

Análise energético-econômica de sistemas de geração distribuída e cogeração à base de células a combustível para aplicações residenciais

GPT

J. G. Furtado, N. Ladeira, F. C. Lopes



Desafios Globais

Grandes Problemas do Mundo Contemporâneo

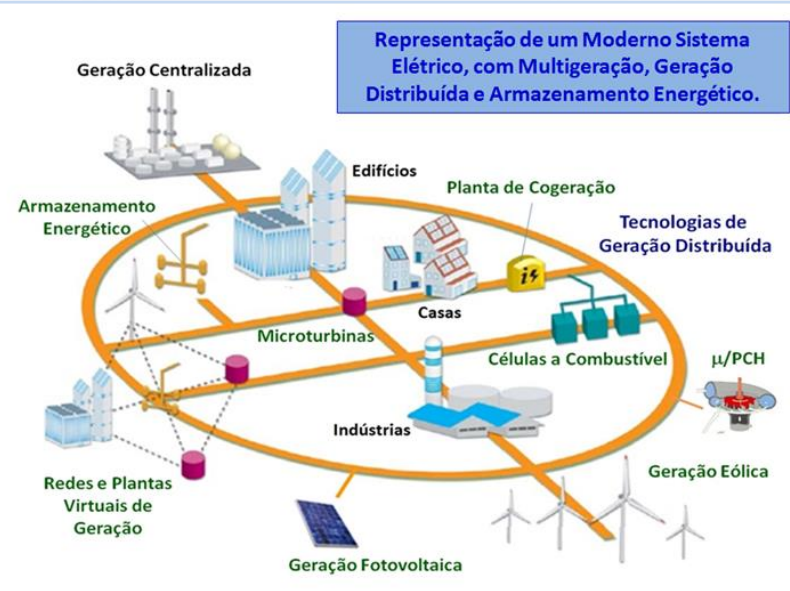


1. Energia
2. Água
3. Alimentos
4. Meio Ambiente
5. Pobreza
6. Terrorismo e Guerras
7. Doenças
8. Educação
9. Democracia
10. População



Fontes/Referências:

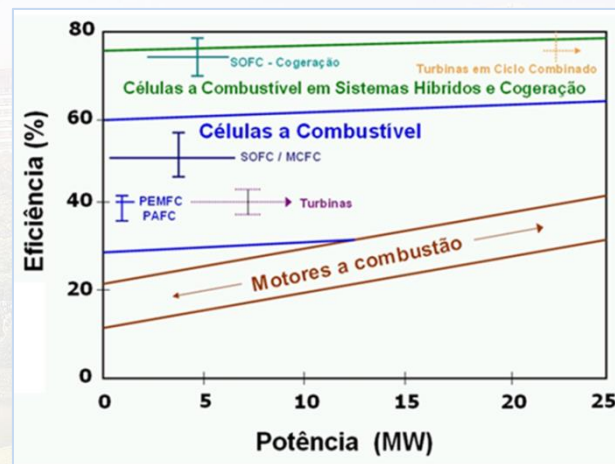
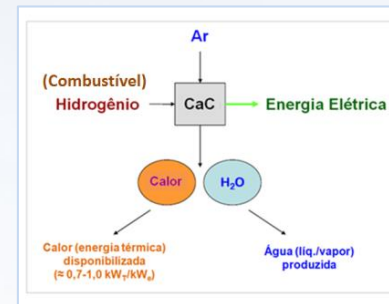
R. Smalley, Energy and Nanotechnology Conference, Rice University (2003); R. Smalley, MRS Bulletin, v. 30, p. 412 (2005)
P. Senge *et al.*, The Necessary Revolution (2008); WTO Public Forum, World Trade Organization (2010); World Economic Forum (2015).



