



1955

Chapin, Fuller,
Pearson: 1954



Energia solar eléctrica (fotovoltaica)

António Vallera *et al.*

FCUL – Dep. Física, CFMC



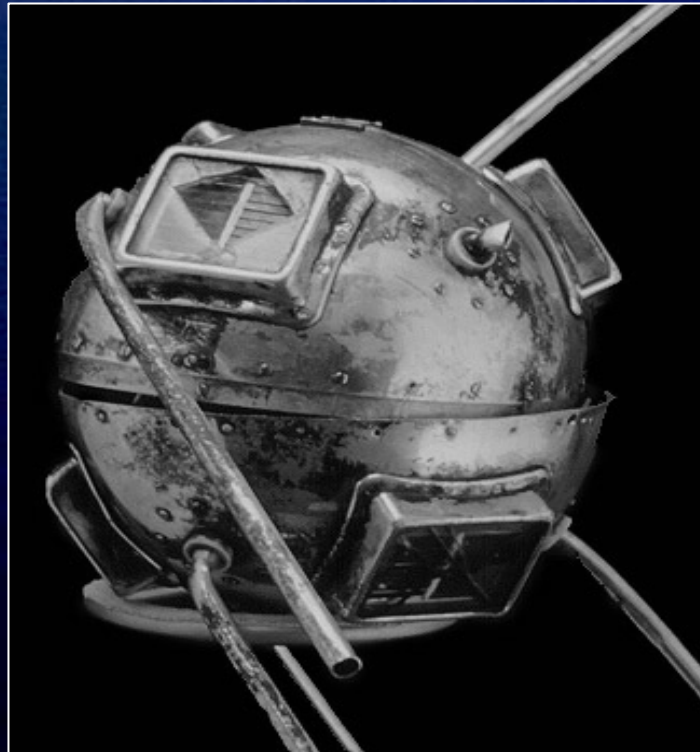
Energia solar eléctrica

- Exemplos
- Vale a pena? A energia é pouca...
- O problema: \$\$... Situação actual e futuro
- Um pouco de ciência e tecnologia
- 3 mensagens



ELECTRICIDADE SOLAR

Exemplos



1958 Primeiro satélite com painel solar (Vanguard I)



ELECTRICIDADE SOLAR

Exemplos



Amersfoort, Holanda



Telhas solares



Atlantis Solar Systems



INNO Solar



Gebrüder Laumanns GmbH



Star Unity AG



Fachadas

Sanyo



BP Solar



Free Energy Europe

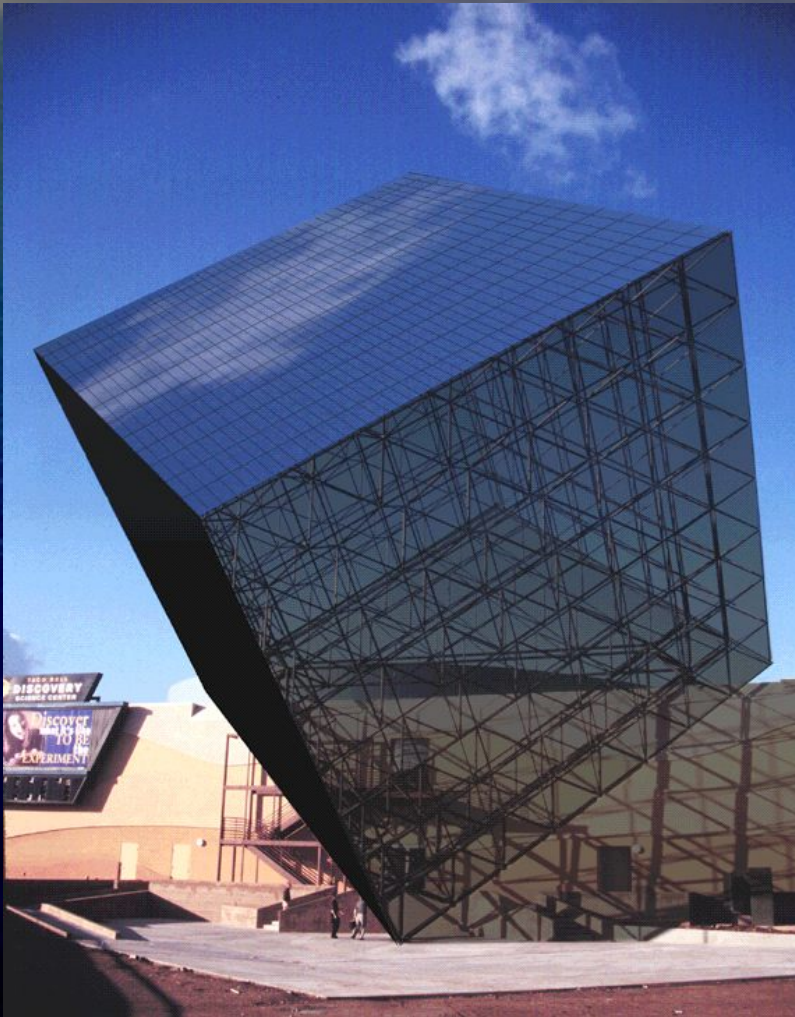


Mais fachadas



ELECTRICIDADE SOLAR

Exemplos



Discovery Science
Center Cube

California, EUA



ELECTRICIDADE SOLAR

Exemplos



Sanyo Solar Ark

Gifu, Japão



ELECTRICIDADE SOLAR

Exemplos



Field of electric flowers, EUA



ELECTRICIDADE SOLAR

Exemplos



Solar Sailor, Sydney, Australia



ELECTRICIDADE SOLAR

Exemplos



ELECTRICIDADE SOLAR

Exemplos

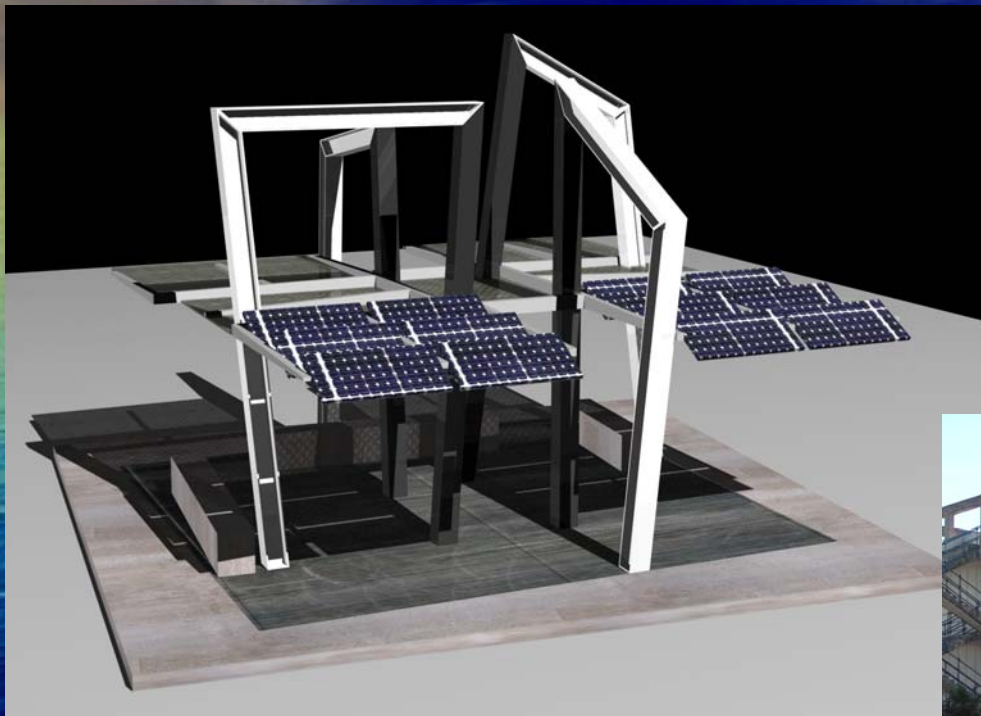


Helios, NASA



Sistema PV de Demonstração (1)

