

# **ENERGIA SOLAR**

## **Energias Renováveis**

Miguel Centeno Brito

**Produção**  
**electricidade**  
**por via**  
**fotovoltaica a**  
**partir de**  
**radiação solar**

Radiação solar média em Portugal:

1500 kWh/m<sup>2</sup>/ano

Com uma eficiência de conversão de 15%:

225 kWh/m<sup>2</sup>/ano

Consumo electricidade em 2010:

5.0 x10<sup>10</sup> kWh/ano

Área total necessária para produzir 100% da  
electricidade consumida em 2010:

220 km<sup>2</sup> 22m<sup>2</sup>/pessoa

Radiação solar média em Portugal:

Comprimento estradas em Portugal:

90000 km

Assumindo 10m de largura:

$$900 \text{ km}^2 = 9 \times 10^{2+6} = 9 \times 10^8 \text{ m}^2$$

Por habitante:

$$9 \times 10^8 / 10^7 = 90 \text{ m}^2 \text{ de asfalto per capita}$$

Área total necessária para produzir 100% da  
electricidade consumida em 2010:

220 km<sup>2</sup>    22m<sup>2</sup>/pessoa

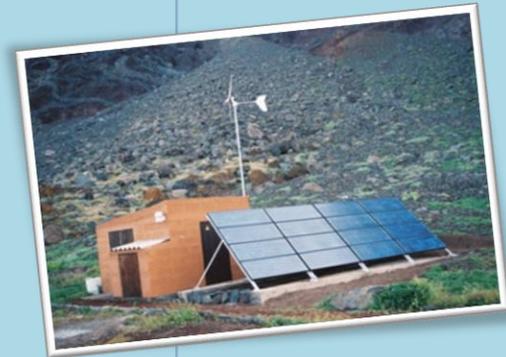
SOLARIA







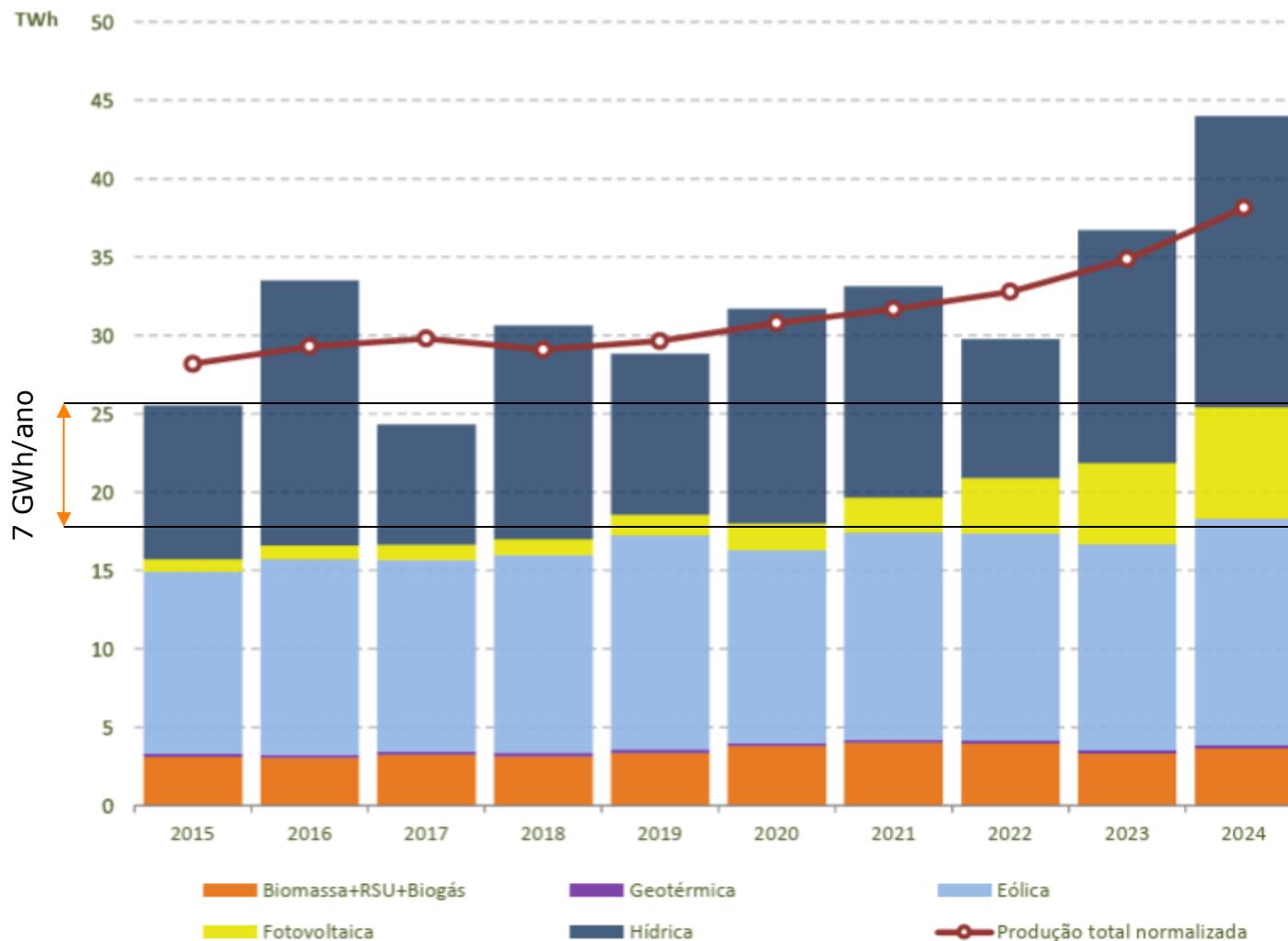
Oceano Atlântico  
Atlantic Ocean





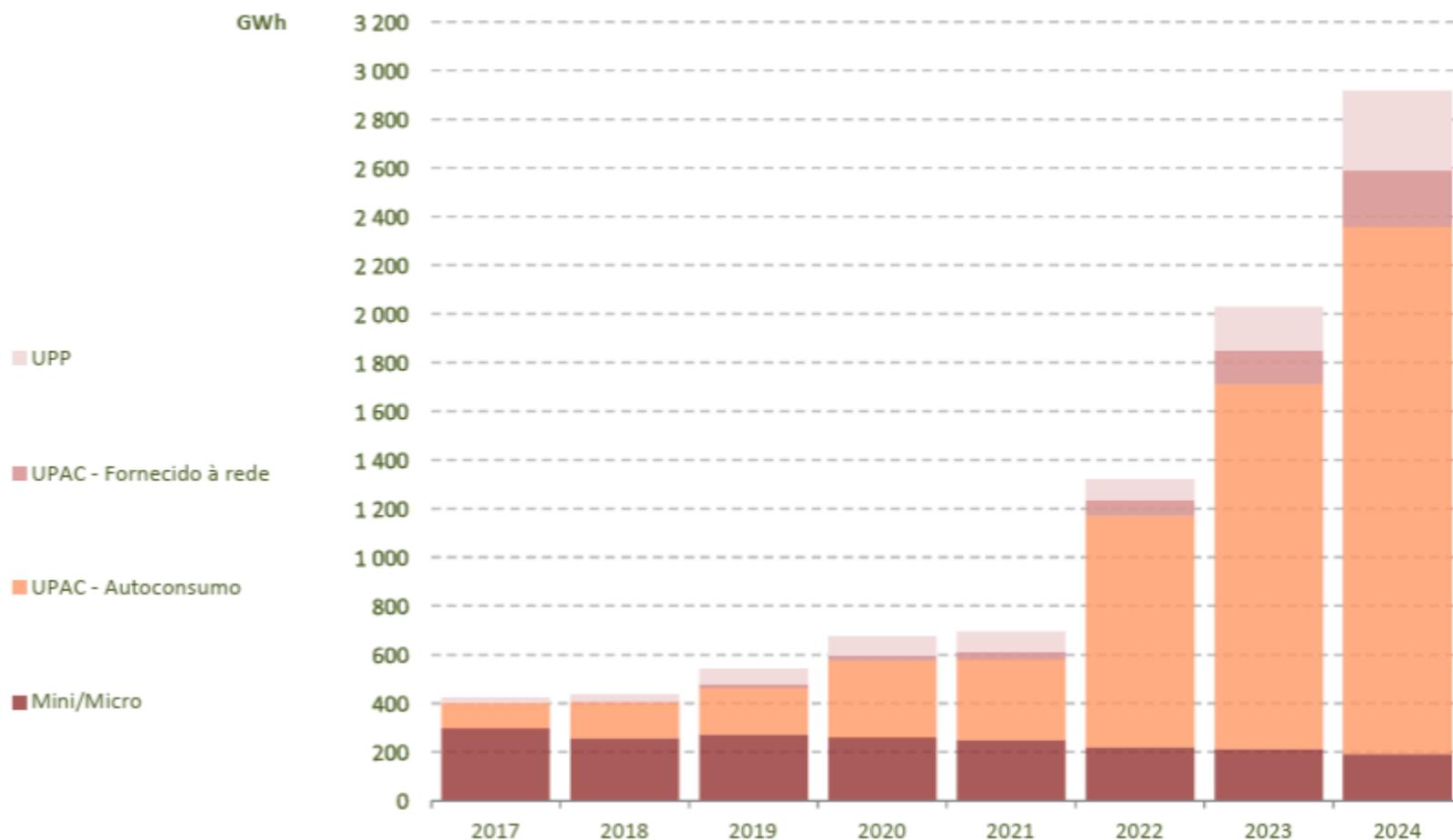


A contribuição da eletricidade solar em Portugal está a crescer mas inda é pouco significativa.



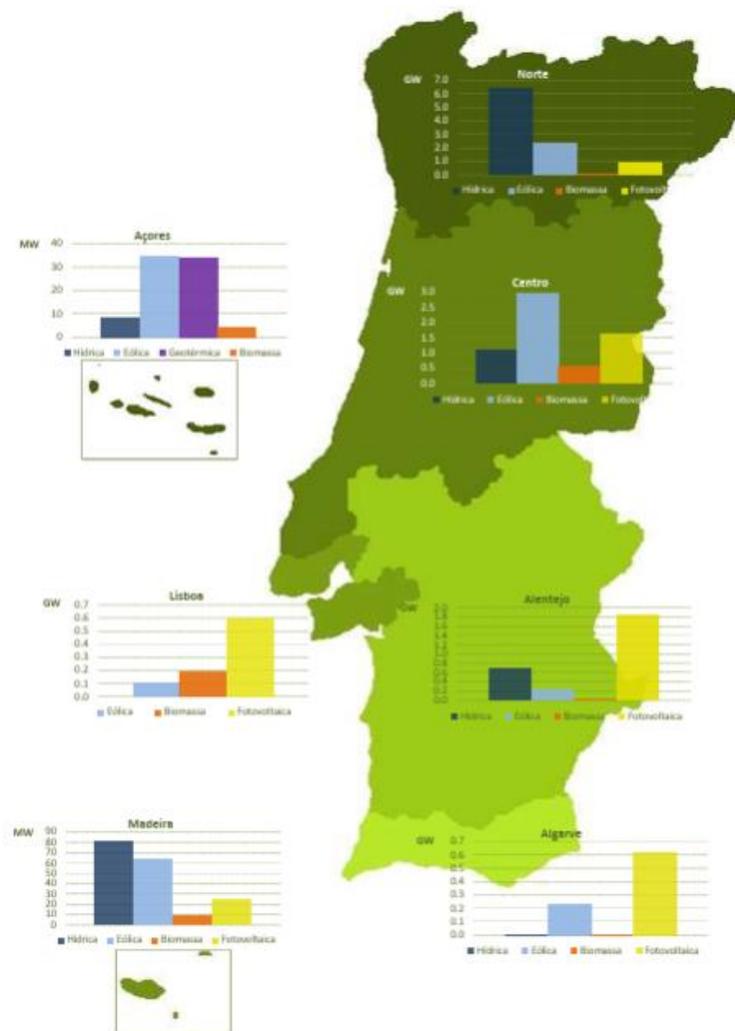
A contribuição da eletricidade solar em Portugal está a crescer mas ainda é pouco significativa.

A produção descentralizada representa cerca de **50% da produção PV**, sobretudo em **autoconsumo**



A contribuição da eletricidade solar em Portugal está a crescer mas ainda é pouco significativa.

A produção descentralizada representa cerca de **50% da produção** PV, sobretudo em **autoconsumo**



Embora o recurso solar não seja muito diferente ao longo do país, a maior parte da **capacidade instalada** é sobretudo no **sul** do país

## O Mapa do Fotovoltaico

Mapa

Parceiros

Sobre ▾

Log in

Procurar    Ver como lista

**REGIÃO**

Região do Alentejo

Região do Algarve

Região do Centro

Região de Lisboa

Região do Norte

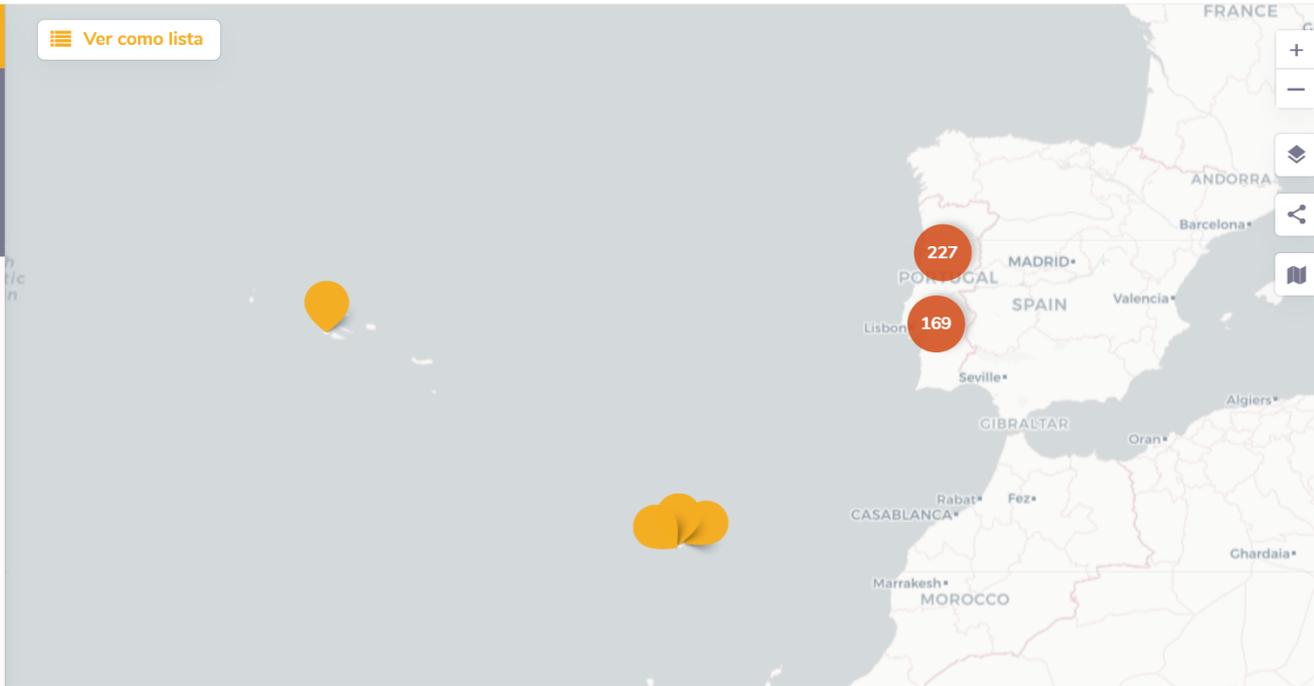
Região Autónoma dos Açores

Região Autónoma da Madeira

**ENTIDADES ENVOLVIDAS**

Coopérnico

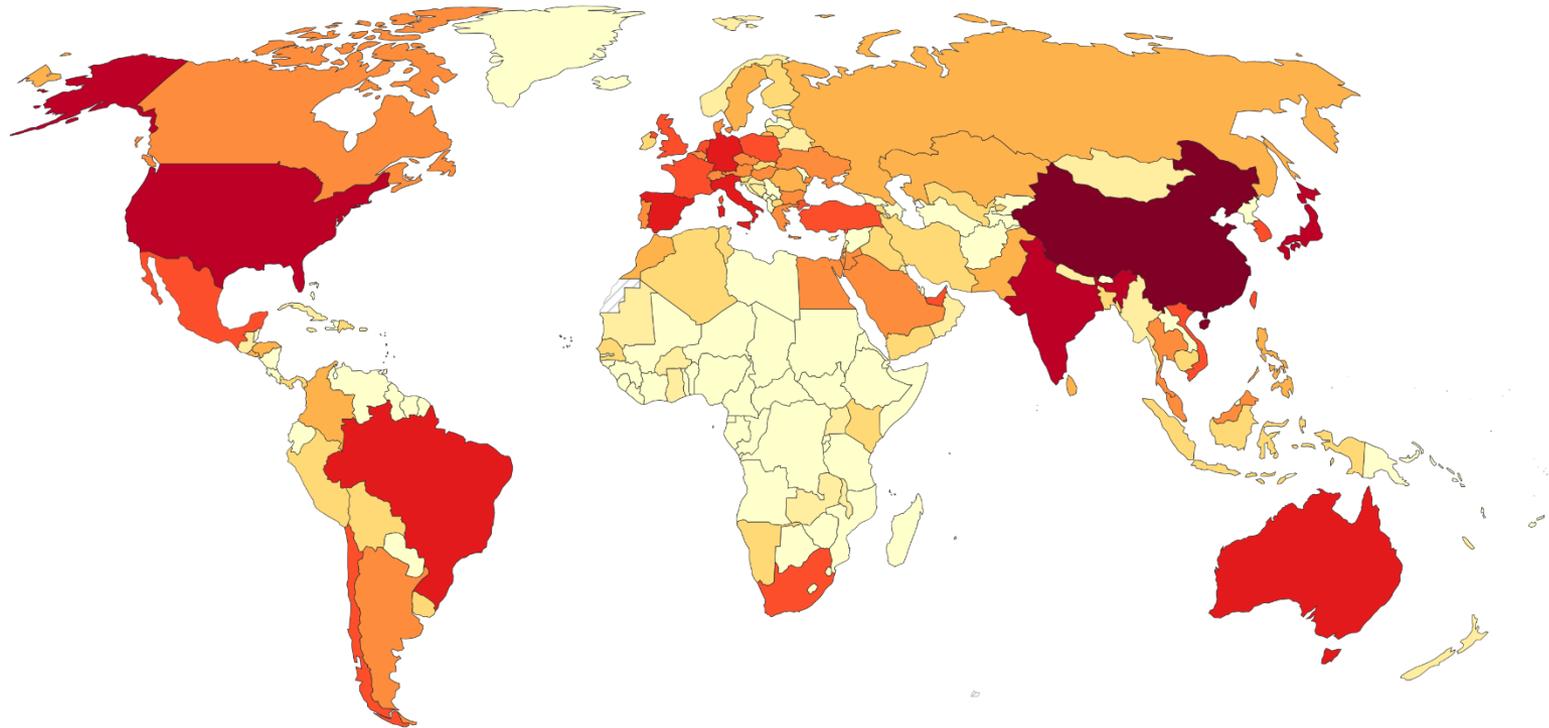
DC-PV



The map displays solar panel icons across Portugal and Spain. A search bar at the top left contains the text 'Procurar' and a magnifying glass icon. To the right of the search bar is a home icon and a button labeled 'Ver como lista'. The map shows a large orange pin in the Atlantic Ocean west of Portugal, and a cluster of three orange pins in the Atlantic Ocean west of Morocco. Two red circular callouts are present: one labeled '227' over the Iberian Peninsula and another labeled '169' over the Atlantic Ocean west of Morocco. The map includes labels for countries like FRANCE, ANDORRA, PORTUGAL, SPAIN, MOROCCO, and cities like MADRID, Valencia, Seville, Rabat, Fez, Marrakesh, Casablanca, Ghardaia, Oran, Algiers, and Barcelona. A sidebar on the left contains filter options for 'REGIÃO' and 'ENTIDADES ENVOLVIDAS' with checkboxes and radio buttons.

