

Potencial da energia solar fotovoltaica no Brasil e projetos vitrine Estádios Solares e Aeroportos Solares

Prof. Ricardo Rüther

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

&

Instituto para o Desenvolvimento das Energias Alternativas na América Latina - IDEAL



Geração solar fotovoltaica = luz -> eletricidade

QUAL A
CONFIABILIDADE
DESTA
TECNOLOGIA?





**QUAL A
CONFIABILIDADE
DESTA
TECNOLOGIA?**



**QUAL A
CONFIABILIDADE
DESTA
TECNOLOGIA?**

QUAL POTENCIAL DESTA TECNOLOGIA?

geração fotovoltaica x hidrelétrica

- Usina hidrelétrica de ITAIPU:

1350 km² (Lago de Itaipu) = **14 GW** = **80 a 90 TWh / ano**

< 25% da energia elétrica consumida no Brasil

- Cobrindo o lago de Itaipu com gerador solar fotovoltaico

(com 8% de eficiência global e assumindo a radiação solar da região do lago)

1350 km² de módulos fotovoltaicos = **108 GWp** = **183 TWh / ano**

> 50% da energia elétrica consumida no Brasil

Área da Ilha de Florianópolis = 424,4 km²

BRASIL



© 2010 DMapas
© 2010 Europa Technologies
© 2010 MapLink/Tele Atlas
US Dept of State Geographer

© 2009 Google
Oceano Atlântico Sul

Altitude do ponto de visão 5176.45 km



Goiás

Brasília

Goiás

Goiânia

Uberlândia

Minas

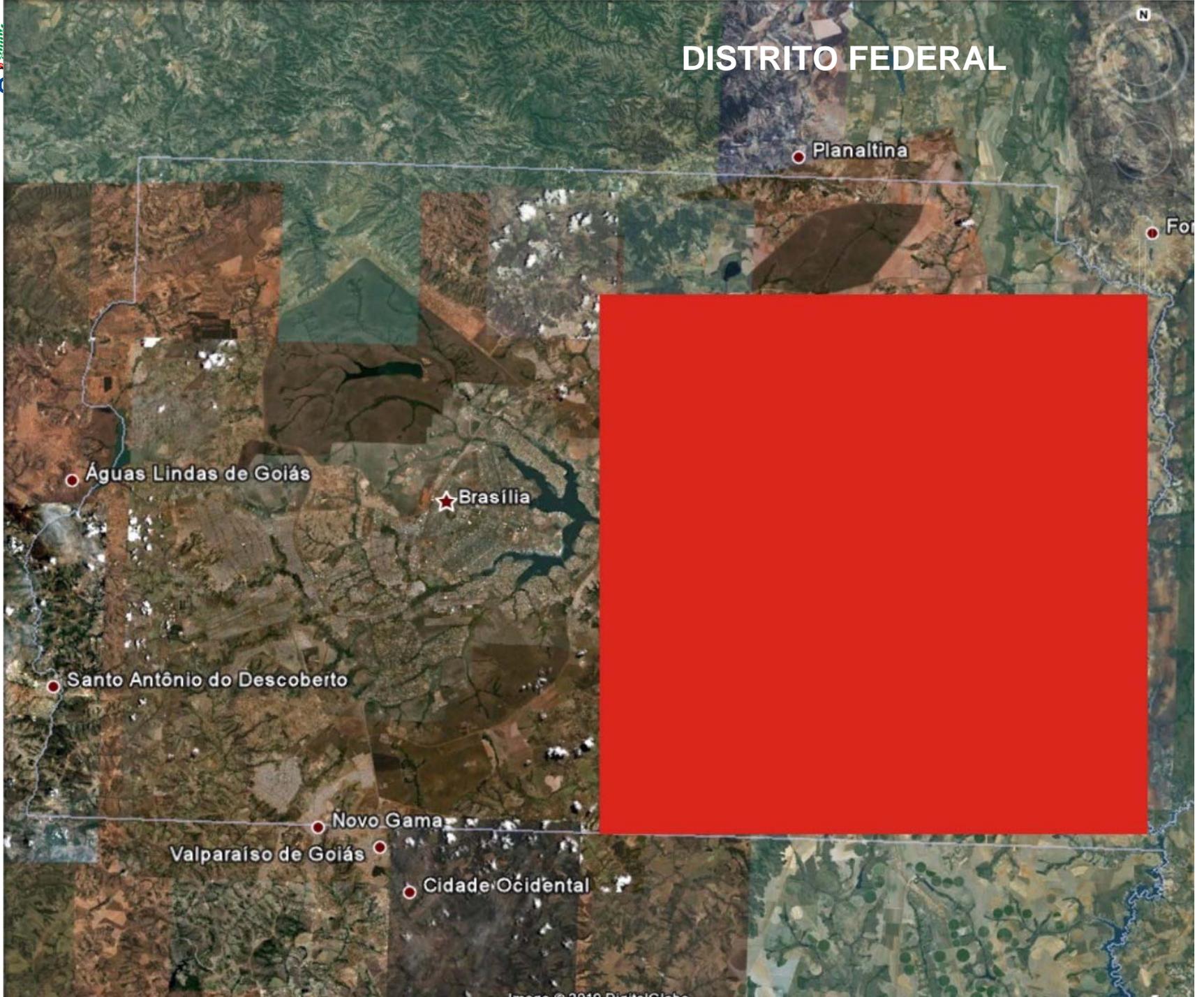
Image © 2010 DigitalGlobe
© 2010 Europa Technologies
© 2010 MapLink/Tele Atlas
© 2010 Cnes/Spot Image

