

# PROCEL - Programa de Células a Combustível do IPEN

## Estudo Econômico sobre a Utilização de Hidrogênio para Aplicação em Células a Combustível

Centro de Ciência e Tecnologia dos Materiais  
CCTM – IPEN – CNEN/SP - USP

Eng. Miguel Luiz Miotto Negro

# Introdução

---

- A “Economia do Hidrogênio” parece ser inevitável no futuro.
- O Brasil deve se preparar para ela.
- Há muitas possibilidades de produção de hidrogênio em larga escala no Brasil.

# Produção de H<sub>2</sub> no Brasil

---

- Por eletrólise da água.
- Por reforma de
  - Combustíveis fósseis
  - Combustíveis renováveis

# Produção de H<sub>2</sub> por eletrólise da água

- **Reação de eletrólise da água:**
- **$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2$**
- **$\Delta\text{H} = 0,07909 \text{ MWh kmol}^{-1}$  de H<sub>2</sub>**
- **Eficiência da reação = 85%.**

# Produção de H<sub>2</sub> por eletrólise da água

---

- **Consideram-se os custos da eletricidade proveniente das fontes nuclear, hidráulica, termelétrica e solar.**
- **Aplicam-se esses diferentes custos à quantidade de energia necessária à reação de eletrólise da água.**

# Produção de H<sub>2</sub> por eletrólise da água

---

- Adiciona-se aos valores obtidos a parte correspondente à eficiência da reação de eletrólise.
- Obtém-se o custo de produção de gás hidrogênio para cada uma das quatro fontes de eletricidade selecionadas.

# Custos em US\$ por kmol de H<sub>2</sub>

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| ● Energia nuclear (subsídio) | 1,503  |
| ● Energia nuclear (mercado)  | 3,955  |
| ● Hidroelétrica              |        |
| ●           Em bloco         | 3,164  |
| ●           Na usina         | 1,186  |
| ●           Vertimento       | 0,396  |
| ● Termelétrica a GN          | 3,164  |
| ● Solar fotovoltaica         | 41,522 |

# Produção de H<sub>2</sub> por reforma

- **Combustíveis fósseis**
  - Gás natural
  - Gasolina
  - Metanol
- **Combustíveis renováveis**
  - Biogás
  - Etanol



# Produção de H<sub>2</sub> por reforma

- Parte-se da reação de reforma de cada um dos combustíveis selecionados.
- Por estequiometria calcula-se a quantidade de hidrogênio formada para cada mol de combustível reformado.

# Produção de H<sub>2</sub> por reforma

- Com os resultados do cálculo estequiométrico e com o custo de cada combustível, calcula-se o custo do hidrogênio por regra de três.
- Este custo não inclui o custo da energia necessária para processar as reações.

# Produção de H<sub>2</sub> por reforma

- As reações de reforma são geralmente endotérmicas.
- Considera-se que a energia para processar essas reações provém da combustão de parte do próprio combustível.

# Produção de H<sub>2</sub> por reforma

- Para cada combustível calcula-se o custo da energia de ativação de sua reforma com:
  - o custo do combustível em questão,
  - seu poder calorífico e
  - o valor da entalpia da reação ( $\Delta H$ ).