Células a Combustível (CaC) como uma das opções tecnológicas no âmbito da Geração Distribuída (GD)

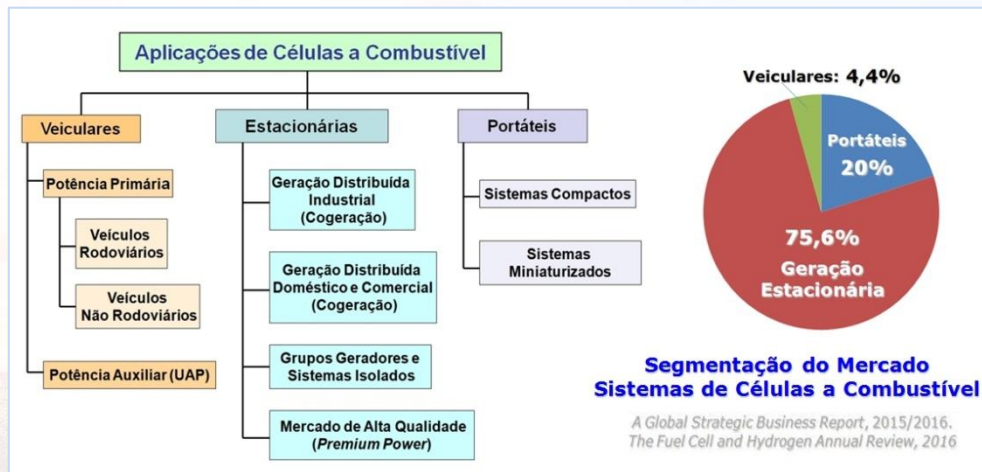
Sistemas de geração de energia com células a combustível (**CaC**): GD e Cogen/CHP, **alta eficiência** e **modularidade**, grande capacidade de **redução de emissões de poluentes**.

O presente trabalho apresenta os principais resultados de um estudo que avaliou o emprego de CaC no segmento **residencial**, com base nas características de desempenho operacional de dois tipos de CaC – dos tipos **PEMFC** (CaC de Membrana Polimérica) e **SOFC** (CaC de Óxidos Sólidos) –, integrando sistemas GD-CHP, com potências elétricas nominais de 0,5, a 5,0 kW, operando com diferentes combustíveis (gás natural, biometano, etanol e hidrogênio), todos via reforma para produção local de hidrogênio.

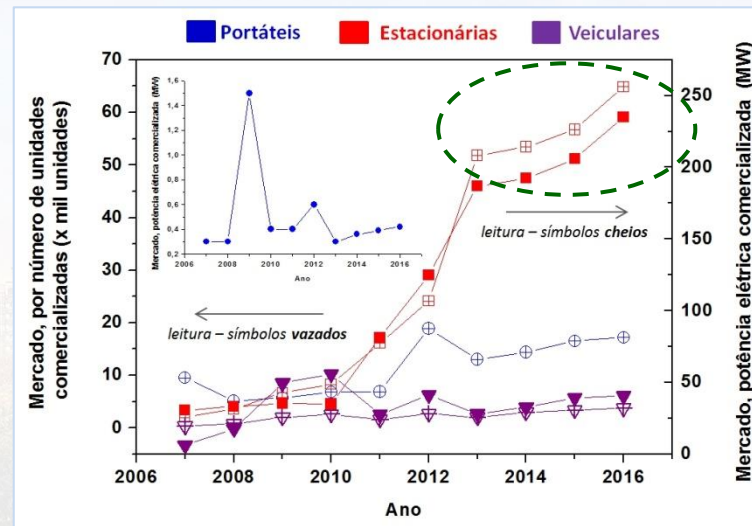


Células a Combustível: Mercados

Classificação dos principais mercados de aplicações de células a combustível



Evolução acerca dos principais mercados de aplicações de CaC



ADAMSON, K-A. *The Fuel Cell and Hydrogen Annual Review, 4th Energy Wave, 2016*. / CARTER, D., WING, J., *Fuel Cell Today Industry Review 2013*, Royston, UK, 2013

Ônibus urbanos elétricos com células a combustível

<http://www.busevi.com/buses/410-the-first-fuel-cell-buses-with-hybrid-technology-are-now-in-service-in-hamburg>

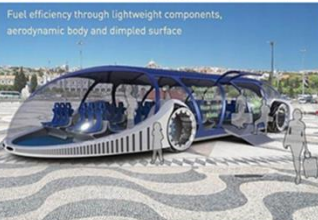


Hydrogen Bus Alliance

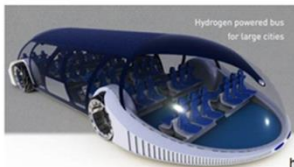
<http://www.hydrogenbusalliance.org/about.html>

Future Transportation

Futurism, future cars, future aviation, flying cars, watercrafts, future concepts



Fuel efficiency through lightweight components, aerodynamic body and dimpled surface



Hydrogen powered bus for large cities

<http://psipunk.com/skhy-hydrogen-powered-bus-by-alain-monteiro/>

Aplicações Veiculares/Transporte.



