido a sua densidade muito leve, ele escapa com facilidade da gravidade da Terra e, sendo raro o encontrar, senão na forma de hidrocarbonetos e água.

Desde a descoberta do hidrogênio pontos marcantes ocorreram e muitas expectativas foram e vem sendo criadas, dentre os acontecimentos relevantes podemos citar, o lançamento do primeiro balão movido a hidrogênio, a descoberta da eletrólise da água, criação de células a combustível que funcionam com ar-hidrogênio, a primeira planta solar para produção de hidrogênio, células a combustível para utilização em automóveis e futuramente é esperado que a água substituísse os combustíveis fósseis como fonte primária de hidrogênio.

## 3 | GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO HIDROGÊNIO

Por ser tratar de um vetor energético, o hidrogênio deve passar por um processo de dissociação de uma fonte primária, tal processo dispense uma quantidade de energia. (SANTOS, SANTOS, 2016)

De acordo com Santos e Santos (2016), a energia gerada através do vetor energético hidrogênio será considerada renovável caso a geração seja proveniente de fontes renováveis. A Figura 1 esquematiza quais são as fontes primárias e os processos de obtenção do hidrogênio.

De todos os métodos utilizados para a obtenção de hidrogênio o mais utilizado em escala industrial é a reforma a vapor, e o método utilizado para a geração residencial é o da eletrólise. A seguir serão abordados esses dois métodos.

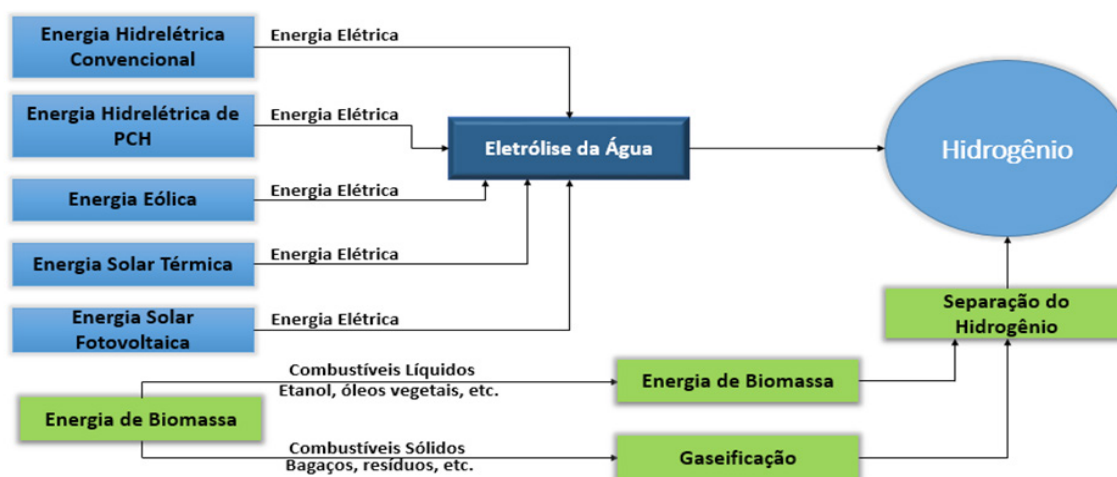


Figura 1 - Fontes primárias e processos de obtenção do hidrogênio

Fonte: Dados do autor

### 3.1 Produção de Hidrogênio via eletrólise da água

A eletrólise é utilizada quando se faz necessário um hidrogênio de maior pureza. É realizada através da separação dos átomos de hidrogênio e oxigênio, esse processo é realizado através da adição de um eletrólito à água, tornando-a condutora e assim conduz-se uma corrente contínua por ela.

De acordo com Longo (2008), a carga elétrica quebra a ligação química entre os átomos de Hidrogênio e Oxigênio.

Santos e Santos (2016), diz que segundo especialistas a obtenção do hidrogênio através da eletrólise não é economicamente viável, pois, o gás obtido é menor do que a energia gasta no processo para obtê-lo.

Segundo Baird, 2011, a melhor maneira de eletrolisar a água seria através da absorção direta da luz solar, porém a água pura não absorve luz, esse problema pode ser resolvido adicionando dióxido de titânio e carbono. Essa mistura resulta em uma eficiência que supera os 8% da energia do sol, pois o carbono passa a absorver radiação na região da luz visível. A vantagem dessa mistura é a produção de hidrogênio com alto grau de pureza, no entanto, o processo deixaria de ser sustentável e se faz necessária uma quantidade de energia muito grande.

De acordo com Botton (2007) o processo de eletrólise é simples, visto que não há muitas etapas, no entanto é um processo de alto custo. Atualmente novos materiais e condições de operações de eletrólise estão sendo pesquisados afim de tornar o processo economicamente viável.

### 3.2 Produção de Hidrogênio via reforma a vapor de gás natural

Aproximadamente 48% do hidrogênio produzido no mundo se faz por meio da reforma a vapor do gás natural, esse é o método mais comum utilizado na produção industrial. A reforma é definida como a conversão catalítica e endotérmica de um combustível líquido, sólido ou gasoso para um gás combustível (SORDI et al. 2016).

De acordo com SORDI et al. (2016), existem três métodos usados abundantemente na reforma a vapor são: (i) Reforma a vapor, (ii) Reforma a oxidação parcial e (iii) Reforma auto térmica.

O método utilizado depende de suas características e da célula de combustível que irá usufruir os produtos da reforma. Independentemente do método desejado, são necessárias instalações associadas ao reformador que permitam a remoção de diversos elementos químicos, tendo como intuito a utilização desse produto em células a combustível, a remoção das impurezas evitará a contaminação dos componentes das mesmas (SOUZA; SILVEIRA, 2004).

A eficiência desse método é relacionada diretamente com as propriedades físico-químicas do combustível, das pressões e temperaturas dos reagentes, das condições térmicas dos reformados e do fluxo de combustível e da água (SOUZA; SILVEIRA, 2004). Por esses motivos, de acordo com SANTOS, SANTOS (2016) o hidrogênio possível de se aproveitar do gás natural através desse processo está entre 70% e 90%.

