

Pesquisa e desenvolvimento em Células a Combustível

Fábio Bellot Noronha
Instituto Nacional de Tecnologia
Laboratório de Catálise

Sumário

- ❶ **Revisão da Tecnologia de célula a combustível**
 - Descrição da tecnologia de célula a combustível
 - Tipos de célula a combustível
 - Processamento do combustível
 - Sistemas de células a combustível
 - Características
 - Aplicações
- ❷ **Situação da tecnologia de célula a combustível no Brasil**
- ❸ **Atuação do INT em célula a combustível**
- ❹ **Perspectivas da tecnologia**

Descrição da tecnologia de célula a combustível

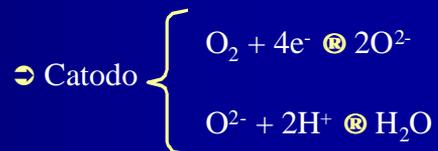
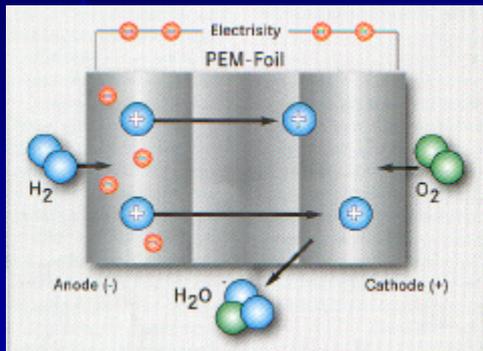
O que são as células a combustível?



Dispositivos eletroquímicos que convertem a energia química de uma reação diretamente em energia elétrica

Descrição da tecnologia de célula a combustível

⇒ Princípio de funcionamento



Tipos de células a combustível

- Diferentes classificações
 - Tipo do eletrólito
 - Temperatura de operação
 - Processamento do combustível fora ou dentro da célula

Tipos de células a combustível

<i>Célula a Combustível</i>	<i>Eletrólito</i>
AFC	Solução alcalina (KOH)
PEMFC	Membrana trocadora de íons
DMFC	Membrana trocadora de íons
PAFC	Solução de ácido fosfórico
MCFC	Carbonato alcalino em uma matriz cerâmica
SOFC	Material cerâmico

AFC - célula alcalina

PEMFC - célula a membrana polimérica

DMFC - célula de metanol direto

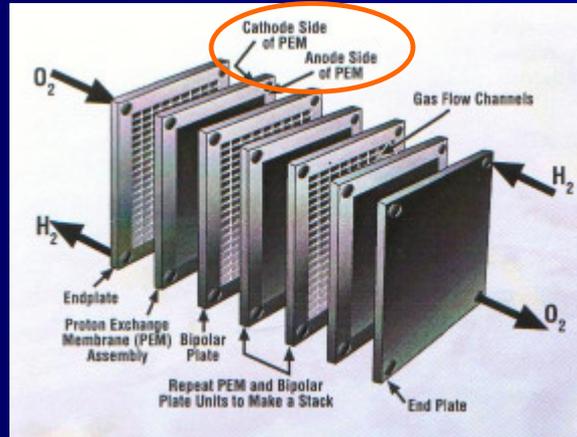
PAFC - célula a ácido fosfórico

MCFC - célula de carbonato fundido

SOFC - célula a óxido sólido

Tipos de células a combustível

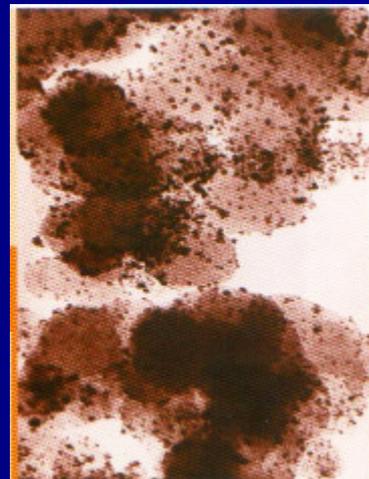
⇒ Esquema de uma célula a combustível do tipo PEM