Sistema PAFC (200 kW) do LACTEC (Curitiba).

<http://www.doosanfuelcellamerica.com/energy/purecellmodel400system/>

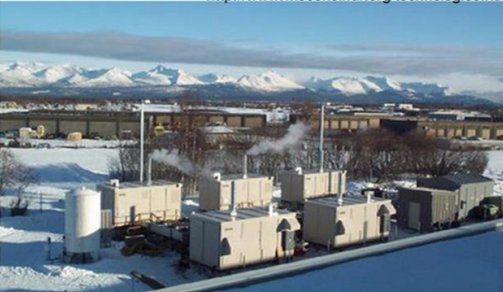


Sistema PAFC (400 kW) da ClearEdge Power.



Sistema PAFC operando com biogás (Japão).

<http://www.wisconsinr.org/technologies.html>



Cinco unidades PAFC (total 1 MW) instaladas no Alasca/EUA.

Aplicações Estacionárias (GD/CHP)

Modelos de CaC para aplicação residencial

TOSHIBA
Sustaining Innovation. 2004



Sistemas PEMFC (0,5-2,0 kW)
da *Toshiba Fuel Cell Power Systems*.



Unidade PEMFC (2,5-5,0 kW)
ElectraGen/Ballard.



Sistema CaC/CHP para aplicação residencial.



Sistemas PEMFC (10 kW)
da ClearEdge Power.

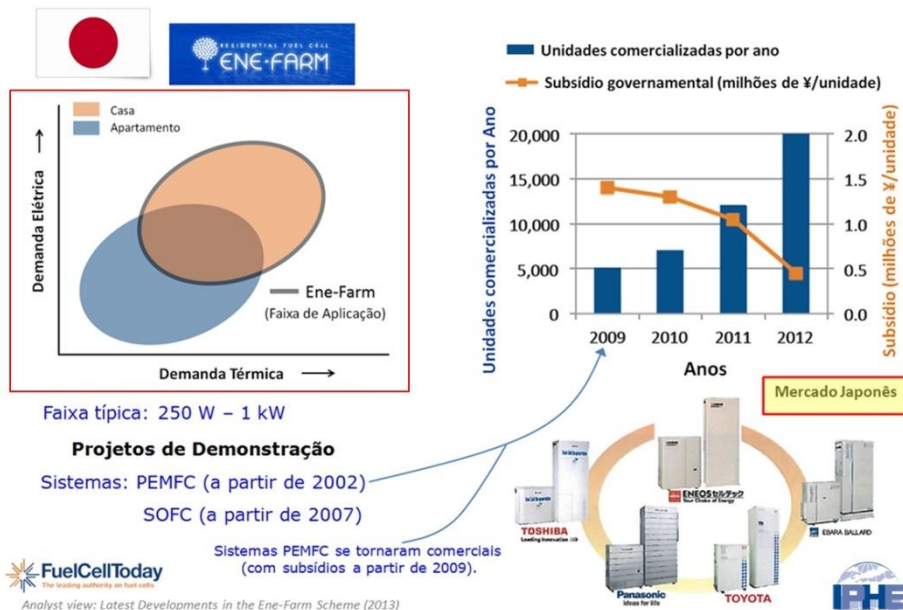


Sistemas PEMFC (1-5 kW)
comercializados no Japão.



Três sistemas PEMFC alimentados a gás natural da *Plug Power*.

Programa Ene-Farm: a mais bem sucedida iniciativa de inserção de CaC na área do consumidor final.



Em 2012 os sistemas PEMFC perderam os subsídios/incentivos e no final de 2016 ultrapassaram a marca de 200.000 unidades. Os sistemas SOFC continuam com subsídios.

MÉTODOS E ANÁLISES

❑ No Brasil, o consumo residencial de energia elétrica corresponde a cerca de um quarto do total (apresentando diferentes perfis em função da localização geográfico-climática).

❑ Sendo essa energia usada para diversas finalidades, como arrefecimento, refrigeração e condicionamento de ar, iluminação, aquecimento de água e em outros aparelhos eletrodomésticos.

❑ Em geral, a demanda térmica para aquecimento de ambiente é pouco significativa, mas o aquecimento de água para banho e as necessidades em termos de refrigeração de ambientes são importantes.