©2009 Google

16°27'52.21" S 44°52'50.93" O elev 0 m

Altitude do ponto de visão 798.75 km

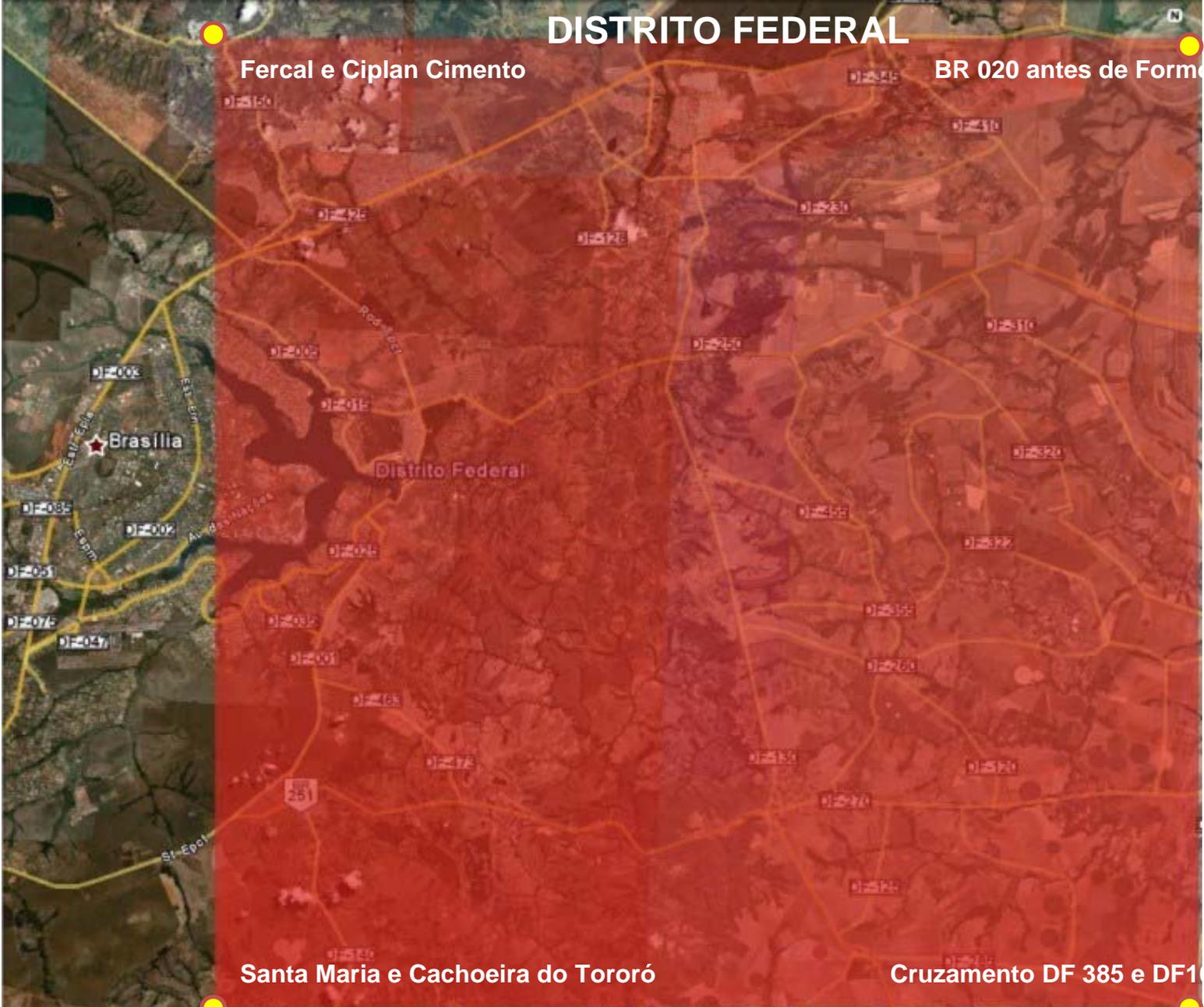
DISTRITO FEDERAL



DISTRITO FEDERAL

Fercal e Ciplan Cimento

BR 020 antes de Formosa



Santa Maria e Cachoeira do Tororó

Cruzamento DF 385 e DF106

Casa Eficiente ELETROSUL



Instituto de Eletrotécnica e Energia - USP



Foto: Roberto Zilles



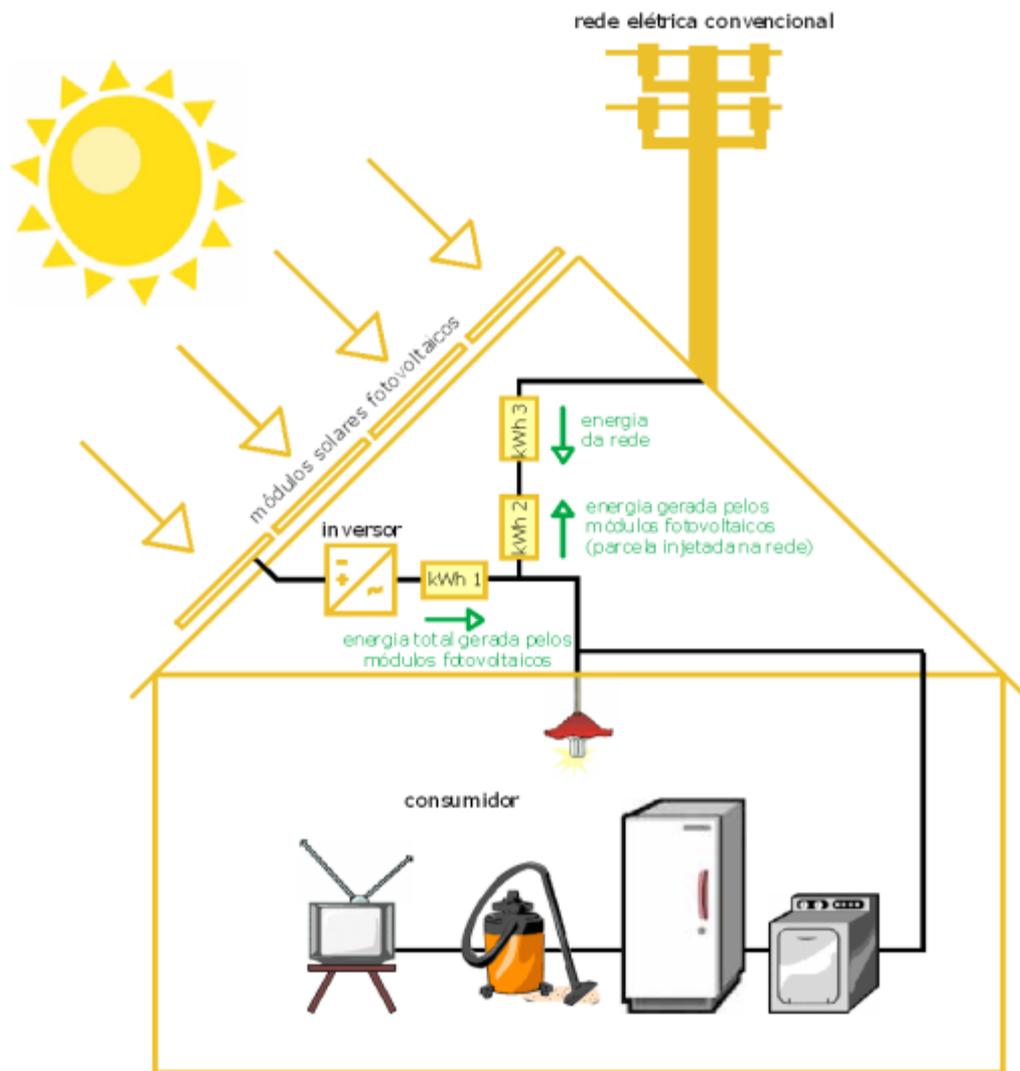
Centro de Cultura e Eventos UFSC



Grupo Zeppini - SP



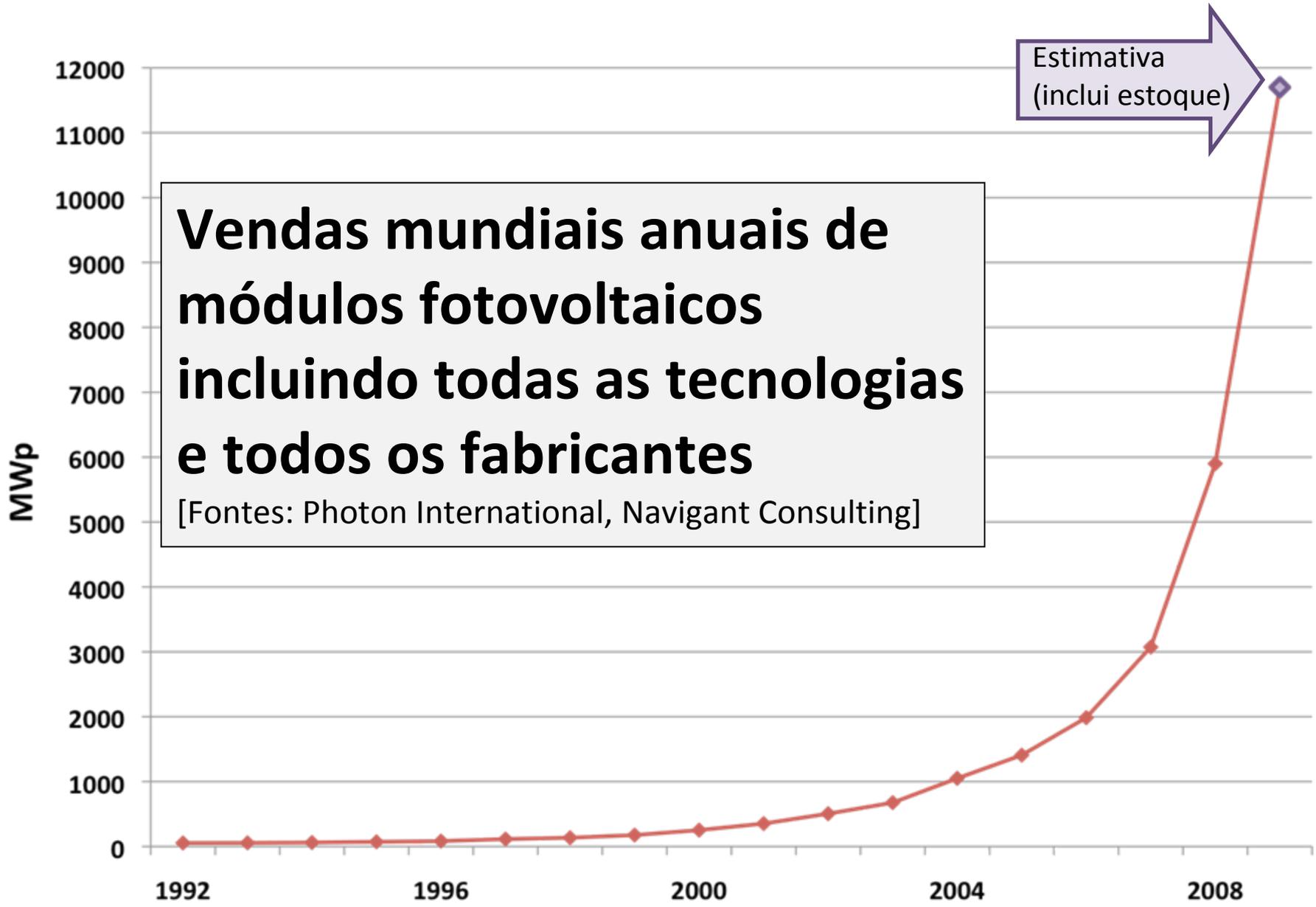
Competitividade com a tarifa residencial



Modelo:

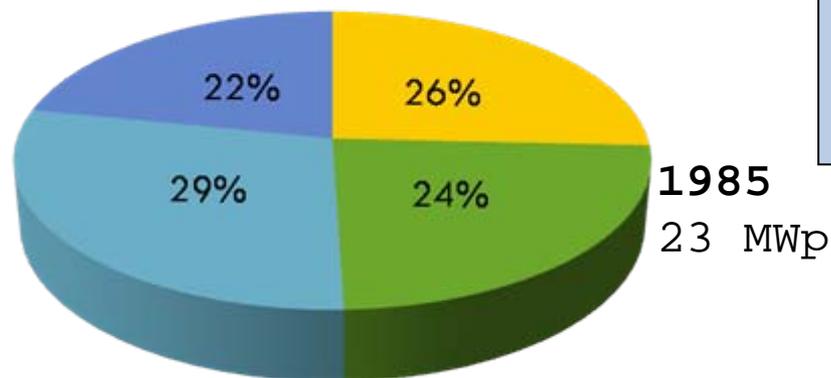
- Gerador solar **vende TUDO** o que produz (recebendo a tarifa prêmio) e **compra TUDO** o que consome (pagando a tarifa de sua classe tarifária).
- Evita-se assim a competição e a oposição da concessionária.

Mercado fotovoltaico mundial



Mercado fotovoltaico mundial

Em 2008, ~ 5.400 MWp foram conectados à rede elétrica no mundo!



Em 2008

Alemanha, 2008

Total instalado no ano:
1650 MWp

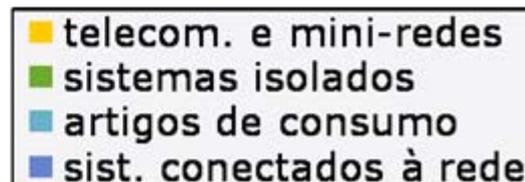
Cap. instal. acum.: 5444 MWp

Alemanha, 2009 (estimativa)

Total instalado no ano:
~3,000 MWp

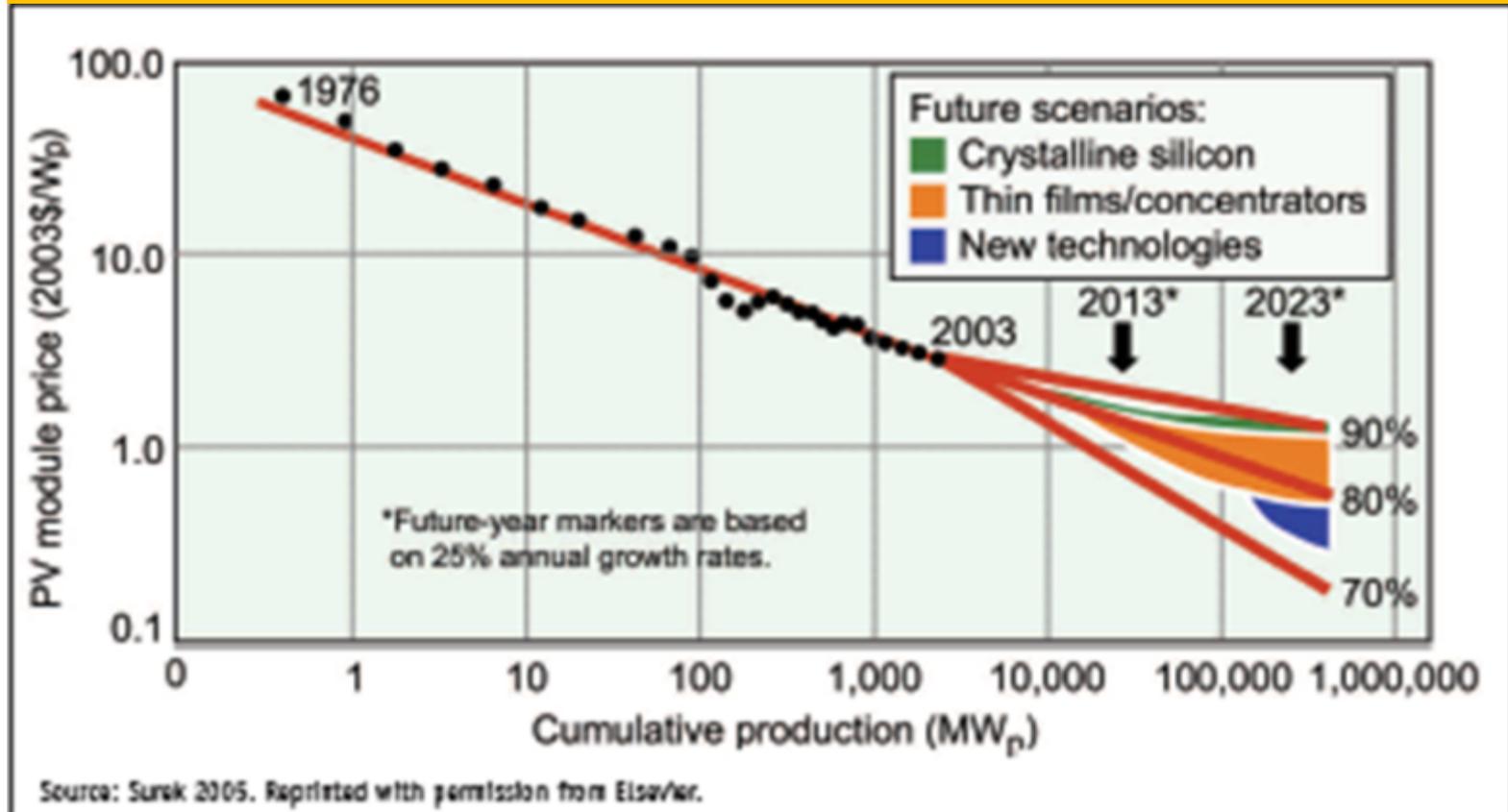
Cap. instal. acum.: ~8500 MWp

Geração anual: ~6500 GWh



Mercado Fotovoltaico Mundial

Potencial de redução de custos -> Necessita de ESCALA!



Curva de aprendizado: redução de custo de 5% a 7% por ano

O futuro da energia solar

É possível demonstrar que no futuro próximo, o **preço da energia gerada por um sistema solar** fotovoltaico instalado por um consumidor residencial sobre o seu telhado **poderá ser menor** do que o **preço com impostos da energia convencional** fornecida pela concessionária de distribuição.

Argumenta-se então que neste momento este **consumidor tem o direito** de optar pela alternativa de menor custo e que a **legislação brasileira tem o dever** de facultar-lhe esta opção.



enquanto este dia não chega

PROJETO ELETROSUL MEGAWATT SOLAR

Geração Solar Fotovoltaica Integrada ao Edifício Sede da ELETROSUL em Florianópolis - Brasil



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC

INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS NA AMÉRICA
LATINA - IDEAL

PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO SOLAR NA COBERTURA E ESTACIONAMENTOS PARA UM GERADOR DE 1MW_p

ÁREA DISPONÍVEL NA COBERTURA = 6.000 m²

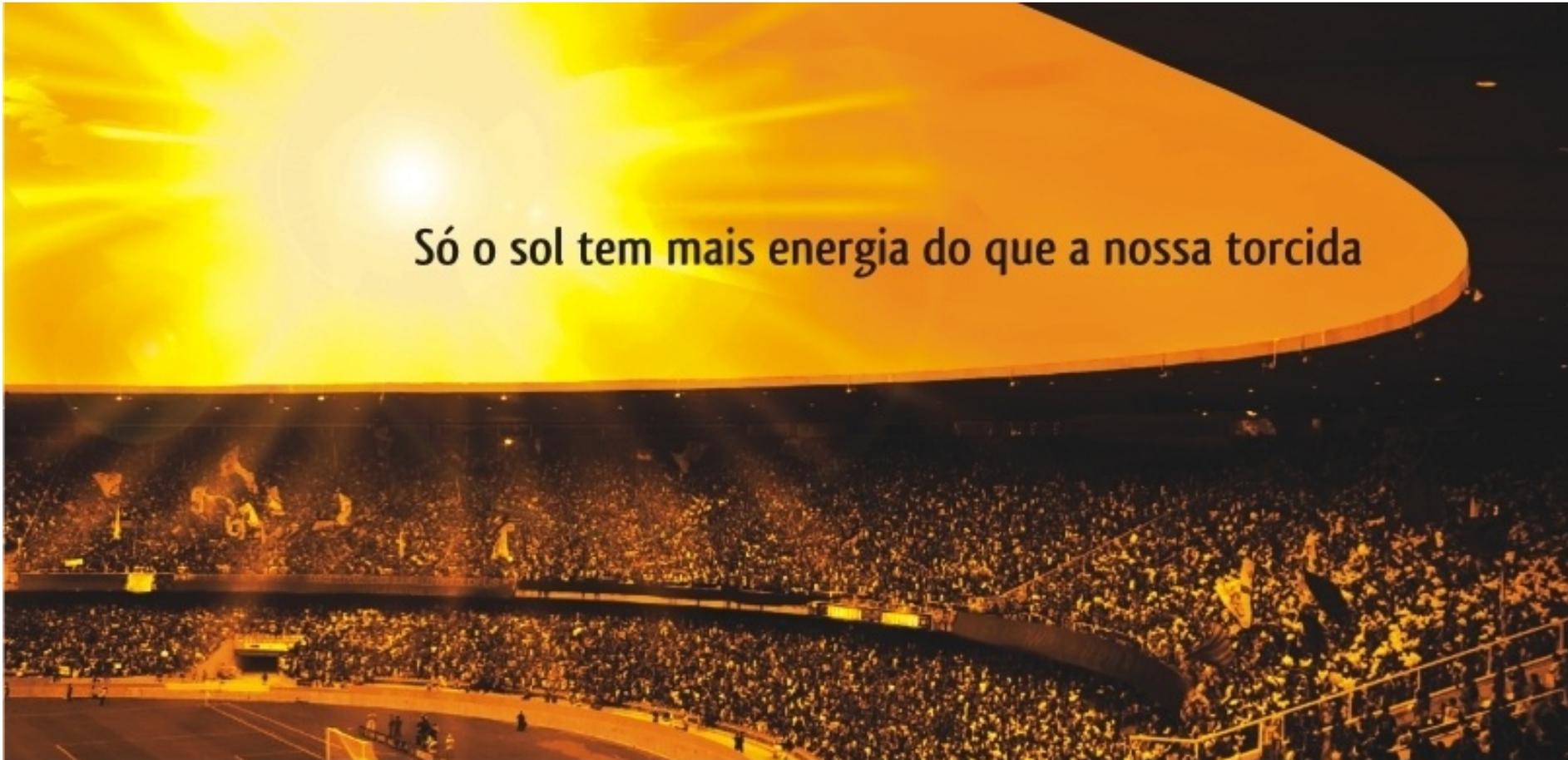


Estacionamento / Eletroposto ELETROSUL (2009)



Projeto Estádios Solares

Opção sustentável para a Copa 2014 no Brasil



Só o sol tem mais energia do que a nossa torcida

Projeto Estádios Solares



MINEIRÃO SOLAR – Gerador de 1,5 MWp na cobertura do Mineirão: Suficiente para suprir energia para mais de 1150 veículos elétricos (1.150.000 km/mês)

Projeto Estádios Solares



Estádio do Pituaçu, Salvador - BA. Projeto de 400kWp aprovado pela ANEEL para o programa de P&D da COELBA/NEOENERGIA

Projeto Estádios Solares



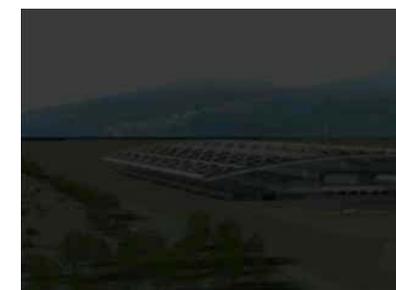
**MARACANÃ SOLAR – Gerador de 3.3 MWp na cobertura do Maracanã
Suficiente para suprir energia para mais de 2000 residências**

Projeto Aeroportos Solares

**Custo da obra do novo
aeroporto R\$ 276 milhões**

**Custo do gerador solar
R\$ 15 milhões = ~ 5 %
do custo total da obra**

**Área da
edificação:
33.000 m²
de área
construída**



**Área do gerador
solar:
14.000 m²
de área de
cobertura +
brises**

R\$ 0,25 por passageiro solariza Florianópolis em 1 ano (P = 1,20 MWp)



Projeto: Novo Aeroporto Internacional de Florianópolis

Source: INFRAERO

Por quanta emissão de CO₂ o Prof. Ricardo Rüter é responsável para vir fazer esta apresentação em Brasília ?