Projecto da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa



Características:

- Potência: 2kW
- Silício monocristalino semitransparente
- Injecção na rede da energia produzida

Local: Campus da FCUL, Campo Grande

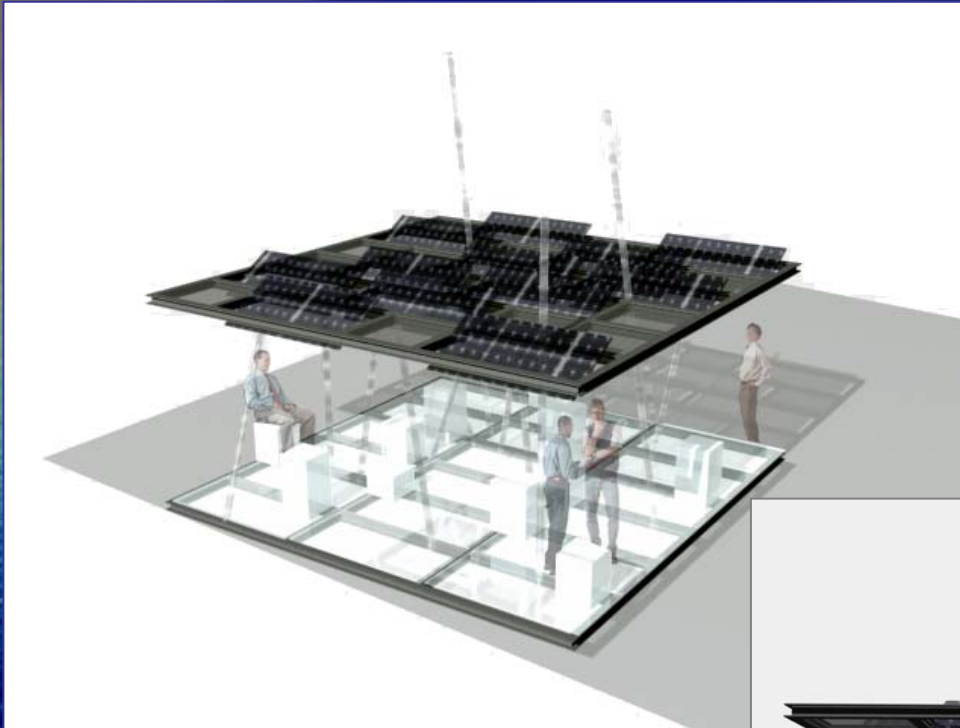
Objectivos:

- Divulgação electricidade solar
- Demonstração sistema PV
- Integração arquitectónica de PV
- Monitorização - local e *online*



Sistema PV de Demonstração (2)

Projecto da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa



Características:

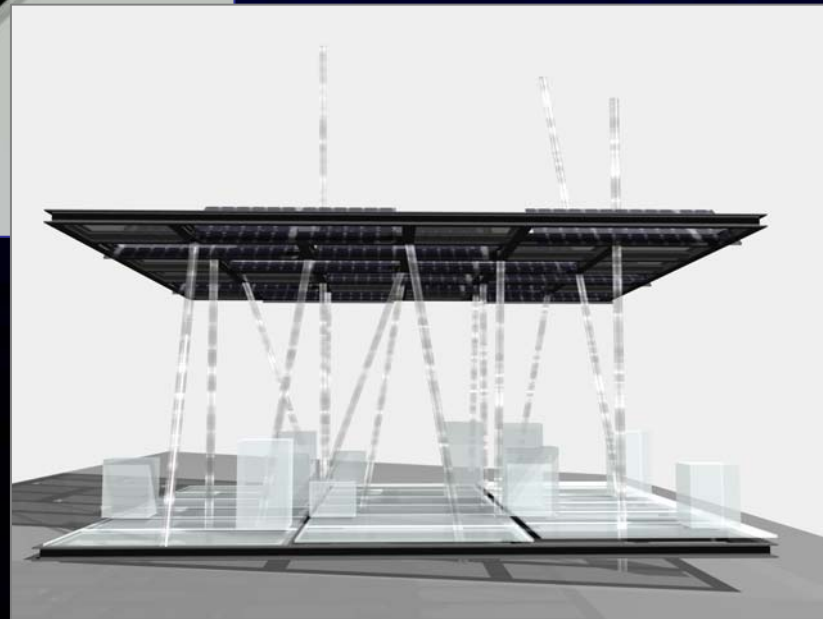
- Potência: 2kW
- Silício monocristalino semitransparente
- Injecção na rede da energia produzida

Local:

Jardim da Ciência, Oeiras

Objectivos:

- Divulgação electricidade solar
- Demonstração sistema PV
- Integração arquitectónica de PV
- Monitorização – local e *online*



Central Solar de Moura

Central Fotovoltaica na Amareleja, Concelho de Moura

- Capacidade instalada final: 62MWp
- 114ha terras não agrícolas
- Início instalação: ~ fim de 20??

Desenvolvimento local

- Parceria AMPER e BP Solar
- Tecnopolo:
 - Fábricas locais de painéis solares e inversores
 - Parcerias I&D com Universidades (incluindo FCUL)
- 300 empregos directos, > 1000 indirectos



Mas é um mercado de nicho...

Valerá a pena?

A energia é pouca...



Radiação solar

$$S = 1367 \text{ W/m}^2$$

Fluxo da radiação solar, por unidade de área,
ao nível da órbita da Terra (a 150 milhões de km do Sol)



$$P = S \times 4 \pi r^2 = 3,87 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

Potência total
radiada pelo
Sol

Área da esfera
com r = raio da
órbita da Terra

Energia radiada pelo Sol num segundo daria para
satisfazer as necessidades energéticas mundiais
actuais por ~1 milhão de anos!

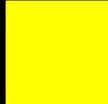


Radiação solar

Mas voltemos à Terra, e pensemos em Portugal: que área seria necessária para satisfazer o nosso consumo eléctrico actual (5GW)?