❑ Dessa forma, pode existir um paralelismo, em termos energéticos, no que diz respeito ao atendimento aos consumidores residenciais em diferentes países e regiões do mundo.



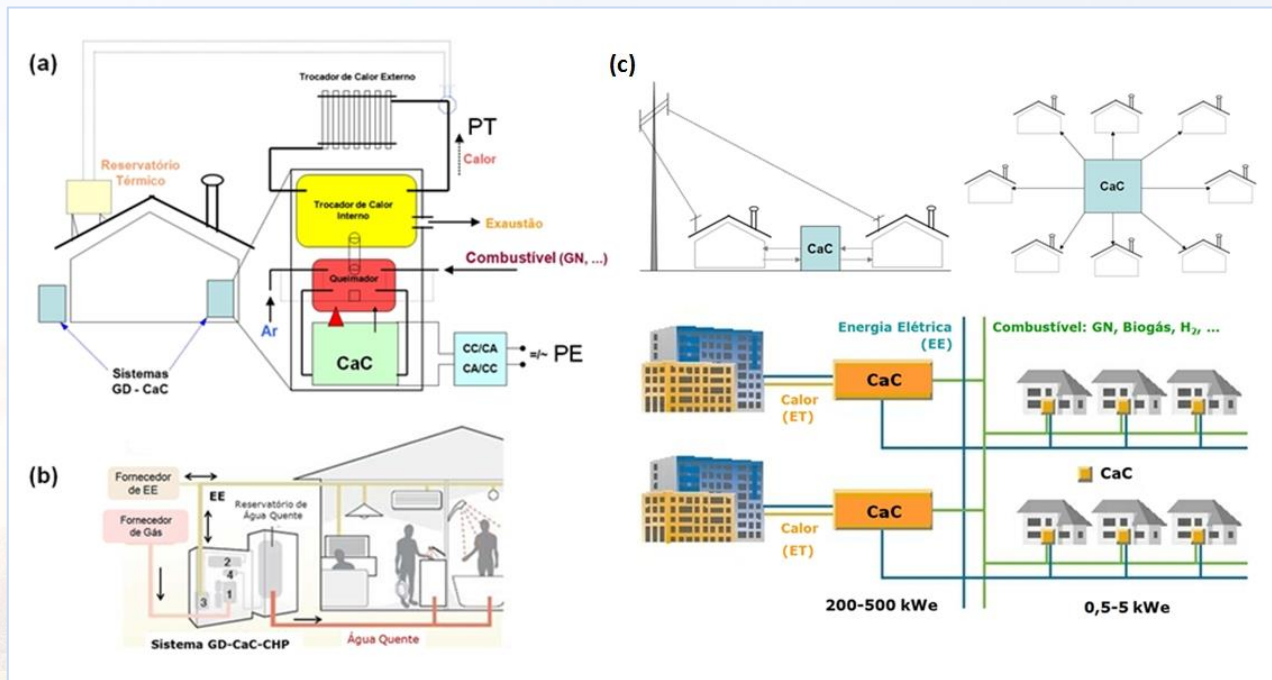
<http://eeeioimpietoo.blogspot.com.br/2015/03/simulador-de-consumo-de-energia-eletrica.html>



<https://www.123rf.com/>



MÉTODOS E ANÁLISES



(a) Esquema simplificado e (b) visão conceitual de um sistema de cogeração (CHP) com células a combustível para aplicação estacionária; (c) Exemplos de configurações e usos de CaC em aplicações relacionadas à geração distribuída de energia elétrica.

Principais parâmetros técnicos e econômicos-financeiros que definem os casos base para as análises desenvolvidas no presente estudo.