- Emissão de CO₂ por passageiro em vôos FLN-BSB-FLN

0,68 ton

- Valor no mercado internacional de carbono (por passageiro)

€

6,80 (@ € 10,00 / ton CO₂)

Em torno de 95% das emissões de CO₂ relacionadas a esta viagem a Brasília estão relacionadas ao transporte aéreo

O que fazer com esta realidade ?

Emissões da aviação ficaram fora de Kyoto até 2012



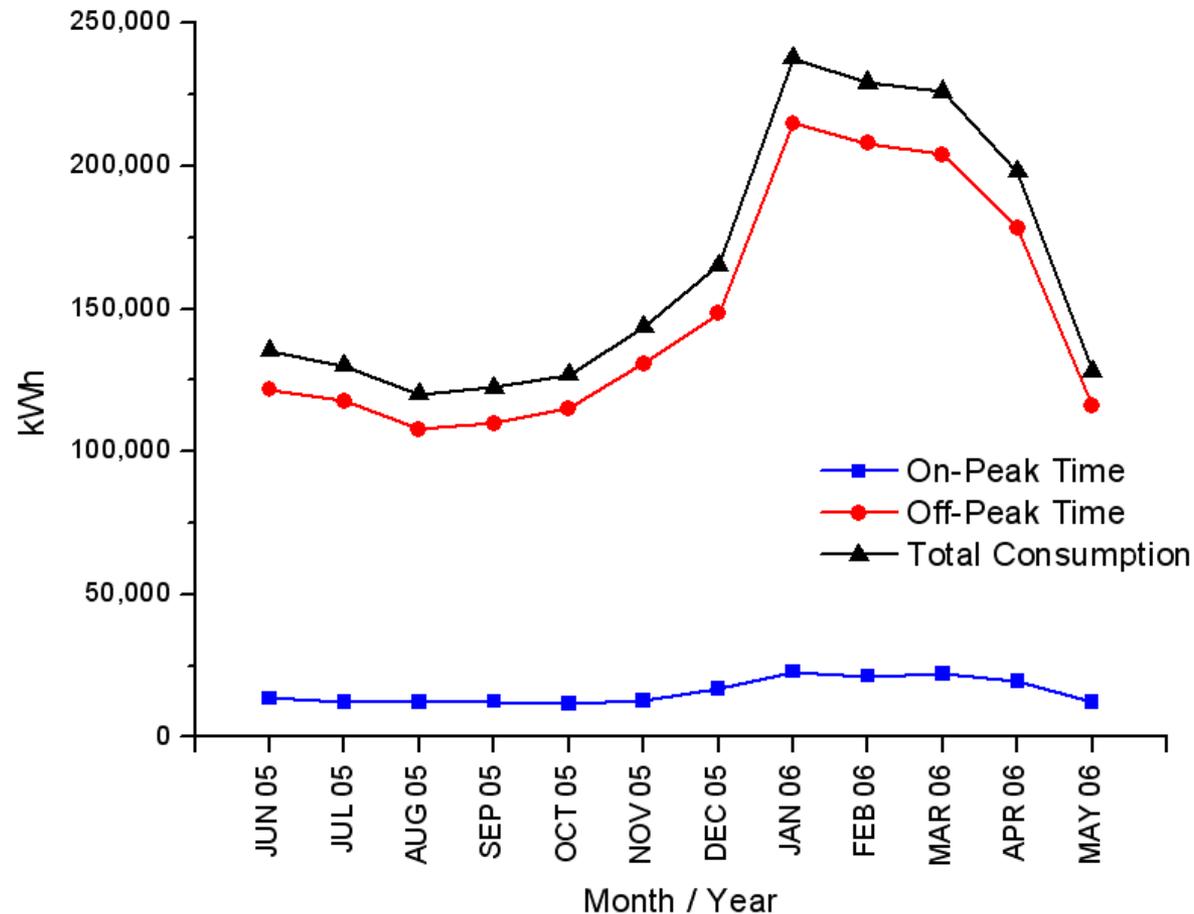
O que fazer com esta realidade ?

Encarar a realidade pode ser uma boa alternativa!



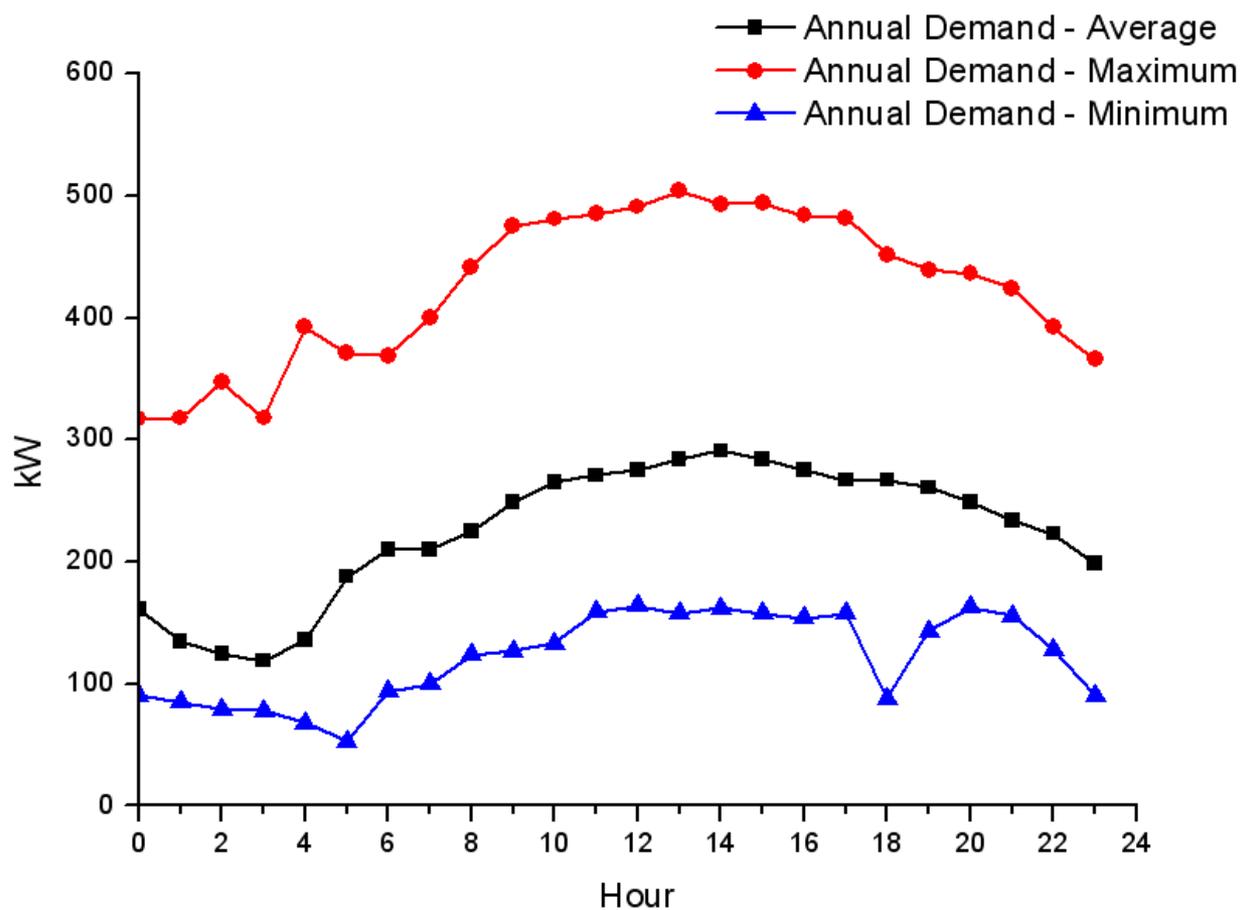
Sazonalidade do consumo

Aeroporto Hercílio Luz - Florianópolis



Curva de carga diária

Aeroporto Hercílio Luz - Florianópolis



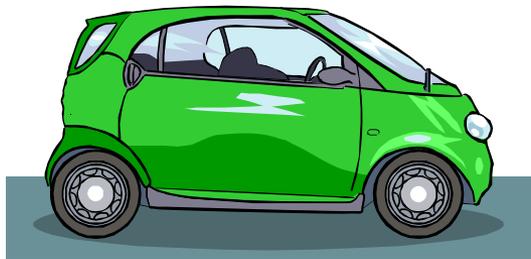
Veículos elétricos: novas demandas por energia

- Veículos elétricos poderão ser uma realidade na próxima década
- 160 kWh/1000 km (6,25 km/kWh)
= 1.3 kWp/veículo/1000 km/mês em Belo Horizonte
= 15m² no telhado
= cobertura de garagem



- Poder de compra do Estado: frotas de empresas públicas utilizando veículos elétricos
- Uso diurno e estratégias de “smart discharging / charging”

1 HECTARE DE CANA DE AÇÚCAR/ANO
X
1 HECTARE DE MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS/ANO



 43.800 km



Um automóvel tipo *Flexfuel* movido a álcool pode percorrer mais de 43 mil quilômetros por hectare de cana de açúcar plantado por ano !!!

1 HECTARE DE CANA DE AÇÚCAR/ANO
X
1 HECTARE DE MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS/ANO



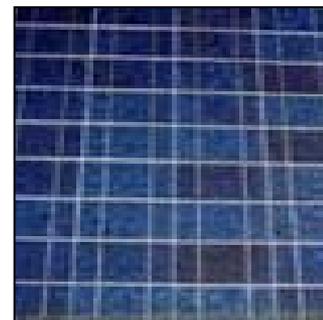
**Automóvel *Flexfuel*
Movido a Álcool**



43.800 km



**Automóvel Elétrico
Movido a energia
solar fotovoltaica**



1.500.000 km

1 HECTARE DE CANA DE AÇÚCAR/ANO
X
1 HECTARE DE MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS/ANO



3.000.000 km

1 HECTARE DE CANA DE AÇÚCAR/ANO
X
1 HECTARE DE MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS/ANO



4.500.000 km

1 HECTARE DE CANA DE AÇÚCAR/ANO
X
1 HECTARE DE MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS/ANO



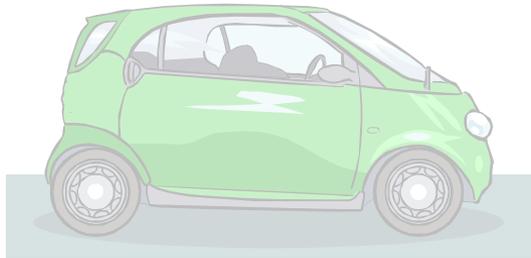
6.000.000 km

1 HECTARE DE CANA DE AÇÚCAR/ANO
X
1 HECTARE DE MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS/ANO



7.500.000 km

1 HECTARE DE CANA DE AÇÚCAR/ANO
X
1 HECTARE DE MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS/ANO



O automóvel *Flexfuel* movido a álcool deu uma volta ao mundo

Este carro parou de andar a 9.331.200 km atrás

O automóvel elétrico movido a energia solar deu 234 voltas ao mundo!