Embora possua uma boa eficiência, esse método apresenta desvantagens como, alto custo de produção, aplicável apenas a combustíveis fósseis, logo é não renovável, além de poluir o meio ambiente através do dióxido de carbono.

## 4 | ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE

Como qualquer outro combustível, o aspecto primordial a se considerar para realização do armazenamento do hidrogênio é a segurança. Estudos demonstram que o hidrogênio possui valores iguais ou melhores em comparação a outros combustíveis vindos do petróleo, como gásóleo e gasolina e, claro, é altamente inflamável (BAIRD, 2011).

De acordo com Vargas et al. ([20--]), a baixa densidade do hidrogênio seja no estado líquido ou gasoso, nos resulta também uma baixa densidade de energia. Por isso, um determinado volume de hidrogênio contém menos energia que o mesmo volume de qualquer combustível em condições normais de temperatura e pressão.

Apesar de sua baixa densidade de energia volumétrica, o hidrogênio tem a maior relação energia-peso que qualquer outro combustível (VARGAS et al., [20--]).

Na prática o hidrogênio pode ser armazenado em alta pressão seja no estado líquido em recipientes criogênicos, ou estando quimicamente ligado a metais na forma de hidretos metálicos.

Algumas das principais formas de armazenamento de hidrogênio são (i)

Reservatório de Gás Hidrogênio Comprimido; (ii) Reservatório para Hidrogênio Líquido e (iii) Hidretos metálicos.

#### 4.1 Reservatório de gás hidrogênio comprimido.

O hidrogênio comprimido nada mais é do que o hidrogênio em sua forma gasosa mantido em taques de alta pressão (GAVRILYUK, 2013).

Atualmente esta é a melhor maneira para o fornecimento de hidrogênio em pequena quantidade às indústrias e estabelecimentos que necessitam desse material, não sendo o espaço um fator limitante. É nesse estado que o hidrogênio é usado amplamente nas células de combustíveis de automóveis, ônibus, ou estabelecimentos comerciais, onde o consumo de hidrogênio é baixo e invariável (SANTOS, SANTOS, 2016)

De acordo com Gomes Neto (2016), os tanques de armazenamento possuem formato cilíndrico e suportam altas temperaturas, na faixa de 3600 a 5000 psi.

Gavrilyuk (2013) afirma que o hidrogênio nessas condições tem uma boa densidade energia-peso, mas pouca densidade de energia por volume, e por esse motivo os tanques para armazenamento são grandes, sendo essa a grande desvantagem neste método de armazenamento.

De acordo com Gomes Neto (2016), os cilindros podem ser classificados de quatro tipos diferentes, dependendo do tipo de material do qual são fabricados. Sendo estes:

- **Tipo 1:** Produzidos totalmente de aço ou alumínio;
- **Tipo 2:** Camada fina de alumínio ou aço envolto parcialmente por outro composto – geralmente fibras de carbono – em forma de circunferência;
- **Tipo 3:** Fina camada de aço ou alumínio envolto totalmente por outros compostos como fibra de carbono; e
- **Tipo 4:** Camada de plástico resistente envolto por outro composto também resistente.

#### 4.2 Reservatório para hidrogênio líquido

Para atingir o estado líquido o hidrogênio deve estar abaixo do seu ponto de ebulição ( $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (GOMES NETO, 2016).

No estado líquido, o hidrogênio apresenta como vantagem uma maior facilidade no transporte, pois torna-se possível seu fornecimento em quantidades maiores, e uma capacidade de armazenamento superior por unidade de volume, no entanto, é um processo caro devido à grande quantidade de energia despendida para alcançar a temperatura de  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$  até que ele se liquefaça. Ademais, pode haver perda de 40% da energia contida no hidrogênio, no entanto, é uma maneira atrativa para armazenamento, pois demanda pouco espaço e, desta maneira, é ideal para uso em aviões e veículos, devido ao uso de tanques menores, visto que, em comparação com

a gasolina, um tanque de hidrogênio contendo a mesma quantidade de energia, pode ser de 4 a 10 vezes menor (SANTOS, SANTOS, 2016).

Para Gavriilyuk (2013), nos vários modelos de carros movidos a hidrogênio, o estado líquido é a forma mais utilizada, isto por que sua maior vantagem é que o armazenamento desse elemento em seu estado líquido proporciona aproximadamente 2,6 vezes a energia por unidade de massa como a gasolina.

De acordo com Gomes Neto (2016), diferentemente do hidrogênio comprimido, os tanques de armazenamento para forma líquida operam na faixa de 72 psi, e por isso, não precisam ser altamente reforçados, mas são tanques isolados geralmente com vácuo entre duas camadas.

### 4.3 Hidretos metálicos

O armazenamento do hidrogênio em hidretos metálicos tem funcionamento similar ao de uma esponja absorvendo a água, isso ocorre devido ao fato do hidrogênio não reagir com o metal formando moléculas, e sim, permanecendo no interior da rede cristalina que se expande para incorporar os átomos de hidrogênio. (RIFKIN, 2003).

De acordo com Silva (1981), o armazenamento de hidrogênio em altas pressões e/ou baixas temperaturas não são satisfatórias, isso por necessitarem de instalações especiais e muita energia no processo.

Algumas ligas metálicas possuem a propriedade de formarem hidretos relativamente instáveis, nesse caso torna-se possível o armazenamento de hidrogênio a uma densidade superior ao hidrogênio líquido à temperatura ambiente e a baixas pressões. (SILVA, 1981).

Gomes Neto (2016) afirma que uma das vantagens do armazenamento através dos hidretos metálicos é de que o hidrogênio passa a fazer parte da estrutura química do metal, dessa forma não se faz necessária a aplicação de altas pressões ou de que a matéria esteja em seu estado criogênico.