Tipos de células a combustível

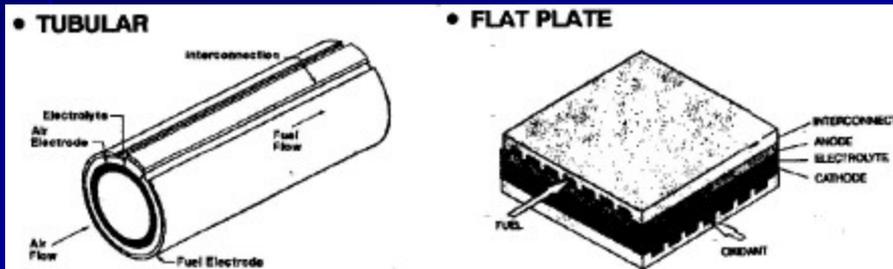
⇒ Eletrocatalisador de Pt suportado em carvão (anodo e/ou catodo)

Fonte : OMG



Tipos de células a combustível

- Esquema de uma célula a combustível do tipo óxido sólido



Tipos de células a combustível

<i>Célula a Combustível</i>	<i>Temperatura de Operação (°C)</i>
AFC	< 100
PEMFC	60-120
DMFC	60-120
PAFC	160-220
MCFC	600-800
SOFC	800-1000

AFC - célula alcalina

PEMFC - célula a membrana polimérica

DMFC - célula de metanol direto

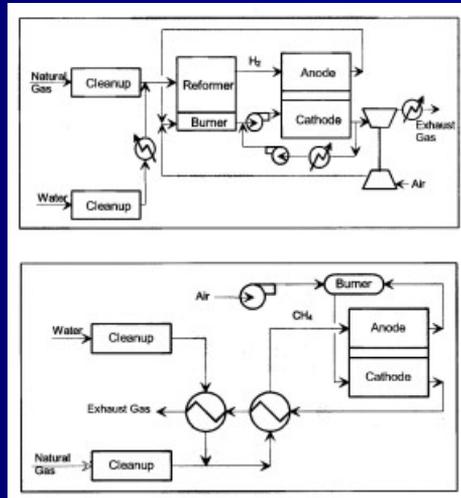
PAFC - célula a ácido fosfórico

MCFC - célula de carbonato fundido

SOFC - célula a óxido sólido

Tipos de células a combustível

- ⇒ Reforma interna
X
Reforma externa



Processamento do combustível

Combustível das células



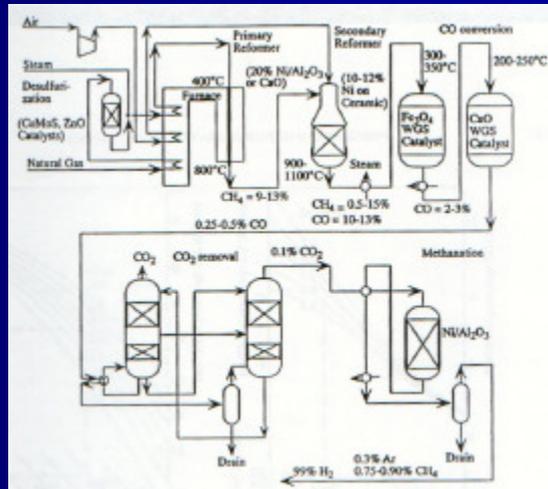
H_2 ou mistura rica em H_2

Processamento do combustível

⇒ tecnologia para a produção de H_2



grandes unidades
($> 1000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ @ 1MW)



Processamento do combustível

Desafio



sistemas $< 1 \text{ MW}$
(característicos das células a combustível)

Processamento do combustível

Processador de combustível para célula de 50 kW (Mc Dermott)



Processamento do combustível

Sistema de produção H_2



Tipo de célula a combustível



gás proveniente do reformador
deve sofrer purificação

Processamento do combustível

<i>Célula</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Reformador externo</i>	<i>Purificação H₂</i>
PEMFC	80	Sim	50 ppm CO
PAFC	200	Sim	0,05 % CO
MCFC	600-650	Não	Não
SOFC	700-1000	Não	Não