ASSUMINDO RENDIMENTO FOTOVOLTAICO DE 1500KWH/KWP/ANO E E-CAR 6,25KM/KWH **9.375.000 km**

A novela das 7 da TV Globo em 16 de fevereiro de 2010



<http://www.youtube.com/watch?v=0RzkaMYvGQ0> no tempo de 6:30 a 7:00



Potencial da energia solar fotovoltaica no Brasil e projetos vitrine Estádios Solares e Aeroportos Solares

Prof. Ricardo Rüther

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

&

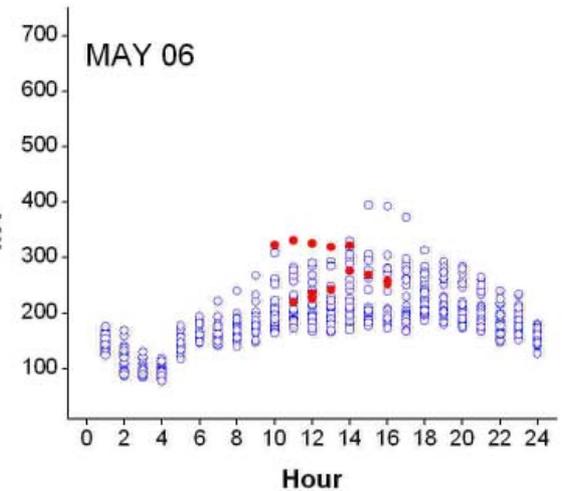
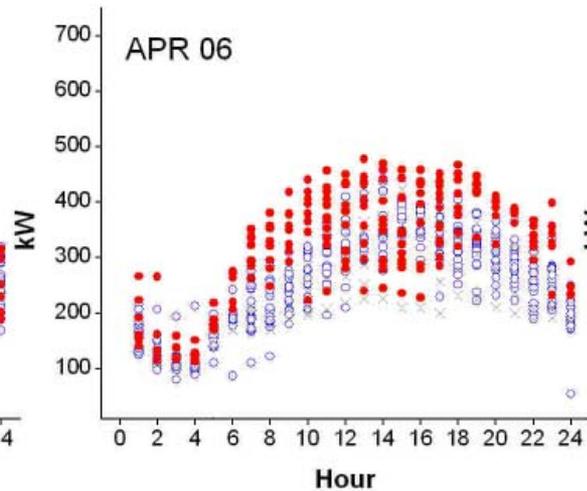
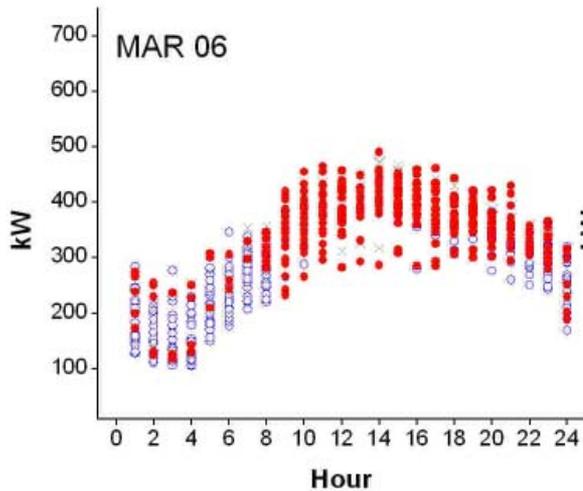
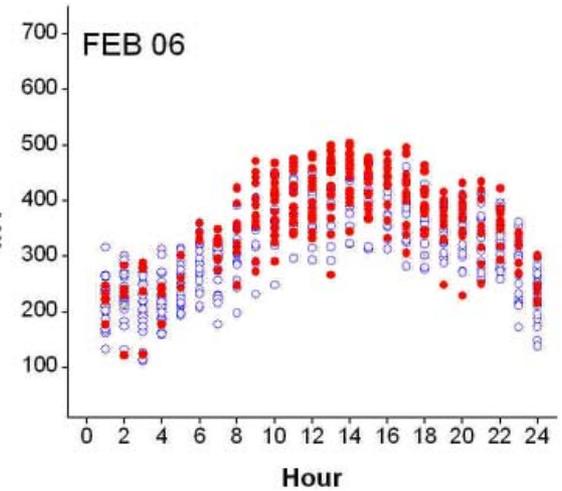
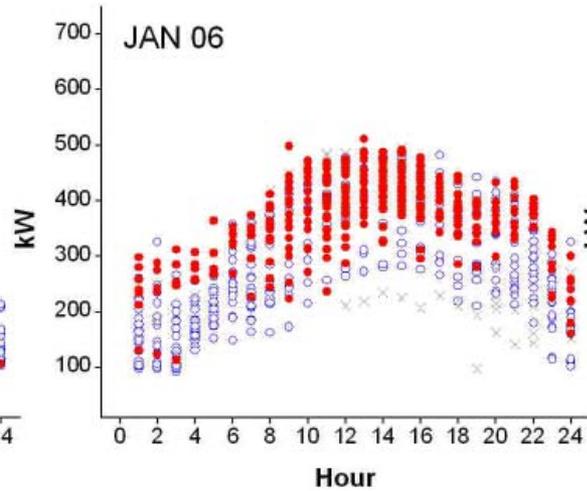
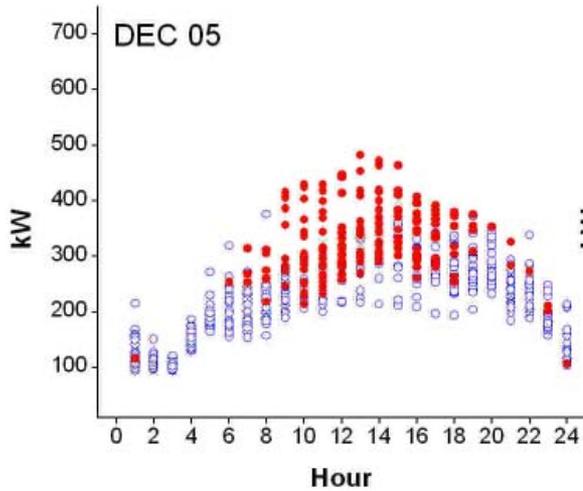
Instituto para o Desenvolvimento das Energias Alternativas na América Latina - IDEAL



Demanda e temperatura

○ demand - < setpoint ● demand - > setpoint

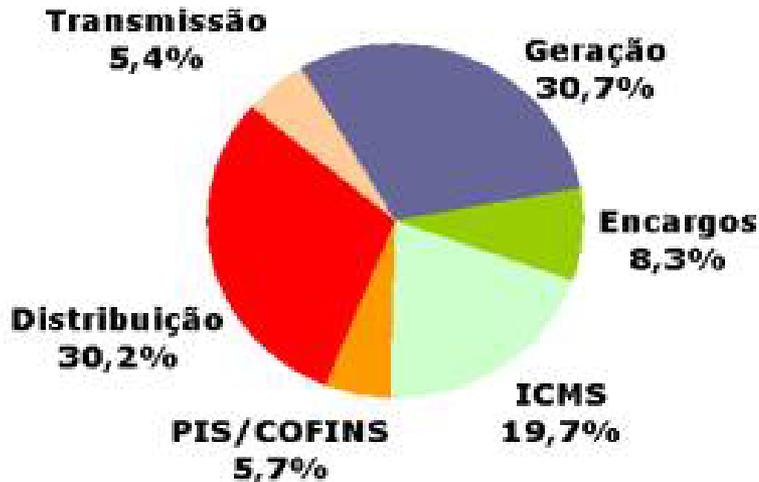
Setpoint = 25°C



Análise comparativa entre Brasil e Alemanha

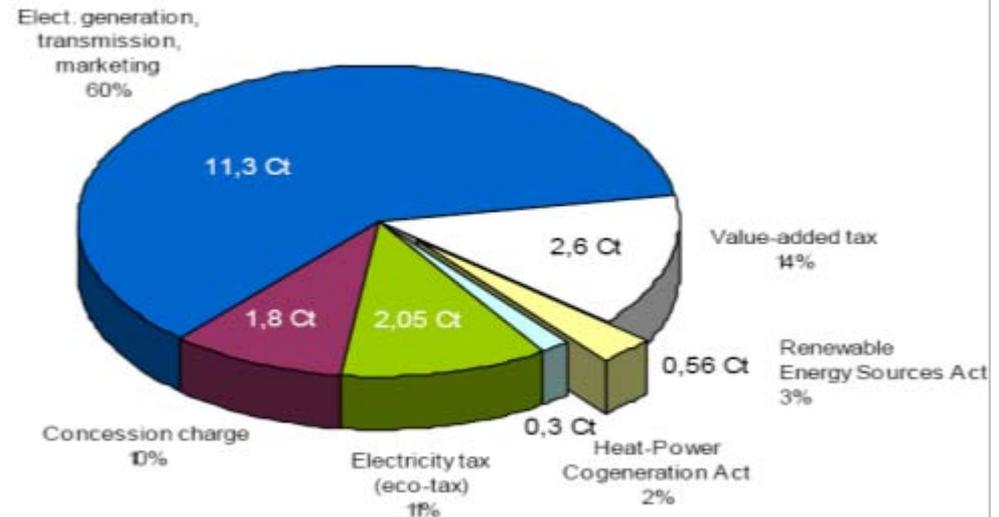
Brasil

Tarifa média residencial para 1 kWh de eletricidade (15,1 cent/€)



Alemanha

Tarifa média residencial para 1 kWh de eletricidade (18,6 cent/€)



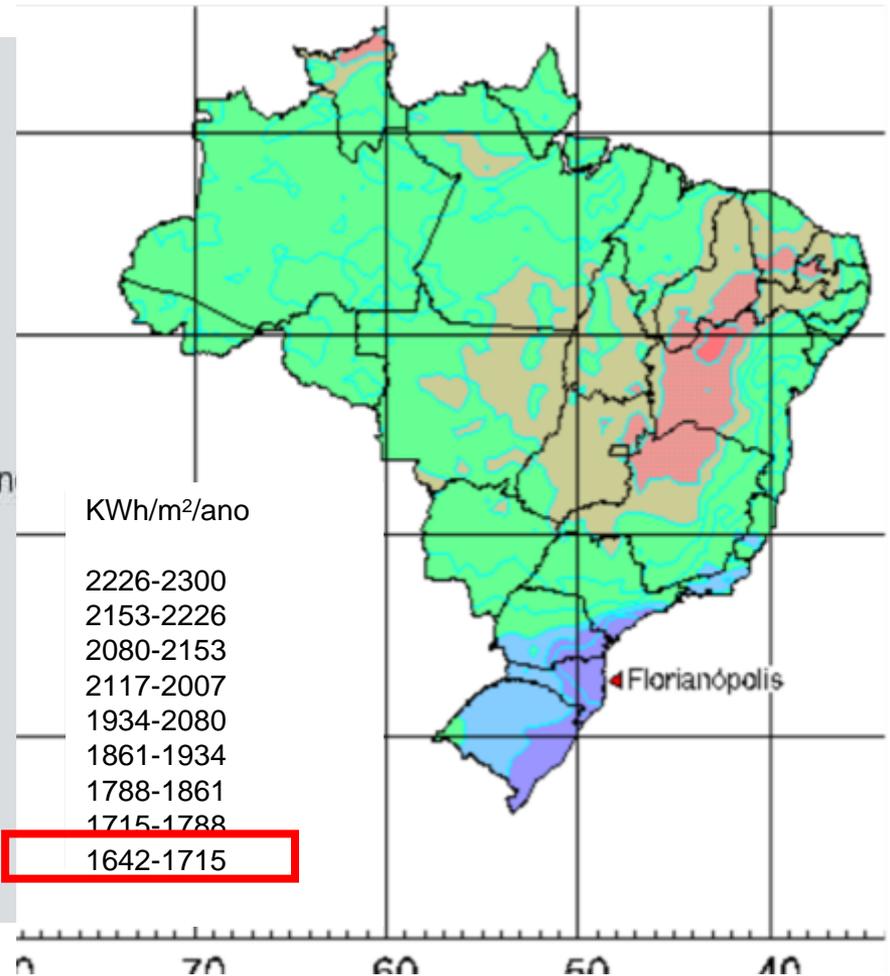
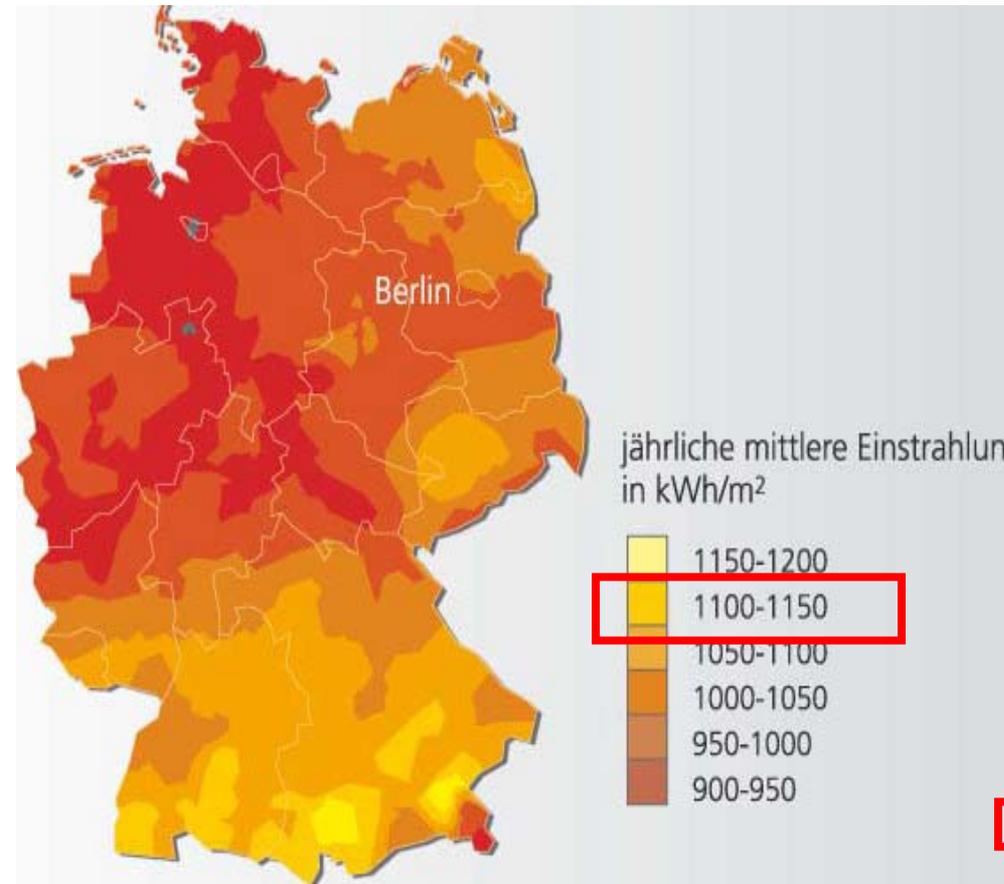
Fonte: ABRADÉE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica.

Fonte: Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, 2005.