Atualmente existem muitos tipos de hidretos metálicos e são divididos de acordo com sua capacidade de liberar hidrogênio em alta ou baixa temperatura. Os hidretos de alta temperatura são menos caros, podem absorver mais hidrogênio do que os hidretos de baixa temperatura, no entanto necessitam de uma quantidade significativa de calor para liberar o hidrogênio, já os hidretos de baixa temperatura podem conseguir calor suficiente através de um motor, no entanto, algumas vezes necessitam ser pressurizados, aumentando a complexidade do processo.

De acordo com Gomes Neto (2016), a maior desvantagem dos hidretos não se deve a temperatura e pressão necessárias para liberação do hidrogênio, mas sim a sua baixa densidade de energia.

Segundo Gomes Neto (2016), pode-se citar outras desvantagens relevantes, como: (i) os hidretos devem ser carregados com hidrogênio puro, caso contrário pode haver contaminação do material e perderem a capacidade de armazenamento e (ii) os

hidretos têm estrutura geralmente de forma granular ou em pó, o que possibilita uma grande área para armazenar o gás, isso permite que as partículas sejam suscetíveis ao atrito, o que pode diminuir sua eficiência.

Depois de armazenado em uma das maneiras apresentadas, o hidrogênio pode ser transportado, para tal, deve-se seguir as instruções contidas na NBR 7501 – Transporte terrestre para produtos perigosos, caso este venha a ser transportado por meio de caminhões à lugares remotos ou aplicações de pequena escala.

O hidrogênio em sua forma gasosa pode ser transportado aos locais de consumo através de gasodutos, os quais são semelhantes a uma rede para distribuição de gás natural, em síntese, é um sistema de tubulação, o qual permite a circulação do hidrogênio em sua forma gasosa originando em seu local de produção, com término diretamente no local de uso, geralmente indústrias.

## 5 | APLICAÇÕES DO HIDROGÊNIO

A grande quantidade de hidrogênio em nosso planeta, assim como suas excelentes propriedades, como a quantidade de energia armazenada, aguça o ser humano à utilização desse elemento nos mais diversos processos, por exemplo, nas áreas de saúde, energia, petrolífera entre tantas outras, como apresentado a seguir:

- Combustível térmico: Não é uma aplicação comum, no entanto, essa aplicação pode ser encontrada quando o hidrogênio constitui parte do gás produzido em gaseificadores e reformadores (CAPAZ; MARVULLE, 2006).
- Combustível para transporte: restrito ao meio espacial, esse modelo de aplicação do hidrogênio se aplica aos foguetes e naves espaciais, isso por ser um combustível leve e eficiente, por exemplo, 1 kg de hidrogênio contém três vezes a mais energia do que 1 kg de gasolina.
- Utilização na petroquímica: De acordo com a PETROBRAS, a principal função do hidrogênio no Brasil é o hidrotreatamento de diesel, querosene, óleos lubrificantes, parafinas e nafta (TOLMASQUIN, 2003).

Embora com todas as possíveis aplicações citadas acima, com certeza a que mais se sobressai é a célula a combustível, isso se deve ao fato da possibilidade de geração de energia elétrica através dessa tecnologia. Assim sendo, o próximo tópico tem como objetivo uma abordagem mais minuciosa desta que atualmente é a principal forma de utilização de hidrogênio.

### 5.1 Célula Combustível

Conhecidas pela ciência há mais de 150 anos, as células a combustível são dispositivos capazes de produzir eletricidade de uma forma mais ecológica, praticamente sem emissão de poluentes (BRASIL, 2016).

Os estudos sobre células a combustível (CaC) podem ser considerados antigos, isso por que houve uma paralisação no desenvolvimento dessa tecnologia face aos

avanços em tecnologias derivadas do petróleo. (BRASIL, 2016)

O crescimento exacerbado da população mundial traz à tona a preocupação com a geração de energia para futuras demandas, no Brasil, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) até o ano de 2050 a demanda por energia elétrica deverá triplicar, nesse contexto, temos a instalação de parques eólicos e tantas outras fontes de energia sustentáveis, entre elas o hidrogênio, que poderão suprir tal demanda de maneira a contribuir ao meio ambiente com zero de emissão de gases poluentes.

No Brasil, a utilização destas células como sistema estacionário para geração de energia poderá, devido ao grande potencial hidroenergético, ser viável em locais remotos de baixa densidade populacional (BRASIL, 2016).

### 5.1.1 Princípio de Funcionamento da Célula Combustível

O processo comum de geração de energia em uma termoelétrica é composto pelas etapas apresentadas Figura 3.

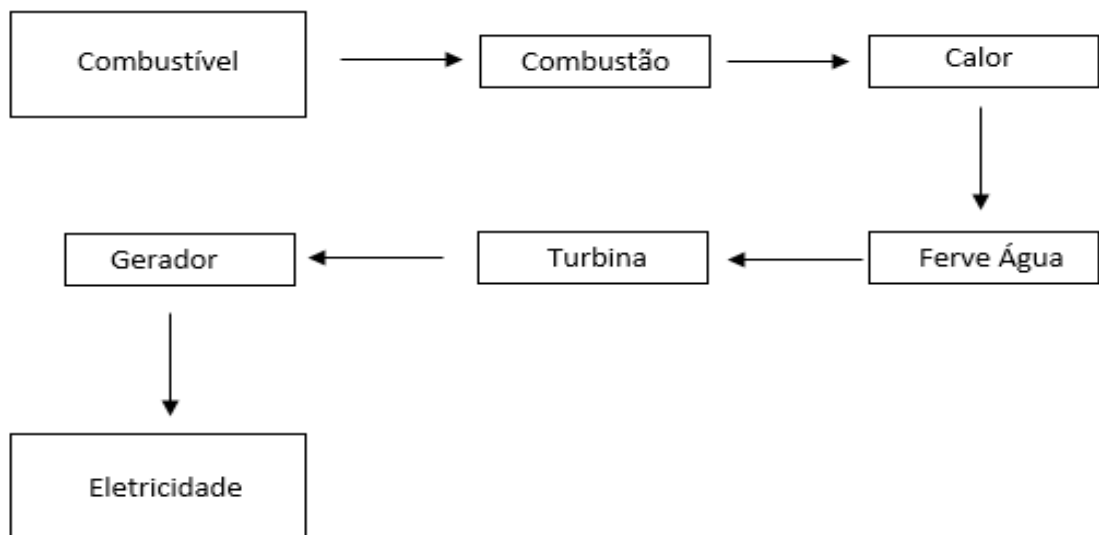


Figura 3 - Etapas para geração de energia em sistema termoelétrico.