AFC - célula alcalina

PEMFC - célula a membrana polimérica

DMFC - célula de metanol direto

PAFC - célula a ácido fosfórico

MCFC - célula de carbonato fundido

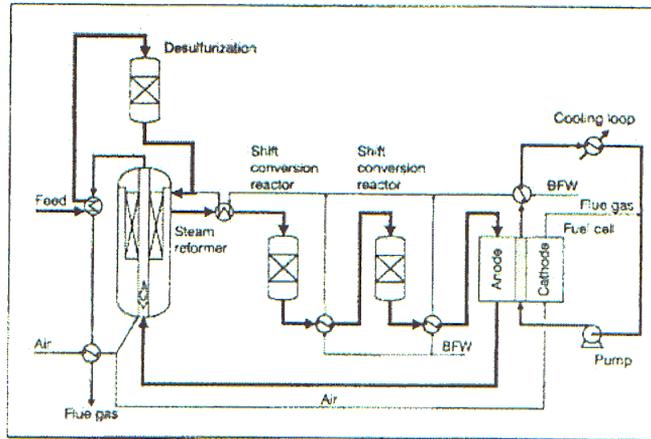
SOFC - célula a óxido sólido

Processamento do combustível

⇒ Sistema de purificação da corrente de H₂

- conversão do CO através da reação de deslocamento de água (*shift*)
- metanação seletiva do CO
- oxidação seletiva do CO
- membranas metálicas

Processamento do combustível



Processamento de gás natural para uma célula a combustível PAFC

Processamento do combustível

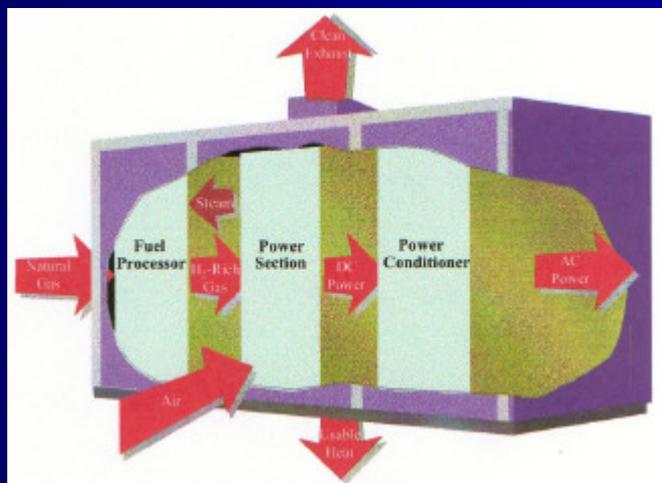


Esquema de um sistema de célula a combustível do tipo membrana trocadora de prótons (PEMFC) em automóvel

Processamento do combustível

- ➔ Tecnologias para produção de H_2
 - Reforma com vapor
 - Oxidação parcial
 - Reforma autotérmica
- ➔ Combustíveis
 - Hidrocarbonetos ® metano, gasolina
 - Álcoois ® metanol, etanol

Sistemas de célula a combustível



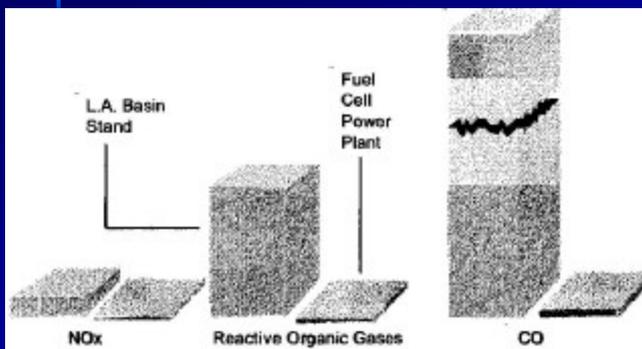
Características

➤ Vantagens

- menor emissão de poluentes
- maiores eficiências
- confiabilidade
- flexibilidade de combustíveis
- modularidade
- baixo nível de ruído
- geração distribuída de energia