Tarifa residencial na Alemanha é 25% mais cara do que no Brasil

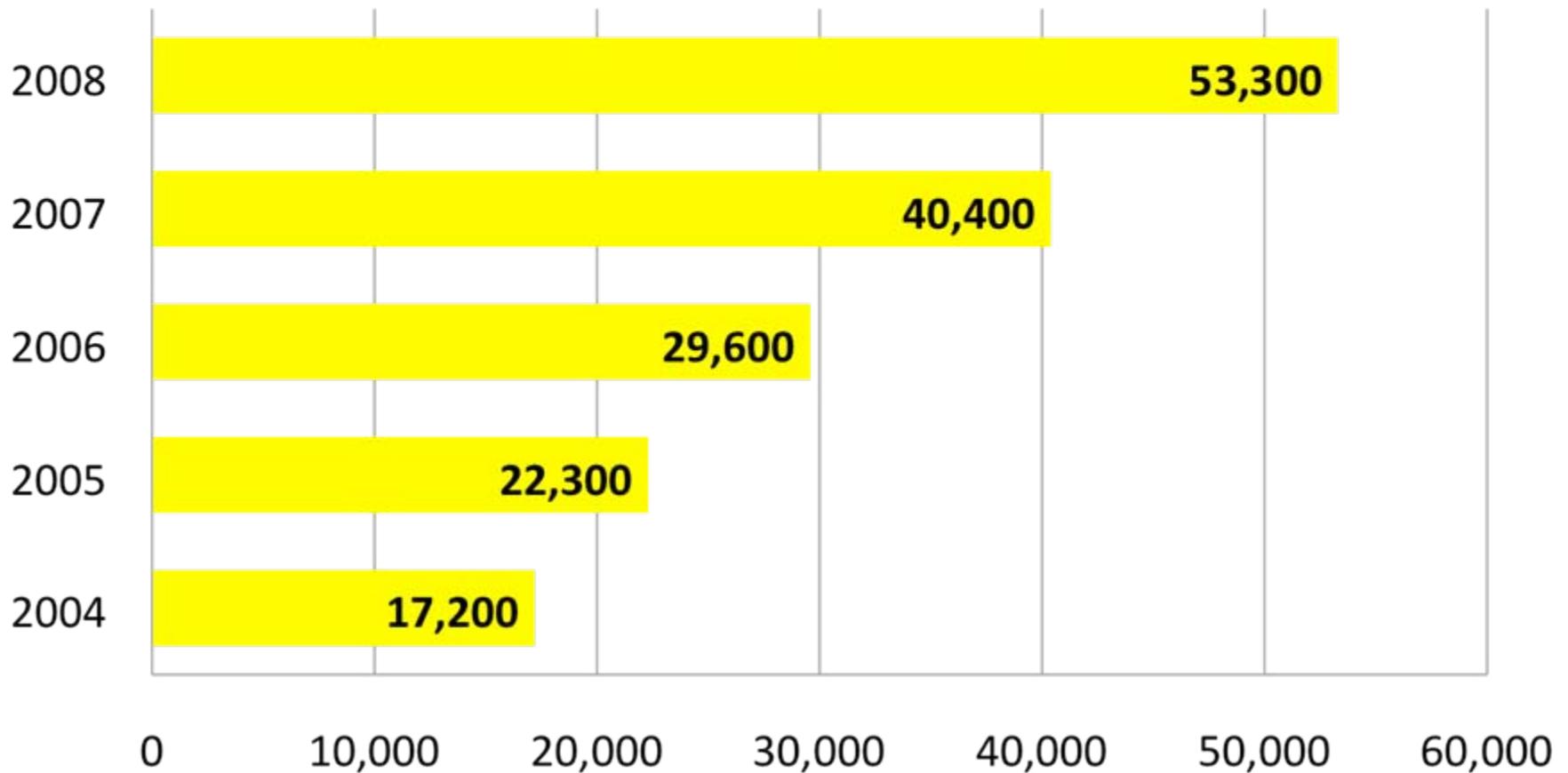
Análise comparativa entre Brasil e Alemanha

Radiação solar na região mais ensolarada da Alemanha é 40% menor do que na região menos ensolarada do Brasil



Geração de empregos

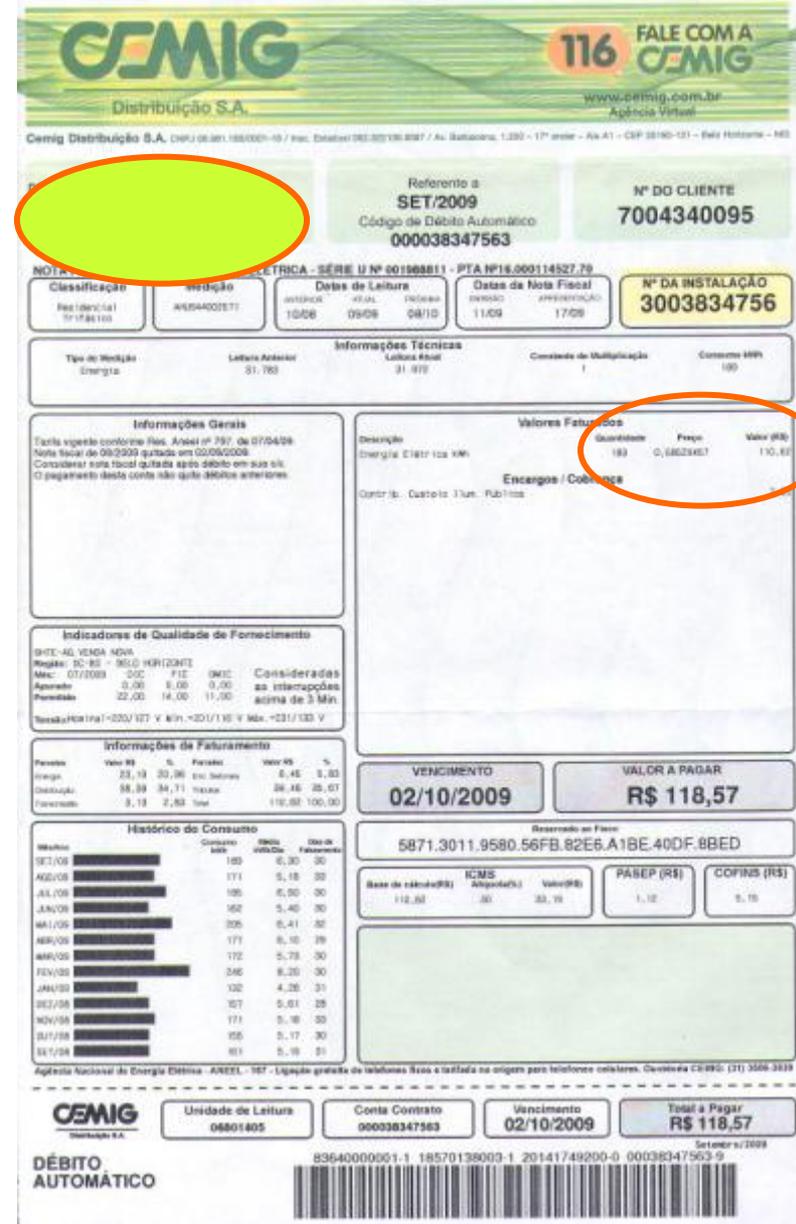
Quantidade de empregos no setor fotovoltaico na Alemanha



PREMISSA: a geração PV deve ser comparada com TARIFA

CUSTO x PREÇO

- A tarifa residencial com impostos é o **preço** da energia para o consumidor (R\$ 0,585 / kWh em BH)
- Este **preço** tende a aumentar nas próximas décadas
- O **custo** da geração solar fotovoltaica vem caindo rapidamente e sob certas condições poderia ser competitivo já hoje!
- Legislação atual não permite ao consumidor residencial instalar e operar um gerador solar fotovoltaico conectado na rede elétrica pública



CEMIG Distribuição S.A. **116** FALE COM A CEMIG www.cemig.com.br Agência Virtual

CEMIG Distribuição S.A. CNPJ: 08.981.188/0001-05 / Filial: Estação 002.007100.0007 / Av. Balança, 1.200 - 17º andar - Av. A1 - CEP: 30190-011 - Belo Horizonte - MG

Referente a **SET/2009** Nº DO CLIENTE **7004340095**
 Código de Débito Automático **000038347563**

NOTA FISCAL Nº 001968811 - PTA Nº 16.00014527.29

Classificação Residencial 571785100	Medição ANBAAC01E71	Dados de Leitura INICIAL: 1806 FINAL: 0908 08/10	Data da Nota Fiscal 08/10 17:09	Nº DA INSTALAÇÃO 3003834756
-------------------------------------------	------------------------	-----------------------------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------

Tipos de Medição: Energia
Letura Anterior: 31.763
Letura Final: 31.972

Informações Técnicas: Consumo kWh: 100

Informações Gerais: Tarifa vigente conforme Res. Anel nº 797 de 07/04/08. Nota fiscal de 09/2009 quitada em 02/09/2009. Considerar esta fatura quitada após débito em sua c/c. O pagamento desta conta não quite débitos anteriores.

Descrição: Energia Elétrica kWh
Quantidade: 100
Preço: 0,5823451
Valor (R\$): 110,57

Encargos / Contribuições: Contrib. Custeio Trans. Públicas

Indicadores de Qualidade de Fornecimento: BITE-AL VENDA NOVA. Regime: 10-95 - 95,0 HOR(24HT). Minc: 07/009 30C FIE: 0,00 OMC: 0,00 Consideradas as interrupções acima de 3 Min. Apendido: 22,00 14,00 17,00. Tensão Nominal=220V HT e Min.=201/110 V Máx.=231/133 V

Informações de Faturamento: Parcelas: Valor R\$ 118,57 Parcelas Valor R\$ 5,42 3,03. Energia: 58,89 34,71 100,00 28,46 25,07. Parcelado: 5,13 2,83 100,00 110,82 100,00

Histórico de Consumo: Gráfico de barras mostrando consumo em kWh por mês de SET/08 a SET/09.

VENCIMENTO: 02/10/2009 VALOR A PAGAR: R\$ 118,57

Reservado ao Fisco: 5871.3011.9580.56FB.82E6.A1BE.40DF.8BED

Base de cálculo (R\$)	ICMS (R\$)	Adicional (R\$)	Valor (R\$)	FASEP (R\$)	COFINS (R\$)
112,82	30	33,99	1,12	5,15	

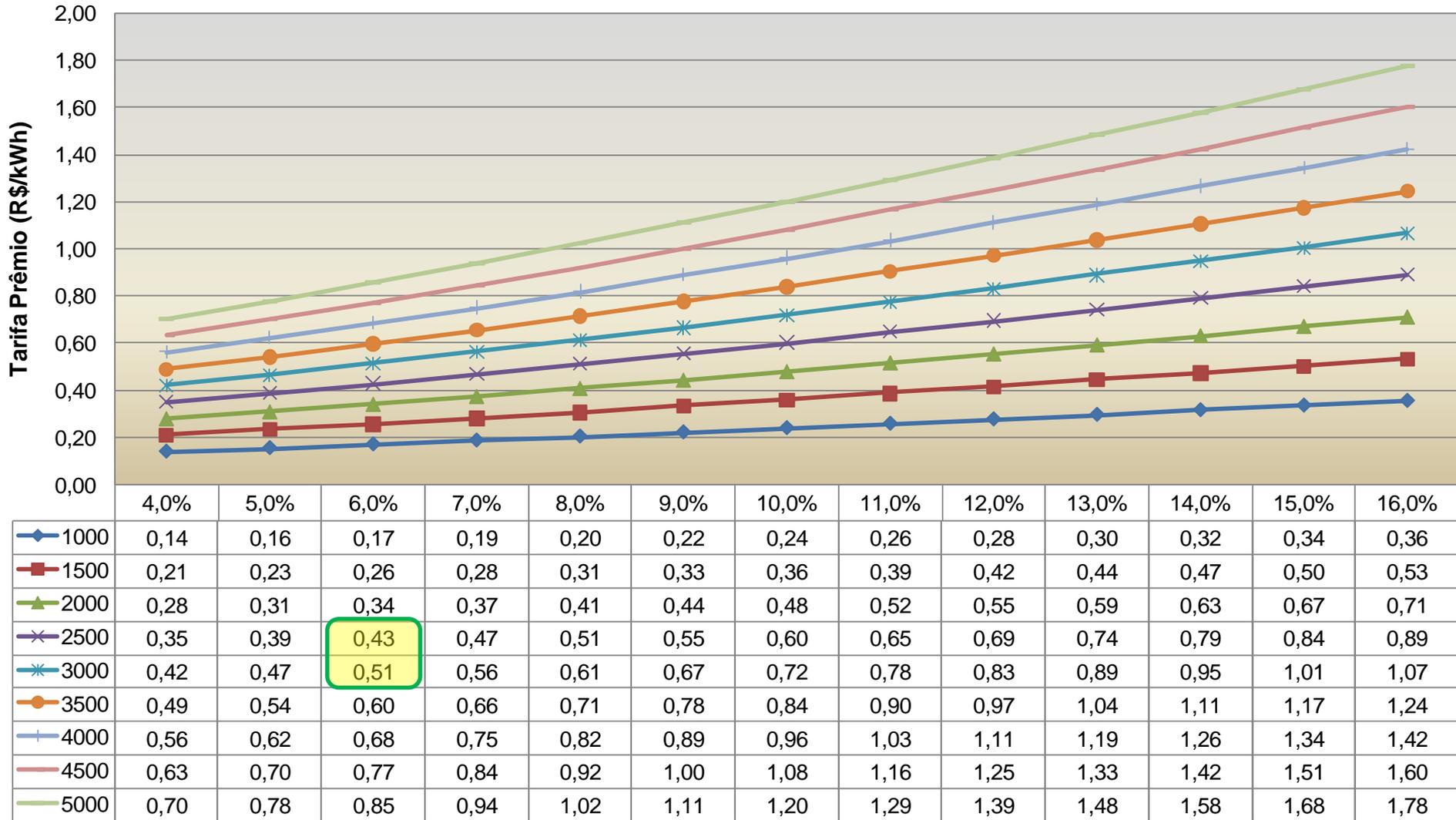
Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - 157 - Ligação gratuita de telefones fixos e tarifada no origem para telefones celulares. Ouvidoria CEMIG: (31) 3568-3339

CEMIG Unidade de Leitura: 06801805 Conta Contrato: 000038347563 Vencimento: 02/10/2009 Total a Pagar: R\$ 118,57