$A = 5\text{GW} / S = 3,66 \text{ km}^2$, ou seja, um  com ~2km de lado

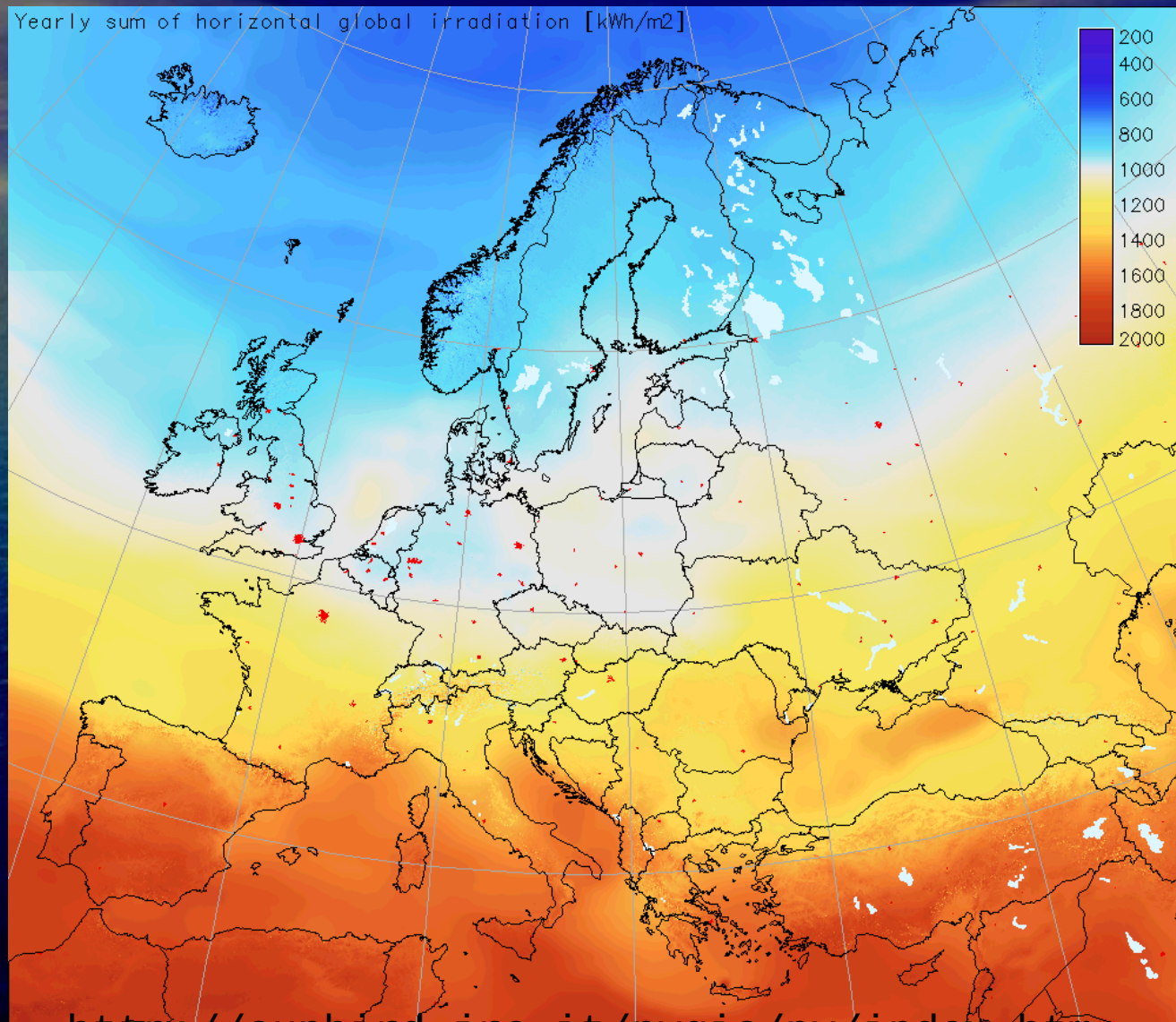
E se a eficiência de conversão fosse apenas 15%?

$A = 5\text{GW} / (S * 0,15) = 24,4 \text{ km}^2$, ou seja, um  com ~5km de lado (no espaço, claro!)



Mas desçamos à Terra...

Irradiação anual acumulada [kWh/m²]



Potencial da electricidade solar em Portugal:

Radiação solar média em Portugal: 1500 kWh/m²/ano

Com uma eficiência de conversão de 15%: 225 kWh/m²/ano

Consumo electricidade em 2002: 4.2×10^{10} kWh/ano

Área total necessária para produzir 100% da electricidade consumida em 2002: 187km² < 20m²/pessoa

- ❖ Da ordem de grandeza da área disponível nas construções urbanas
- ❖ << que a área das estradas



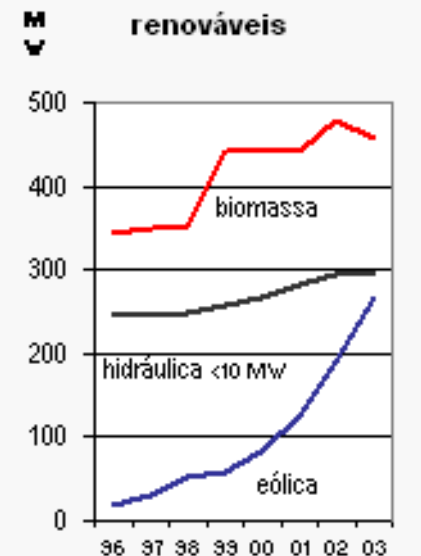
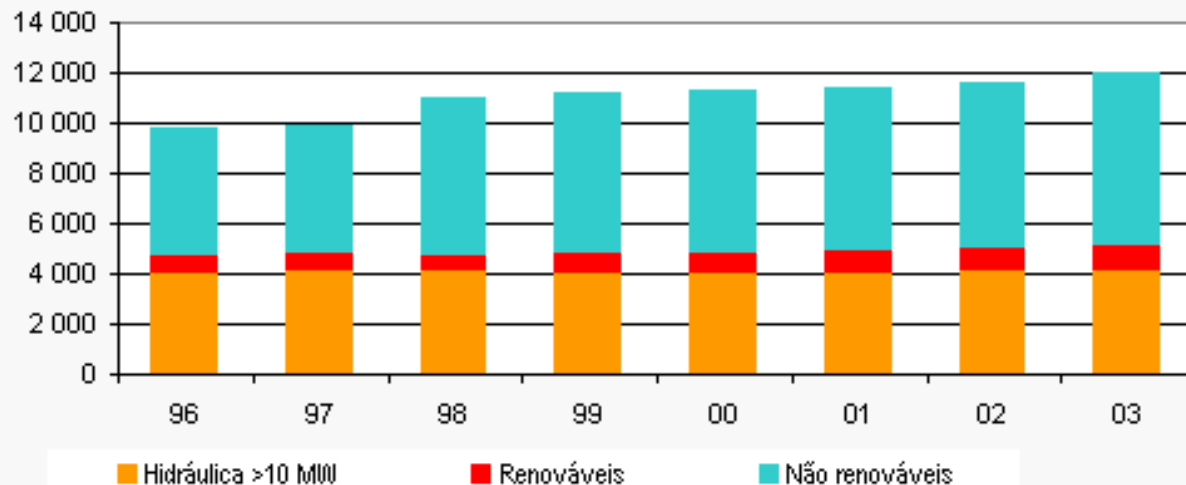
Desenvolvamos a electricidade solar!

- “Combustível” é universal e gratuito
- Não poluidor
- Não existem partes móveis, logo manutenção reduzida
- Modular, logo facilmente expansível
- Melhora a estética dos edifícios
- Pode substituir revestimentos (*fachadas, telhados, etc*)
- Melhora a rede eléctrica local
- Descentraliza a produção eléctrica



Capacidade de produção de energia eléctrica em Portugal: 1996 a 2003

Capacidade Instalada de Produção de Electricidade



MAS PORQUÊ AINDA TÃO POUCO?!

Por causa do custo!