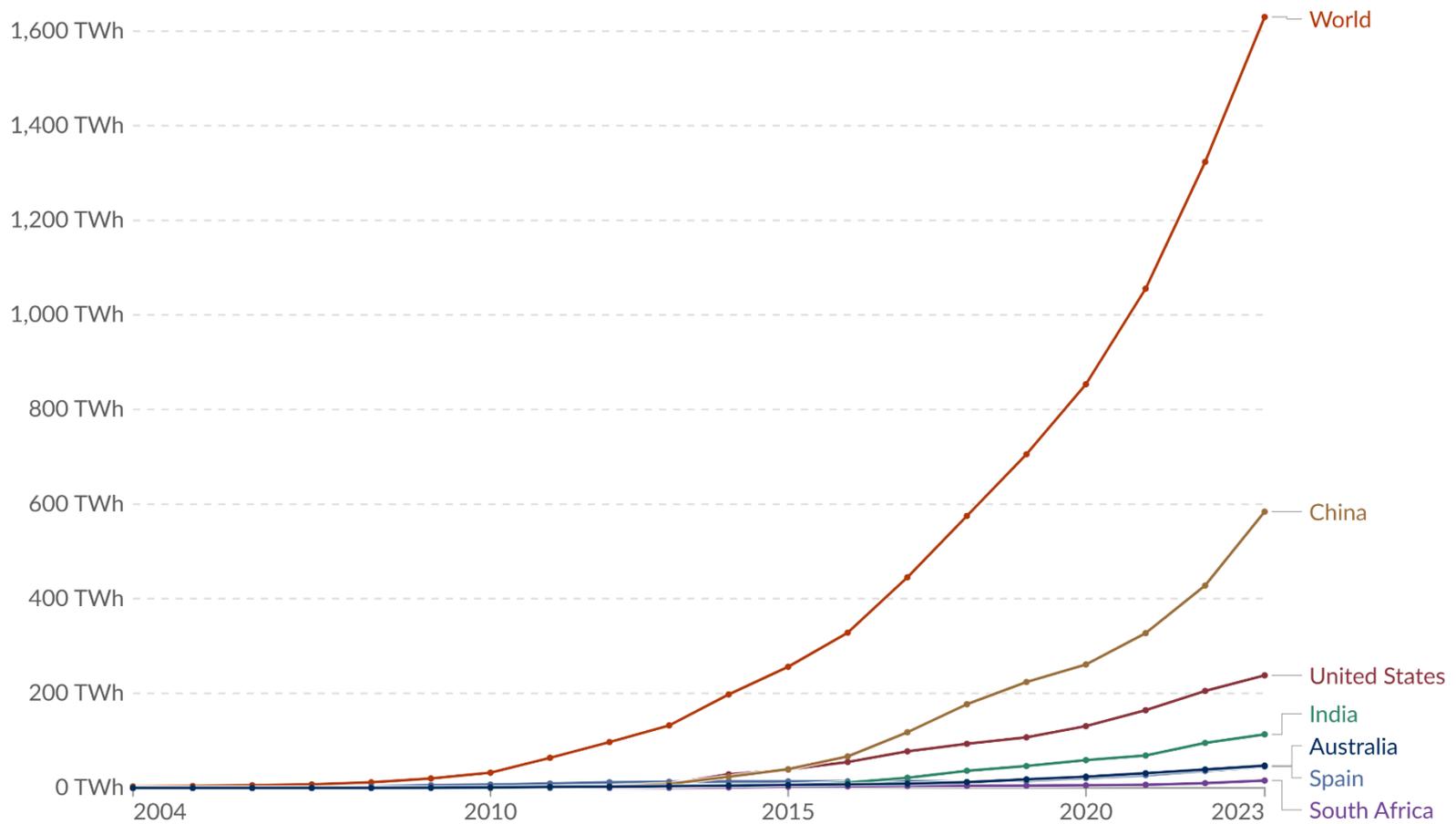
# Solar power generation, 2023

Electricity generation from solar, measured in terawatt-hours (TWh) per year.



# Solar power generation

Electricity generation from solar, measured in terawatt-hours (TWh) per year.

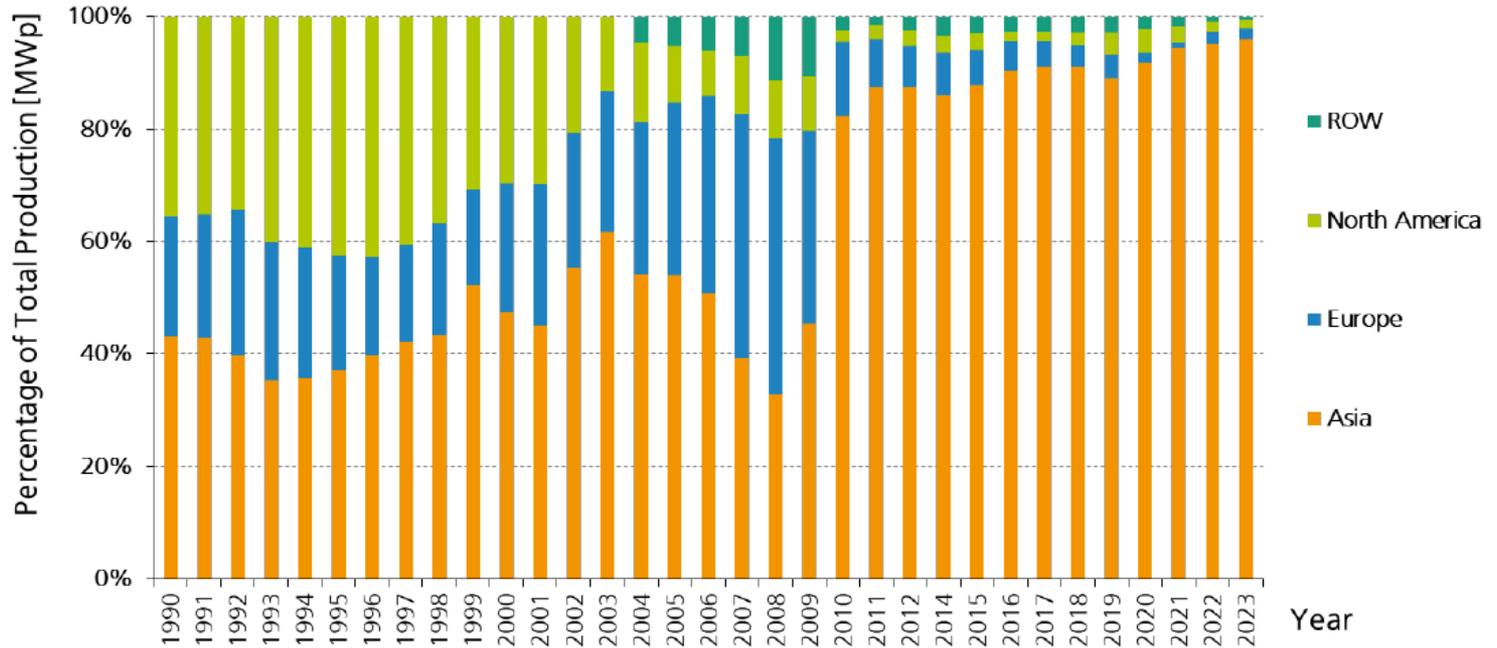


Data source: Ember (2024); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024)

OurWorldinData.org/renewable-energy | CC BY

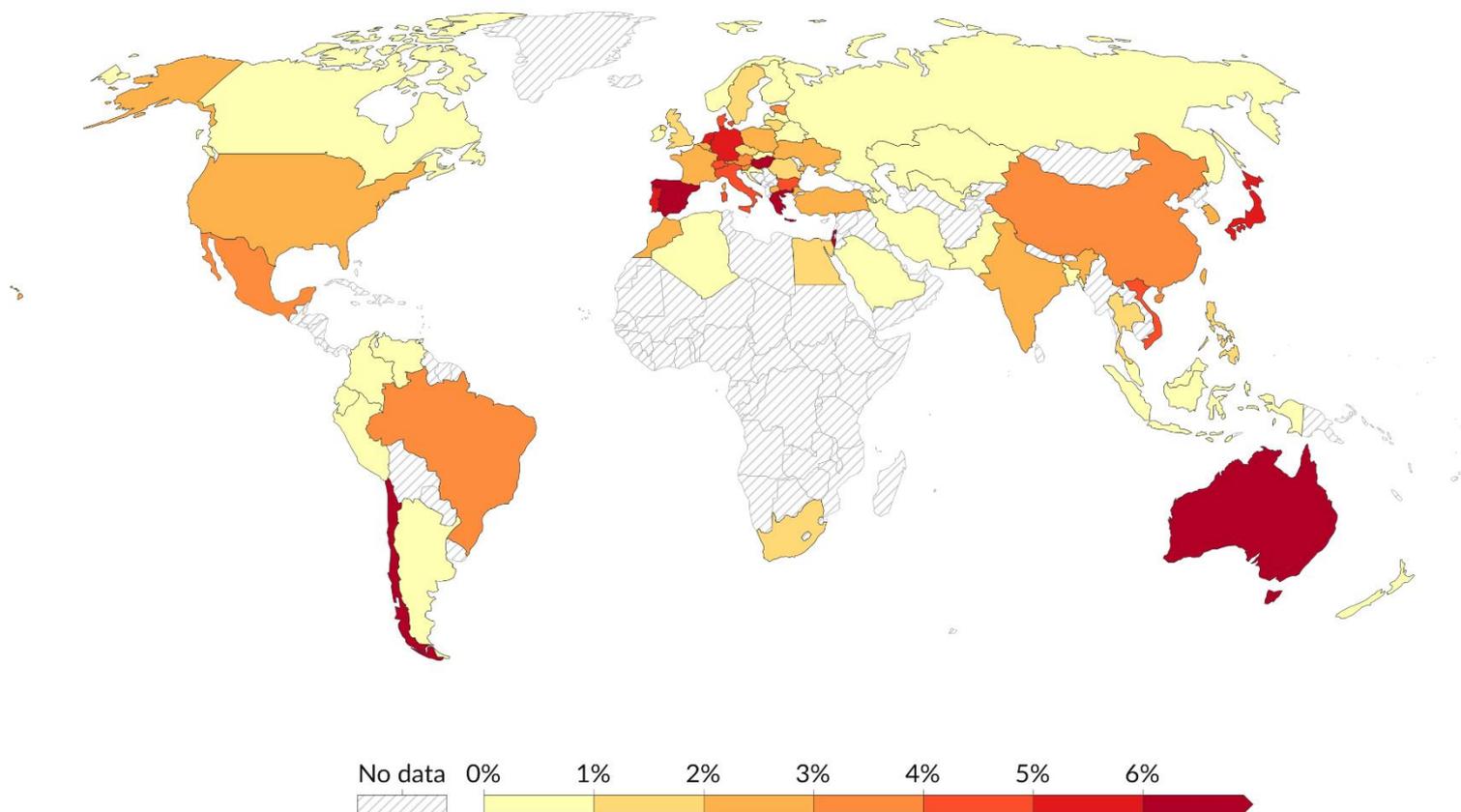
# PV Module Production by Region 1990-2023

Percentage of Total MWp Produced



# Share of primary energy consumption from solar, 2023

Measured as a percentage of primary energy<sup>1</sup>, using the substitution method<sup>2</sup>.

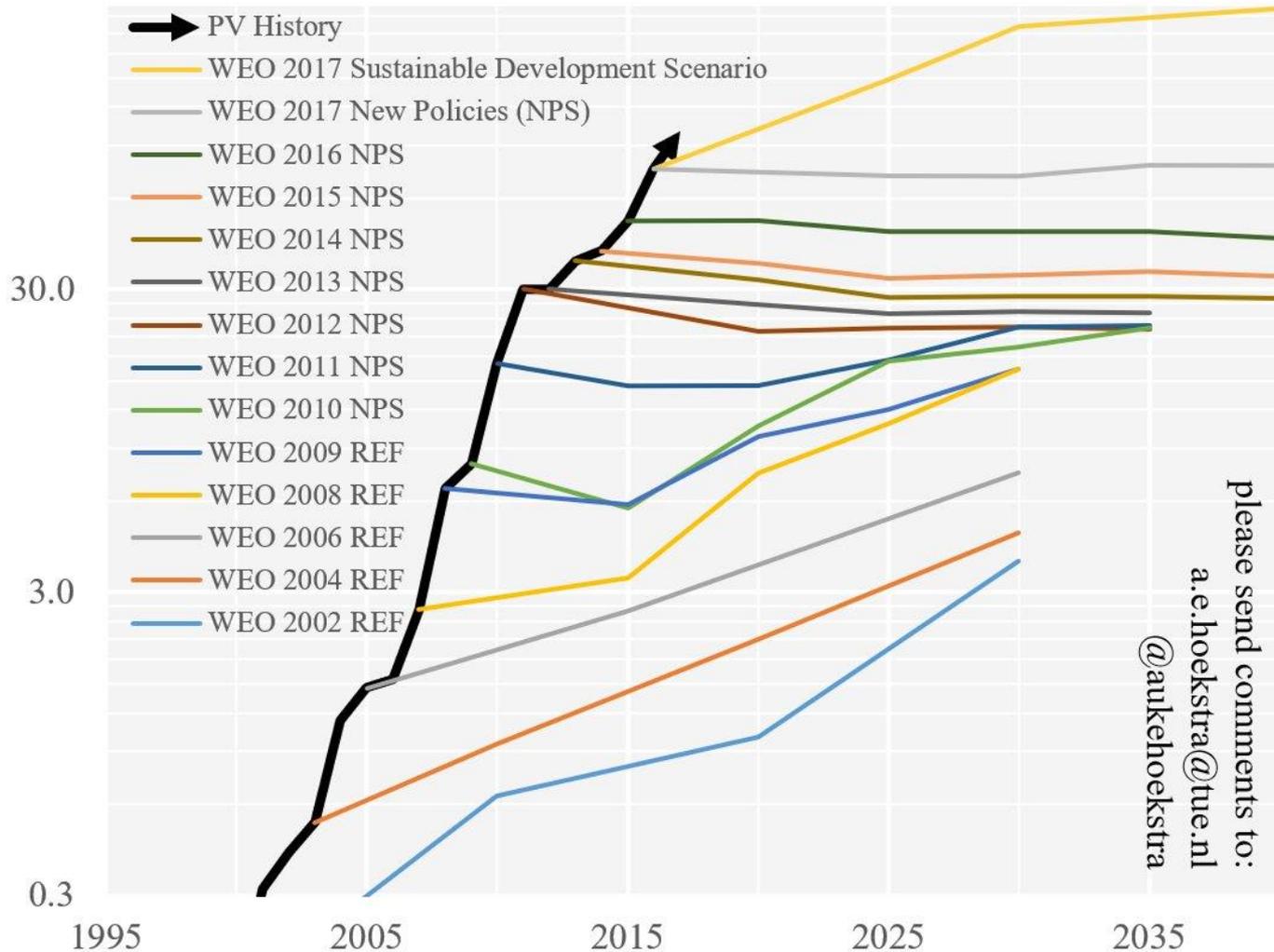


Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024)

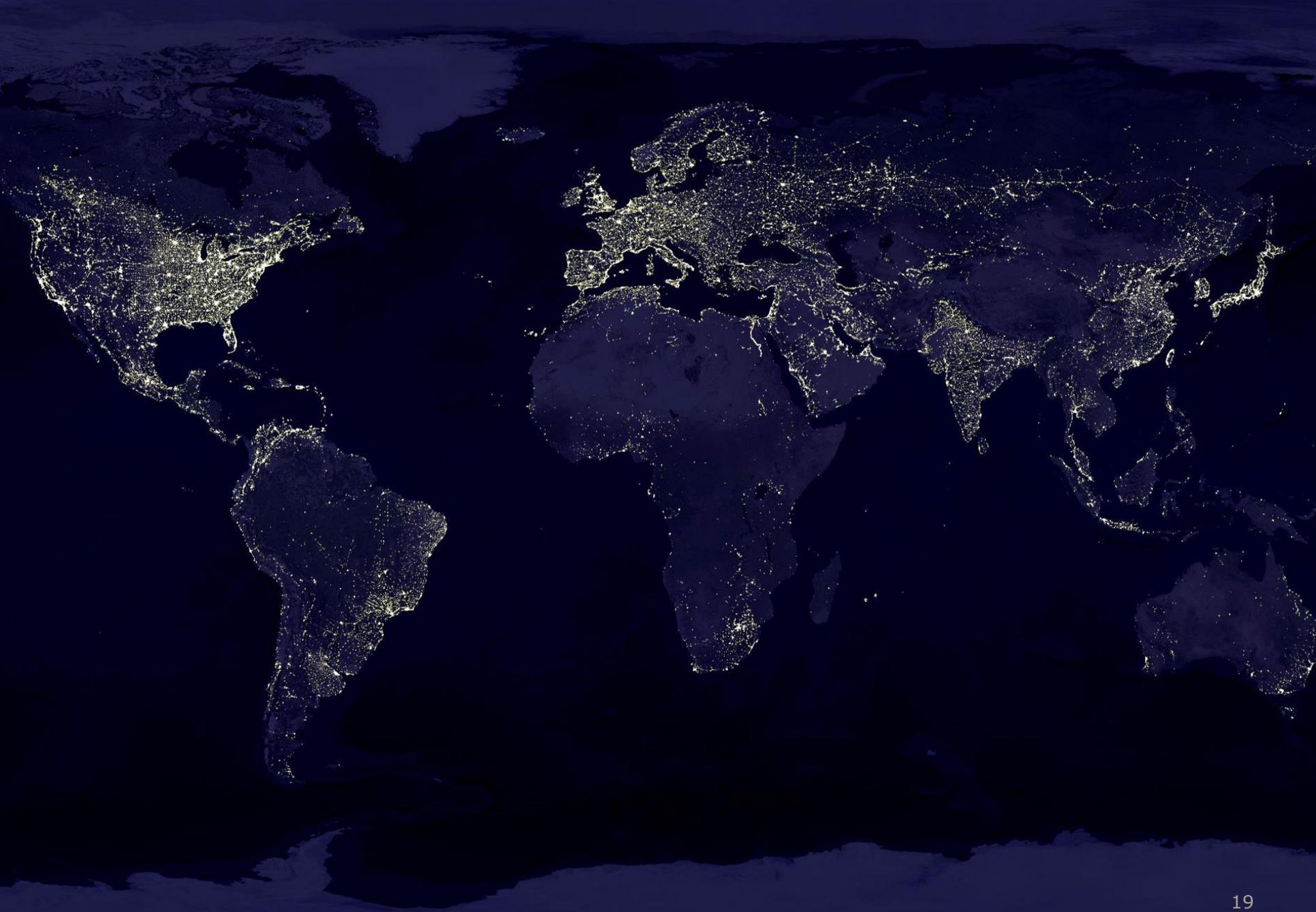
OurWorldinData.org/energy | CC BY

# Annual PV additions: historic data vs IEA WEO predictions

In GW of added capacity per year - source International Energy Agency - World Energy Outlook



please send comments to:  
a.e.hoekstra@tue.nl  
@aukehoekstra

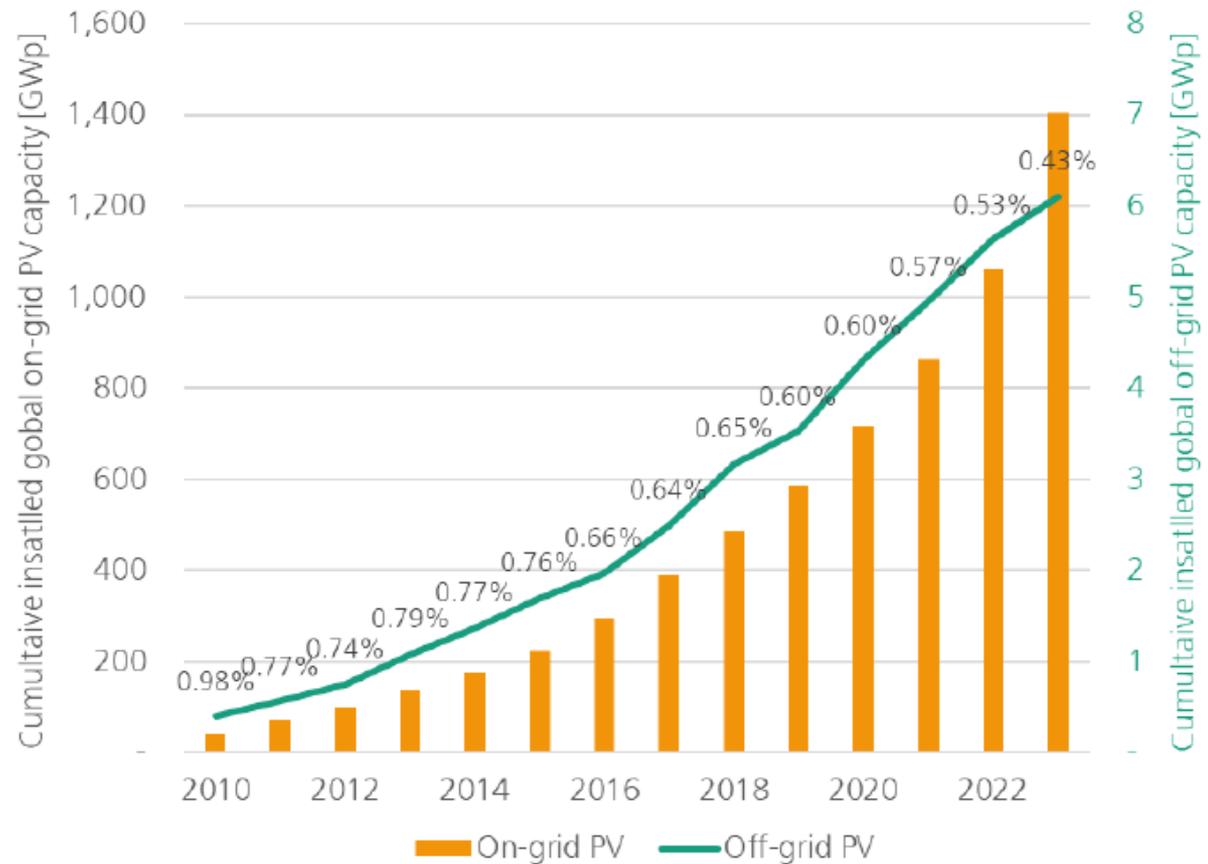


# Global Cumulative PV Installation

## by on-grid & off-grid installation type

A eletrificação solar nos países em desenvolvimento ainda tem um longo caminho a percorrer.