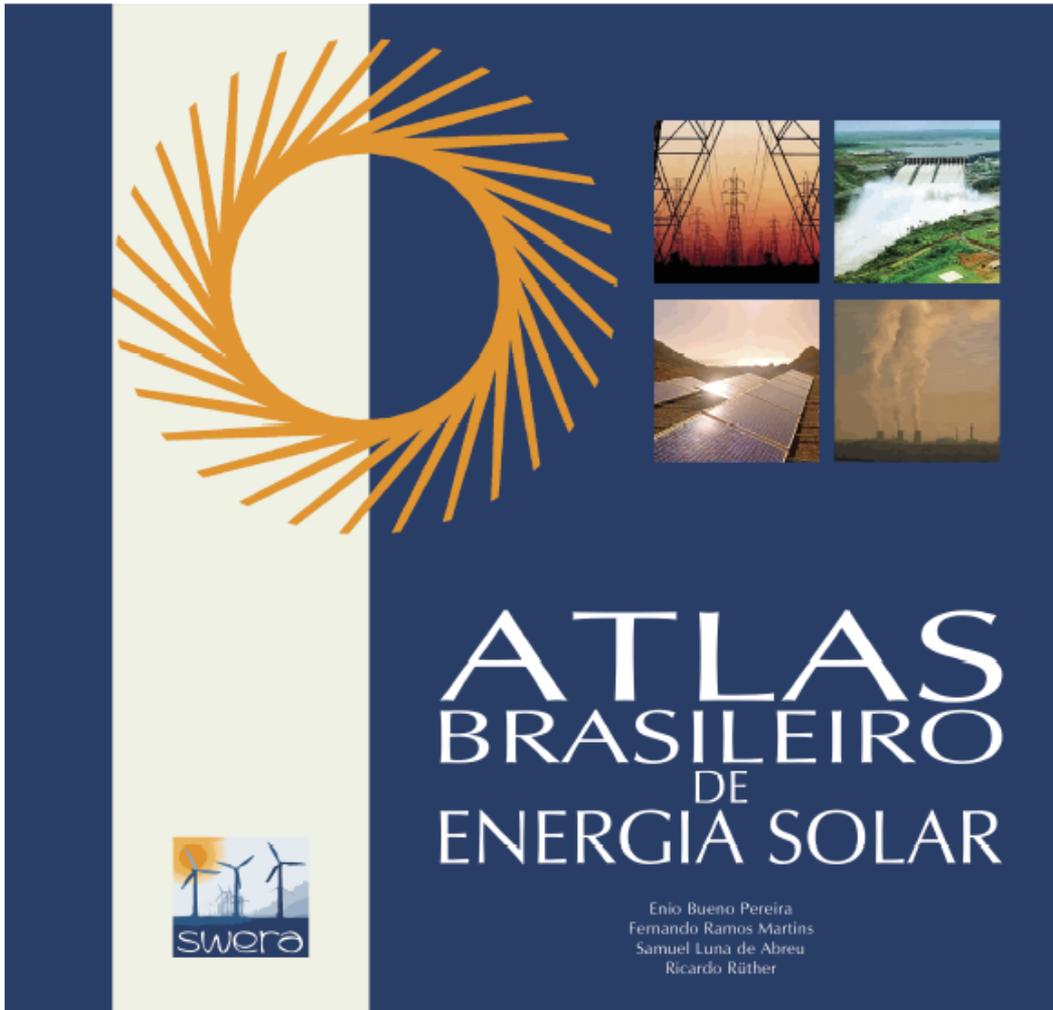
DÉBITO AUTOMÁTICO 83640000001-1 18570135000-1 20141749200-0 00038347563-9

PREMISSA: a geração PV deve ser comparada com TARIFA

Variação da tarifa-prêmio em função da variação da TIR (%), do preço do sistema (€/kWp), para 25 anos de pagamento de tarifa-prêmio, fixando Yield em 1500 kWh/kWp



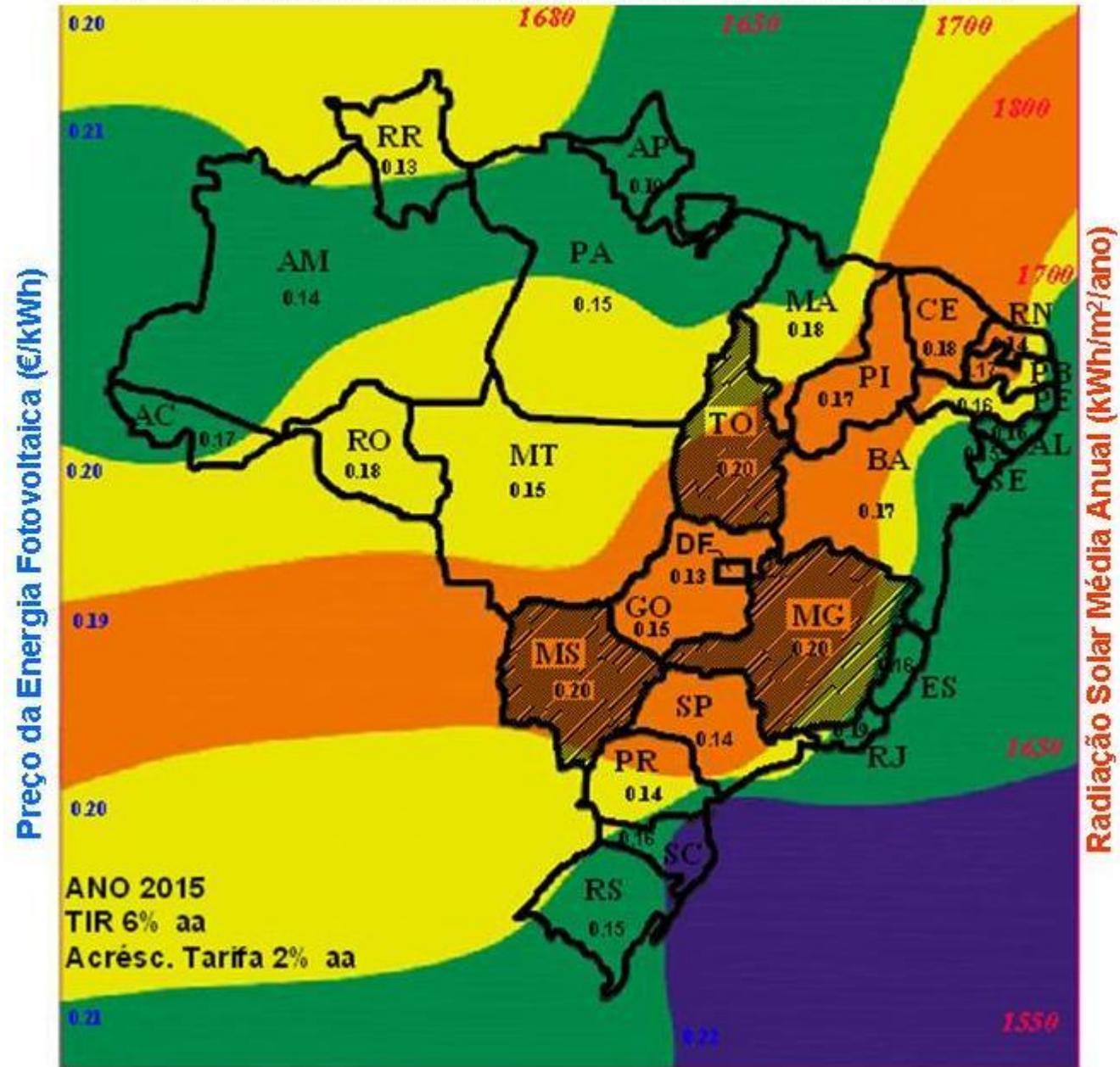
MAPAS DE PARIDADE TARIFÁRIA PARA O BRASIL



- Radiação solar
- Tarifas de energia convencional e evolução do preço
- Preço do kWp FV instalado
- TIR

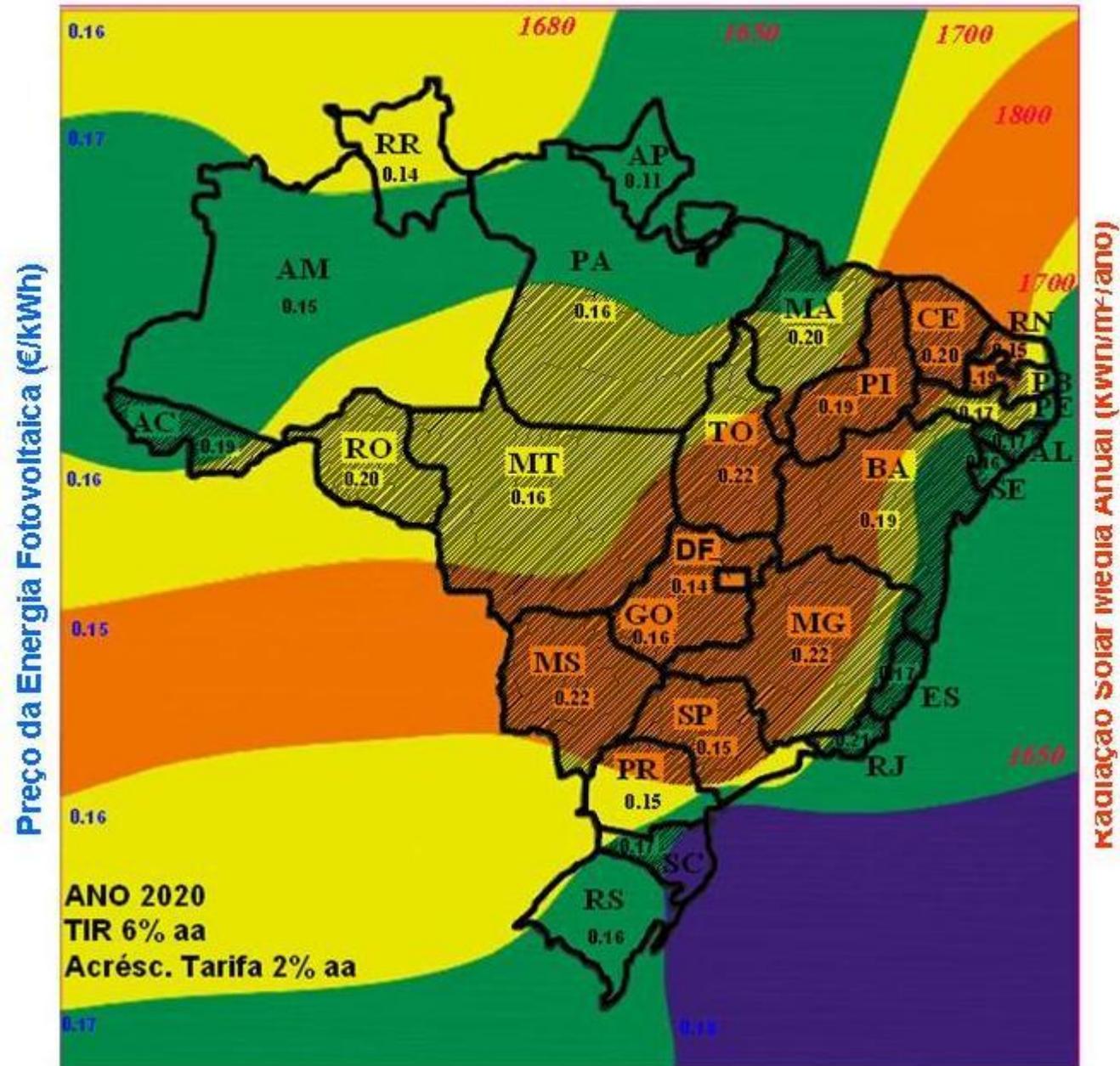
Tarifa de Energia Convencional – Setor Residencial (€/kWh)

Nas áreas hachuradas a energia solar tem o mesmo custo da energia convencional



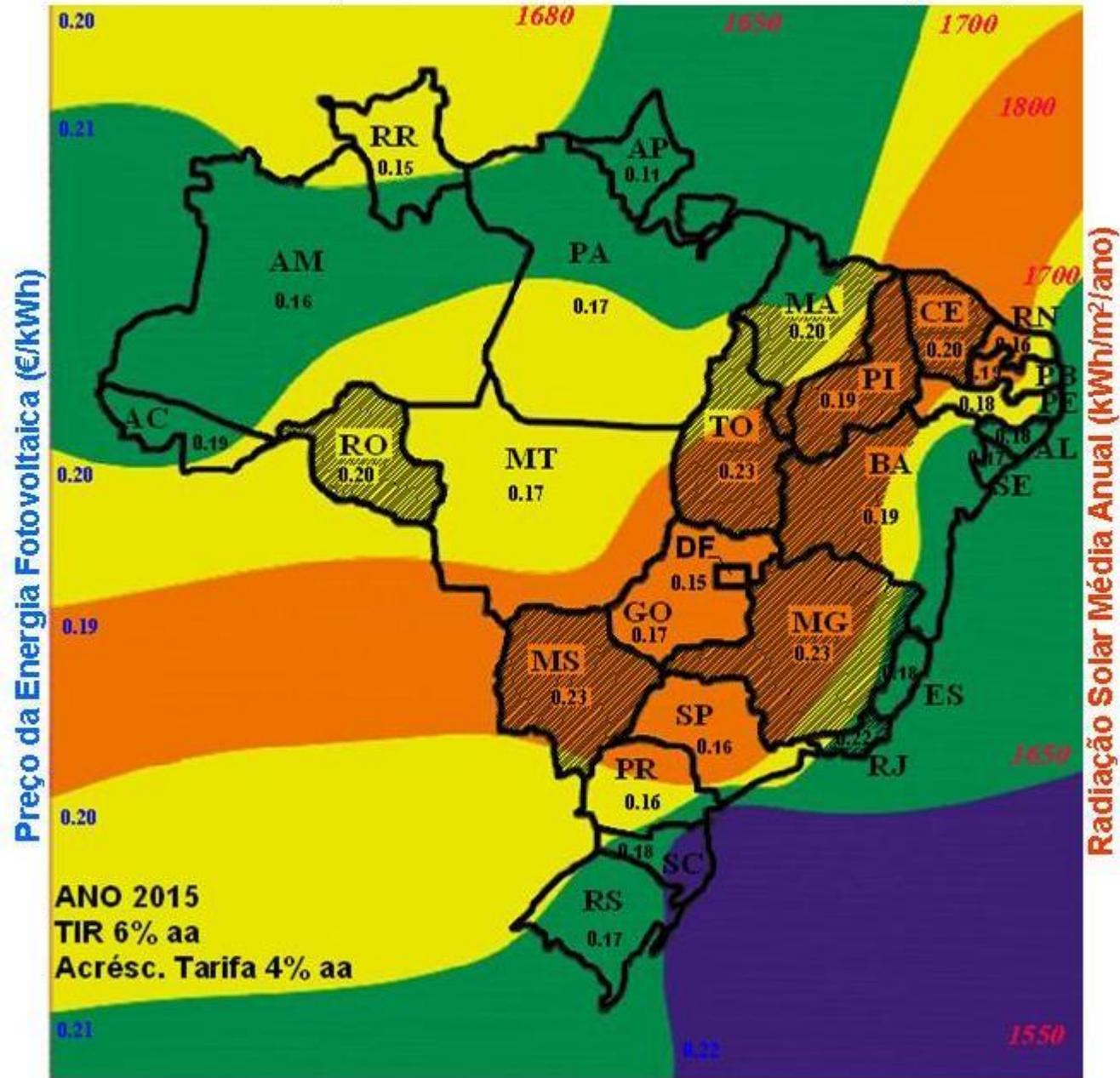
Tarifa de Energia Convencional – Setor Residencial (€/kWh)