Características

➤ menor emissão de poluentes



< 1 ppm NO_x
4 ppm CO
< 1 ppm HC
(diferentes CH₄)

Comparação das emissões de uma célula de ácido fosfórico com os limites de emissão da legislação de Los Angeles

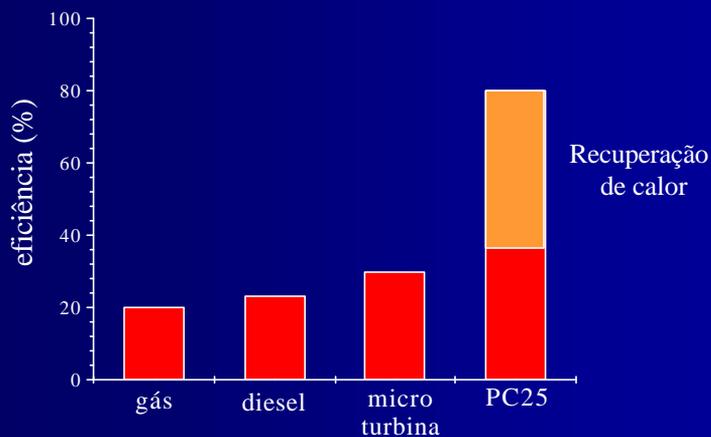
Características

➤ Vantagens

- menor emissão de poluentes
- **maiores eficiências**
- confiabilidade
- flexibilidade de combustíveis
- modularidade
- baixo nível de ruído
- geração distribuída de energia

Características

➤ maior eficiência



Características

➤ Desvantagens

- altos custos
- durabilidade
- tecnologia ainda não familiar para as indústrias de energia