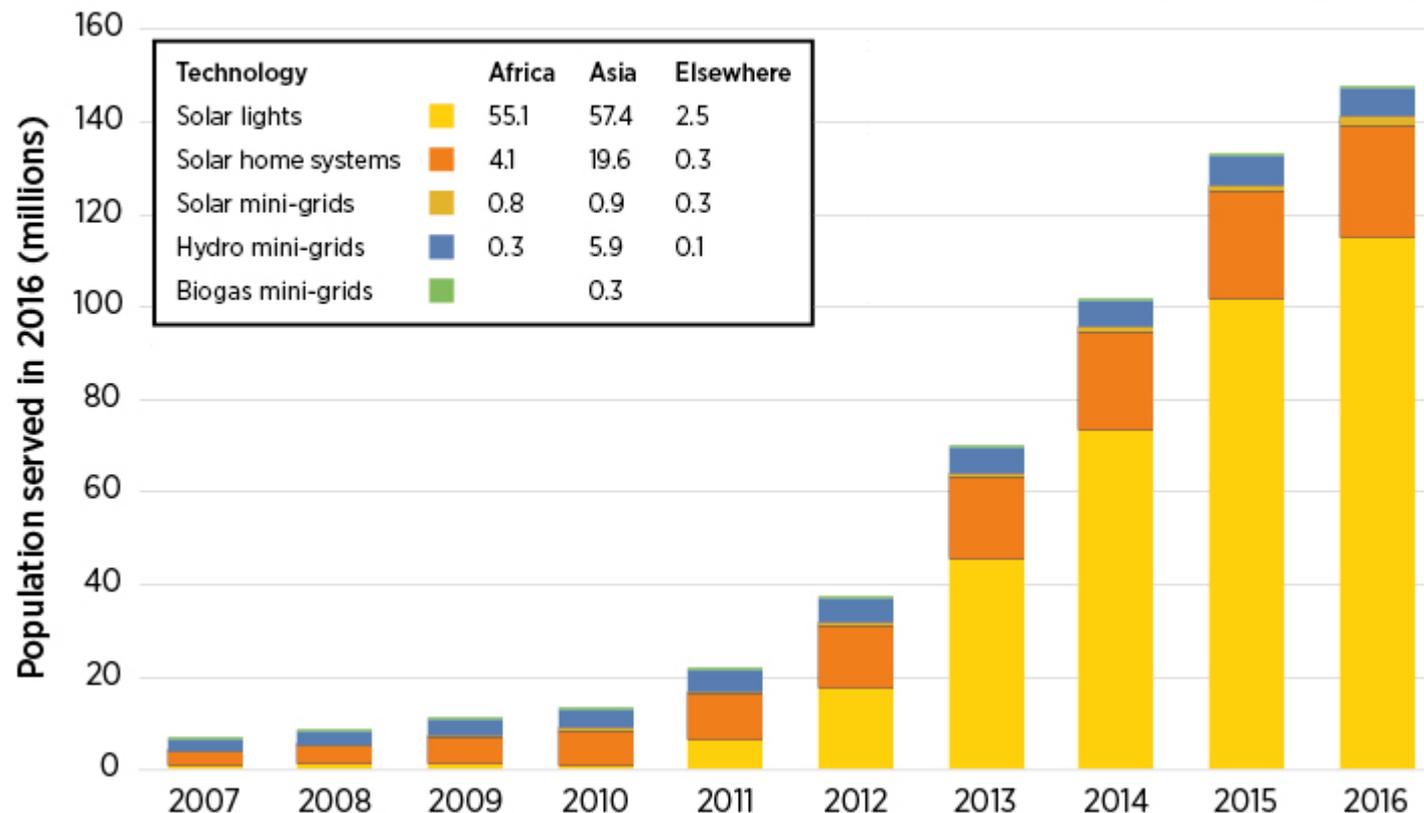
Mas beneficia da redução de custos da tecnologia.



Data: IRENA 2024. Graph: PSE Projects GmbH 2024. Date of data: 04/2024

A eletrificação solar nos países em desenvolvimento ainda tem um longo caminho a percorrer.

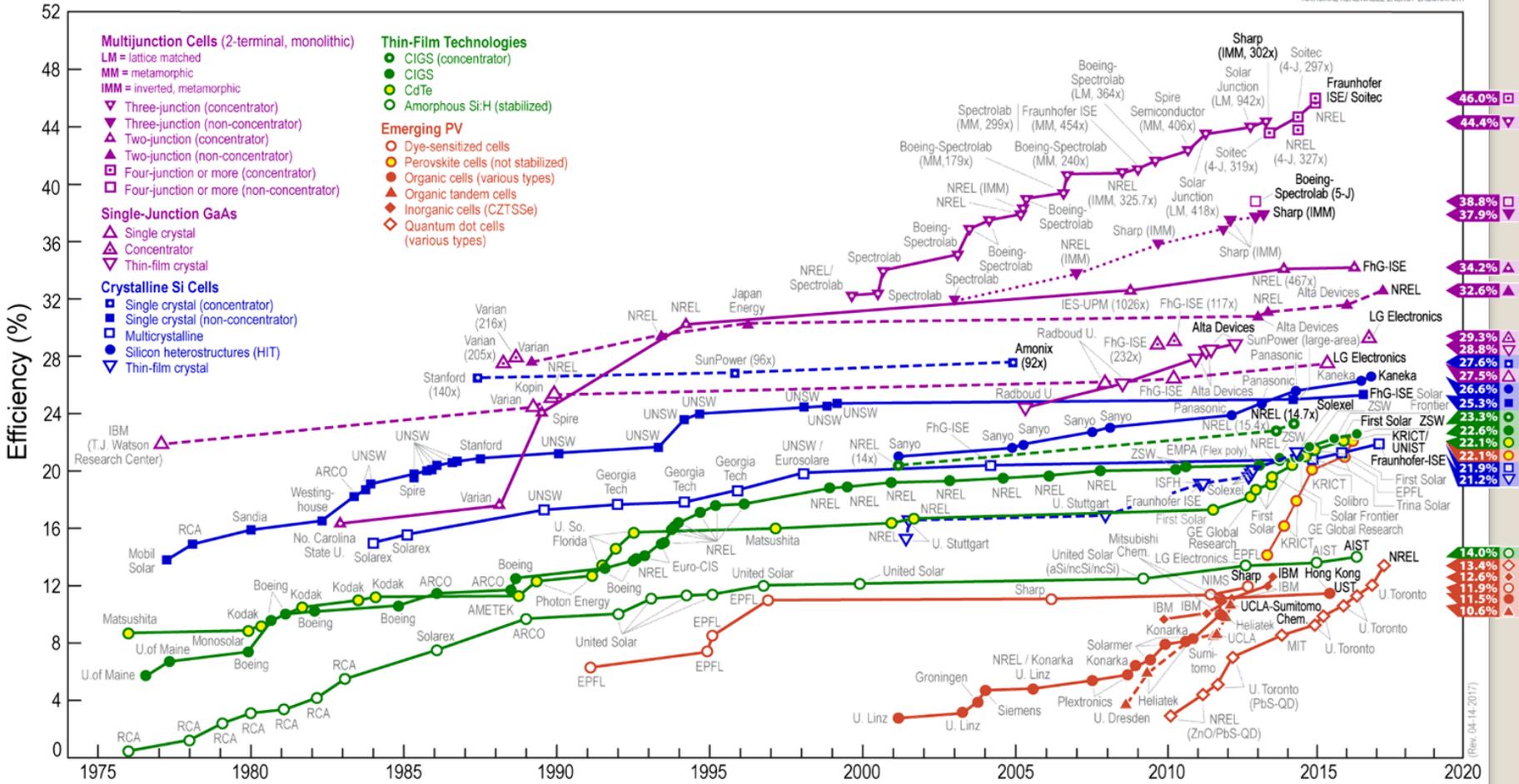
Mas beneficia da redução de custos da tecnologia.



# Tecnologia

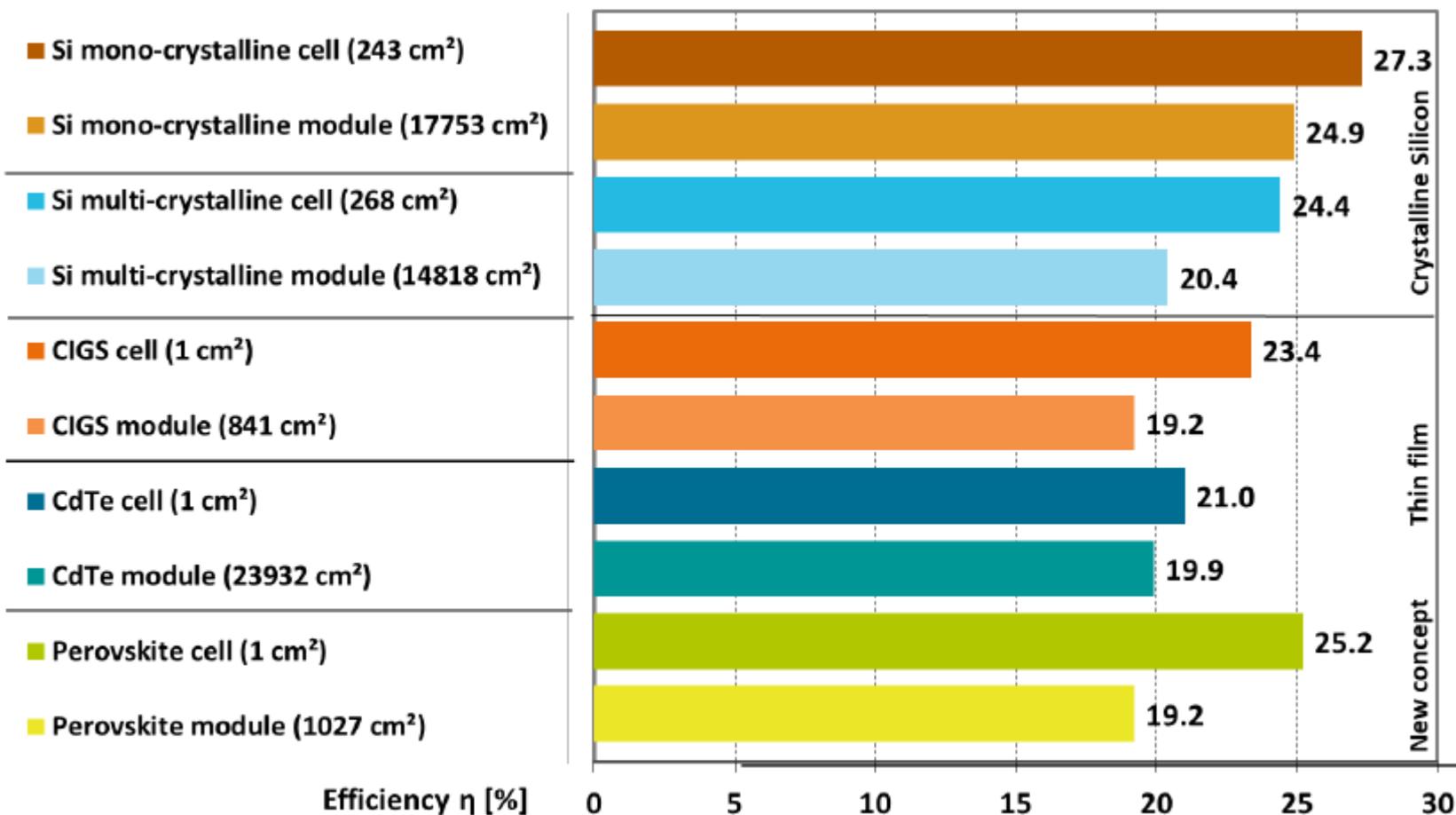
# PV

# Best Research-Cell Efficiencies



Rev. 04-14-2017

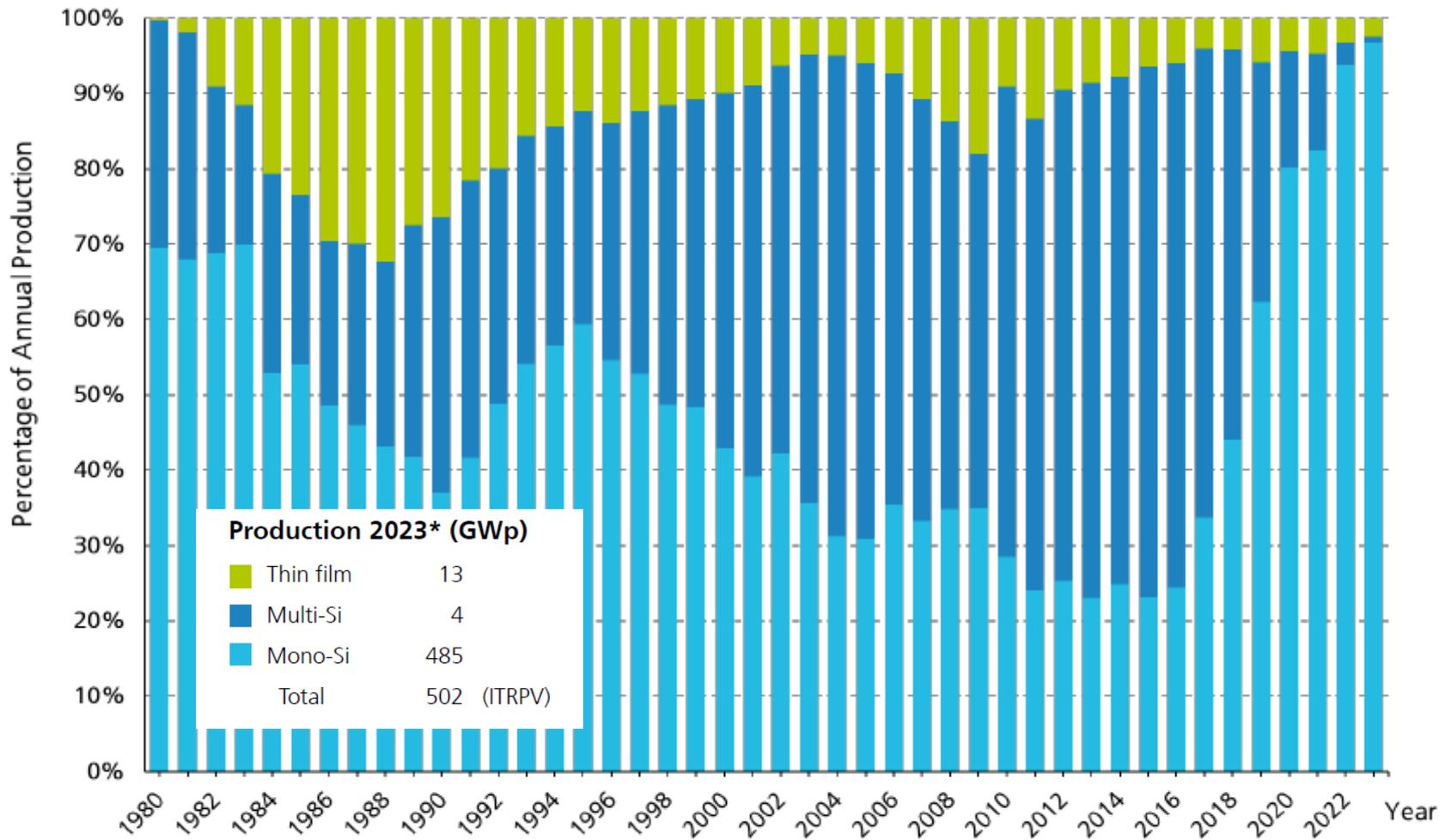
# Células de laboratório são mais eficientes do que os módulos comerciais



Data: Green et al.: Solar Cell Efficiency Tables (Version 64), Progress in PV: Research and Applications 2024. Graph: PSE Projects GmbH 2024. Date of data: 06/2024

# PV Production by Technology

## Percentage of Global Annual Production



09: Navigant; from 2010 to 2021 IHS Markit; from 2022 estimates based on IEA and other sources. Graph: PSE Projects GmbH 2024 . Date of data: 04/2024

- Comparação diferentes tecnologias PV

Custo

Desempenho, durabilidade

Disponibilidade matéria prima

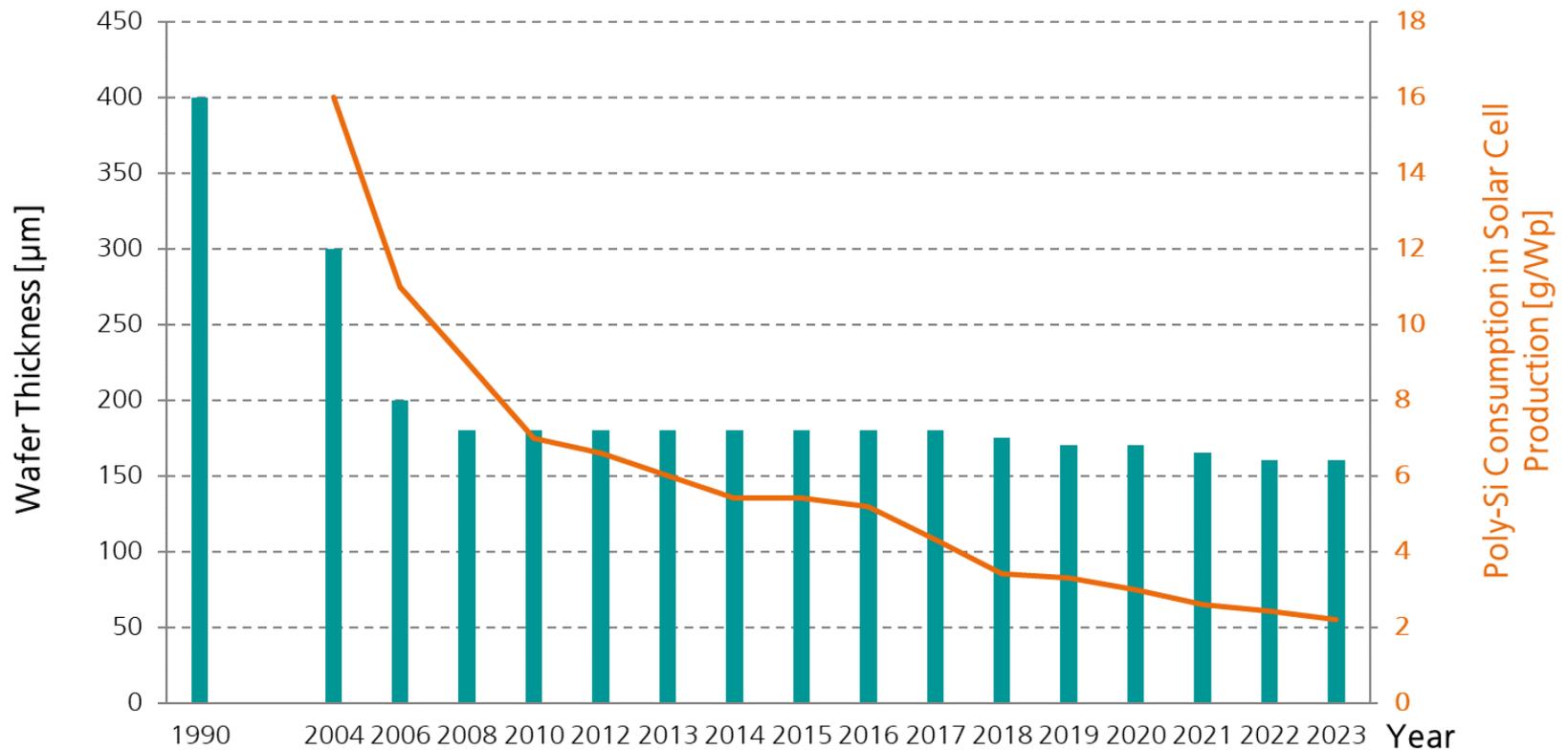
Aspectos ambientais

Maturidade tecnológica

Promotores

Outros

Pegada de materiais cada vez menos relevante, por unidade de potência instalada (ou energia gerada)