Nas áreas hachuradas a energia solar tem o mesmo custo da energia convencional



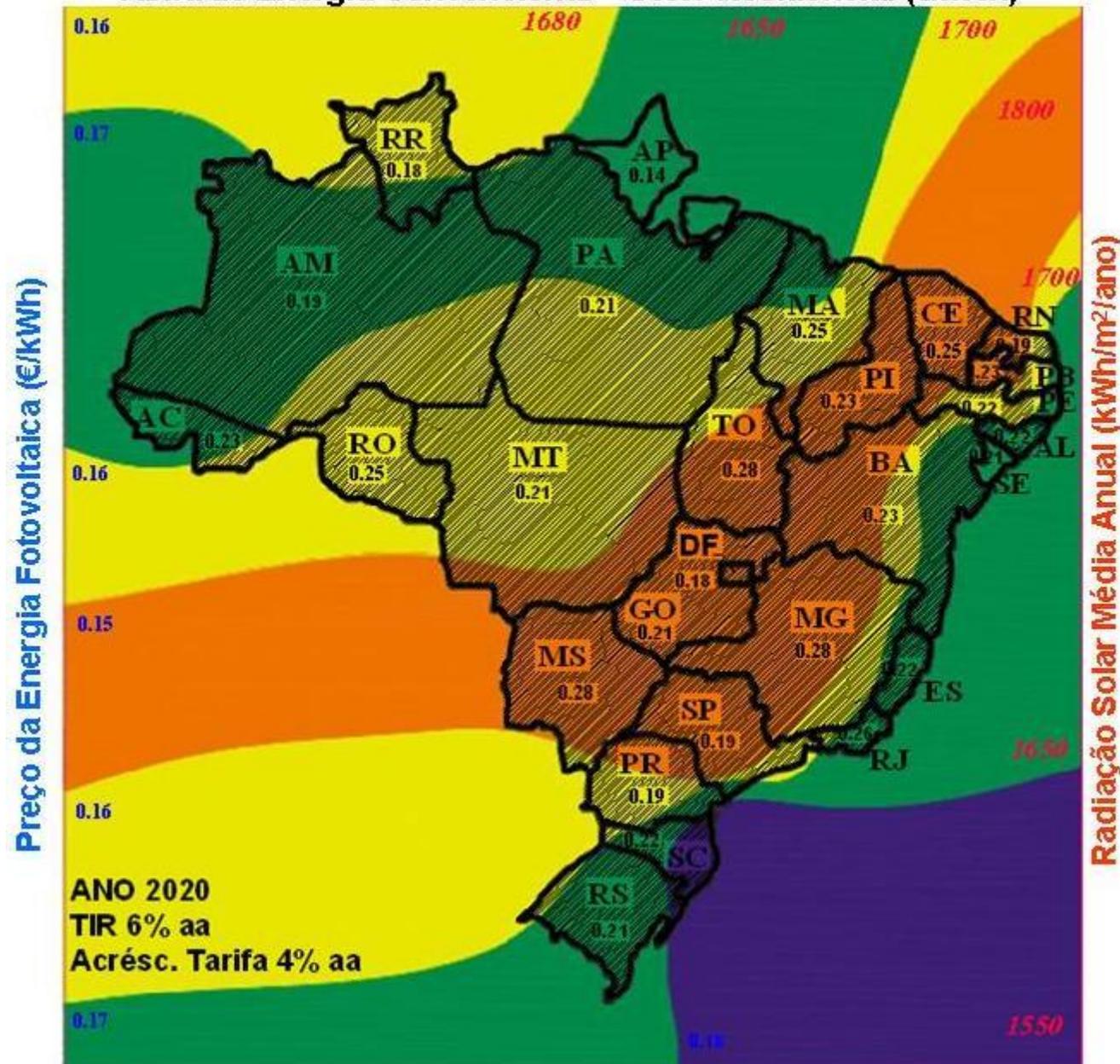
Tarifa de Energia Convencional – Setor Residencial (€/kWh)

Nas áreas hachuradas a energia solar tem o mesmo custo da energia convencional



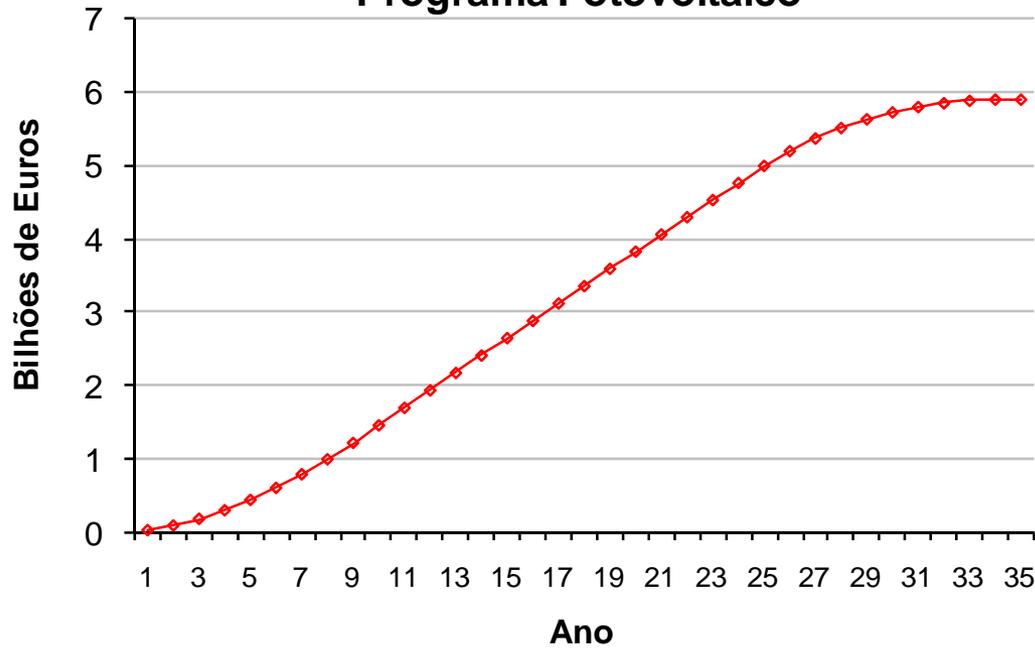
Nas áreas hachuradas a energia solar tem o mesmo custo da energia convencional

Tarifa de Energia Convencional – Setor Residencial (€/kWh)

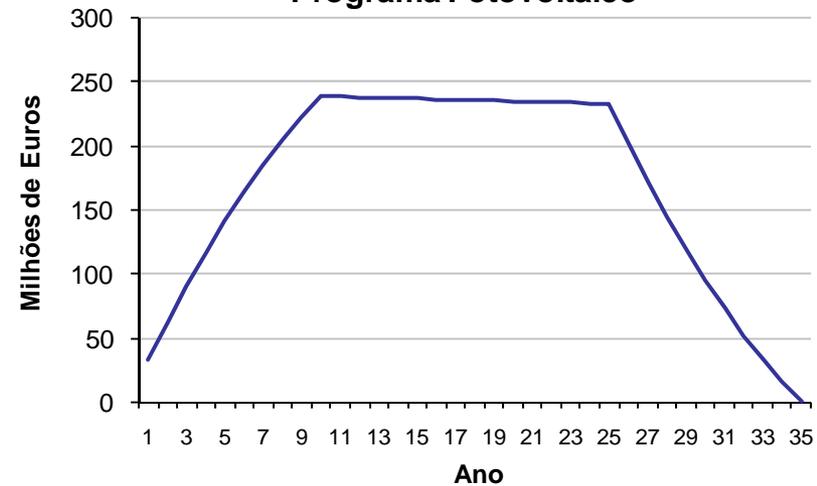


TIR 6% => custo total (25 anos) = € 5,88 bilhões

Custo Acumulado do Programa Fotovoltaico



Custo Anual do Programa Fotovoltaico





BRASIL

PROGRAMA 100 MWp/ano

10 ANOS = 1000 MWp

25

Anos de Pagamento da Tarifa Prêmio

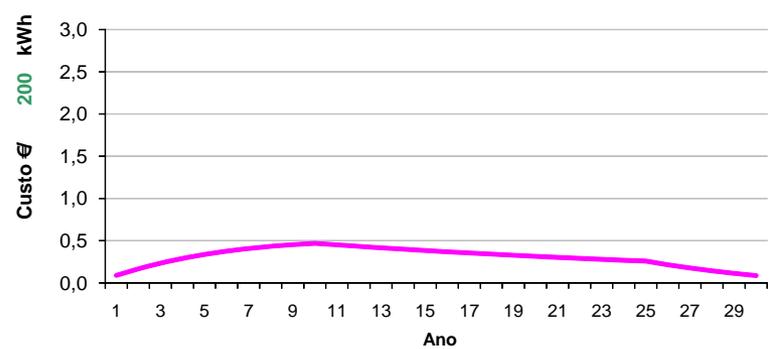
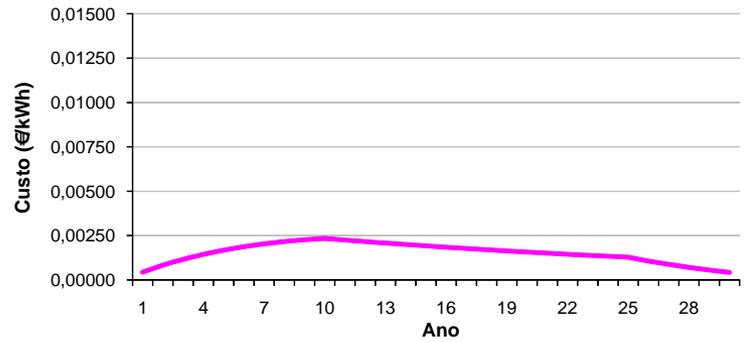
INVESTIMENTO 4.500 €
 Despesas (O&M) 1%
 Receitas 397,0 €
 TMA 6%
 TIR 6%
 VPL 0,00 €

Tamanho do Sistema FV 1 kWp
Número de Sistemas 100.000 unidades
Preço do Sistema FV / kWp 4.500 Euro / Real 1
Redução do Custo FV 0,95 5,0%
Produtividade 1.500 kWh/kWp
Geração FV 150.000.000 kWh

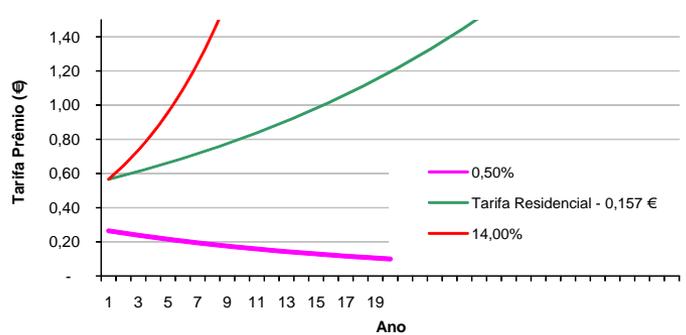
Montante em Tarifa € 39.702.023,20
Preço da Energia € 0,05 /kWh
Custo Anual do Programa € 32.202.023,20
 0,01 /kWh
Tarifa Prêmio € 0,26 /kWh
Consumo residencial fora baixa renda 72.062.231.000 kWh
Aumento do Consumo 1,039 3,9%

Impacto na Tarifa € **0,000447**

Custo por 200 kWh € **0,08937**



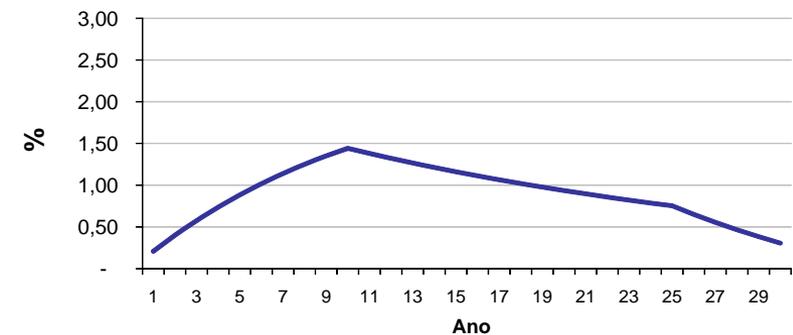
Redução da Tarifa Prêmio em função da redução do custo do sistema FV