Aplicações

➤ Transportes



Aplicações

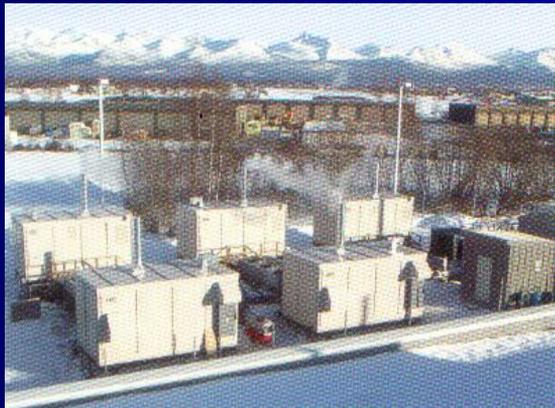
➤ Fontes estacionárias

- instalações e conjuntos residenciais
- hospitais
- localidades remotas



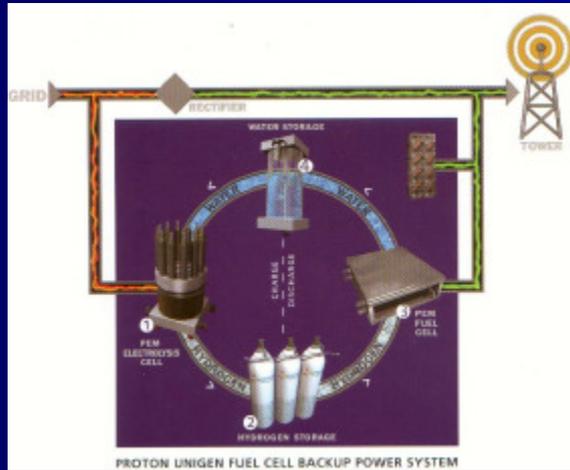
Aplicações

➤ Fontes estacionárias



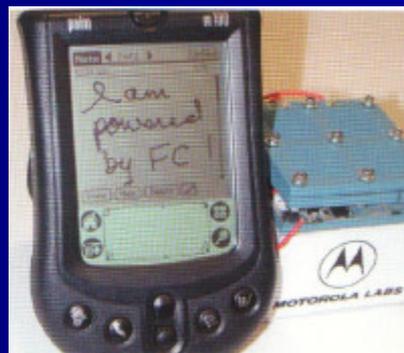
Aplicações

⇒ Sistema de backup



Aplicações

⇒ Sistemas portáteis



Aplicações

	<i>Automotivo</i>	<i>Estacionária</i>	<i>Back up</i>
<i>Potência</i>	50-100 kW	1-10 kW; 200 kW	1-10 kW
<i>Combustível</i>	Reformado/H ₂	Reformado	H ₂
<i>Tempo operação</i>	5000 h	> 40000 h	< 2000 h
<i>Alta eficiência resposta</i>	Crítica	Crítica	Não é crítica
<i>Operação</i>	Variável	Constante	Variável
<i>Recuperação calor</i>	Não necessária	Muito importante	Não necessária
<i>Tamanho/Peso</i>	Crítica	Não é crítica	Não é crítica

Barbir, F., Maloney, T., Molter, T., Tombaugh, P., Anais do 2002 Fuel Cell Seminar, Palm Springs, p948, 2002

Situação da célula a combustível no Brasil

⇒ Programa Brasileiro em Células a Combustível (MCT)

Objetivo @ desenvolver um conjunto de ações que viabilizem a criação de uma tecnologia nacional em sistemas energéticos baseados em células a combustível

⇒ Metas

- levantamento das instituições e infra-estrutura existentes no país
- revitalização da infra-estrutura para P&D já existente
- definição e priorização dos principais temas
- estudos de viabilidade técnica e econômica para definir os produtos e processos adequados

Situação da célula a combustível no Brasil

⇒ Programa Brasileiro em Células a Combustível (MCT)

Estrutura do programa ® coordenação geral e redes de pesquisa e desenvolvimento

➤ rede de eletroquímica

- ✓ célula a combustível de óxido sólido
- ✓ célula a combustível do tipo PEM
- ✓ célula a combustível etanol direto
- ✓ eletroquímica aplicada - P&D
- ✓ eletrólise da água

Situação da célula a combustível no Brasil

⇒ Programa Brasileiro em Células a Combustível (MCT)

➤ rede de reforma

- ✓ gás natural
- ✓ gás liquefeito do petróleo
- ✓ etanol

Situação da célula a combustível no Brasil

⇒ Programa Brasileiro em Células a Combustível (MCT)

- rede de sistemas
 - ✓ análise de sistemas
 - ✓ armazenamento de H₂
 - ✓ segurança, certificação, códigos e padrões
 - ✓ integração dos sistemas baseados em células a combustível com a rede de combustíveis e a rede elétrica

Situação da célula a combustível no Brasil

Empresas

<i>Empresas</i>	<i>Situação</i>
Electrocell	Projeto e montagem de célula a combustível do tipo PEM (5 kW)
Unitech	Projeto e montagem de célula a combustível do tipo PEM (5 kW)
CENPES/Petrobras	Aquisição de uma célula de ácido fosfórico de 200 kW da UTC Fuell Cells
CEPEL	Aquisição de uma célula PEM de 5 kW da Eletrocell
LACTEC	Aquisição de três células de ácido fosfórico de 200 kW da UTC Fuell Cells

Situação da célula a combustível no Brasil

Empresas

CENPES / Petrobras

⇒ Visão estratégica Petrobrás → empresa de energia até 2010

⇒ **DESAFIO** → aquilatar as prováveis repercussões das células nos mercados onde atua e capacitar-se para tornar a Petrobrás fornecedora do combustível para a célula, na qualidade e especificações requeridas

⇒ CENPES desenvolve uma carteira de projetos de P&D:

- Projetos de demonstração e operação da tecnologia de células a combustível utilizando o gás natural
- Estudos de novas membranas poliméricas
- Desenvolvimento de sistema integrado PEMFC (5 kW) + reformador de Gás Natural
- Desenvolvimento de novas células de óxido sólido
- Projetos de geração e armazenagem de hidrogênio
- Projetos de reforma de Gás Natural e Etanol