Fonte: Dados do autor

Todas essas etapas deixam de existir quando a geração de energia é feita através da utilização das células a combustível, sendo a eletricidade gerada em apenas uma etapa, a qual ocorre através da combinação de reagentes químicos (geralmente hidrogênio e oxigênio), gerando corrente contínua por meio das reações eletroquímicas que ocorrem no interior da célula (BAIRD, 2011).

Ainda, de acordo com Baird (2011), as células a combustível têm eficiência de 80%, podendo ser ampliada caso o calor gerado pela célula no ciclo de geração de energia seja reutilizado no processo.

O funcionamento destas células, como pode ser observado na Figura 4, consiste na decomposição do gás hidrogênio em átomo de hidrogênio no ânodo da célula, enquanto o oxigênio reage com os átomos de hidrogênio.



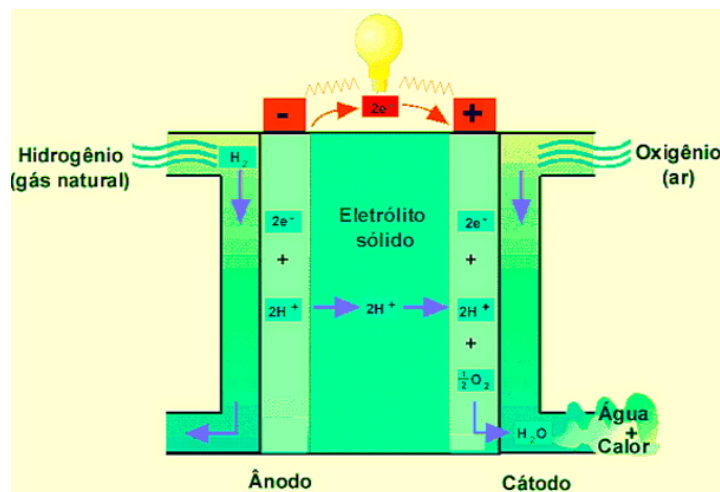


Figura 4 - Célula a combustível

Fonte: Brasil escola

Diferentemente das baterias convencionais, as células a combustível não armazenam energia, apenas transformam o hidrogênio e oxigênio através de uma reação eletroquímica em água, energia e calor. Deste modo não há qualquer emissão de poluente à atmosfera, como ocorre nos métodos de geração de energia que utilizam combustíveis fósseis, estes emitem óxido de enxofre, monóxido de carbono, hidrocarbonetos, materiais particulados, entre outros que contribuem com o aquecimento global (PINTO, 2014).

As partes básicas de uma célula a combustível são seus terminais ânodo, cátodo, eletrólito, catalisador e um módulo conhecido como “conjunto” (BAIRD, 2011).

- **Ânodo:** Polo negativo da CaC, local onde ocorre a oxidação do hidrogênio gasoso, os íons  $H^+$  dessa reação são levados via eletrólito até o cátodo, os elétrons advindos dessa reação chegam ao cátodo por um circuito paralelo, resultando em uma corrente elétrica.
- **Cátodo:** Polo positivo da CaC, recebe os íons  $H^+$  oriundos do ânodo, esses íons então reagem com o oxigênio e com os elétrons que circulam pela corrente externa, o resultado dessa reação é a água.
- **Catalisador:** Material que facilita reações entre oxigênio e hidrogênio, usualmente feito de pó de platina de alta área superficial suportada em papel de carbono poroso ou tecido. Dessa maneira é possível maximizar a área superficial da platina seja exposta ao hidrogênio e ao oxigênio. A face do catalisador fica exposta à membrana condutora.
- **Eletrólito:** Membrana responsável por transportar os íons  $H^+$  do ânodo para o cátodo. Essa membrana é um isolante elétrico.

Portanto, dessa forma torna-se possível a geração de energia sem a emissão de poluentes, vale ressaltar que, as células a combustível são destinadas apenas a geração de energia e não armazenamento, como no caso de pilhas e baterias. De acordo com Contadini (2002), são características desejáveis da placa: (i) Boa condutividade eletrônica e térmica; (ii) Impermeabilidade ao hidrogênio, oxigênio e água; (iii) Resistência mecânica, necessária para suportar a compactação; (iv)

Neutralidade química; (v) Baixo custo; (vi) Resistência à temperatura de operação da célula; e (vii) Pouca espessura, o que possibilita canais de fluxo gasosos de ambos os lados, sem que ocorram vazamentos externos. Na Figura 5 é apresentada a célula combustível e suas partes constituintes.