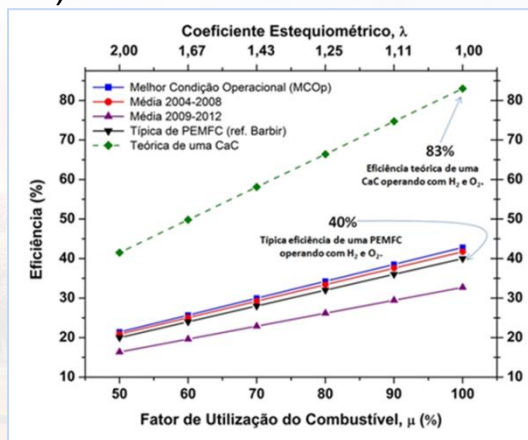
Parâmetro	PEMFC	SOFC	Parâmetro Econ.-Fin.	Valor
Pot. Elétrica (kW)	0,5 – 5,0	0,5 – 5,0	Fator de Capacidade - F_{CAP} (%)	100,00
Pot. Térmica (kW)	0,8 – 9,0	1,0 – 9,5	Taxa de Juros (% aa)	15,00
Temp. Operação (°C)	48 – 78	650 – 850	Período - n (anos)	10,00
Tensão Máx. (V)	110,0	110,0	Custo de Operação e Manutenção (US\$/kWh)	0,01 – 0,03
Corrente Máx. (A)	80,0	80,0	Custo/Preço do Combustível (US\$/GJ)	12,00 – 20,00
CaC unitárias	até 92	até 75	Eficiência da CaC (%)	39,00 – 48,00
Alimentação de H ₂ (Nm ³ /h)	até 65	até 58	Eficiência do Reformador (%)	70,00 – 80,00
Alimentação de Ar (Nm ³ /h)	até 180	até 250	Outras Ineficiências/Perdas do Sistema (%)	8,00 – 12,00
Custo da CaC (US\$/kW)	3.500,00	5.800,00	Eficiência Total do Sistema (%)	39,00 – 48,00
Custo Total do Sistema (US\$/kW)	14.000,00	25.300,00		

❑ O estudo foi desenvolvido com base em resultados empíricos para os sistemas PEMFC (próprio/CEPEL) e SOFC (dados de fabricante).

❑ As metodologias de operação dos sistemas CaC e dos estudos de eficiência energética foram desenvolvidas e publicadas em outros trabalhos (SNPTEE 2013 e 2015, IJHE).



Sistema GD: PEMFC-5kWe + Reformador de GN.



Análise de eficiência energética



XXII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

BR/GPT/16
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - II

GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS - GPT

O PROJETO DE DEMONSTRAÇÃO DO CEPEL: UMA AVALIAÇÃO ACERCA DA INSERÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA COM CÉLULAS A COMBUSTÍVEL NO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