Situação da célula a combustível no Brasil

Empresas

CENPES / Petrobras



Situação da célula a combustível no Brasil

Empresas

<i>Empresas</i>	<i>Situação</i>
Electrocell	Projeto e montagem de célula a combustível do tipo PEM (5 kW)
Unitech	Projeto e montagem de célula a combustível do tipo PEM (5 kW)
CENPES/Petrobras	Aquisição de uma célula de ácido fosfórico de 200 kW da UTC Fuell Cells
CEPEL	Aquisição de uma célula PEM de 5 kW da Eletrocell
LACTEC	Aquisição de três células de ácido fosfórico de 200 kW da UTC Fuell Cells

Situação da célula a combustível no Brasil

Empresas

CEPEL

- Estudos de Viabilidade Técnico-Econômica de Utilização da Tecnologia em Geração Distribuída
- Implementação de uma Unidade de Demonstração Reformador/Célula a Combustível de 5kW (Projeto CHESF/CEPEL)
 - Avaliação de desempenho do sistema sob condição de carga simulada
 - Verificação de modelos de desempenho dinâmicos
 - Avaliação de vida útil dos componentes
 - Fase I – Operação com Gás Natural (abril/2004)
 - Fase II – Operação com etanol (proposta de projeto de construção de um reformador de etanol em fase de análise)

Situação da célula a combustível no Brasil

Universidades / centros de pesquisa

<i>Universidades e centros de pesquisa</i>	<i>Situação</i>
IPEN	Estudos em células PEM e SOFC: eletrodos; conectores
COPPE/UFRJ	Armazenamento e produção de H ₂ por plasma e a partir de GN via reforma
USP/São Carlos	Estudos em célula PEM: eletrodos
UNICAMP	Geração de H ₂ por eletrólise de água
UFF	Produção de H ₂ a partir de gás natural via reforma e oxidação
UFSCar	Produção de H ₂ a partir de gás natural via reforma e oxidação
UFBA	Estudos em células SOFC
UEM	Produção de H ₂ a partir de etanol via reforma e oxidação
INT	Produção de H ₂ a partir de gás natural e de etanol via reforma e oxidação

Situação da célula a combustível no Brasil

IPEN / PEM

- Otimização de parâmetros de operação de CC unitárias
- Desenvolvimento de um novo método de produção de EDG (Eletrodos de Difusão Gasosa) e EME (Conjunto Eletrodo-Membrana-Eletrodo), de (5X5) cm² e (12X12) cm²
- Eletrocatalise ⑧ Pesquisa fundamental; Desenvolvimento de um método de normalização para análise comparativa
- Desenvolvimento de novos eletrocatalisadores para anodos com maior tolerância ao CO
- Estudos básicos de um processo de produção de catalisador mais barato

Situação da célula a combustível no Brasil

IPEN / SOFC

- ➔ Eletrólito $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ (YSZ), método de co-precipitação
- ➔ Catodo LaMnO_3 ou YMnO_3 , mistura de pós; método dos citratos
- ➔ Anodo YSZ-TiO_2 ou $\text{ZrO}_2\text{-Ni}$, método de co-precipitação
- ➔ Interconector LaCrO_3 ou CoCrO_3 , reações de combustão, mistura de pós

Situação da célula a combustível no Brasil

Universidades / centros de pesquisa

<i>Universidades e centros de pesquisa</i>	<i>Situação</i>
IPEN	Estudos em células PEM e SOFC: eletrodos; conectores
COPPE/UF RJ	Armazenamento e produção de H_2 por plasma e a partir de GN via reforma
USP/São Carlos	Estudos em célula PEM, DMFC: eletrodos
UNICAMP	Geração de H_2 por eletrólise de água, armazenamento H_2
UFF	Produção de H_2 a partir de gás natural via reforma e oxidação
UFSCar	Produção de H_2 a partir de gás natural via reforma e oxidação
UFBA	Estudos em células SOFC
UEM	Produção de H_2 a partir de etanol via reforma
INT	Produção de H_2 a partir de gás natural e de etanol via reforma e oxidação