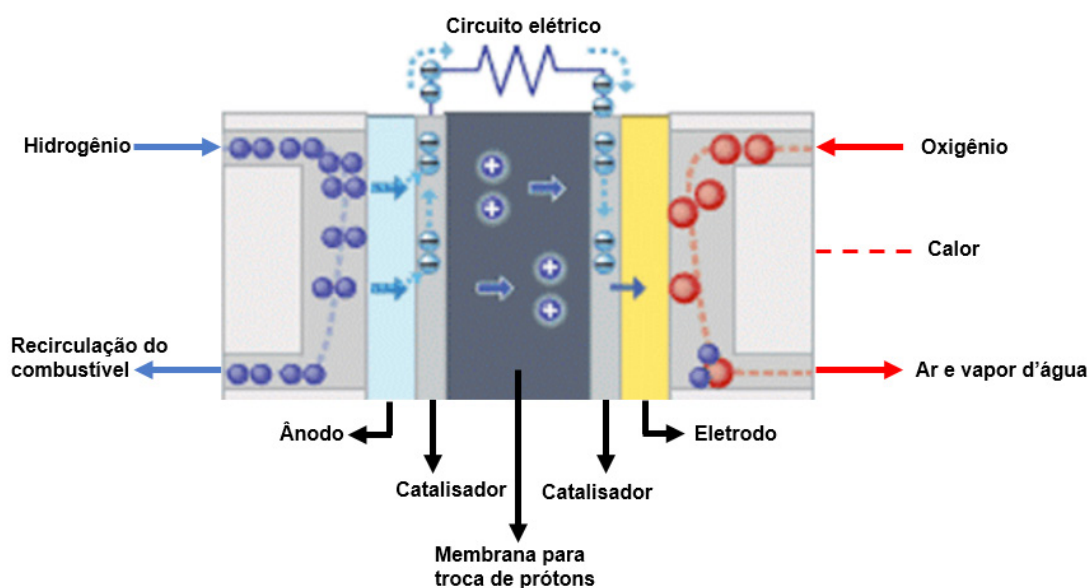


Figura 5 – Demonstrativos das partes constituintes da célula a combustível

Fonte: Lenz (2013)

## 5.2 Tipos de células a combustível

Existem vários tipos de células a combustível e muitos ainda em estágio de desenvolvimento, da mesma maneira, alguns modelos podem ser abandonados por fatores limitadores à sua utilização, como é o caso do modelo AFC, o qual teve suas pesquisas interrompidas devido a sua sensibilidade a impurezas no hidrogênio e também a problemas de durabilidade. Outros, no entanto, continuam sendo pesquisados em ritmo acelerado, é o caso dos modelos PEM, SOFC, PAFC e MCFC, os quais vem sendo comercializados (PINTO, 2014).

A classificação das células a combustível dá-se através do tipo de eletrólito e a temperatura na qual operam.

### 5.2.1 Célula de Combustível Alcalina (AFC)

Modelo pioneiro, foi utilizado em missões aeroespaciais tripuladas, teve suas pesquisas interrompidas devido à alta sensibilidade as impurezas do hidrogênio, o que prejudicava seu funcionamento. A eficiência desse modelo pode alcançar 60%, além da sua capacidade de funcionar em diversas temperaturas (LOPES, 2009). Na Figura 5 é apresentada a célula combustível e suas partes constituintes.

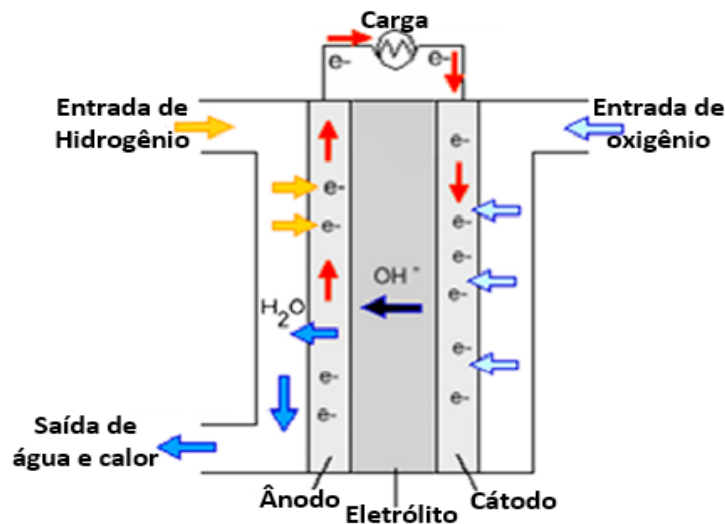


Figura 6 – Demonstrativo da Célula a Combustível Alcalina (AFC)

Fonte: Vaghari et al. (2013)

### 5.2.2 Célula a combustível do tipo ácido fosfórico (PAFC)

De acordo com Lopes (2009) esse é o modelo que possui seu processo de pesquisa mais avançado. Através da utilização de hidrogênio advindo da reforma de um combustível e ar como reagente pode operar em temperaturas da ordem de 200°C, com pressões de 8 atm, isso é possível graças a estabilidade relativa do ácido fosfórico, a qual é elevada em comparação com outros ácidos comuns.

Muito empregadas em plantas energéticas de 50 a 200 kW, no entanto, algumas plantas com capacidades maiores, na faixa de 1 a 5 MW já foram construídas com esse tipo de células a combustível.

Empresas como UTC Fuel Cell, com sede nos EUA além de Toshiba Corporation, Mitsubishi Electric Corporation e Fuji Electric Corporation no Japão são atualmente as principais fabricantes deste tipo de CaC.

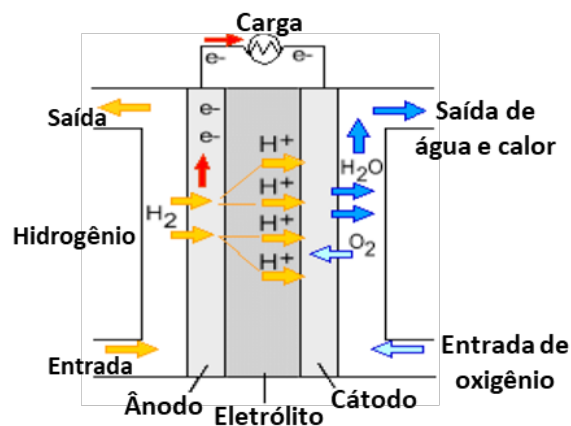


Figura 7 – Demonstrativo da Célula a Combustível do tipo ácido fosfórico (PAFC)

Fonte: Ghose, M. (2012)

### 5.2.3 Célula a combustível do tipo carbonato fundido (MCFC)

Conhecidas como a segunda geração de células a combustível, esse modelo funciona na faixa de temperatura de 600 a 700 °C, a reforma do combustível ocorre na própria célula, deste modo dispensa um reformador externo (LOPES, 2009).