Façamos uma conta rápida:

1W instalado produzirá em Portugal ~1,5kWh/ano; contando com uma vida útil de 30 anos, a energia total produzida por W instalado será

$$1,5\text{kWh/ano} \times 30 \text{ anos} = 45 \text{ kWh}$$

Se atribuirmos ao kWh produzido junto ao consumidor um valor de €0,10 , o valor da energia total produzida será €4,5/W. O preço de venda do W instalado tem de ser bem inferior a este valor, para uma aplicação maciça!



Parlamento Europeu

Resolução de 29 Set 2005 (Relatório Turmes)

- Reconhece que
 - “o desenvolvimento das tecnologias aplicadas às energias renováveis foi responsável pela criação de 300 000 postos de trabalho;”
 - “se alcançaram reduções dos preços impressionantes nos últimos 15 anos, mas observa que é necessário conseguir reduções ainda maiores, o que exige fortes incentivos”;
- Congratula-se com o facto de a EU ser pioneira na maioria das tecnologias das energias renováveis



Parlamento Europeu

Resolução de 29 Set 2005 (Relatório Turmes)

Objectivos globais para 2020:

- Energias renováveis = 20% energia total; procurar condições para atingir 25%, considerados possíveis e desejáveis;
- Energias renováveis = 33% energia eléctrica



Parlamento Europeu

Resolução de 29 Set 2005 (Relatório Turmes)

“Salienta que (...) a energia fotovoltaica é ainda muito cara; incentiva a Comissão e os Estados-Membros

- a promoverem medidas que reduzam custos, nomeadamente através da investigação e desenvolvimento, e
- a preverem incentivos que permitam prosseguir a melhoria da tecnologia e a redução dos custos”



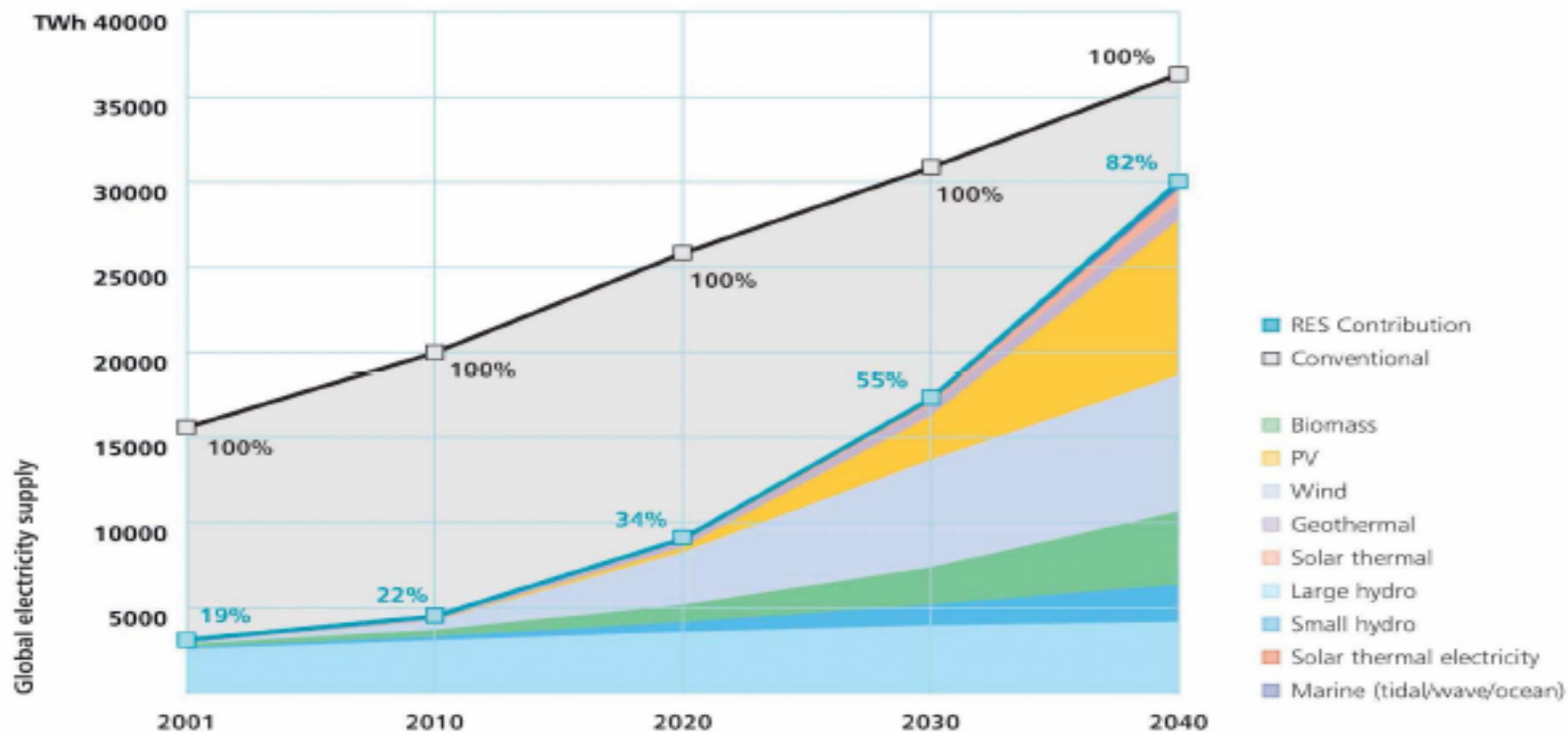
Exemplary detailed scenario for electricity – Advanced International Policy (AIP) scenario –

	2001	2010	2020	2030	2040
Total Consumption in TWh (IEA)	15578	19973	25818	30855	36346
Biomass	180	390	1010	2180	4290
Large Hydro	2590	3095	3590	3965	4165
Small Hydro	110	220	570	1230	2200
Wind	54,5	512	3093	6307	8000
PV	2,2	20	276	2570	9113
Solar Thermal	1	5	40	195	790
Geothermal	50	134	318	625	1020
Marine	0,5	1	4	37	230
Total RES	2988,2	4377	8901	17109	29808
RES Contribution	19,2%	21,9%	34,5%	55,4%	82,0%

Source: EREC, 2005 - European Renewable Energy Council
(http://www.erec-renewables.org/publications/scenario_2040.htm)