- *Payback time* energético
- *Energy yield*

$$\text{Energy yield} = \frac{\text{Operational lifetime}}{\text{Energy payback time}}$$

menor *payback time*  
mas vida mais longa

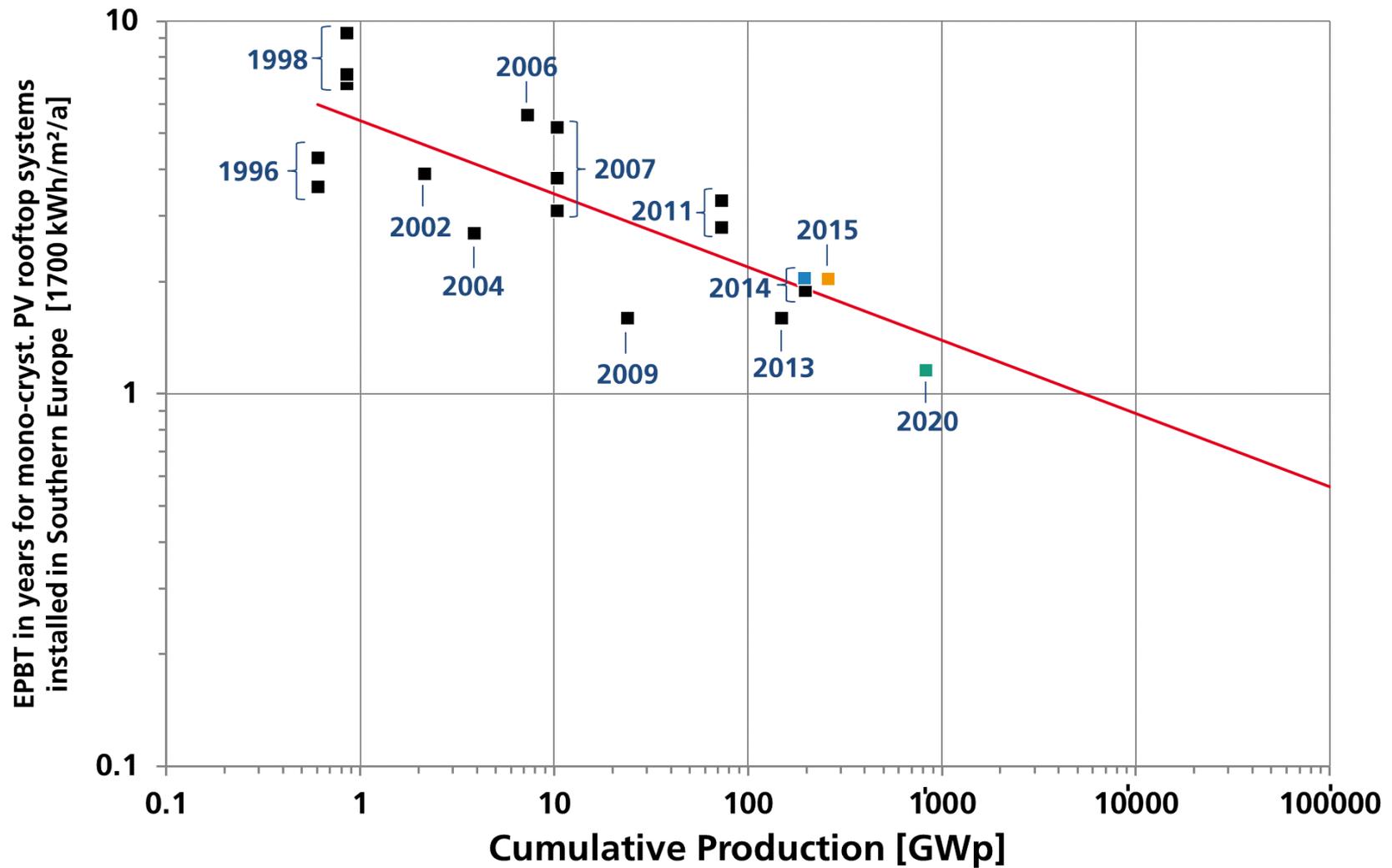
>

menor *payback time*  
mas vida mais curta

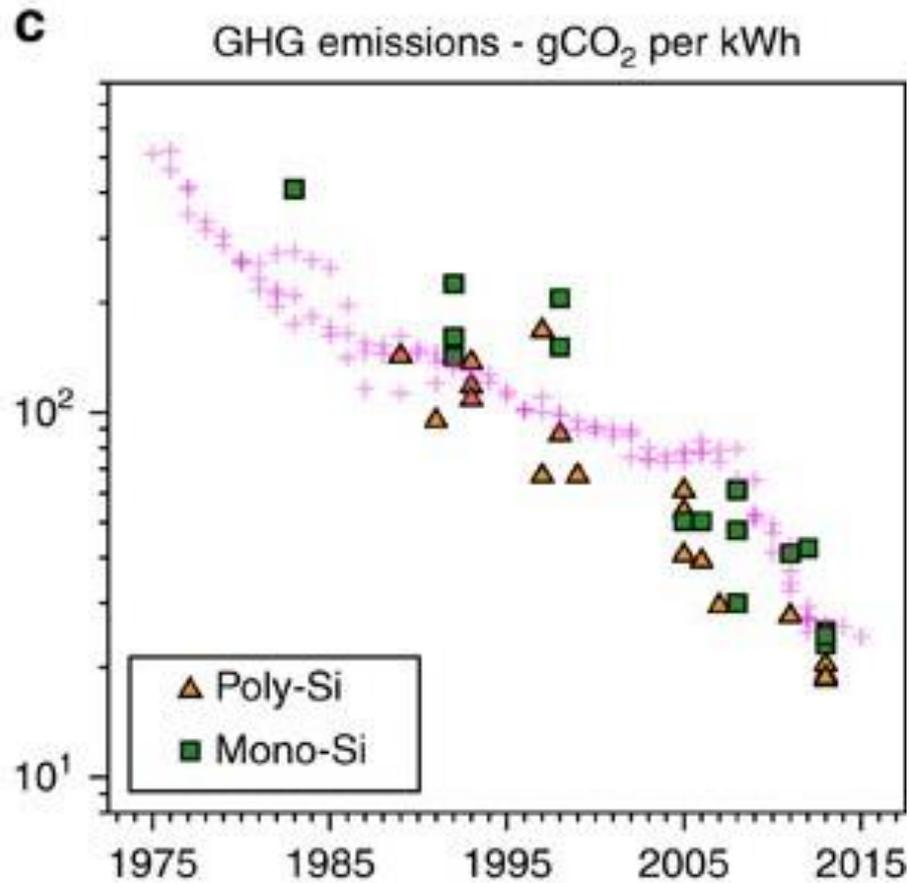
Valores típicos garantia módulos silício: 25 anos  
Centrais com 40 anos de vida com produção 80% valor nominal.

Um painel fotovoltaico produz de 20 a 50x  
a energia que foi utilizada para o fabricar!

# Payback time energético cada vez menor



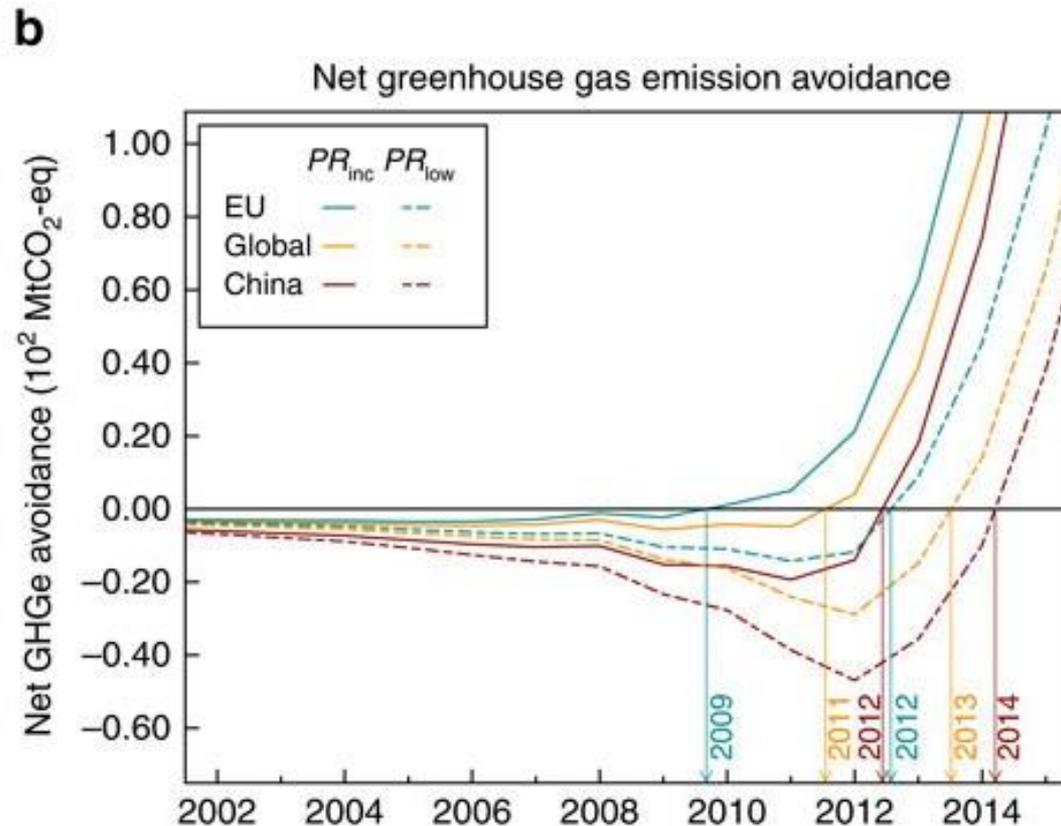
# Redução intensidade energética, redução emissões GHG



Louwen, A., van Sark, W., Faaij, A. *et al.* Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaics development. *Nat Commun* 7, 13728 (2016). <https://doi.org/10.1038/ncomms13728>

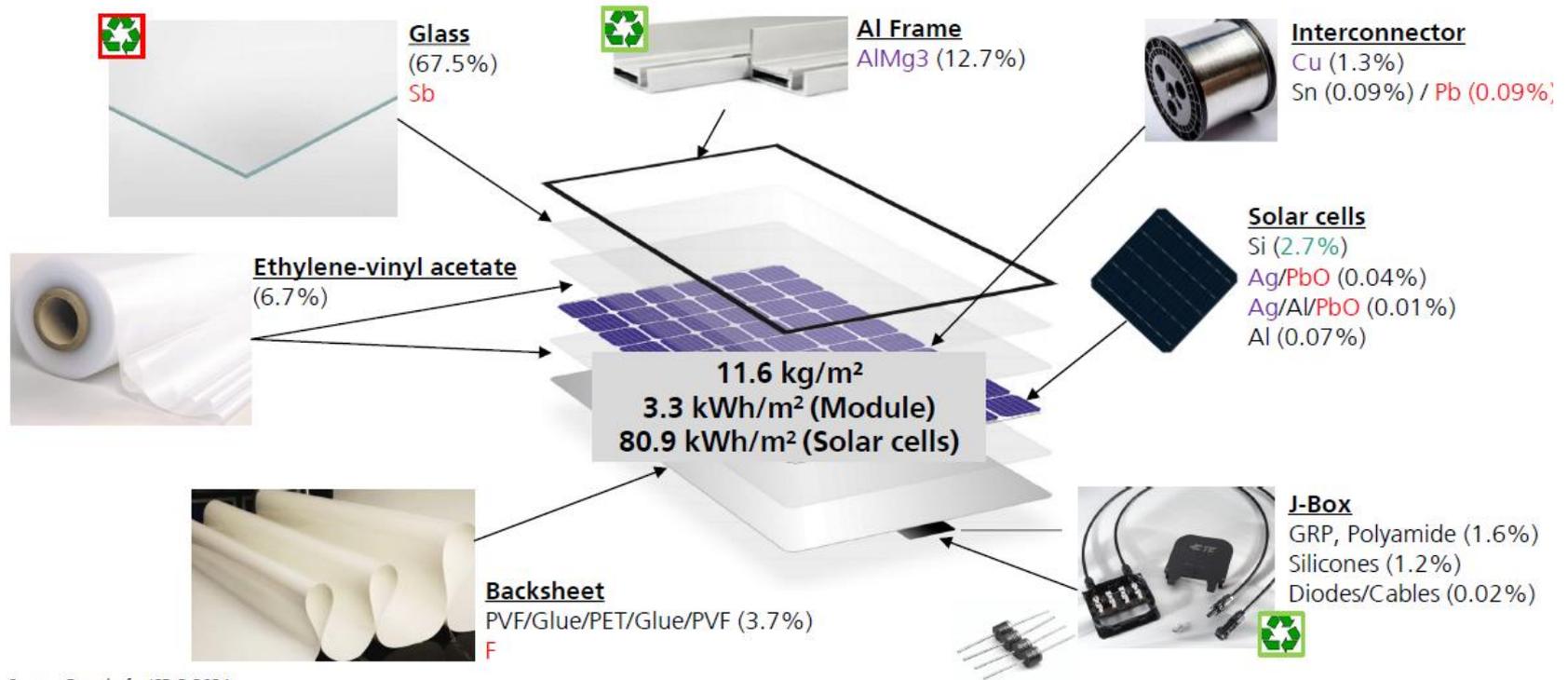
## Redução intensidade energética, redução emissões GHG

Desde 2015, o **saldo** de emissões (e energia) da indústria solar já é positivo!



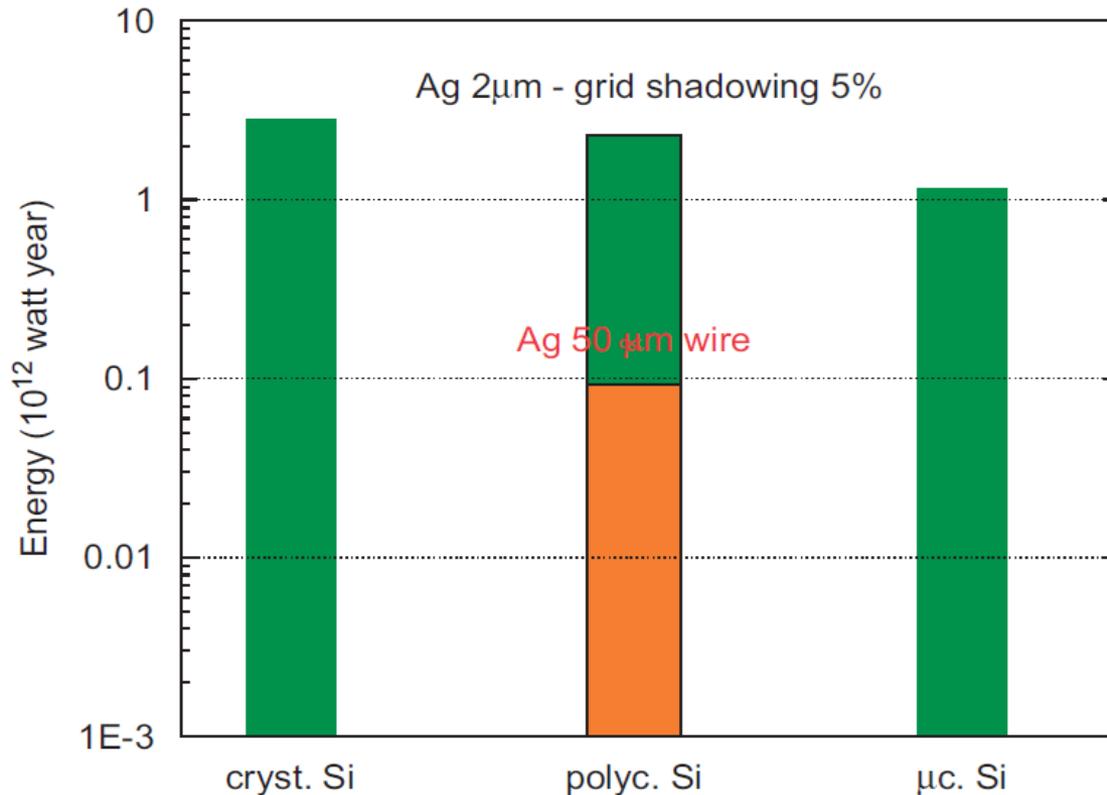
Louwen, A., van Sark, W., Faaij, A. *et al.* Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaics development. *Nat Commun* 7, 13728 (2016). <https://doi.org/10.1038/ncomms13728>