O fato de operar em temperaturas maiores faz com que as usinas geradoras de energia obtenham do calor excedente aproximadamente 60% de eficiência nos casos onde o combustível usado é o gás natural (LOPES, 2009).

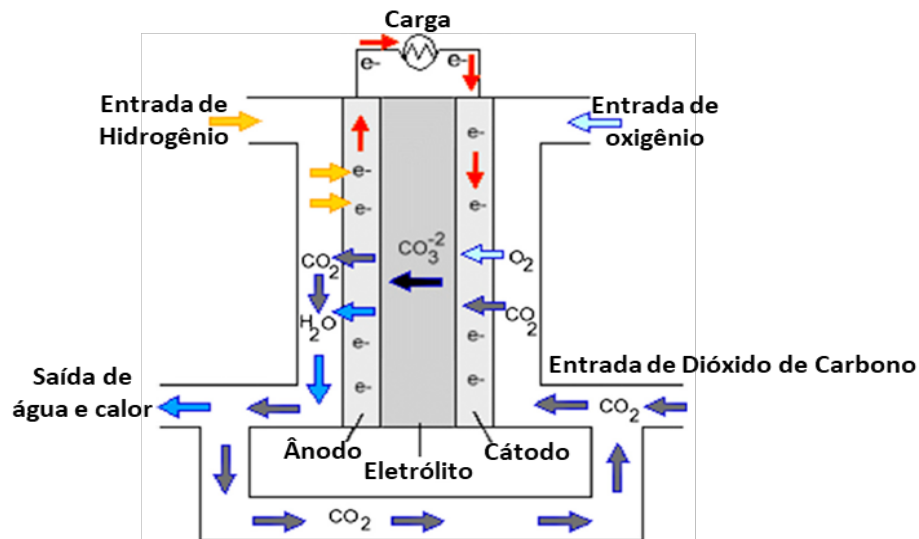


Figura 8 – Demonstrativo da Célula a Combustível do tipo carbonato fundido (MCFC)

Fonte: Vaghari et al. (2013)

### 5.2.4 Célula a combustível do tipo óxido sólido (SOFC)

Possuindo alta eficiência, esse modelo compõe a segunda geração de CaC, possuindo a maior tendência de utilização à geração de eletricidade a partir das células a combustível (LOPES, 2009).

Tal célula dispensa a utilização de reformadores externos, assim como o MCFC e, portanto, os combustíveis utilizados são gás natural, álcool e gasolina, isso porque aceita tanto hidrogênio como monóxido de carbono, sendo essa considerada sua grande vantagem (LOPES, 2009).

Em contrapartida, a alta faixa de temperatura na qual trabalha, entre 800 e 1000°C, sendo o mínimo necessário 650°C, exige um tempo elevado para que ocorra a queima de combustível de modo a atingir tal temperatura, não sendo um problema para usinas de geração de energia, porém tornando-se inviável para utilização no meio automobilístico (LOPES, 2009).

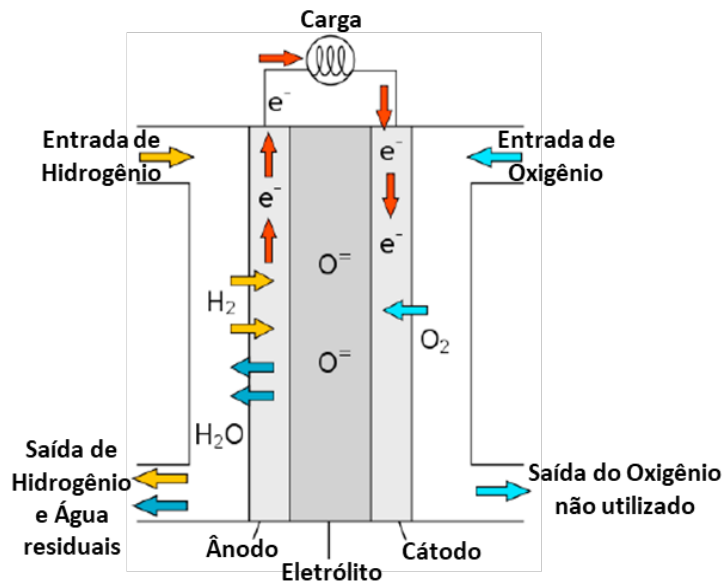


Figura 9 – Demonstrativo da Célula a Combustível do tipo óxido sólido (SOFC)

Fonte: Vaghari et al. (2013)

### 5.2.5 Célula a combustível do tipo membrana de troca de prótons (PEMFC)

Com representação esquemática igual ao da AFC, essa célula é capaz de operar em temperaturas menores que 100°C, isso porque existem limitações acerca do polímero utilizado na membrana e pela sua necessidade de hidratação (CAPPADONIA et al., 2000).

Essa célula pode funcionar também com combustíveis alternativos, células de combustíveis indiretas, esses deverão ser convertidos em hidrogênio antes de sua utilização pela célula, por exemplo, metano, propano, etanol, entre outros (CAPPADONIA et al., 2000).

Muitas empresas estão investindo nesse modelo de CaC, como exemplo, atualmente temos veículos de empresas americanas, Ford e GM, e japonesas Toyota e Honda, fazendo uso dessas células como alternativa aos motores tradicionais de combustão interna. Isso somente é possível por características únicas desse modelo, como partida rápida, capacidade de operação em baixas temperaturas, não utilizar membrana líquida. Comercialmente, setores além do automobilístico investem veementemente para desenvolvimento de produtos sob a utilização dessas células, é o caso do setor de eletrônicos portáteis (LOPES, 2009).