# Produção de H<sub>2</sub> por reforma

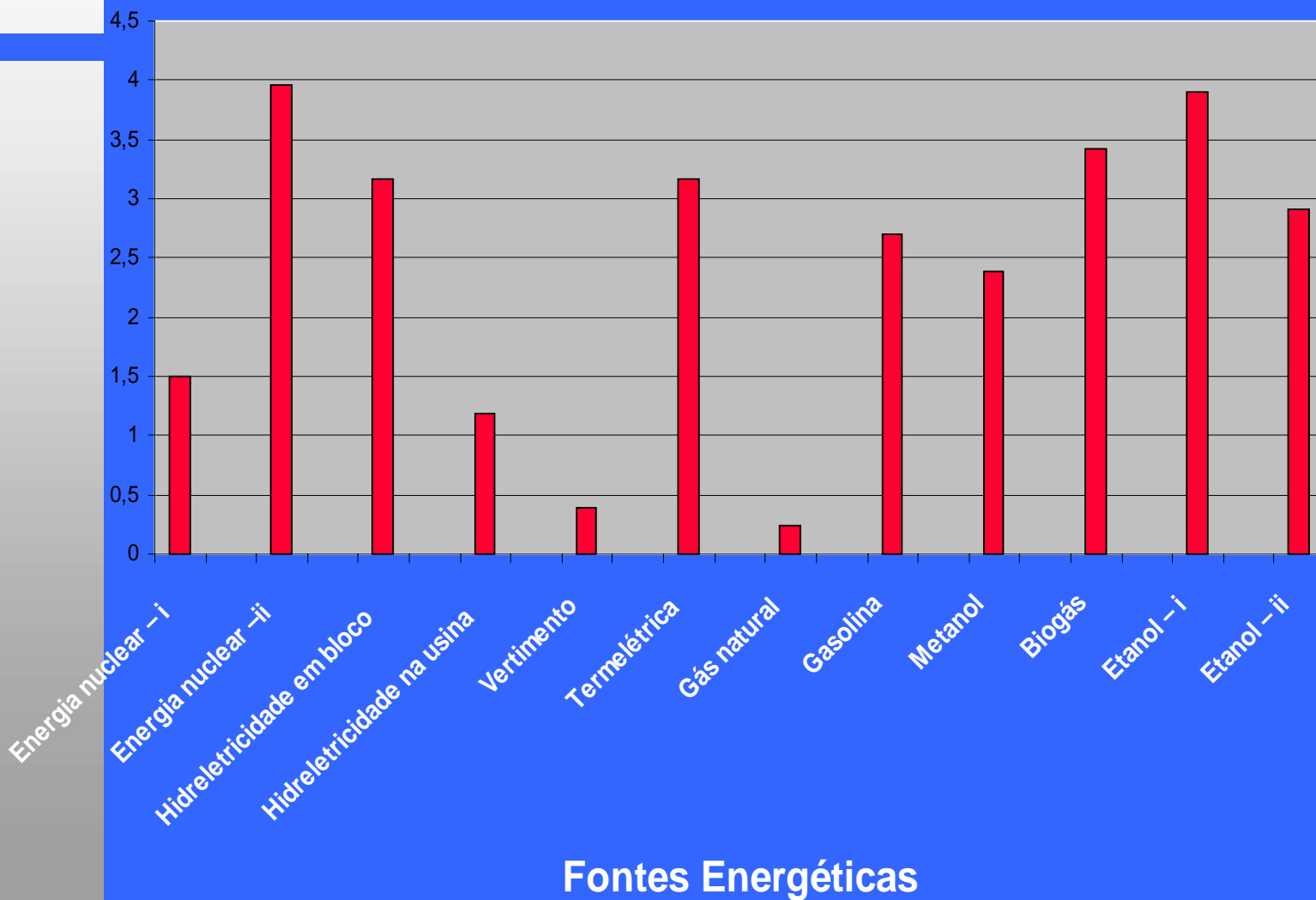
- O custo final é a soma do custo do hidrogênio obtido por estequiometria com o custo da energia para processar a reação de reforma.
- Para etanol considera-se também o caso de a energia de ativação da reação ser fornecida por gás natural.

# Custos em US\$ por kmol de H<sub>2</sub>

- Reforma de combustíveis fósseis
  - Gás natural 0,243
  - Gasolina 2,700
  - Metanol 2,387
- Reforma de combustíveis renováveis
  - Biogás 3,427
  - Etanol – i 3,904
  - Etanol – ii 2,911

## Custos de Produção de Hidrogênio no Brasil

Custo em US\$ por kmol de H<sub>2</sub>



# Conclusões

- **Melhores possibilidades a curto prazo: reforma de gás natural e vertimento, devido ao baixo custo.**
- **Médio prazo: menos reforma de gás natural e transição para renováveis.**
- **Longo prazo: Hidreletricidade, energia nuclear e reformas de biogás e etanol.**