# Módulos PV são (quase) totalmente recicláveis



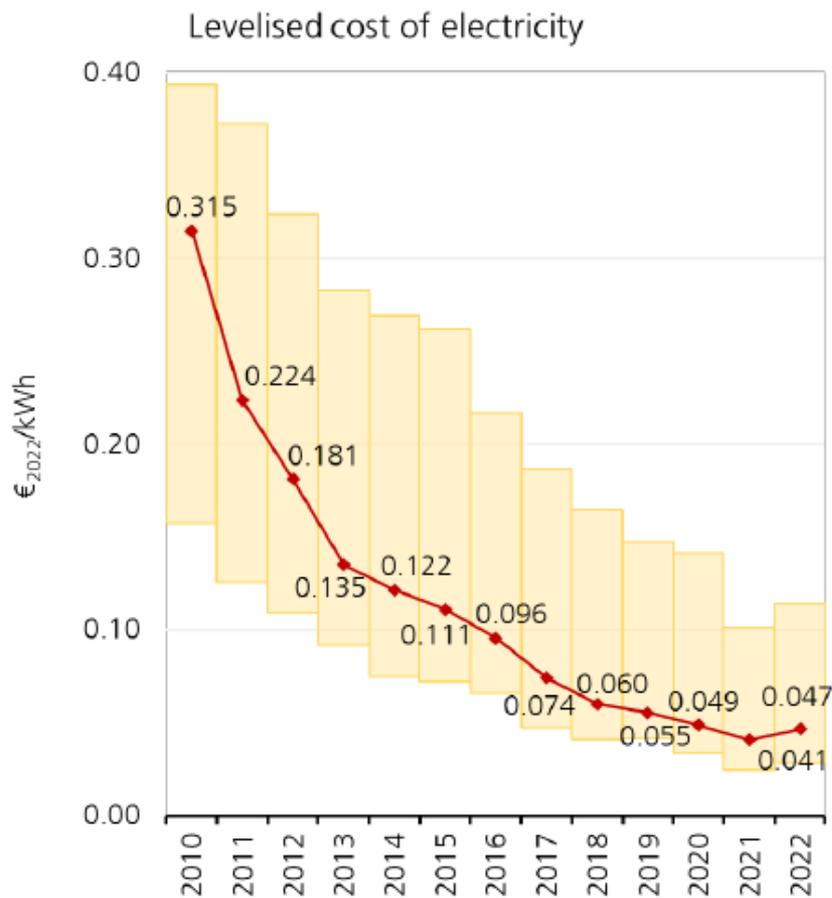
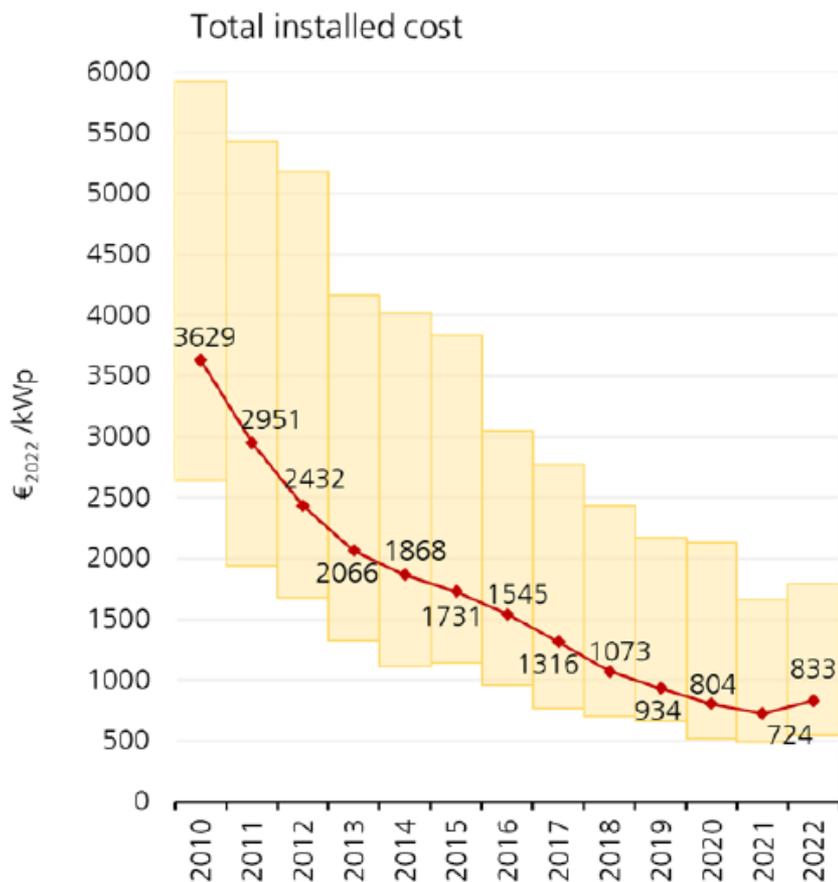
Source: Fraunhofer ISE © 2024

- Limitações matérias primas



Potential energy limits imposed by global silver (Ag) reserves for bulk-like silicon photovoltaic technologies. The orange shaded area represents limits reached using 50 mm-thick Ag ribbons. The green shaded area represents limits estimated using a 2 mm thick Ag electrodes and 5% grid shadowing.

A redução de custos é incrível nas últimas 2 décadas. O PV passou da mais cara das formas de produção de eletricidade para a mais barata de todas.

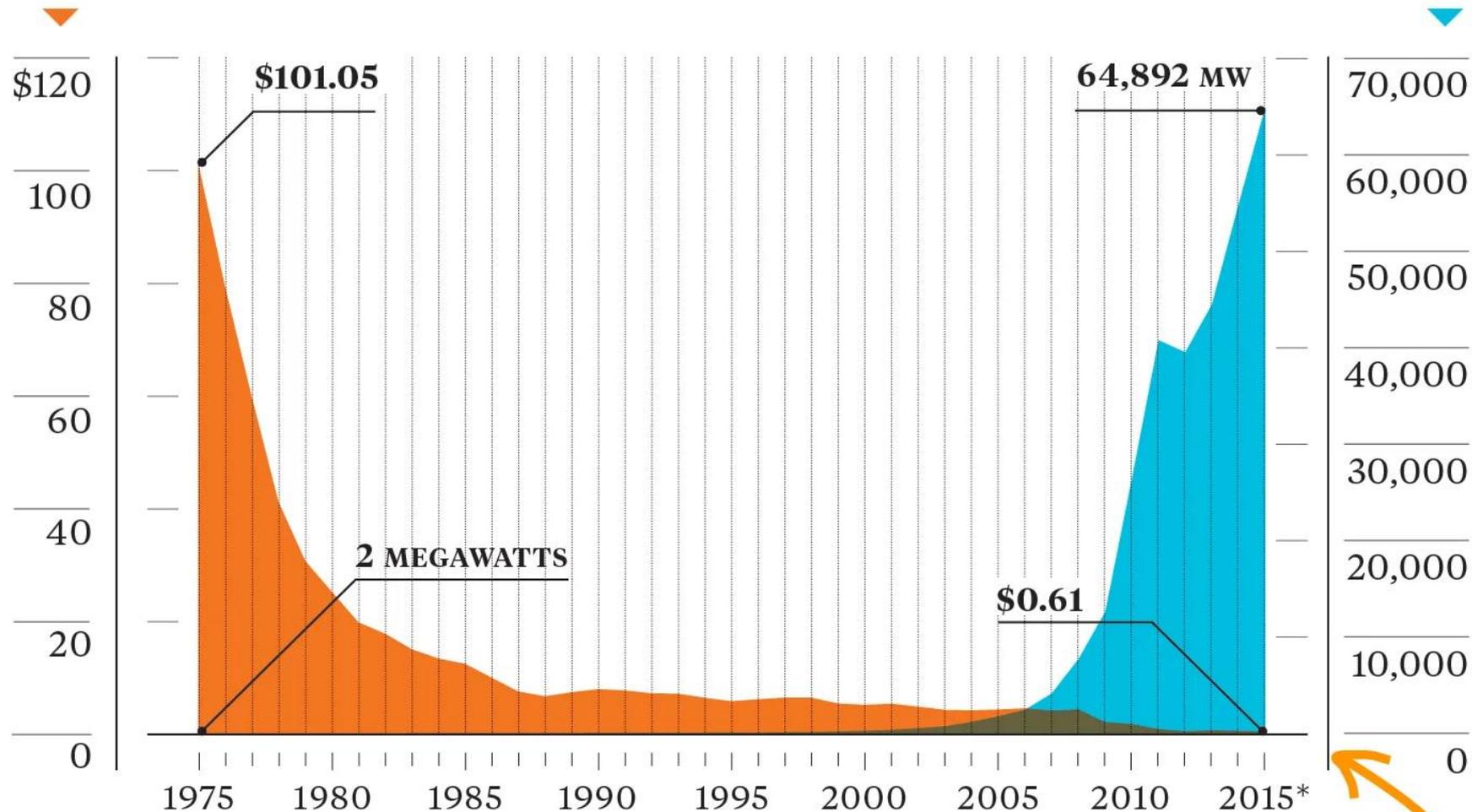


# Solar on Fire

As prices have dropped, installations have skyrocketed.

## Price of a solar panel per watt

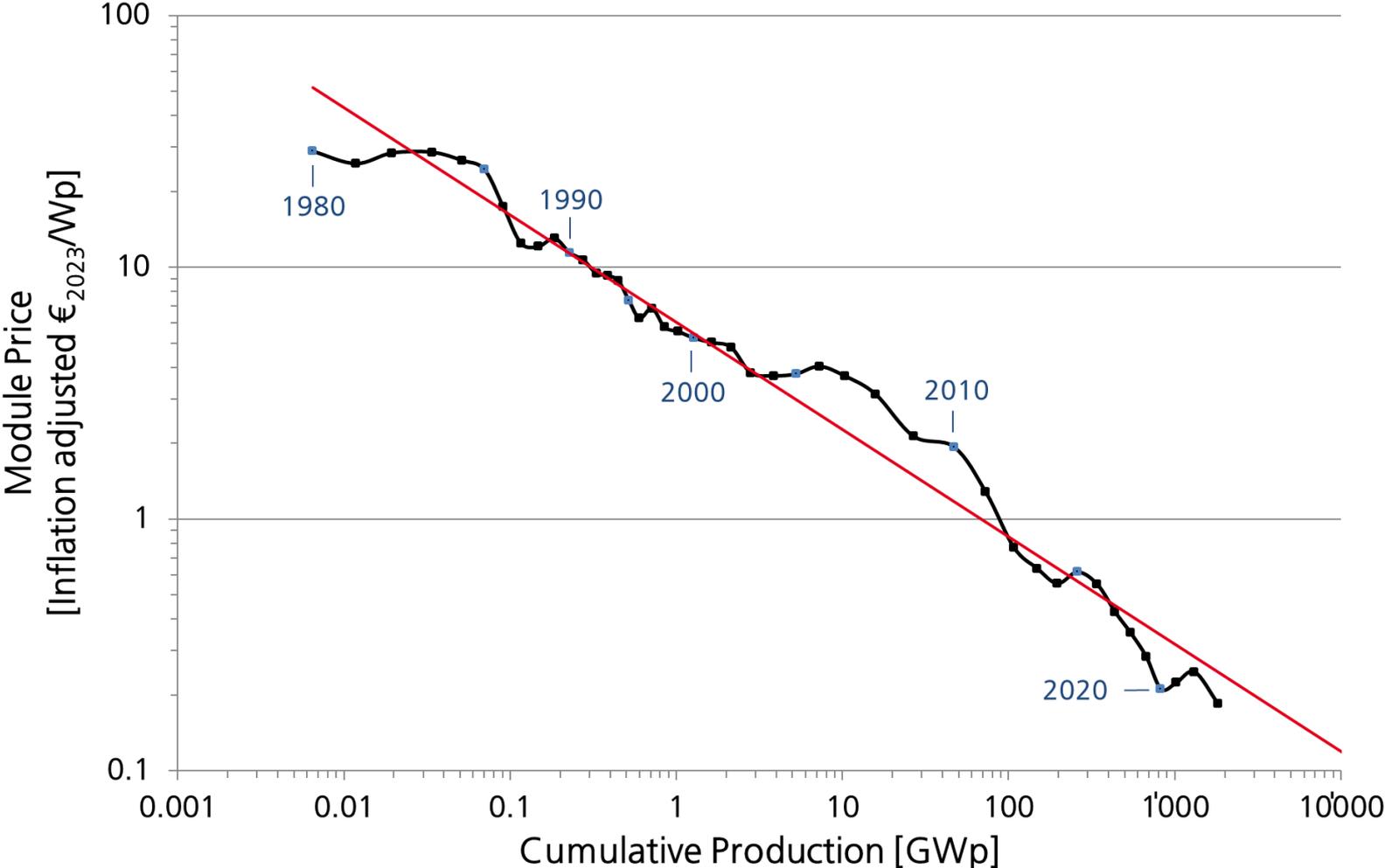
## Global solar panel installations



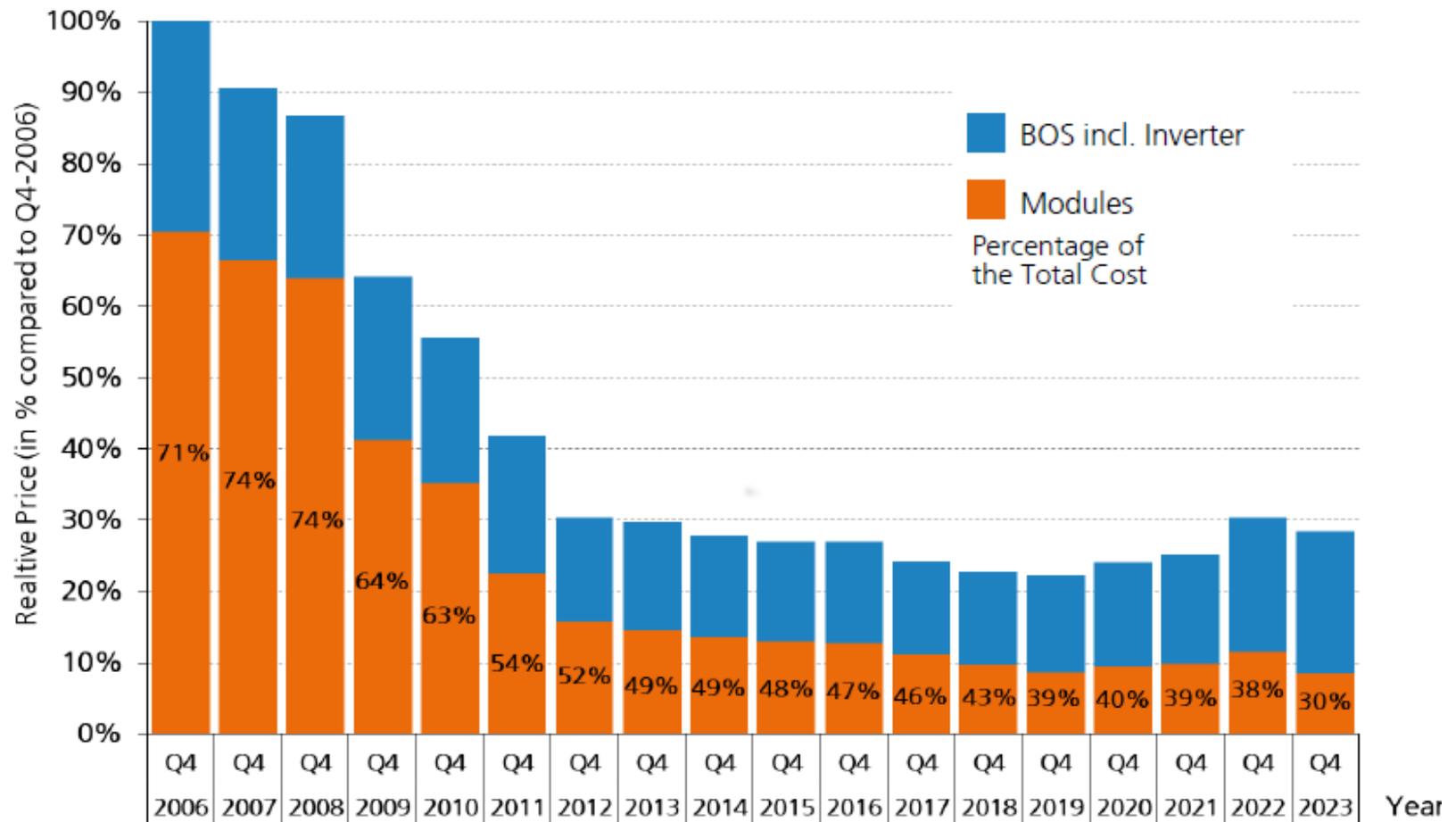
**Down to \$0.37 in Late 2017**

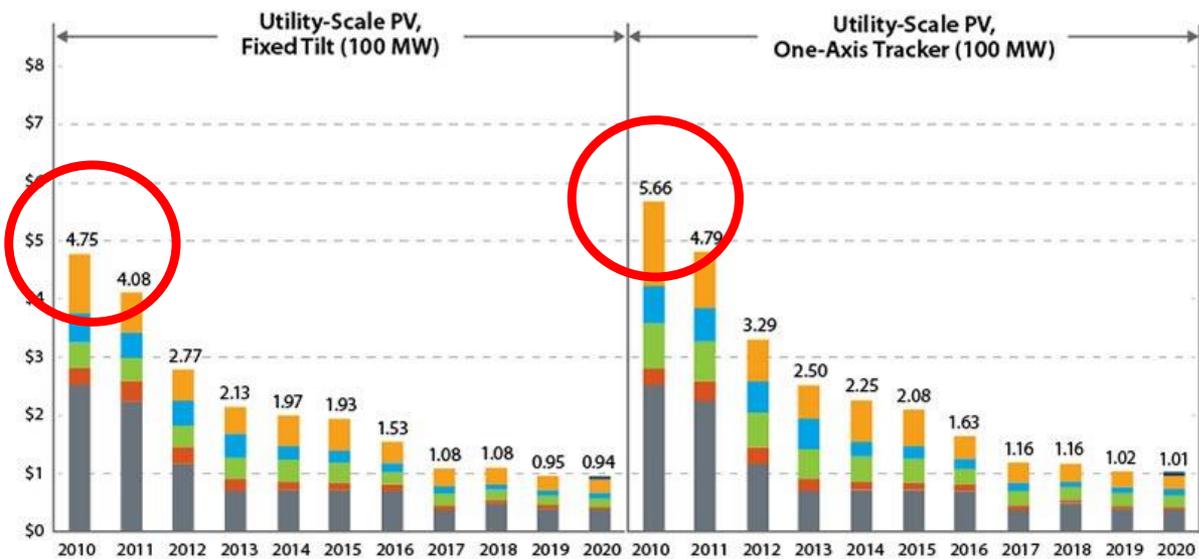
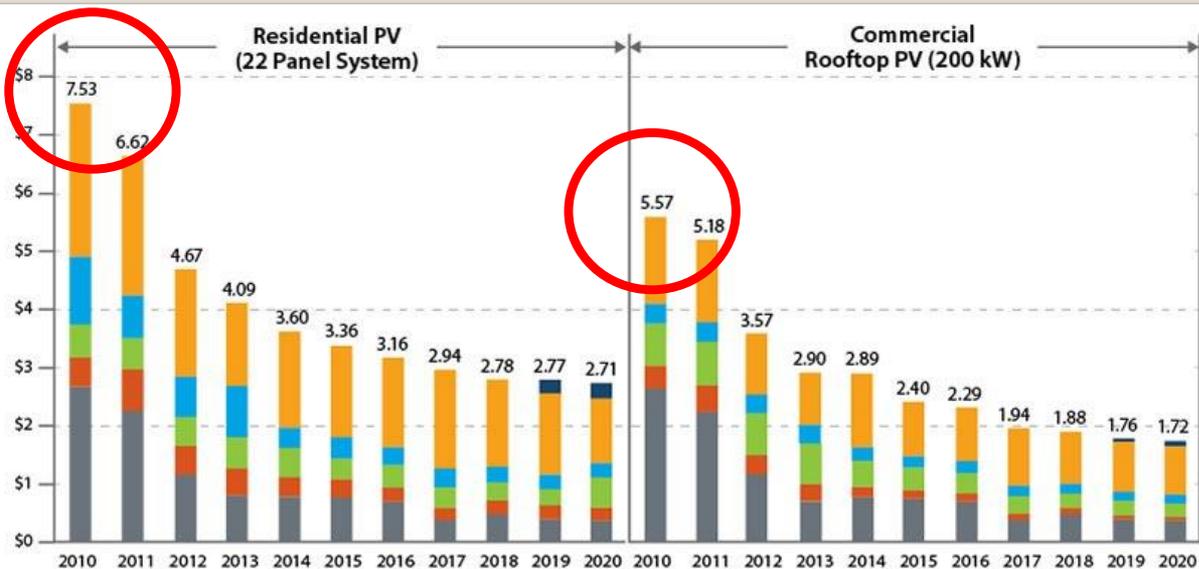
\*Estimate. Sources: Bloomberg, Earth Policy Institute, [www.earth-policy.org](http://www.earth-policy.org)