### 5.2.6 Célula a combustível do tipo metanol direto (DMFC)

No princípio este modelo possuía baixa eficiência, em torno de 25%, resultando na interrupção de seu desenvolvimento nos anos 90, no entanto, nos últimos 15 anos, devido a evolução da tecnologia tornou-se possível a elevação dessa eficiência a 40%, com capacidade de geração de potência 20 vezes maior em face a conseguida

no passado. Indicada para os casos onde a energia é mais importante que a potência, desta forma, eletrônicos como celulares e laptops são o foco desta tecnologia (LOPES, 2009).

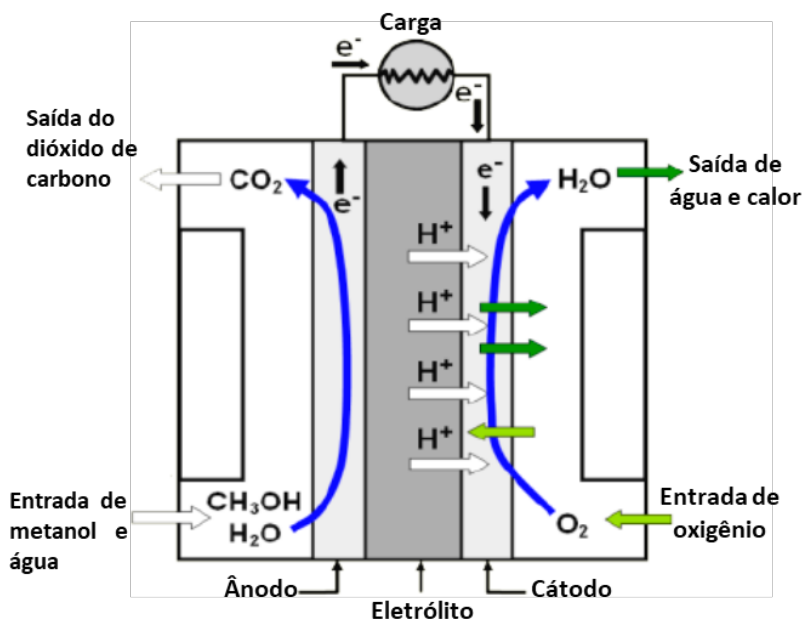


Figura 10 – Demonstrativo da Célula a Combustível do tipo metanol direto (DMFC)

Fonte: Nguyen, et al. 2012

Como mencionado em Lopes (2009), esta célula realiza utilização direta do metanol como vetor de hidrogênio, desta forma não há necessidade do emprego de um reformador externo, sendo esta uma de suas vantagens. Ademais, funciona em temperaturas consideradas baixas, entre 50 e 100 °C, tornando este tipo de CaC ideal para aplicações de pequeno e médio porte.

A Tabela 1 tem como objetivo uma melhor visualização dos diversos tipos de células a combustíveis, seguido por suas vantagens e desvantagens.

Tipo	Eletrólito	Faixa de Operação (°C)	Vantagens	Desvantagens	Aplicações
Alcalina (AFC)	KOH (OH <sup>-</sup> )	60 – 90	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Rendimento de 83%</li> <li>•Alta eficiência</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Sensível a CO<sub>2</sub>,</li> <li>•Gases ultrapuros e sem reforma do combustível.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Espaçonaves</li> <li>•Aplicações militares.</li> </ul>
Membrana (PEMFC)	Membrana (H <sup>+</sup> )	80 - 90	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Rendimento de 60%</li> <li>•Alta Eficiência</li> <li>•Operação flexível.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Custo da membrana.</li> <li>•Fácil contaminação do catalisador (CO).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Veículos</li> <li>•Estacionária</li> <li>•Espaçonaves</li> </ul>
Ácido fosfórico (PAFC)	O <sup>+</sup>	160 - 200	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Em maior estágio de desenvolvimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Controle da porosidade, sensível, corrosível.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Estacionária</li> <li>•Cogeração</li> </ul>

Carbonato fundido (MCFC)	Carbonatos Fundidos	650 – 700	•Tolerância a CO	•Problema de materiais, necessidade de reciclagem de CO <sub>2</sub> , difícil controle.	•Estacionárias •Cogeração
Cerâmicas (SOFC)	Oxido Sólido	800 - 900	•Alta eficiência na reforma do combustível	•Problemas de materiais, expansão térmica.	•Estacionário •Cogeração

Tabela I - Tipos de células a combustível

Fonte: Pinto, 2014

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O hidrogênio como vetor energético deixou de ser “assunto do futuro” há algum tempo e, como demonstrado nesse artigo, tecnologias para sua produção, armazenamento e transporte tornam-se cada vez mais presentes em pesquisas e já faz parte de nossa realidade.

Atualmente o maior desafio para inserir o hidrogênio como vetor energético e soma-lo na geração distribuída é o alto custo das tecnologias de produção das células a combustível, esse mesmo empecilho se coloca frente a infraestrutura necessária à sua utilização.

Ainda que os custos sejam elevados, o desenvolvimento dessas tecnologias tem sido incentivado pelos governantes de praticamente todas as nações desenvolvidas. Além disso empresas privadas também demonstram interesse na utilização desse como combustível desde automóveis até ônibus espaciais. De acordo com, ENGEPE (2011) a célula a combustível de hidrogênio pode também oferecer vida útil muito mais operacional do que as baterias elétricas e, a mesma energia alta específica de motores de combustão.

Mesmo diante de tantos obstáculos, a introdução da “Economia do Hidrogênio” faz parte da evolução natural, a qual se iniciou pela madeira, seguida por carvão, e atual “Economia do Petróleo”, evoluindo sempre para fontes primárias de energia com menor quantidade de carbono e respeitando os limites da natureza.

Por fim, com a abundância de hidrogênio na natureza, teremos, com a inserção da economia do hidrogênio, pela primeira vez uma democratização das fontes de energia, que seguramente gerará mais progresso e menos tensões políticas RIFIKIN (2003).