José Geraldo de Melo Furtado (*)
CEPEL

Alcides Codeceira Neto
CHESF

Eduardo Torres Serra
CEPEL



XXIII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

FIVGET/11
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO XIV

GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DA TECNOLOGIA, DA INOVAÇÃO E DA EDUCAÇÃO - GET

ANÁLISE DAS EFICIÊNCIAS ENERGÉTICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA COM CÉLULAS A COMBUSTÍVEL

José Geraldo de Melo Furtado (*)
CEPEL

Fernando Rodrigues da Silva Junior
CEPEL

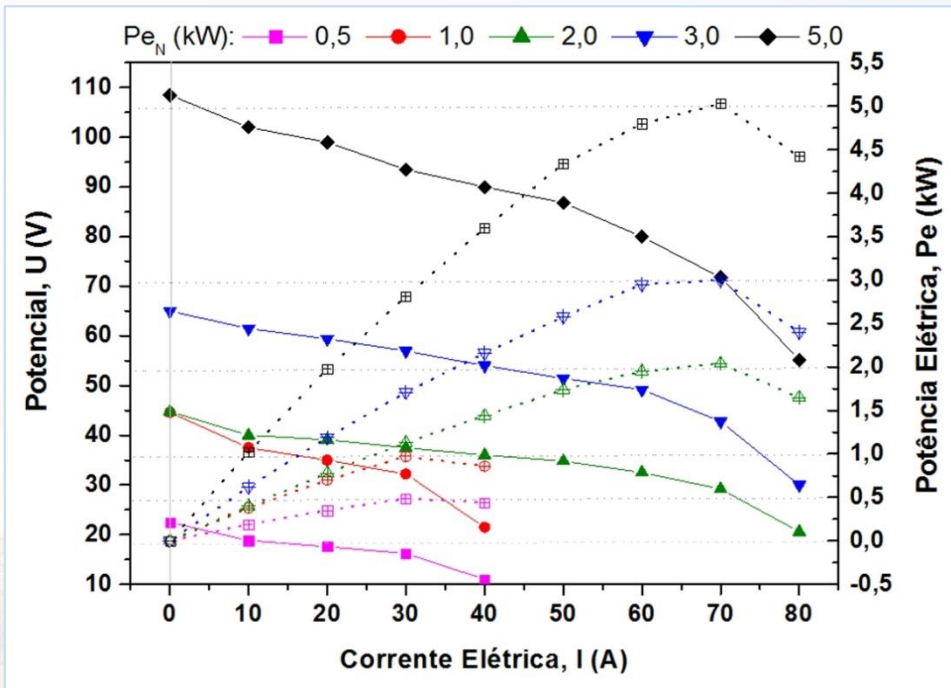
Francisco da Costa Lopes
CEPEL



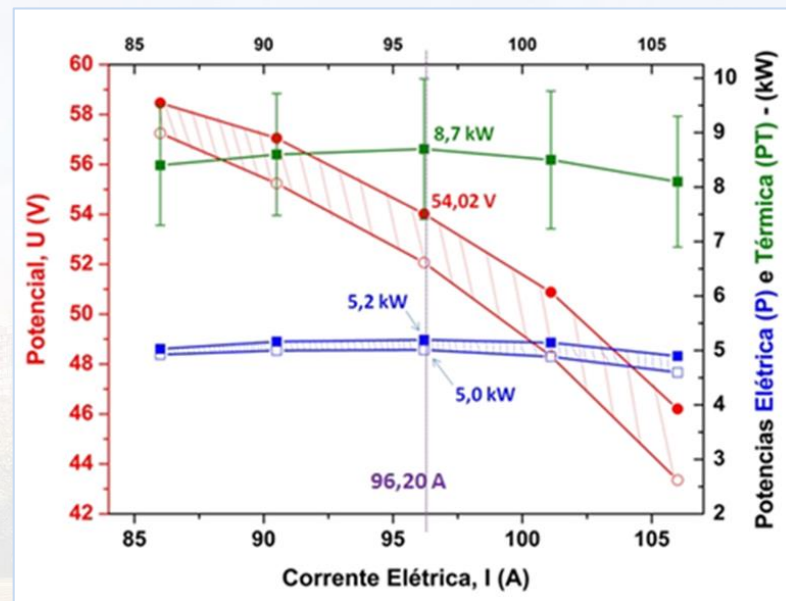
Performance analysis of a 5 kW PEMFC with a natural gas reformer

José Geraldo de Melo Furtado^a, George Cassani Gatti^b, Eduardo Torres Serra^a,
Sílvio Carlos Anibal de Almeida^{b,*}

RESULTADOS E ANÁLISES



Curvas I x U, I x P e disponibilidade de potência térmica (PT) do sistema de geração GD-CaC-5kW.

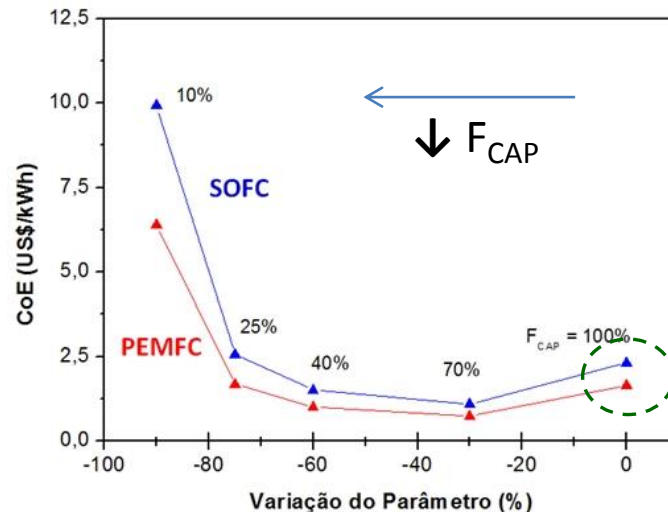
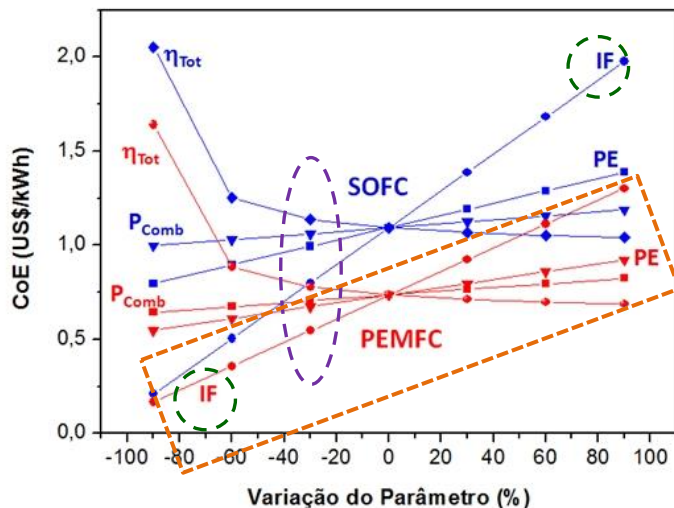