# Curva de aprendizagem. Vamos falar disto mais para a frente!



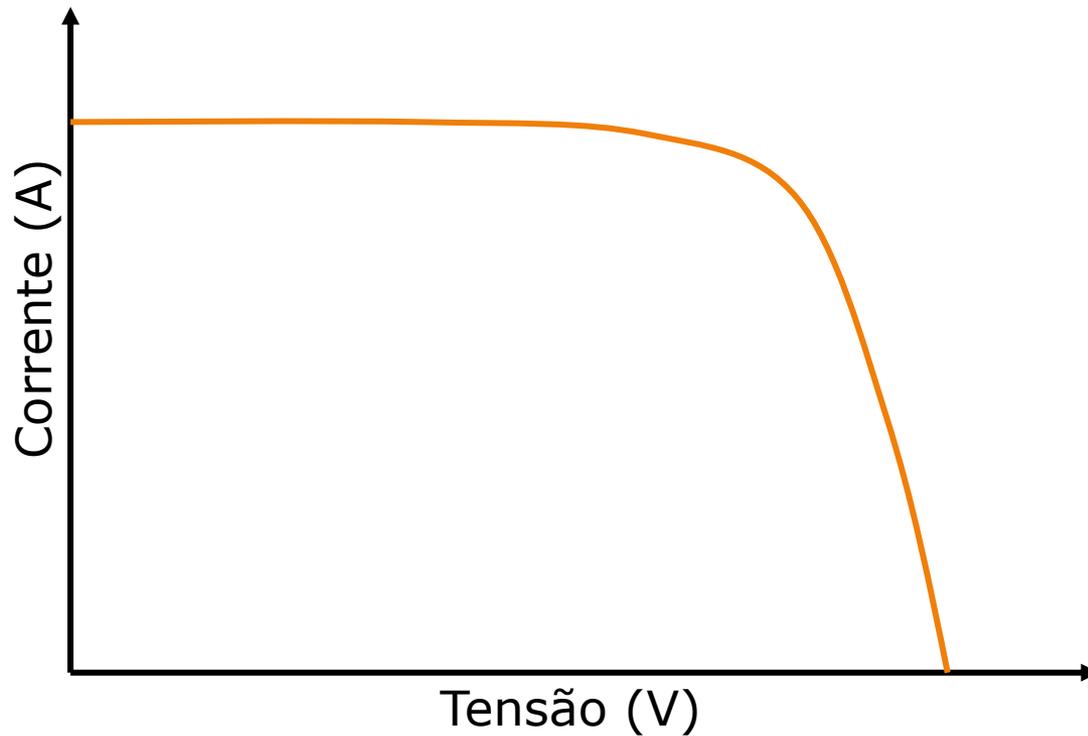
# Price Development for PV Rooftop Systems in Germany (10kWp - 100kWp)



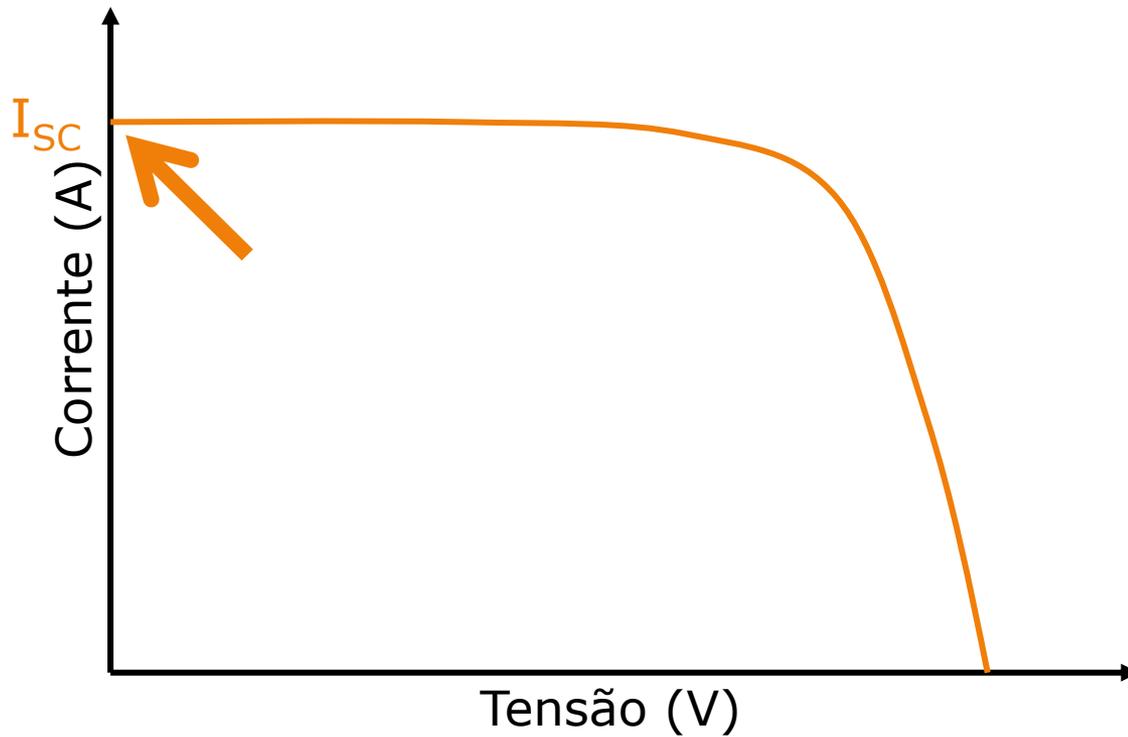


- Característica IV de uma célula solar

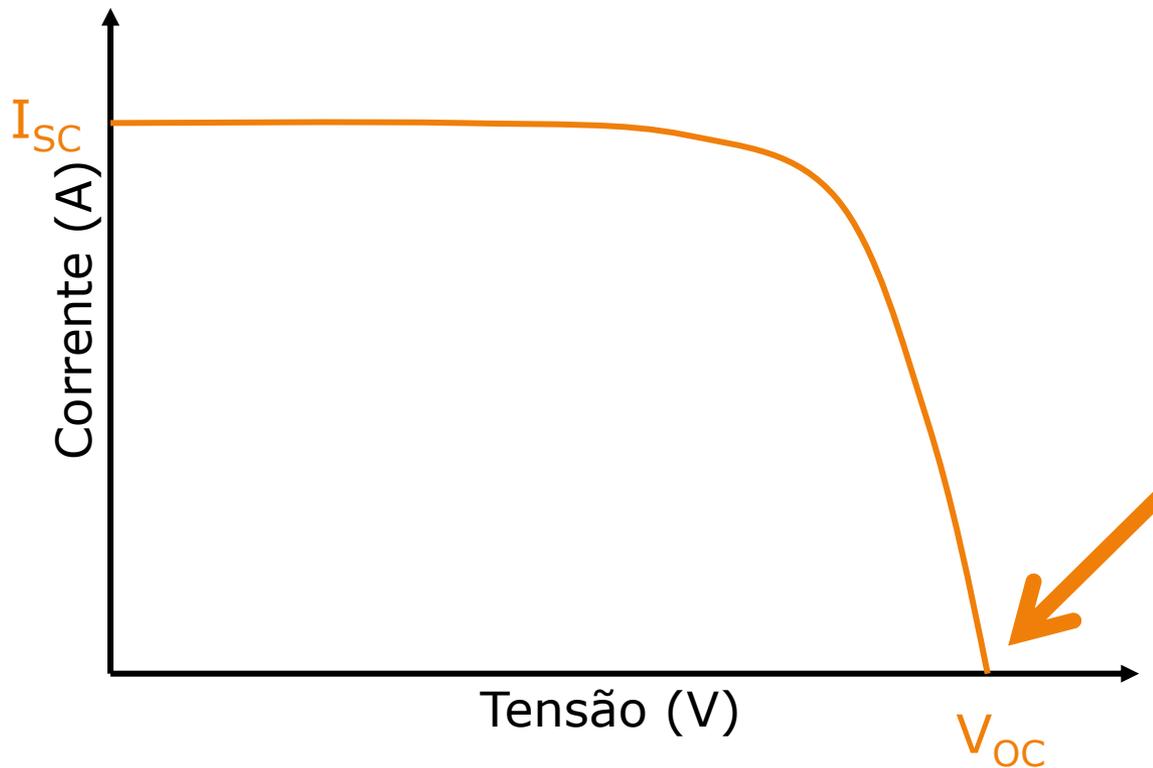
$$I = I_L - I_o \left( e^{\frac{qV}{nkT}} - 1 \right) \quad = \text{um díodo} + \text{corrente fotogerada}$$



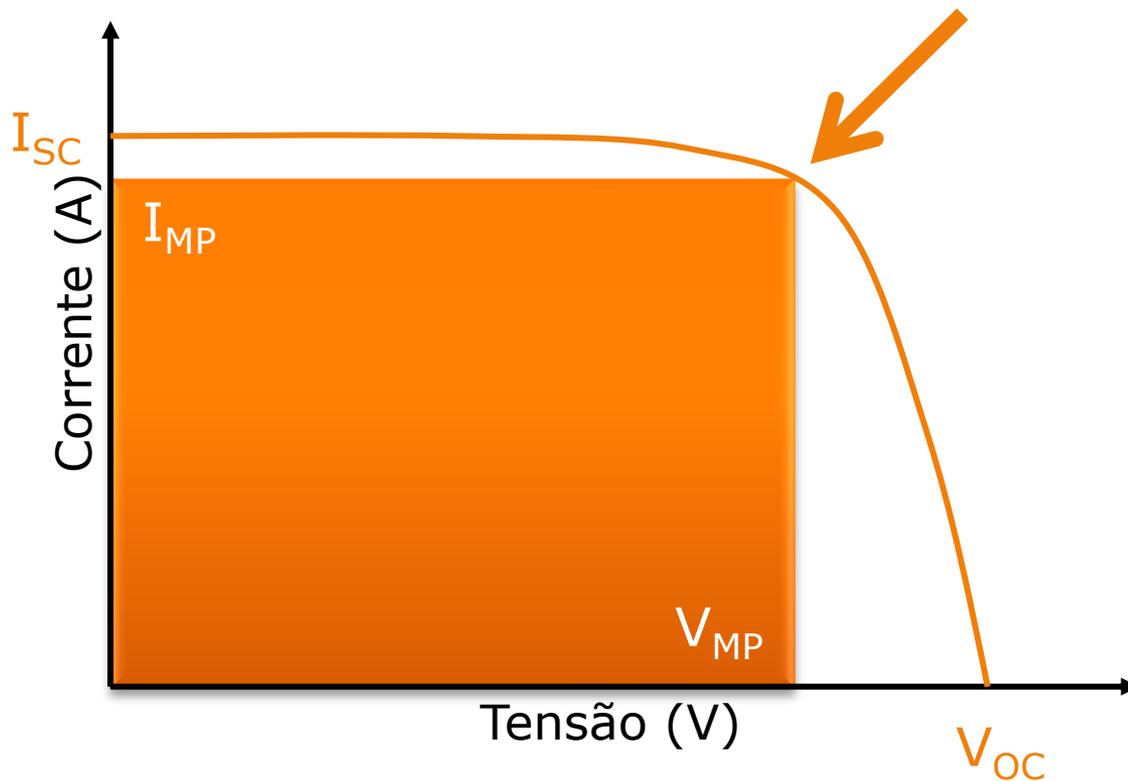
- Característica IV de uma célula solar  
Corrente de curto circuito  $I_{sc}$



- Característica IV de uma célula solar  
Tensão de circuito aberto  $V_{oc}$



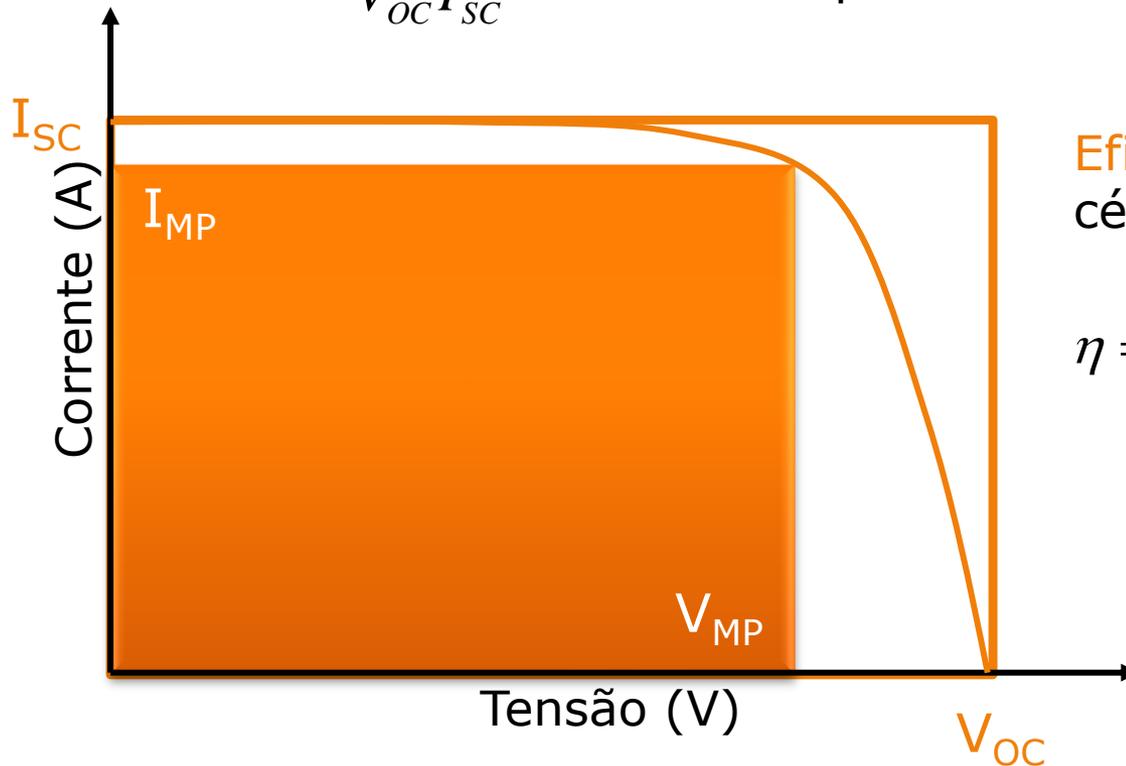
- Característica IV de uma célula solar  
Ponto de potência máxima MPP



- Característica IV de uma célula solar  
 Factor de preenchimento FF

$$FF = \frac{V_{MP} I_{MP}}{V_{OC} I_{SC}}$$

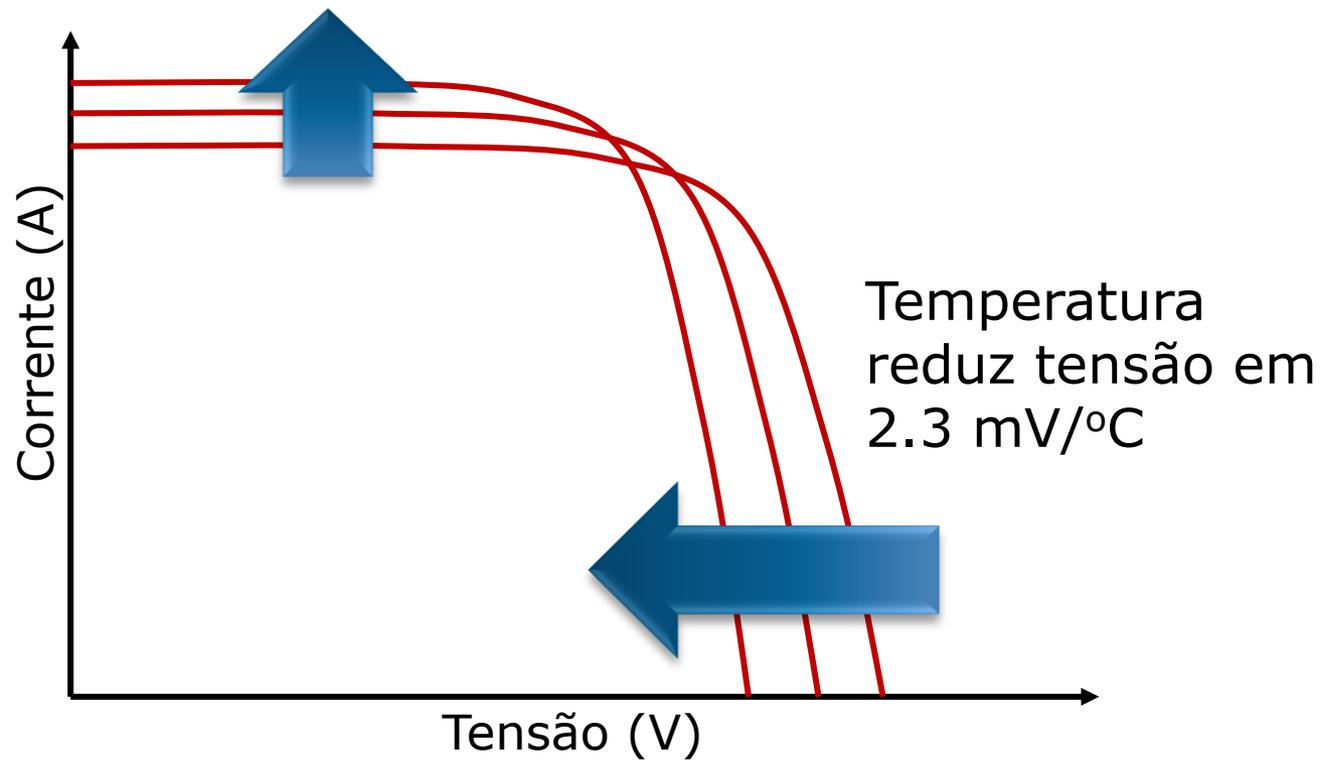
Seria unidade se célula ideal  
 Valor típico 0.7 – 0.8



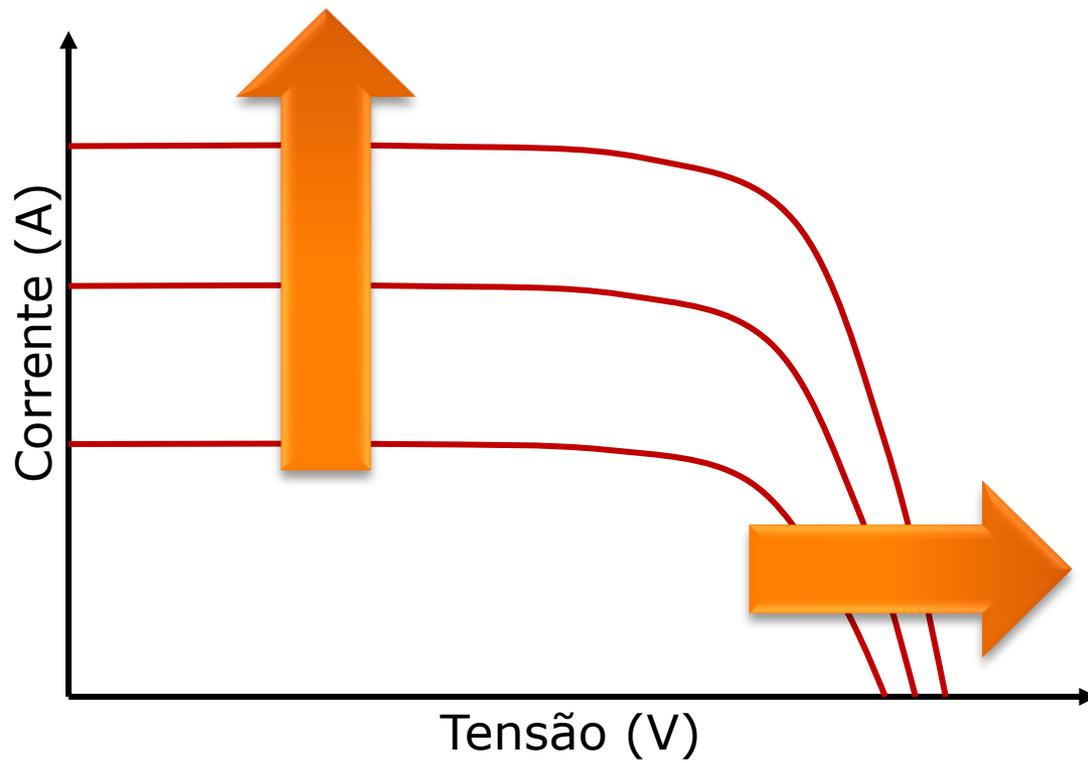
Eficiência de uma célula solar:

$$\eta = \frac{P_{\max}}{Q_{in}} = \frac{FF V_{OC} I_{SC}}{Q_{in}}$$

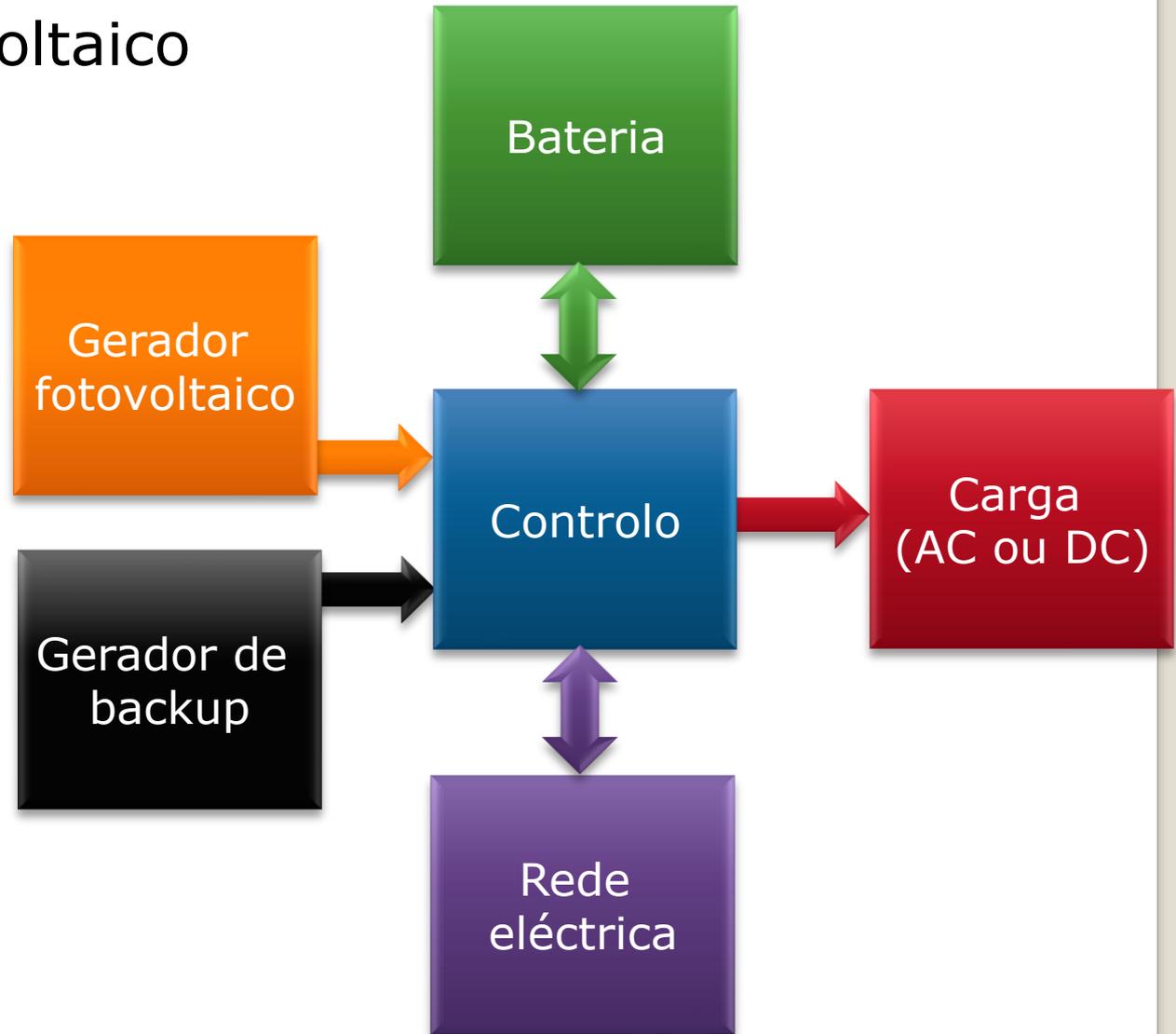
- Efeito da temperatura



- Efeito da radiação



- Sistema fotovoltaico



- Sistema fotovoltaico

## Bateria

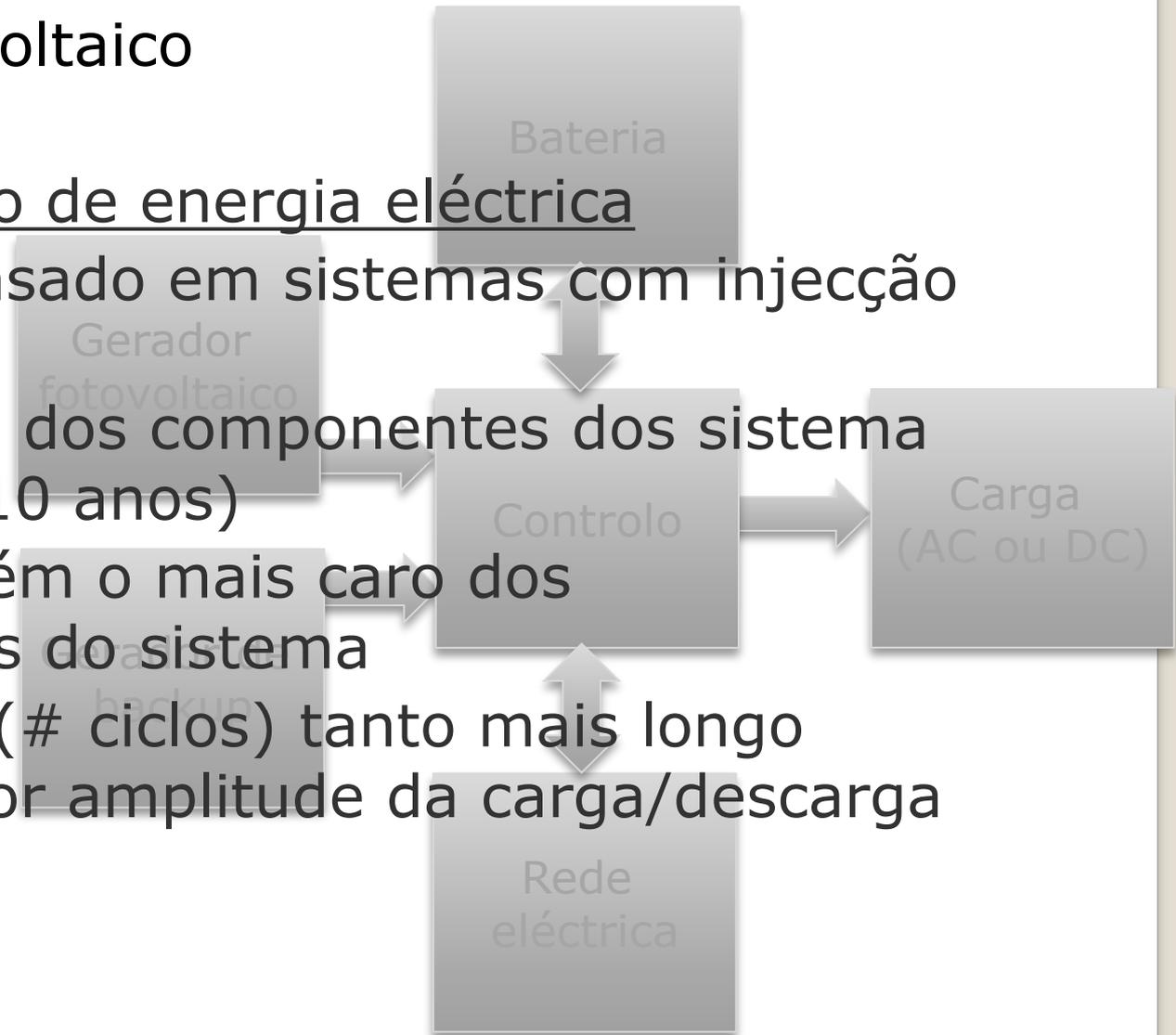
### Armazenamento de energia eléctrica

Pode ser dispensado em sistemas com injeccção na rede

O mais sensível dos componentes dos sistema (vida útil 5-10 anos)

Cada vez também o mais caro dos componentes do sistema

Tempo de vida (# ciclos) tanto mais longo quanto menor amplitude da carga/descarga



- Sistema fotovoltaico

Bateria

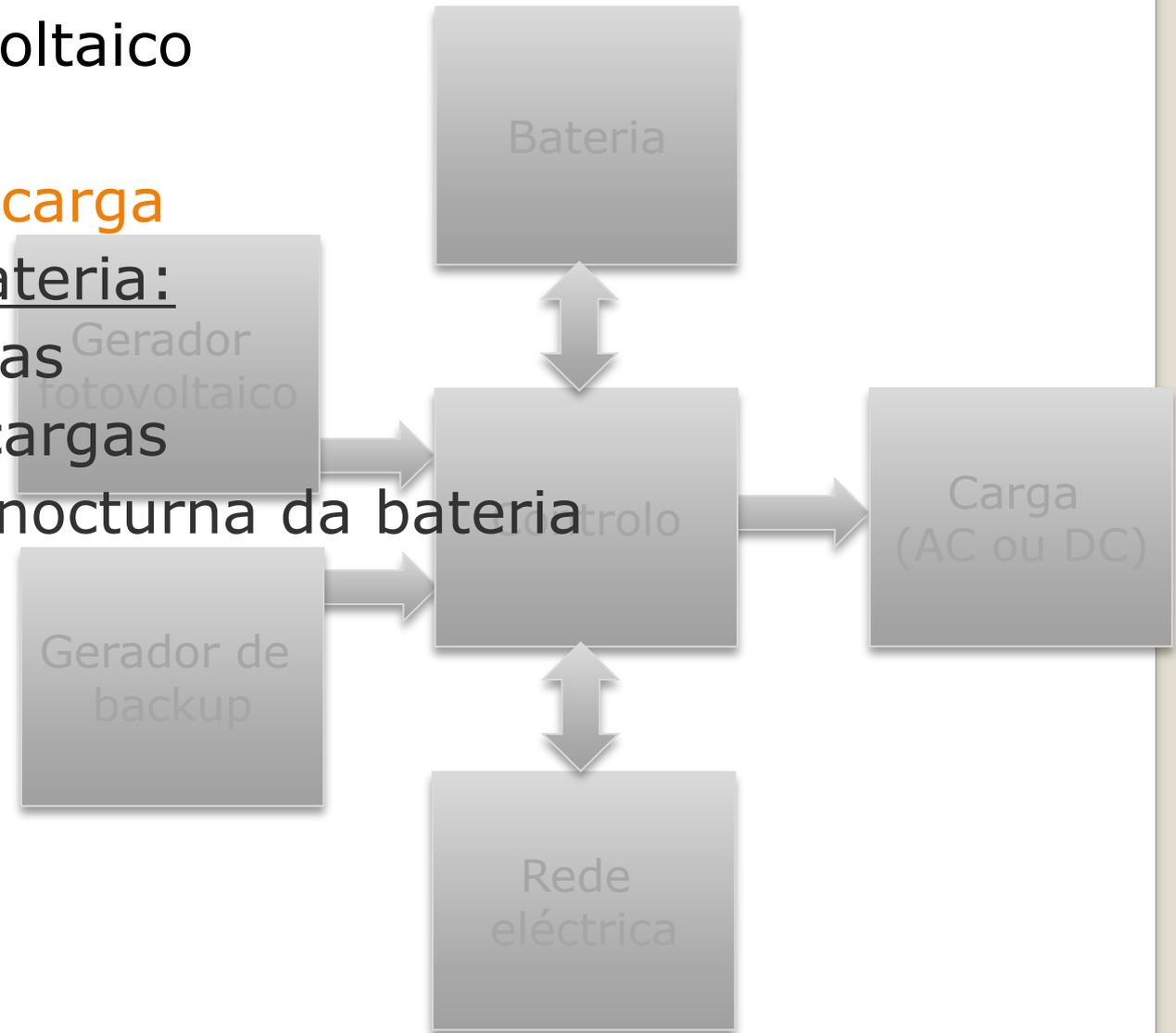
Controlador de carga

Protecção da bateria:

Evita sobrecargas

Evita sobredescargas

Evita descarga nocturna da bateria



- Sistema fotovoltaico

Bateria

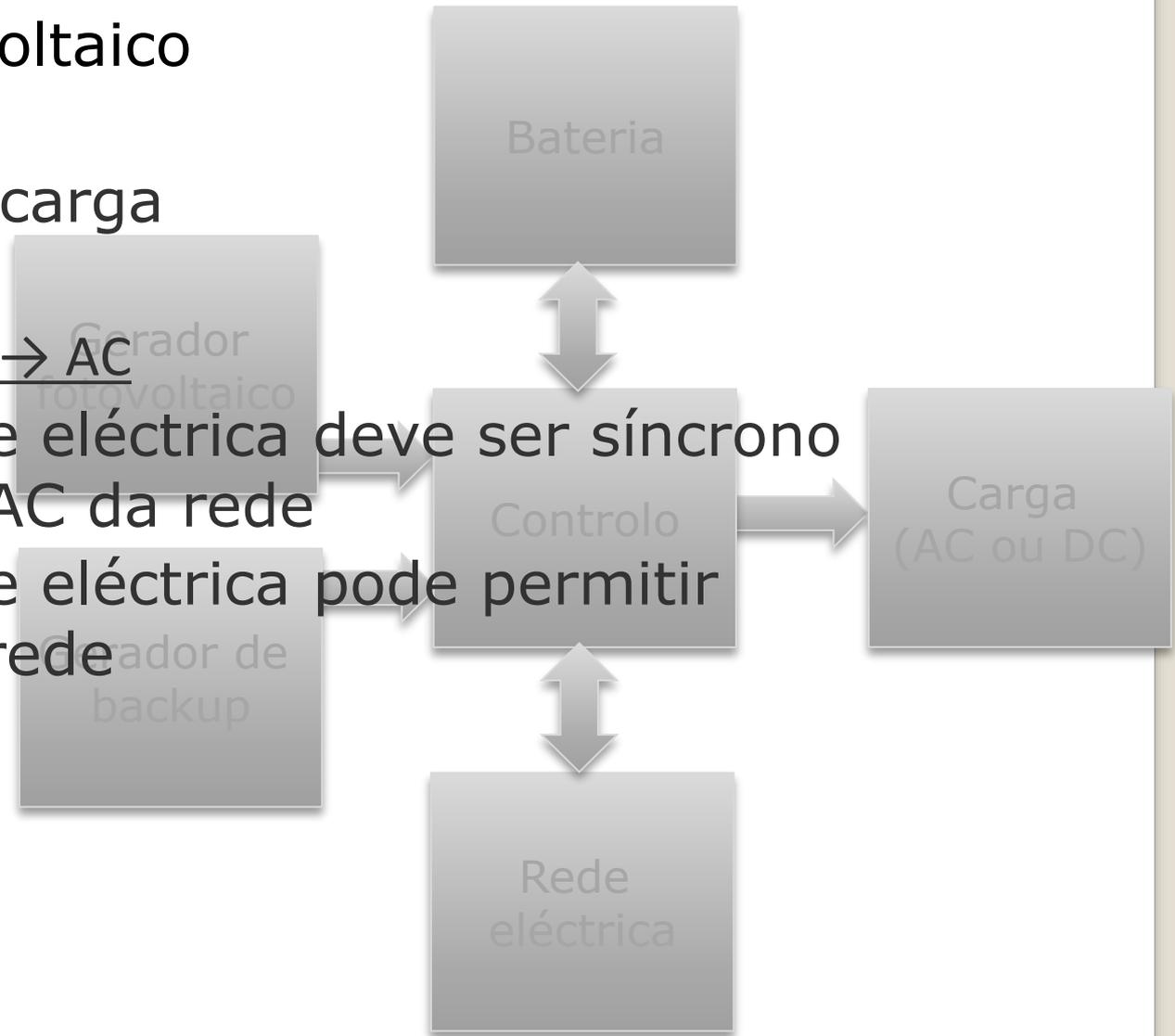
Controlador de carga

**Inversor**

Transforma DC → AC

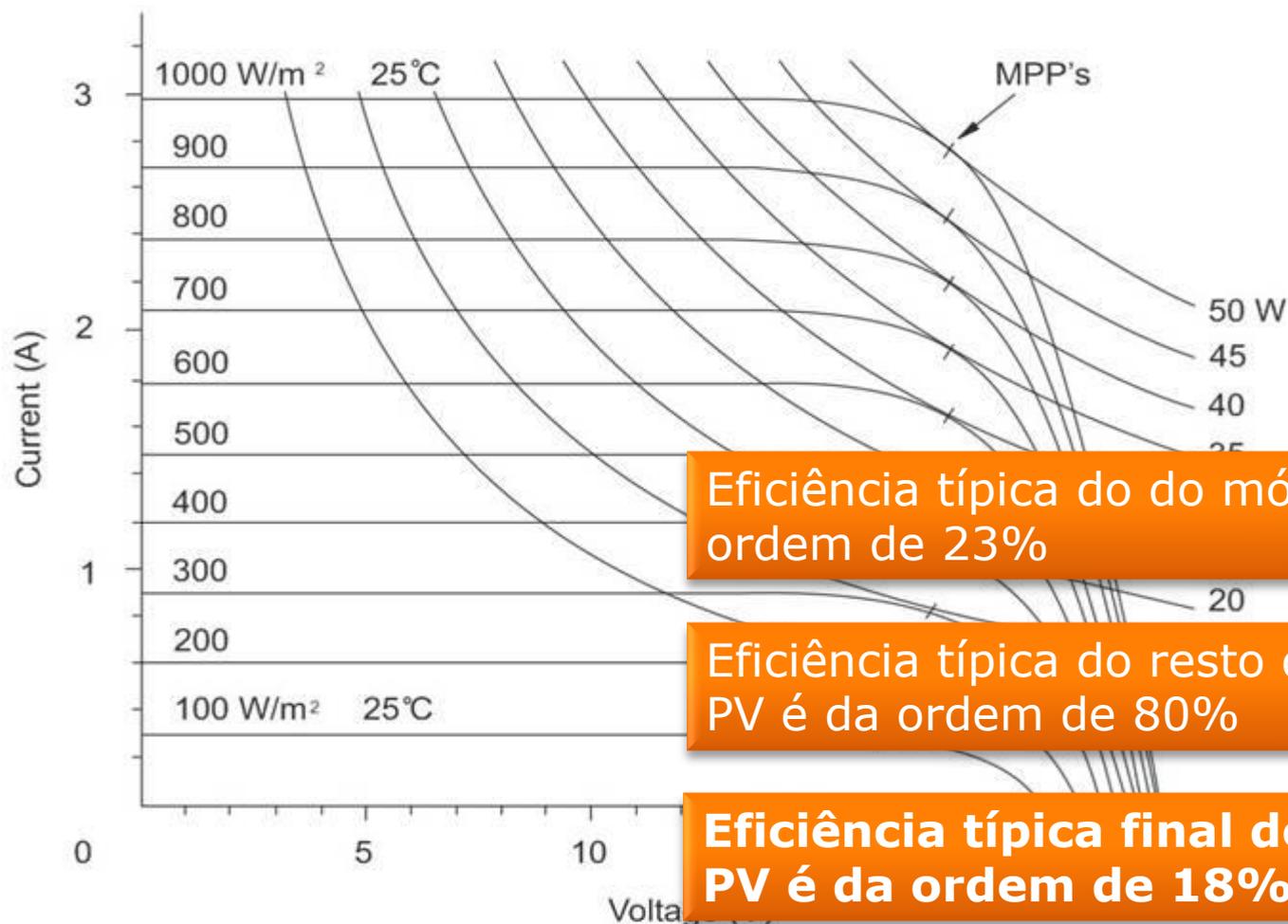
Se ligado à rede eléctrica deve ser síncrono com o sinal AC da rede