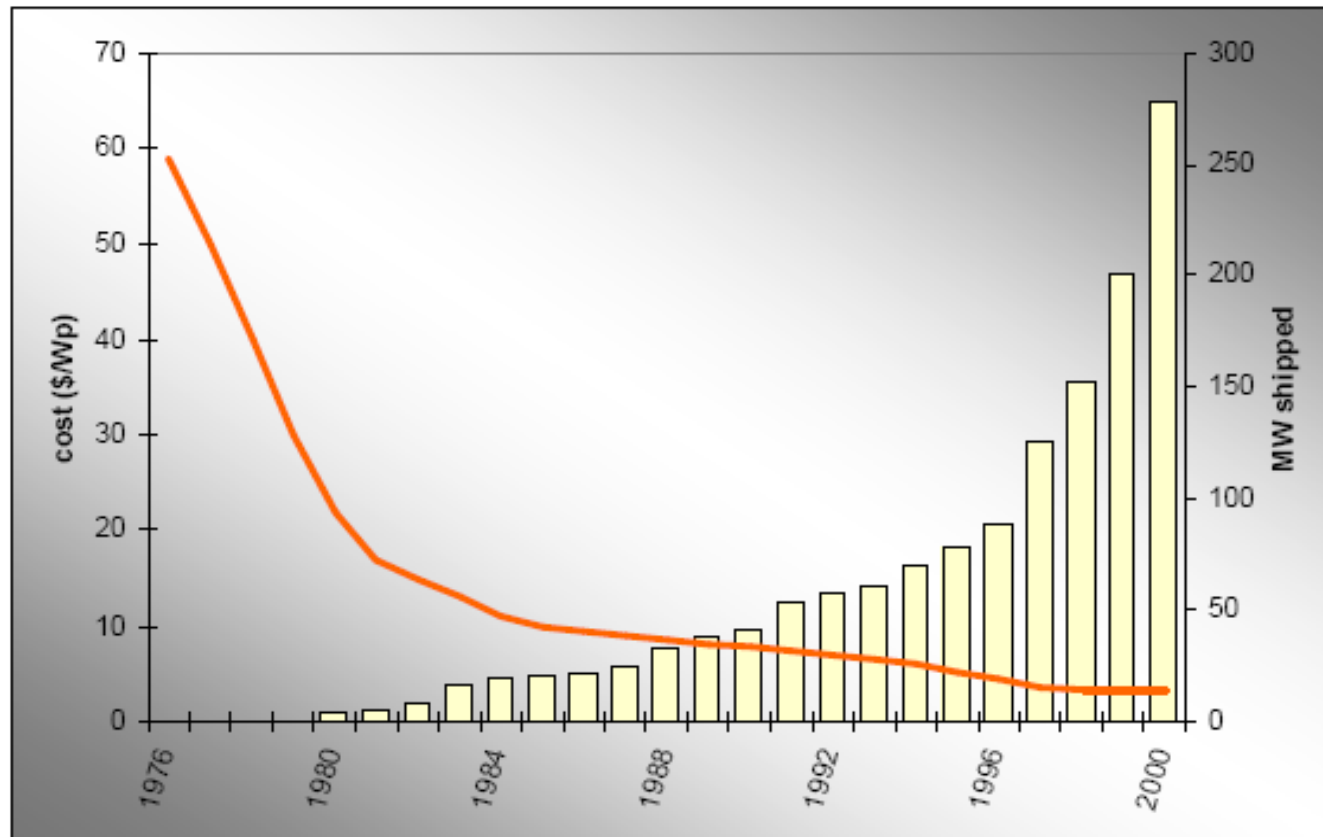


Exemplary detailed scenario for electricity – Advanced International Policy (AIP) scenario –



Source: EREC, 2005 - European Renewable Energy Council
(http://www.erec-renewables.org/publications/scenario_2040.htm)

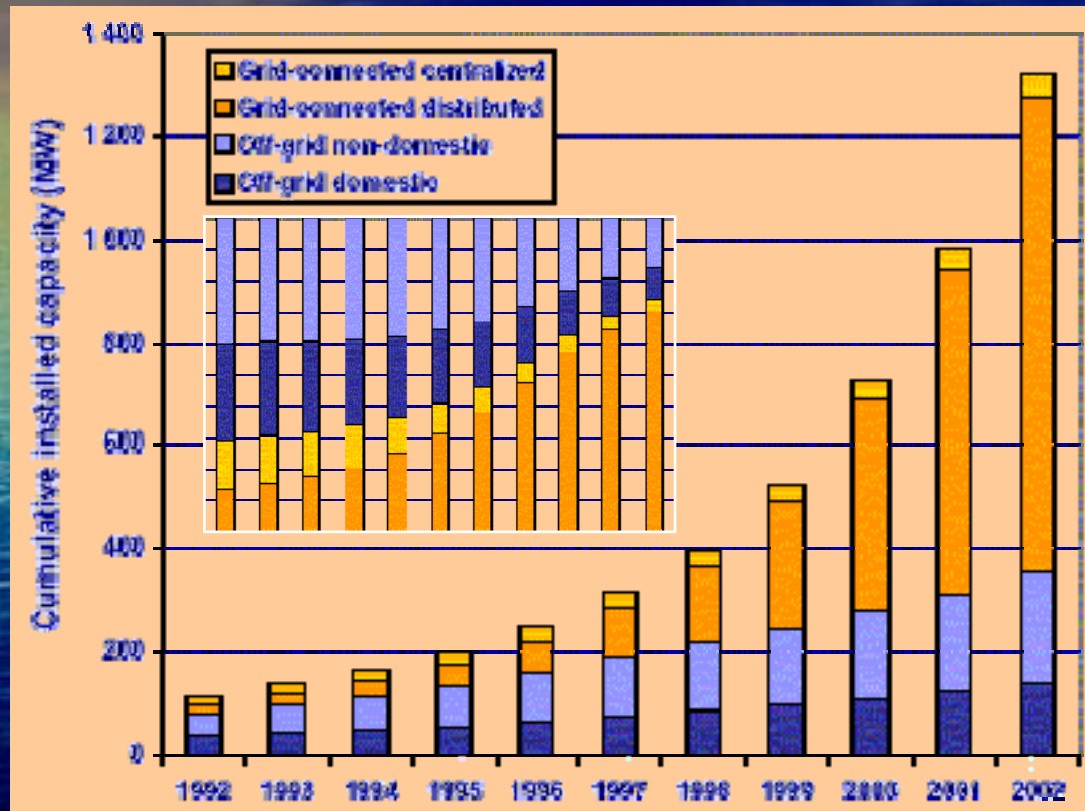
The falling cost of PV as Shipments increase



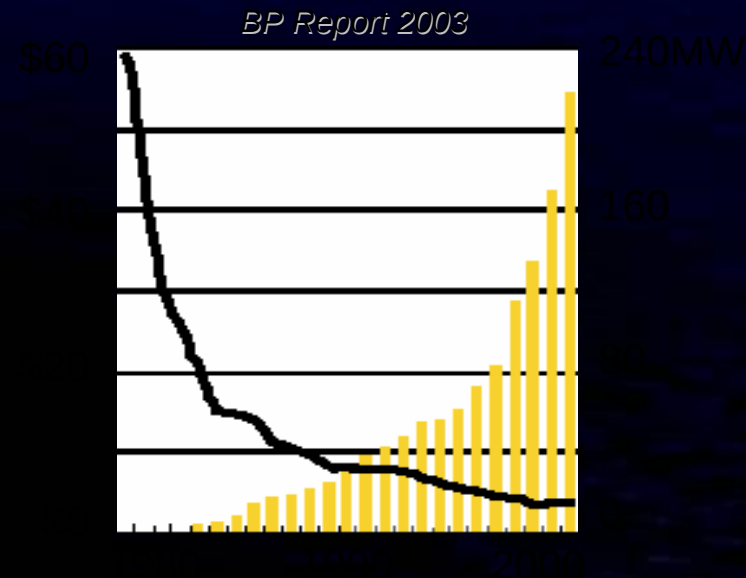
Source: Solar Generation (Greenpeace – EPIA)



ELECTRICIDADE SOLAR



EIA Report 2003



ELECTRICIDADE SOLAR:

Situação mundial:

- > 2 GW instalados
- > 1 GW instalados em 2004
- Crescimento >30% ao ano

Situação em Portugal:

- ~ 2 MW instalados
- < 20% com ligação à rede (ao contrário da média mundial, ~75%)

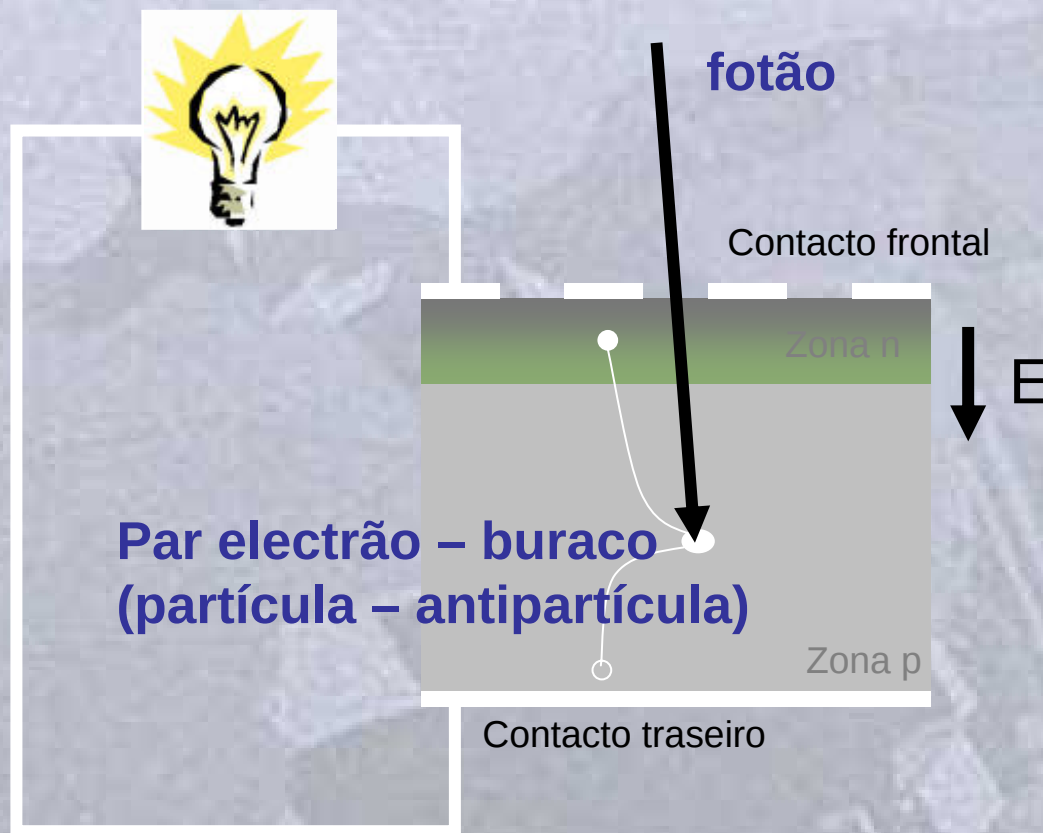


Mas Moura...

Um pouco de ciência e tecnologia



Como funciona uma célula solar



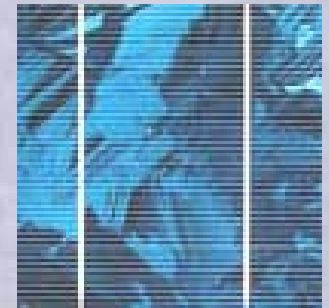
Como se faz uma célula solar ?



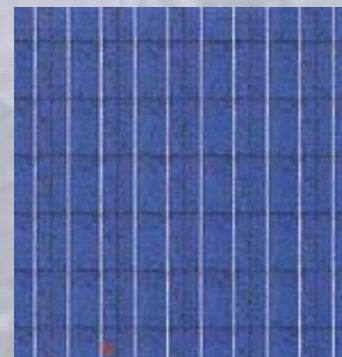
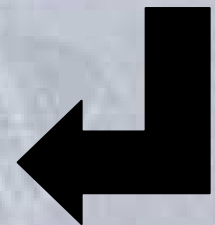
Silício