Características de desempenho médio de sistemas de CaC na faixa 0,5-5,0 kW. As curvas contínuas com símbolos cheios são as de $U \times I$ e as curvas pontilhadas com símbolos vazados e cruzados são as de $Pe \times I$.

RESULTADOS E ANÁLISES

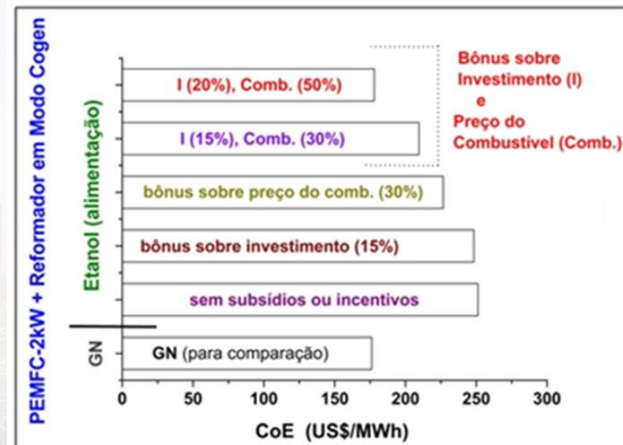
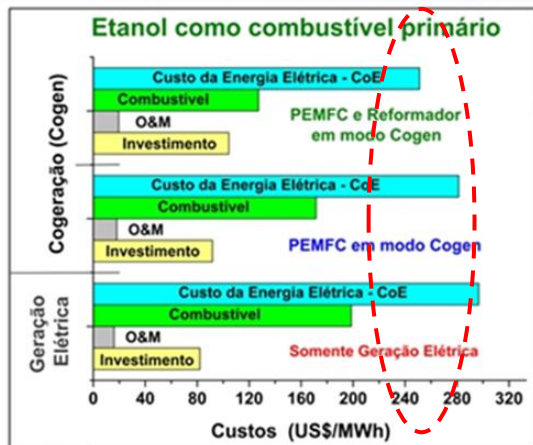
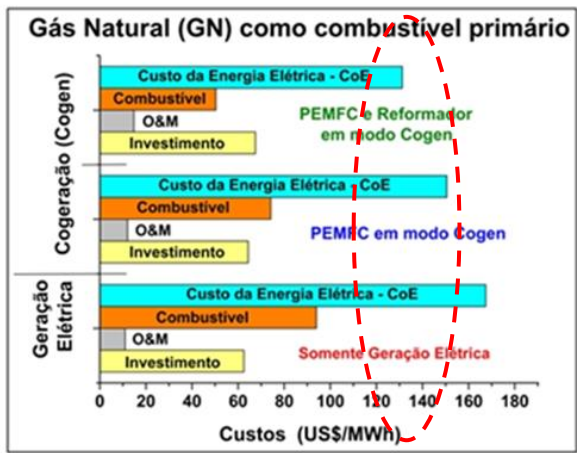
Análise Econômica

$$CoE (US\$/MWh) = 3,6 \frac{P_{Comb} (US\$/GJ)}{\eta_{Tot}} + 10^3 \cdot CO \& M (US\$/kWh) + \frac{FA(j, n)}{8,76 \cdot F_{CAP}} \cdot CaC_{IF} (US\$/kW)$$



Análise de sensibilidade do custo da energia elétrica gerada, CoE (US\$/kWh), em relação aos principais parâmetros avaliados: custo do combustível, do IF normalizado (US\$/kW), da eficiência total do sistema, o tamanho (pot. elétrica instalada – PE) e fator de capacidade (F_{CAP}).

Estudos de avaliação técnico-econômica com outros combustíveis (p. ex. Etanol), influência da escala (potência do sistema) e existência de incentivos (subsídios) – aspectos de mercado.




Obrigado pela Atenção!

José Geraldo de Melo Furtado

 (21) 2598-6069

 (21) 98136-7968

 furtado@cepel.br

 www.cepel.br