Atuação do INT em célula a combustível

Geração de H₂ a partir do gás natural

- Reforma do metano com CO₂
- Oxidação parcial do metano
- Oxidação parcial do metano com membranas
- Combinação da reforma do metano com vapor e com CO₂
- Combinação da reforma do metano com vapor, com CO₂ e oxidação parcial do metano (reforma autotérmica)

Atuação do INT em célula a combustível

Geração de H₂ a partir do gás natural

➤ Projetos

- *Geração de Hidrogênio através da Reforma do Metano*
 - ✓ Projeto PADCT III ; período : 1997 - 2000
- *Desenvolvimento de novos catalisadores para a reforma de CH₄ com CO₂.*
 - ✓ Projeto CTPETRO/FINEP - *Implantação de um Núcleo de Desenvolvimento Tecnológico de Gás Natural*
período : 1999 - 2001
- *Utilização do Gás Natural para a Obtenção de Gás de Síntese a Partir da Oxidação Parcial do Metano*
 - ✓ Projeto CTPETRO/CNPq; período : 2001 - 2002

Atuação do INT em célula a combustível

Geração de H₂ a partir do gás natural

⇒ Projetos

- *Geração de Hidrogênio a Partir da Oxidação Parcial do Metano Usando Membranas*
 - ✓ Projeto CTPETRO/FINEP; período: 2001 - 2002
- *Conversão de Gás Natural à Hidrocarbonetos Líquidos por Rota Tradicional (GTL)*
 - ✓ Projeto CTPETRO/FINEP/Petrobras período : 2002 - 2003

Atuação do INT em célula a combustível

Geração de H₂ a partir do etanol

etanol

- ✓ redução do efeito estufa
- ✓ menor toxicidade
- ✓ ampla rede de distribuição instalada no Brasil



Atuação do INT em célula a combustível

Geração de H₂ a partir do etanol

- ⇒ Oxidação parcial do etanol
- ⇒ Reforma com vapor do etanol
 - Projetos
 - *Produção de Hidrogênio para Células a Combustível a partir da Reforma com vapor do Etanol*
 - ✓ Projeto CNPq/Edital Universal - período: 2002 - 2003

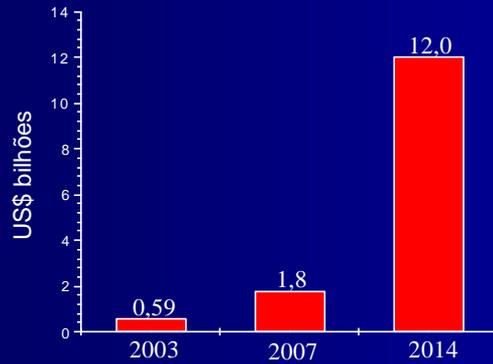
Situação atual e perspectivas para viabilização da tecnologia das células PEM

<i>Características</i>	<i>Atualmente</i>	<i>Esperado</i>		
		<i>Estacionária</i>	<i>Transportes</i>	<i>Portáteis</i>
<i>Eficiência</i>	< 30 %	> 30 %	> 40 %	-
<i>Custos</i>	~ U\$ 5000/kW	<U\$ 1000/kW	<U\$ 100/kW	<U\$ 2000/kW
<i>Tempo de Operação</i>	< 5000 h	> 40000 h	5000 h	< 2000 h

Barbir, F., Maloney, T., Molter, T., Tombaugh, P., Anais do 2002 Fuel Cell Seminar, Palm Springs, p948, 2002

Perspectivas da tecnologia da célula combustível

- Mercado previsto para células a combustível (fontes estacionárias) no mundo



Carvalho, J. e de Oliveira, R., Gazeta Mercantil, 18 de junho 2003