Wafer



Célula



Módulo



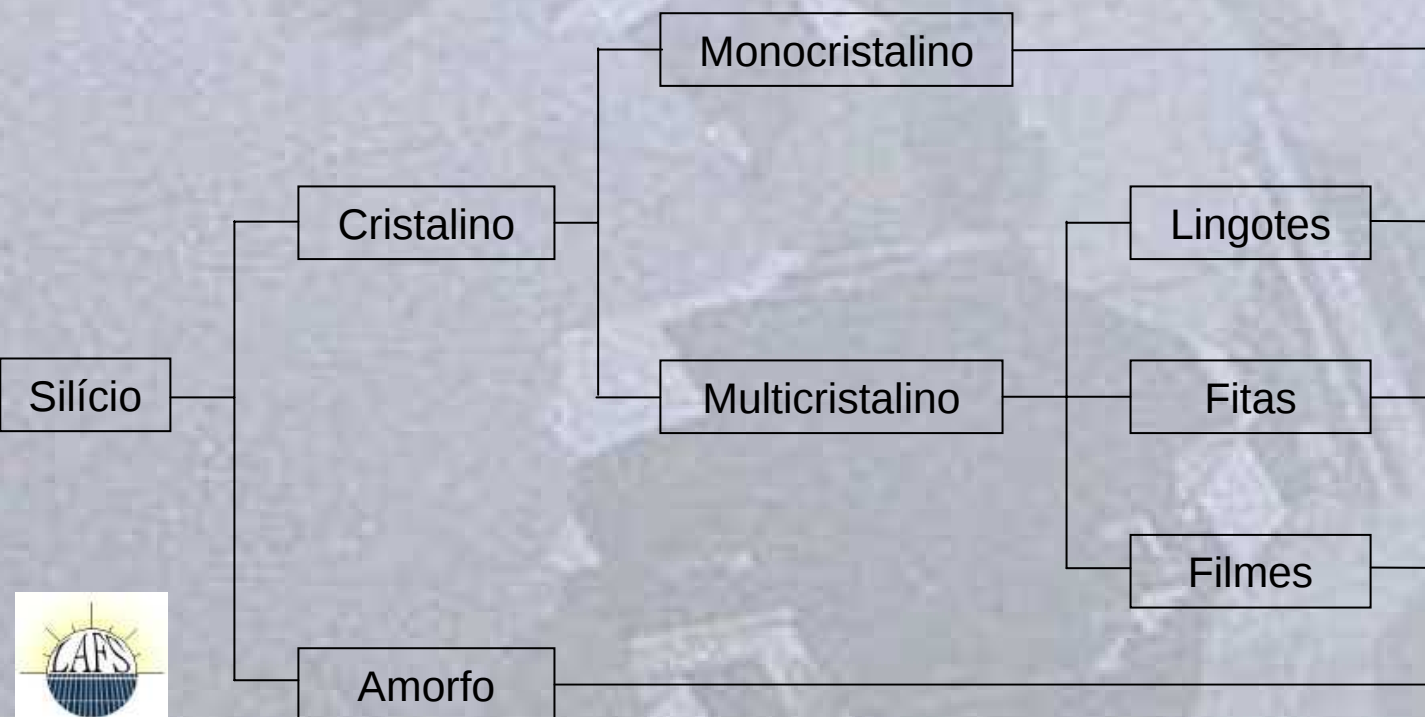
Sistema PV



Produção de silício para aplicação solar

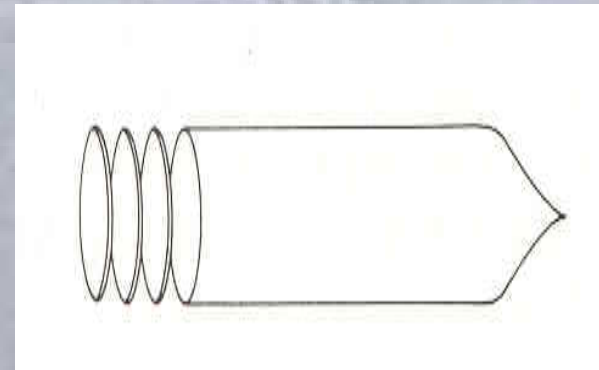
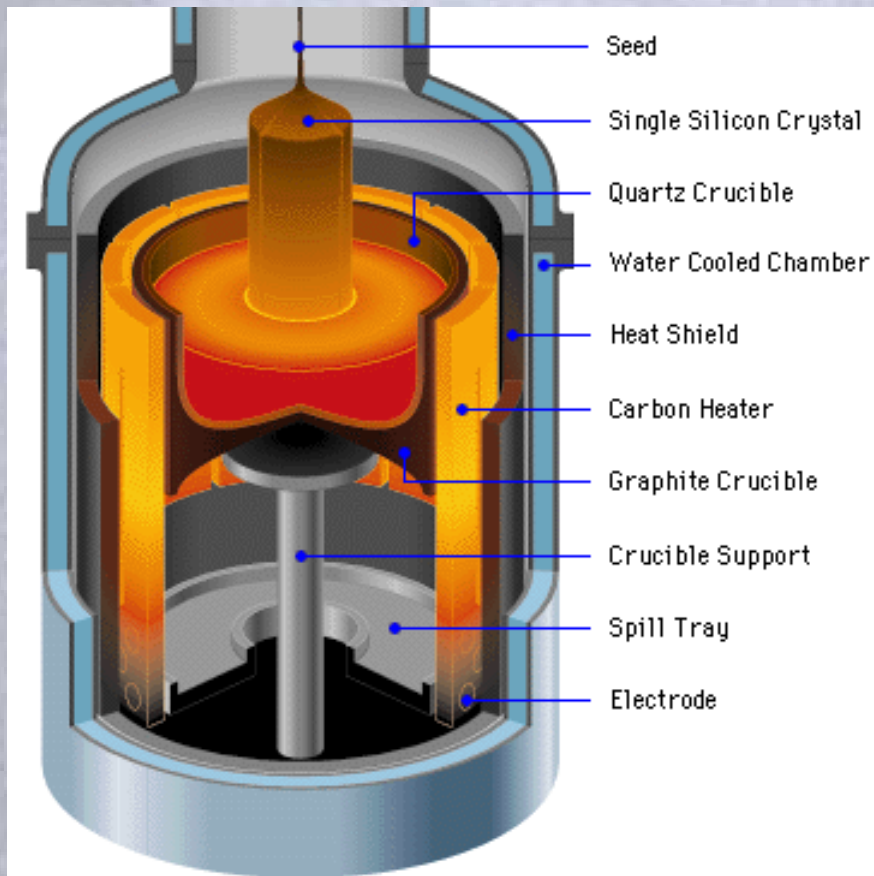
- Um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre
- Hiato bem adaptado ao espectro solar
- Tecnologia já muito desenvolvida

Eficiência	Quota Mercado
15-17%	34%
13-15%	56%
9%	10%

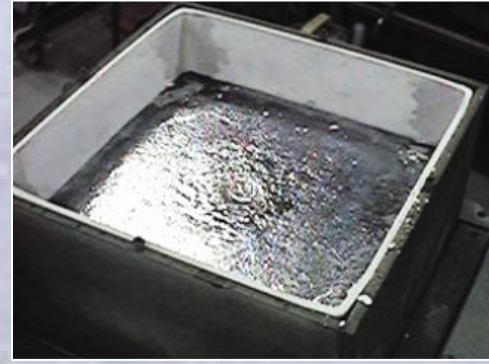


Crescimento de silício monocristalino

Método de Czochralski

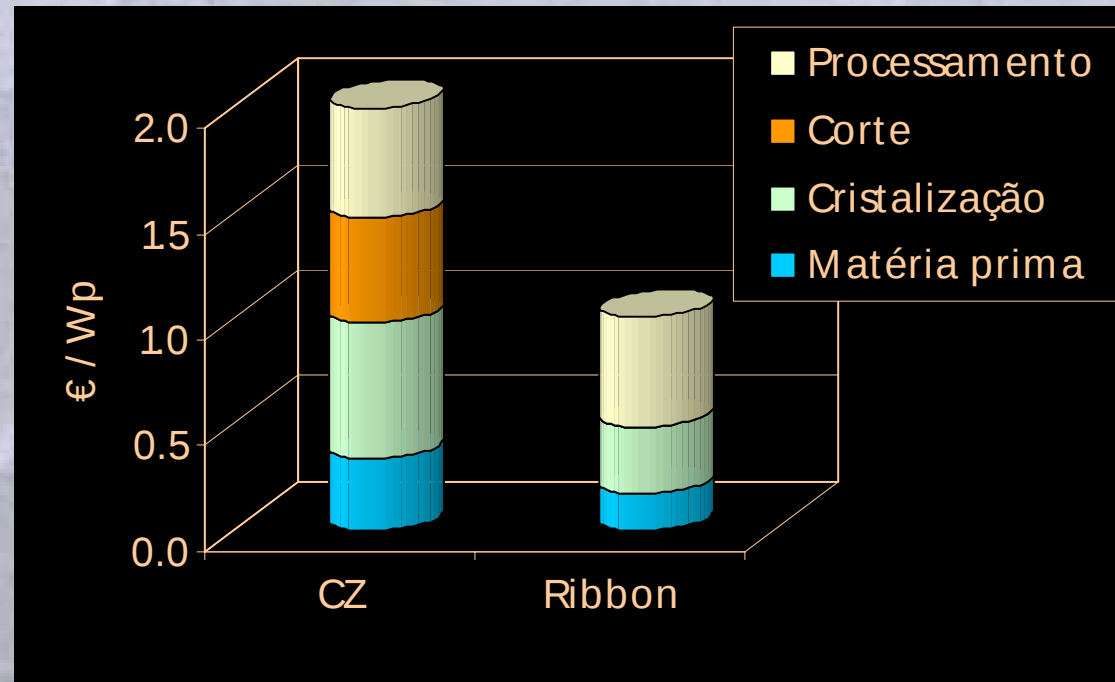


Crescimento de silício multicristalino: *lingotes*



O que é mais caro numa célula solar ?