## REFERÊNCIAS

ENGEPE – Encontro Nacional de Engenharia de Produção, XXXI., 2011, Belo Horizonte. **O uso do hidrogênio como fonte energética.** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2011. 13 p. Disponível em: < <https://bit.ly/2KpaQiv> >. Acesso em: 25 mar. 2017

BAIRD, C.; CANN, M.; **Química Ambiental**, Porto Alegre, 2011.

BOTTON, J. P. **Líquidos iônicos como Eletrólitos para Reações Eletroquímicas.** 2007, 174 pag.

TESE (Ciências dos Materiais).

BRASIL. Everton Bonturim. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP. **Sustentabilidade: A tecnologia do Hidrogênio na geração de energia elétrica**. 2011.

CAPPADONIA, M., STIMMINS, U., KORDESCH, K. and OLIVEIRA, J.C., 2002, **Fuel Cells, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**, John Wiley & Sons, Inc.

CAPAZ, Rafael Silva; MARVULLE, Valdecir. **Arte da tecnologia do hidrogênio - Review**. 2006. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022006000100017&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022006000100017&script=sci_arttext)>. Acesso em: 25 mar. 2018.

CONTADINI, F. **P&D e o Estado-da-Arte de Células a Combustível na América do Norte I** Workshop Internacional de Células a Combustível, 2002

GAVRILYUK, Alexander. **Hydrogen Energy for Beginners**. Boca Raton, FL: Pan Stanford, 2013. 328 p. (9789814364775).

GOMES NETO, Emilio Hoffmann. **Armazenamento de Hidrogênio: Conteúdo de Célula a Combustível**. 2016. Disponível em: <[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/celula\\_combustivel/armazenamento\\_de\\_hidrogenio.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/celula_combustivel/armazenamento_de_hidrogenio.html)>. Acesso em: 25 mar. 2018.

LENZ, André Luis. **Como uma Célula de Combustível e o Hidrogênio Funcionam?** 2013.

LOPES, D. G.; **Análise técnica e econômica da inserção da tecnologia de produção de hidrogênio a partir da reforma de etanol para geração de energia elétrica com células a combustível**, Campinas, 2009.

LONGO, V. A. M. et al. **Produção Biológica de Hidrogênio. Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos**. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, setembro de 2008.

PINTO, Carolina Ferreira. **Estudo sobre o uso de células a combustível movida a hidrogênio solar nas residências**. 2014. 280 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

RIFKIN, Jeremy. **A Economia do Hidrogênio**. São Paulo: M. Books, 2003. 300 p

RZAYEVA, M. P.; SALAMOV, O. M. e KERIMOV, M. K. **Modeling to get hydrogen and oxygen by solar water electrolysis**, vol. 26, pp. 195–201, 2001.

SANTOS, Fernando Miguel Soares Mamede dos; SANTOS, Fernando Antônio Castilho Mamede dos. **O COMBUSTÍVEL “HIDROGÊNIO”**. 2016. Disponível em: <[www.ipv.pt/millennium/millennium31/15.pdf](http://www.ipv.pt/millennium/millennium31/15.pdf)>. Acesso em: 25 mar. 2018.

SILVA, Ennio Peres da. **Armazenamento de hidrogênio em hidretos metálicos: os hidretos de ligas de magnésio-níquel**. 1981. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1981. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/278402>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

SORDI, Alexandre, SILVA, Ennio Peres da, LOBKOV, Dmitri D. et al. **Gaseificação de biomassa e célula a combustível: sistema com célula tipo PEMFC**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. Disponível em: <<https://bit.ly/2O1dRnK>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

SOUZA, Antônio C. C. de; SILVEIRA, José L. **Ensinando os princípios básicos para produção de hidrogênio**. 2004. Disponível em: <[http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/15/artigos/01\\_363.pdf](http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/15/artigos/01_363.pdf)>



>. Acesso em: 25 mar. 2018.

VARGAS, Reinaldo Azevedo et al. **Hidrogênio: O vetor energético do futuro?** [20--]. IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Disponível em: < <https://bit.ly/2oOS33J> >. Acesso em: 25 mar. 2018.

Ghouse, M. (2012). **Fuel Cells and Their Applications** 10.13140/RG.2.1.2579.0482.

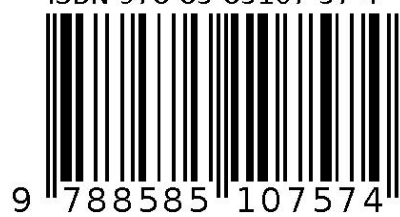
Vaghari, Hamideh & Jafarizadeh, Hoda & Berenjian, Aydin & Anarjan, Navideh. (2013). **Recent Advances in Application of Chitosan in Fuel Cells. Sustainable Chemical Processes.**

Nguyen Viet Long, Cao Minh Thi, Masayuki Nogami and Michitaka Ohtaki (26, Setembro 2012). **Novel Pt and Pd Based Core-Shell Catalysts with Critical New Issues of Heat Treatment, Stability and Durability for Proton Exchange Membrane Fuel Cells and Direct Methanol Fuel Cells**, Disponível em <https://bit.ly/2MWAKMB>. Acesso em: 07 set. 2018.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**SABRINA PASSONI MARAVIESK** Possui graduação em Licenciatura em Física e Mestrado em Ciências/ Física, ambos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Atualmente é doutoranda na área de Ensino de Ciências nas Engenharias e Tecnologias pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. É também professora adjunta do Centro de Ensino Superior de Campos Gerais na cidade de Ponta Grossa. Ministra as disciplinas de: Mecânica dos Fluidos, Fenômenos de Transporte, Mecânica Aplicada, Eletricidade e Magnetismo, Física Atômica e Nuclear, Física da Ressonância Magnética Nuclear, Física das Radiações Ionizantes e Não Ionizantes e Física e Instrumentação Aplicada a Engenharia Biomédica; nos cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia Civil, Tecnologia em Radiologia, Pós -Graduação em Segurança do Trabalho e Imagenologia. Já atuou como professora de Ensino Médio em escolas pública e particular ministrando aulas de Física e Robótica.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-57-4



9 788585 107574