Aumento Anual na
 4,00%
Média
 14,00%
Cruzamento
 1º Ano
 1º Ano

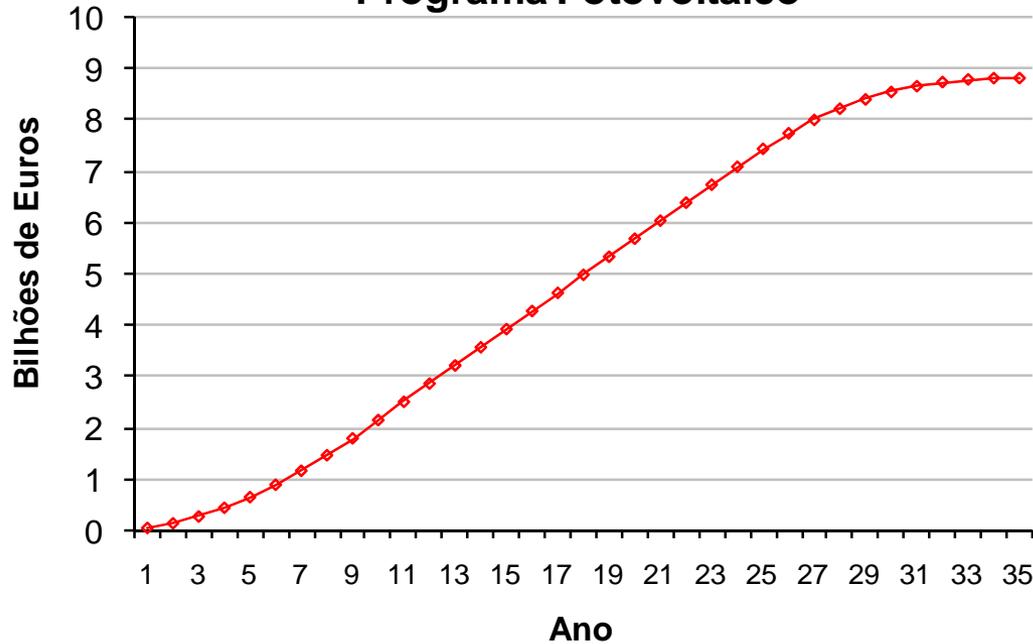
2007

Percentual no Total do Consumo Residencial

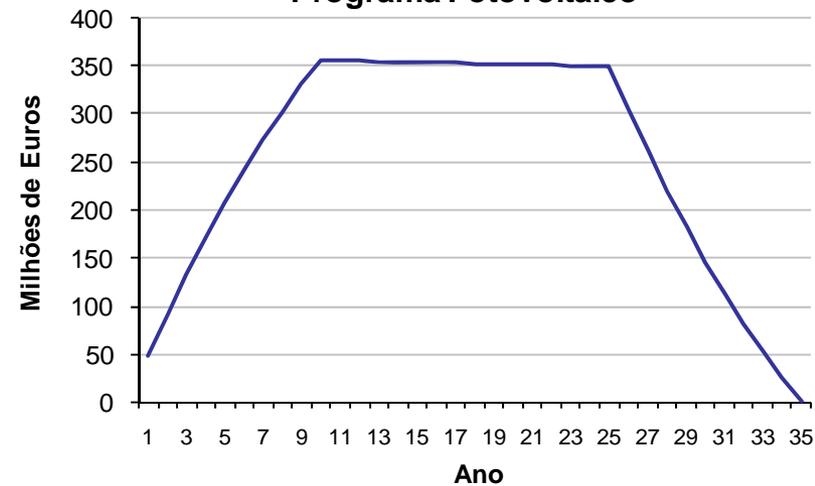


TIR 10% => custo total (25 anos) = € 8,77 bilhões

Custo Acumulado do Programa Fotovoltaico



Custo Anual do Programa Fotovoltaico





BRASIL

PROGRAMA **100** MWp/ano

10 ANOS = 1000 MWp

25

Anos de Pagamento da Tarifa Prêmio

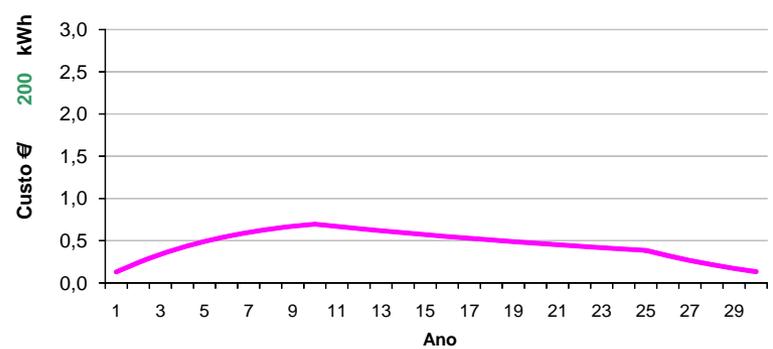
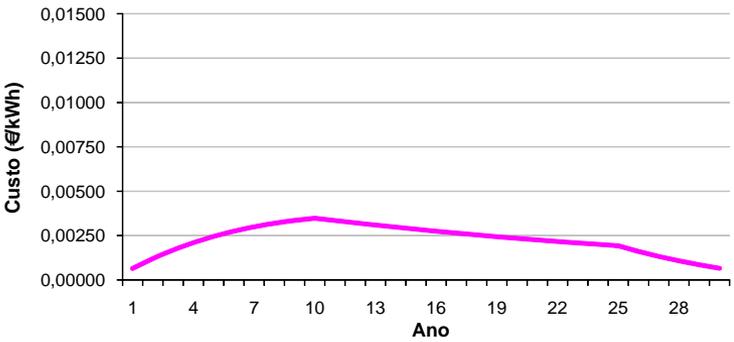
INVESTIMENTO 4.500 €
 Despesas (O&M) 1%
 Receitas 540,8 €
TMA 10%
TIR 10%
VPL 0,00 €

Tamanho do Sistema FV 1 kWp
Número de Sistemas 100.000 unidades
Preço do Sistema FV / kWp 4.500 Euro / Real 1
Redução do Custo FV 0,95 5,0%
Produtividade 1.500 kWh/kWp
Geração FV 150.000.000 kWh

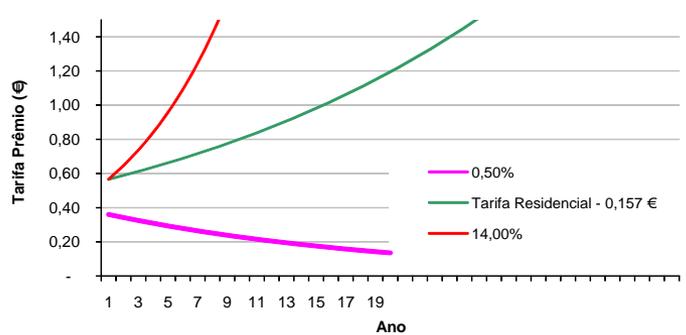
Montante em Tarifa € 54.075.632,49
Preço da Energia € 0,05 /kWh
Custo Anual do Programa € 46.575.632,49
 0,01 /kWh
Tarifa Prêmio € 0,36 /kWh
Consumo residencial fora baixa renda 72.062.231.000 kWh
Aumento do Consumo 1,039 3,9%

Impacto na Tarifa € **0,000646**

Custo por 200 kWh € **0,12927**



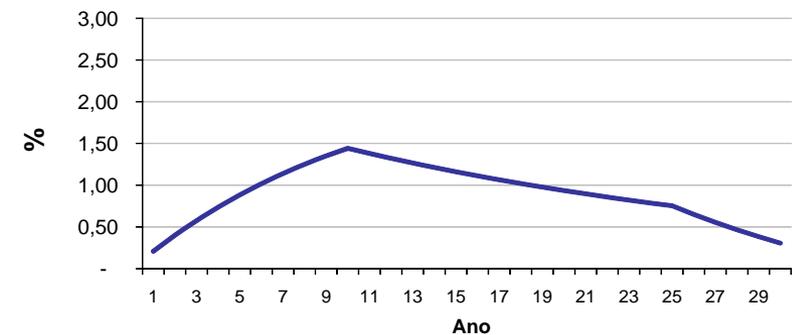
Redução da Tarifa Prêmio em função da redução do custo do sistema FV



Aumento Anual na
 4,00%
Média
 14,00%
Cruzamento
 1º Ano
 1º Ano

2007

Percentual no Total do Consumo Residencial



Pico geração solar = Pico temperatura

Demanda por energia elétrica bate recorde pelo 4º dia seguido

Estadão .com.br - 04/02/2010

A carga de energia no Sistema Interligado Nacional (SIN) bateu novo recorde histórico nesta quinta-feira, 4, atingido o pico de **70.654 MW às 14h49** [...]

De acordo com o ONS, o calor excessivo está provocando até mudanças na curva diária de consumo, criando **dois "horários de pico"**: o momento logo após ao almoço, com alto consumo industrial e de aparelhos de ar condicionado, e o tradicional horário de pico, no início da noite, quando cresce o consumo residencial.

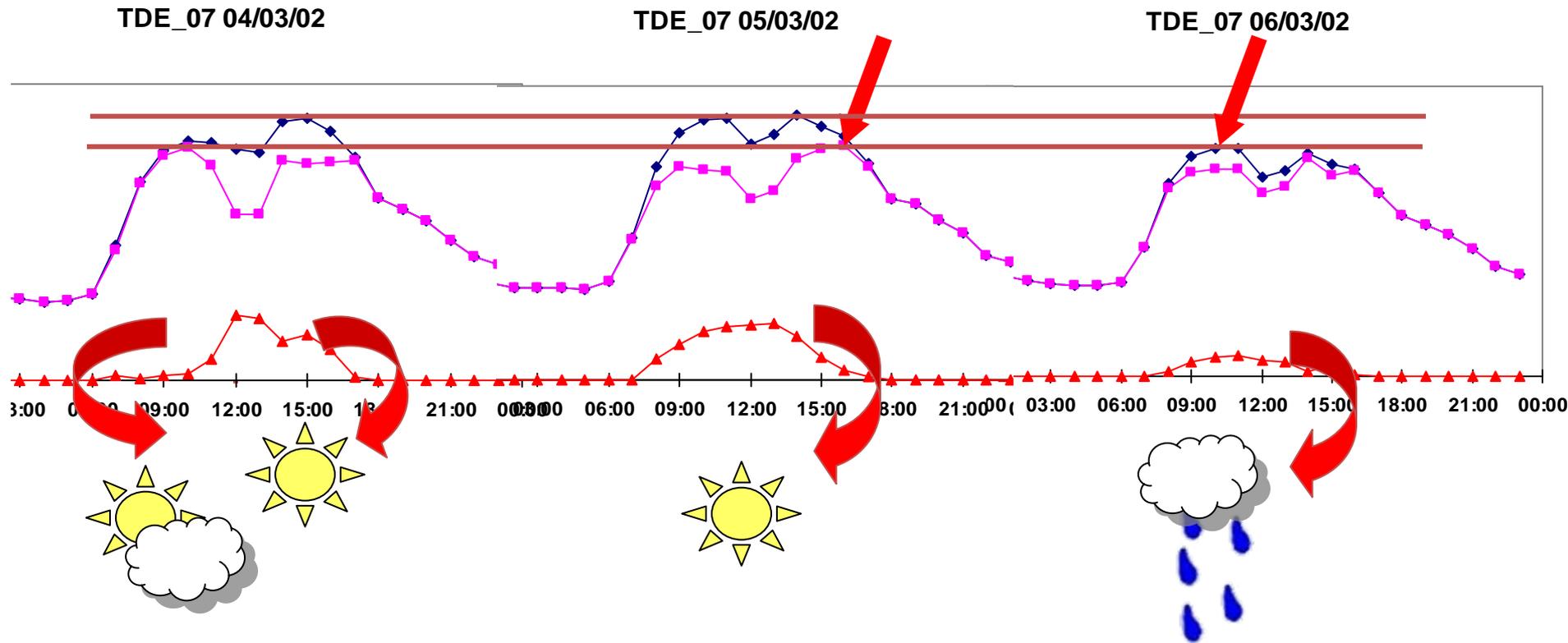
No primeiro horário de pico, logo após o almoço é que os recordes tem sido batidos constantemente. [...]

Tabela – Demanda Instantânea Máxima (MW)

Região	Máxima em	04/02/2010	Recorde Anterior	Data
SIN	70.654	14:49	70.421	03/02/10
SE/CO	43.519	14:44	43.354	03/02/10
SUL	13.355	14:53	13.264	03/02/10
NORTE	4.381	15:52	4.300	16/01/10

Subsistemas	Ano - 2010		Histórico		
	Em janeiro	Horário	Máxima Verificada	Horário	Mês
SIN	67.010	15:16	67.442	14:45	nov-09
SE/CO	41.914	15:41	42.144	14:46	nov-09
SUL	12.247	14:20	12.263	14:34	mar-09
NORDESTE	9.736	15:33	9.842	19:55	dez-09
NORTE	4.300	20:25	4.300	20:25	jan-10

Pico geração solar = Pico temperatura



Fonte: RÜTHER, R.; KNOB, P.; JARDIM, C.S; REBECHI, S. H. Potential of building-integrated photovoltaic solar energy generators in assisting daytime peaking feeders in urban areas in Brazil, Energy Conversion and Management (Elsevier), Vol. 49, p. 1074-1079, 2008.

Argentina exporta energia ao Brasil

Daniel Rittner

De Buenos Aires, do Rio e de Brasília

Desde quarta-feira à tarde, o Brasil começou a importar 500 megawatts (MW) médios de energia da Argentina. O curioso é que ambos os países tiveram, nos últimos dias, recordes de consumo. Na semana passada, com a onda de calor em Buenos Aires e no interior argentino, a demanda encostou em 20 mil MW no país vizinho, obrigando as autoridades a cortar o fornecimento, por algumas horas, em províncias como Córdoba.

As termelétricas despacharam 2.542 MW médios, correspondentes a 4,12% do total. As usinas nucleares contribuíram com produção de 1.956 MW, correspondentes a 3,17% de tudo o que foi gerado.

Diante de limitações operacionais nas linhas de transmissão de Furnas, Itaipu perdeu espaço no fornecimento da energia consumida no país neste período de recordes de consumo. Em dezembro e janeiro, a usina vinha fornecendo 14% da energia consumida, segundo o ONS. Não que a usina esteja produzindo menos. Relatórios do ONS mostram que a energia fornecida pela hidrelétrica está na mesma faixa de antes, entre 7.500 e 8.000 MW médios.

No entanto, conforme o diretor-geral do ONS, Hermes Chipp, a decisão visa a aliviar o sistema, restringindo o risco de uma sobrecarga. Isso porque o fluxo em algumas linhas de transmissão que trazem energia de Itaipu vem sendo redu-