	€/Wp	
Matéria prima	0.34	0.17
Cristalização	0.64	0.32
Corte	0.50	---
Processamento	0.52	0.52
Total	2.00	1.01



Para reduzir o custo: procurar processos de cristalização do silício directamente em fita

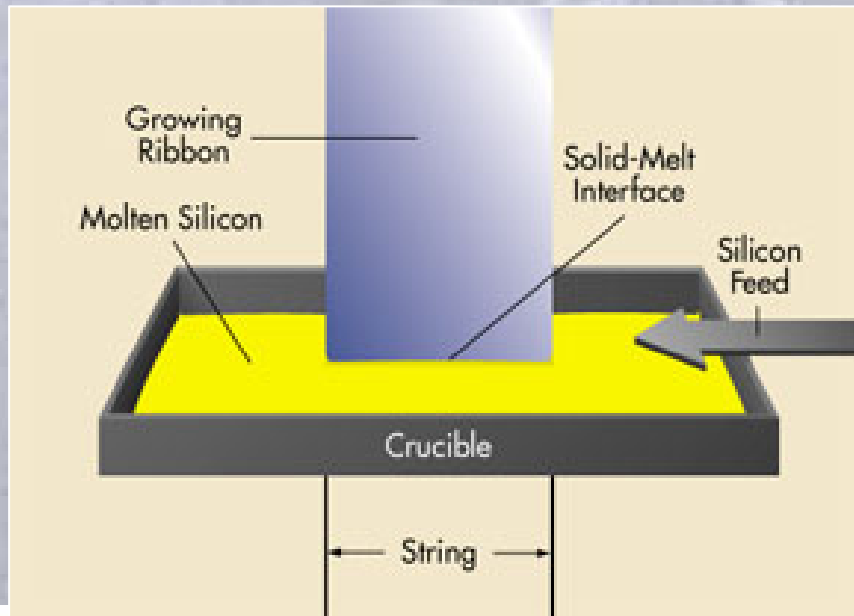


Crescimento de silício multicristalino: *fitas* (1)

String Ribbon

Espessura: 275 micron

Efficiência: célula 15%
módulo 9%



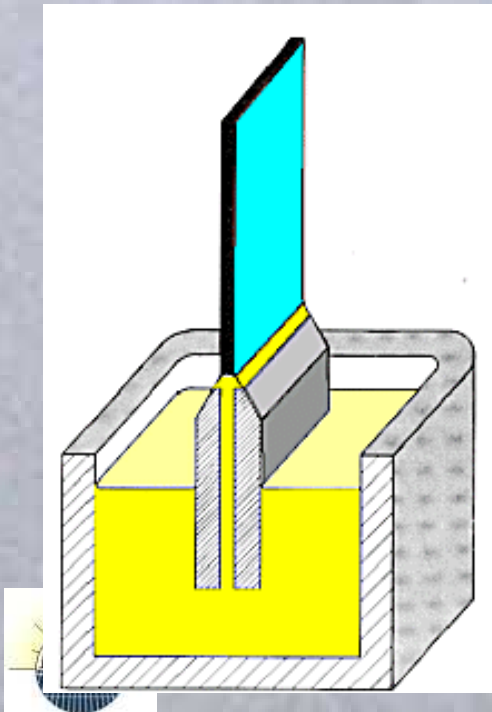
Crescimento de silício multicristalino: *fitas* (2)

Edge-defined film growth (EFG)

Espessura: 250 micron

Efficiência: célula 15%

módulo 12%



Caracterizado por:

- Cadinho de fundido
- Molde para estabilização



Crescimento de silício multicristalino: *fitas* (3)

Procura-se método caracterizado por:

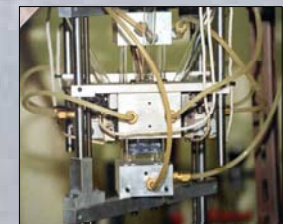
- Processo contínuo
- Baixo consumo de energia
- Sem contaminação do silício com outros elementos
- Sem outros passos intermédios

Possível solução:

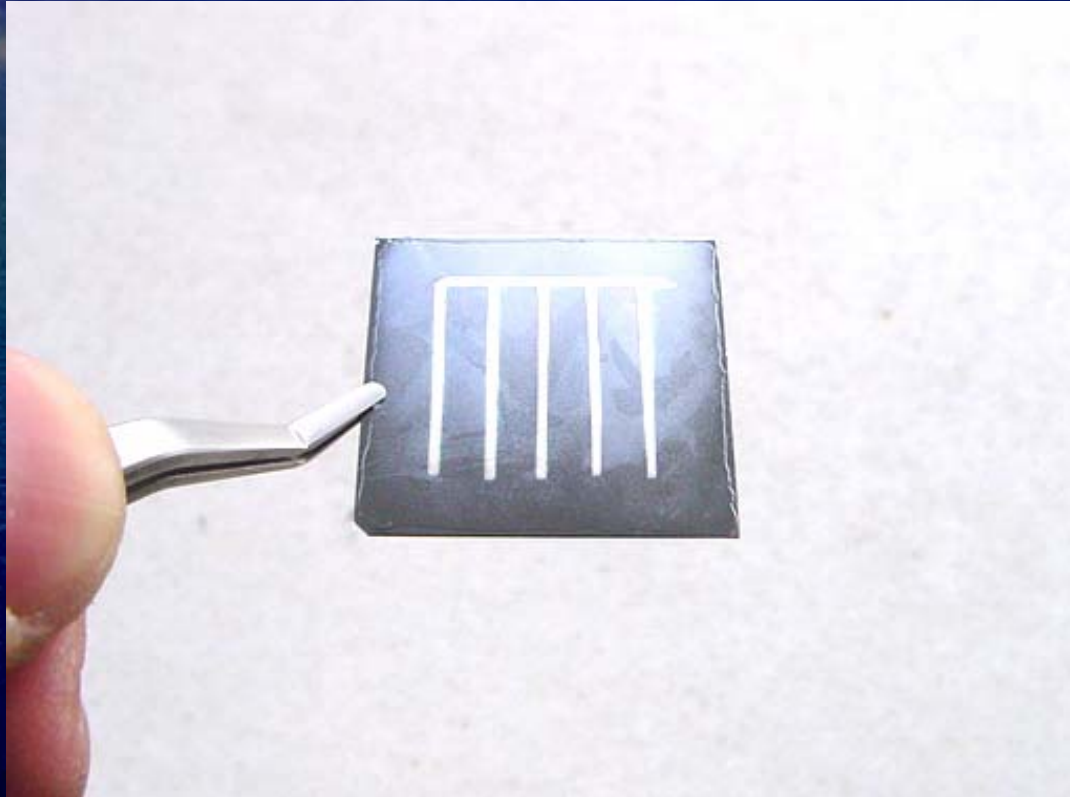
- Crescimento contínuo a partir de uma zona fundida fina
- Zona fundida alimentada directamente com silício granular
- Silício fundido nunca em contacto com outros materiais



**Pedido de patente mundial pela FCUL
PCT20040007, em 15 Abril de 2004**



Célula Fotovoltaica



3 MENSAGENS

1. Investimento em Portugal: I&D, qualidade/certificação, estímulo de estruturas industriais – ainda estamos a tempo, não devíamos perder outro combóio...

(estamos dispostos a pagar ~40M€/ano para montar painéis/sistemas, mas não reservamos nem 1€ para I&D - quando reconhecerão os políticos que temos uma comunidade com capacidade científica e tecnológica, que só necessita de estímulos para avançar nas tecnologias? O *cluster* fotovoltaico não deve ser construído apenas com telhado...)



3 MENSAGENS

2. Estímulos correctamente doseados: estimular em competição (objectivo é estimular a organização e a produção *baixando preços*)
3. Evitar deslumbramentos: 3^{as} gerações, energias do futuro, ...: equilibrar presente, futuro próximo, longo prazo