Se ligado à rede eléctrica pode permitir injeccção na rede



## Parâmetros que determinam desempenho sistema solar

- eficiência dos componentes a jusante: MPP



Eficiência típica do do módulo PV é da ordem de 23%

Eficiência típica do resto do sistema PV é da ordem de 80%

Eficiência típica final do sistema PV é da ordem de 18%

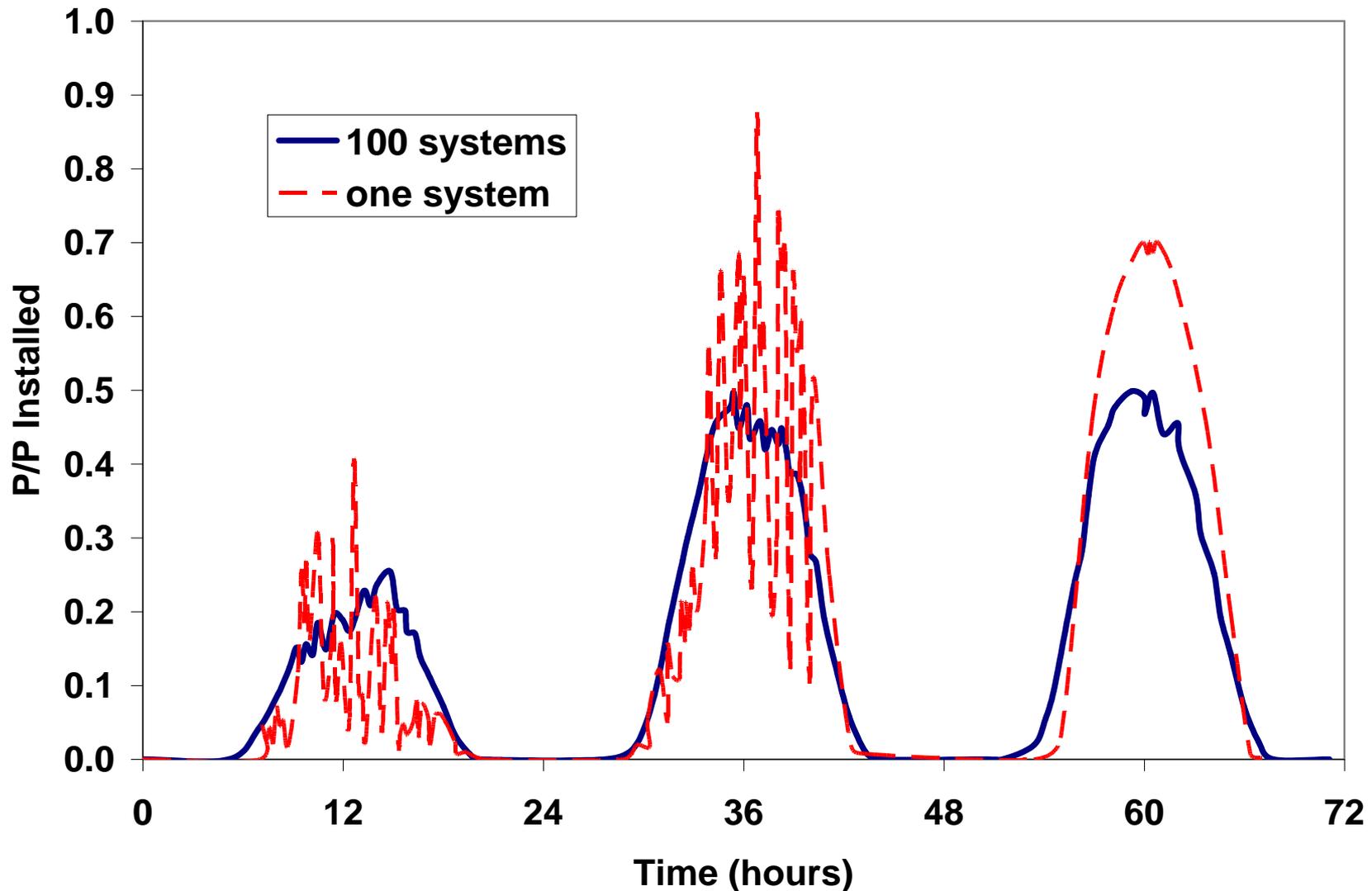
# IMPACTOS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

# IMPACTOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

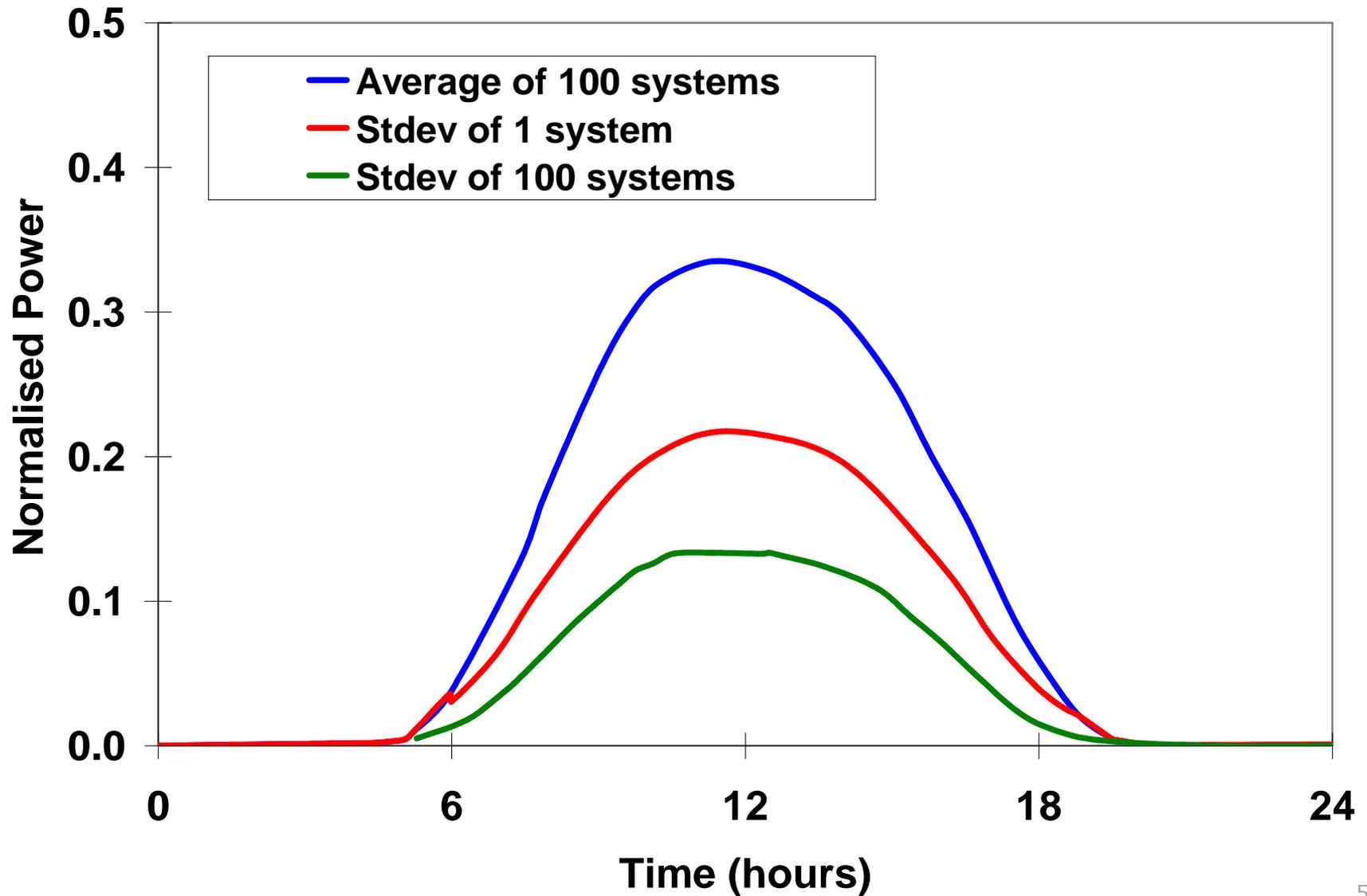
Atividade em grupo

1. Dividir a turma em grupos de 3 alunos
- 2. Cada grupo elabora lista de impactos ambientais, sociais e na rede elétrica negativos (10')**
3. Discussão plenário
- 4. Cada grupo elabora lista de medidas/soluções para minizar os impactos identificados pela turma (10')**
5. Discussão plenário

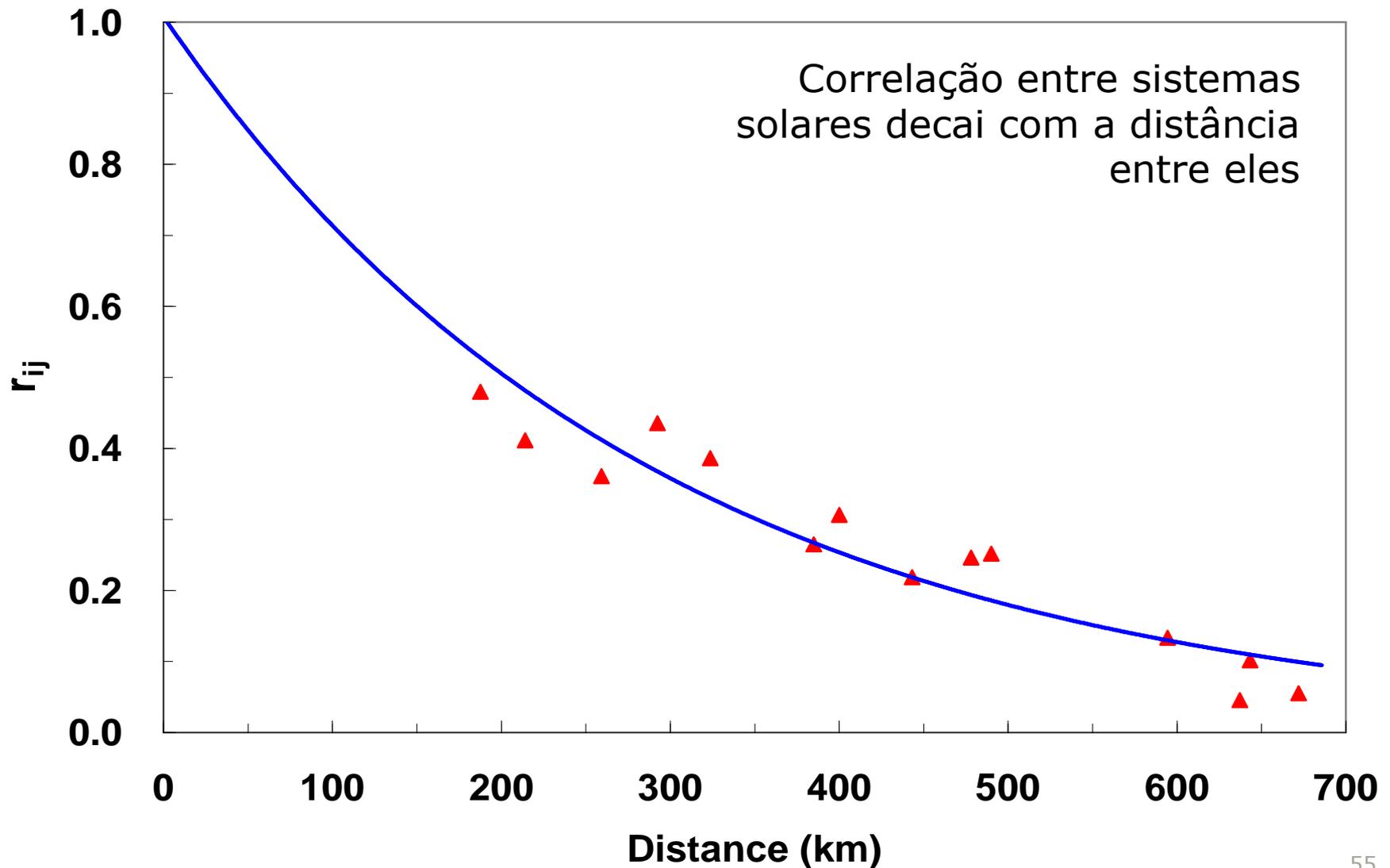
## Variabilidade (e não intermitência!)



## Variabilidade (e não intermitência!)

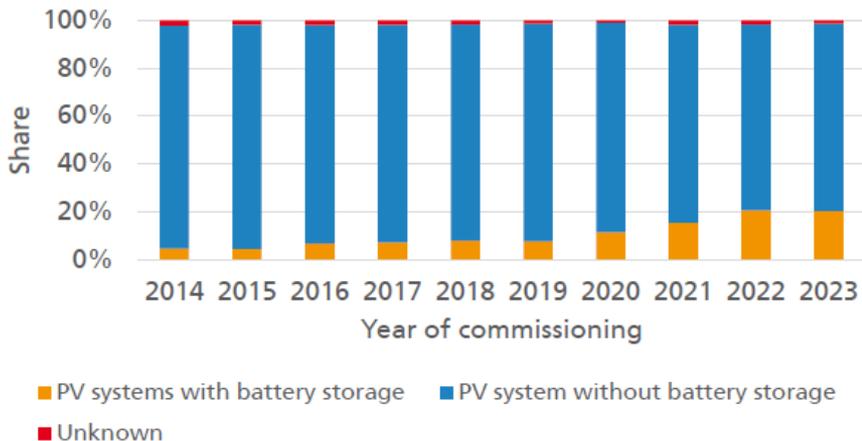


## Variabilidade (e não intermitência!)



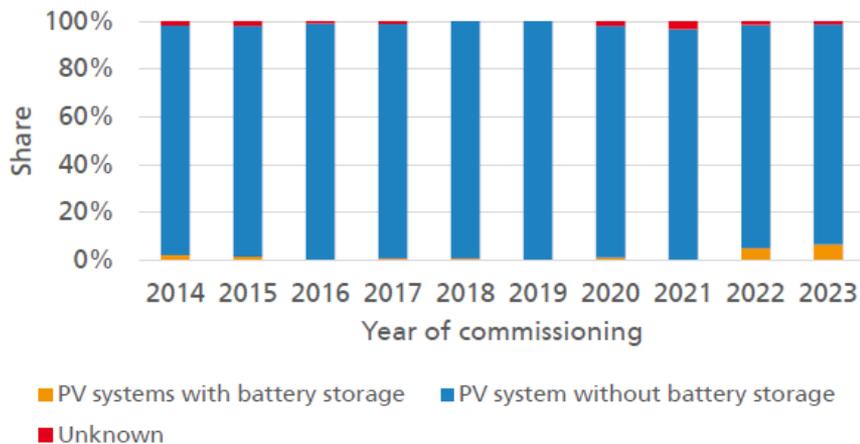
## Variabilidade (e não intermitência!)

### Commercial rooftop



O **armazenamento** de eletricidade, por exemplo em **baterias**, pode ser uma forma de mitigar o efeito da variabilidade da energia solar – sobretudo os desvios **entre pico de produção PV** e picos de consumo.

### Utility-scale ground-mounted



Mas ainda são caras; começa a ser obrigatório em alguns países (e.g. NL, D)

## Impactos ambientais

- Consumo de energia durante o processo de fabrico

## Impactos ambientais

- Consumo de energia durante o processo de fabrico
- Eventuais acidentes industriais durante o processo de fabrico

washingtonpost.com > business

**POST BUSINESS** Japan tsunami spares major economic zones

### Solar Energy Firms Leave Waste Behind in China

By Ariana Eunjung Cha  
Washington Post Foreign Service  
Sunday, March 9, 2008

GAOLONG, China -- The first time Li Gengxuan saw the dump trucks from the nearby factory pull into his village, he couldn't believe what happened. Stopping between the cornfields and the primary school playground, the workers dumped buckets of bubbling white liquid onto the ground. Then they turned around and drove right back through the gates of their compound without a word.

This ritual has been going on almost every day for nine months, Li and other villagers said.

**PHOTOS** [Previous](#) [Next](#)



"It's poison air. Sometimes it gets so bad you can't sit outside. You have to close all the doors and windows," says Qiao Shi Peng, 28, shown in front of a dumping site in his village, who worries about his 1-year-old son's health. (Zhang Quanfeng - Photo By Zhang Quanfeng)

## Impactos ambientais

- Consumo de energia durante o processo de fabrico
- Eventuais acidentes industriais durante o processo de fabrico
- Libertação de Cd em caso de incêndio ou se não recolhido para reciclagem no final de vida



## Impactos ambientais

- Consumo de energia durante o processo de fabrico
- Eventuais acidentes industriais durante o processo de fabrico
- Libertação de Cd em caso de incêndio ou se não recolhido para reciclagem no final de vida
- Promoção de baterias de chumbo particularmente em regiões remotas

## Impactos ambientais

- Consumo de energia durante o processo de fabrico
- Eventuais acidentes industriais durante o processo de fabrico
- Libertação de Cd em caso de incêndio ou se não recolhido para reciclagem no final de vida
- Promoção de baterias de chumbo particularmente em regiões remotas
- Alteração paisagem e usos de terreno

## EM DESTAQUE

● Bruxelas fala em "crime de guerra em massa em Mariupol". Irlanda e Lituânia querem sanções ao petróleo russo

Embaixador da UE no Reino Unido admite quinto pacote de sanções à Rússia

# Autorizado abate de mil sobreiros para construção de central solar no Alentejo



A+ / A-

15 fev, 2022 - 10:59 • Redação

Governo considerou o projeto, que vai ser instalado no concelho de Gavião, como "imprescindível utilidade pública".

QUINTA DA TORRE BELA

## Abates de animais para instalar painéis solares na Torre Bela começaram há meses

Promotor confirma que central fotovoltaica, que ainda está a ser alvo de avaliação ambiental, fez com que veados, gamos e javalis se tornassem um problema, mas o objetivo declarado seria evitar o "extermínio".



AMBIENTE

### "Juntos pelo Cercal do Alentejo" repudia aprovação de construção de Central Fotovoltaica no concelho

O projeto para a Central Fotovoltaica do Cercal do Alentejo, foi aprovado pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), tendo já sido emitida respetiva Declaração de Impacto Ambiental. O movimento "Juntos pelo Cercal do Alentejo" informou, através de comunicado que irá recorrer a todos os meios legais para impedir a sua concretização, considerando que coloca em risco atividades económicas cruciais ao desenvolvimento da região.

Pesquisar...



CONSERVAÇÃO DA NATUREZA

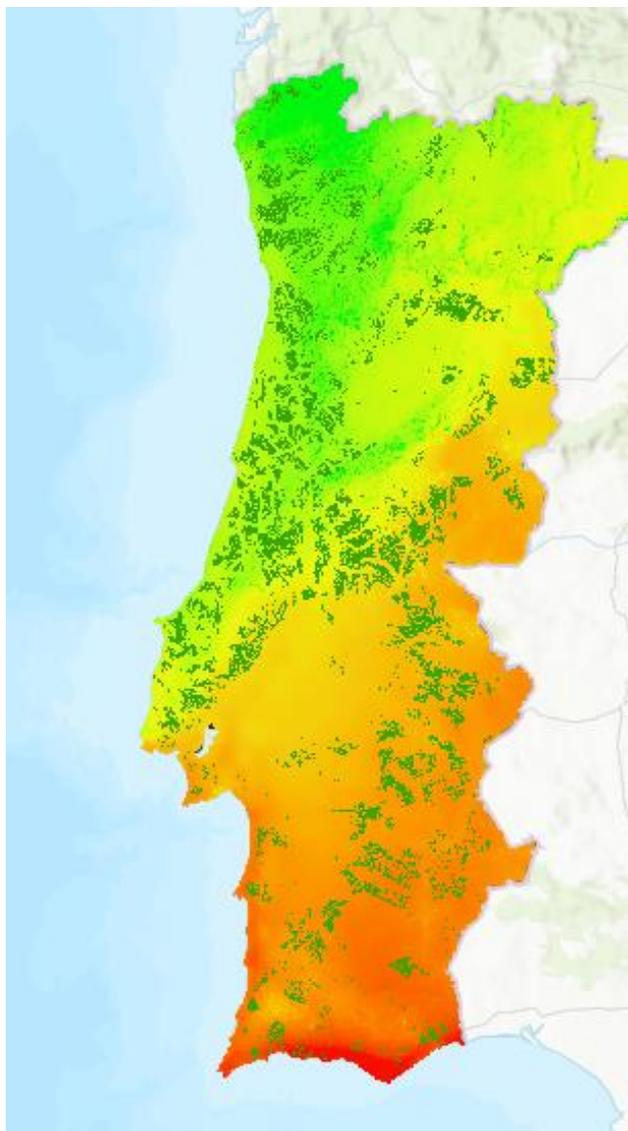
## Obras de parque solar em Castelo Branco afastam águia-imperial-ibérica do ninho

Licenciamento da central fotovoltaica dispensava parecer do Instituto de Conservação da Natureza. Apesar das medidas para remediar, casal de águias-imperiais acabou por abandonar o ninho.

Aline Flor

8 de Maio de 2024, 15:12





**Identificação de áreas com menor sensibilidade ambiental e patrimonial para localização de unidades de produção de eletricidade renovável**

## **Relatório técnico**

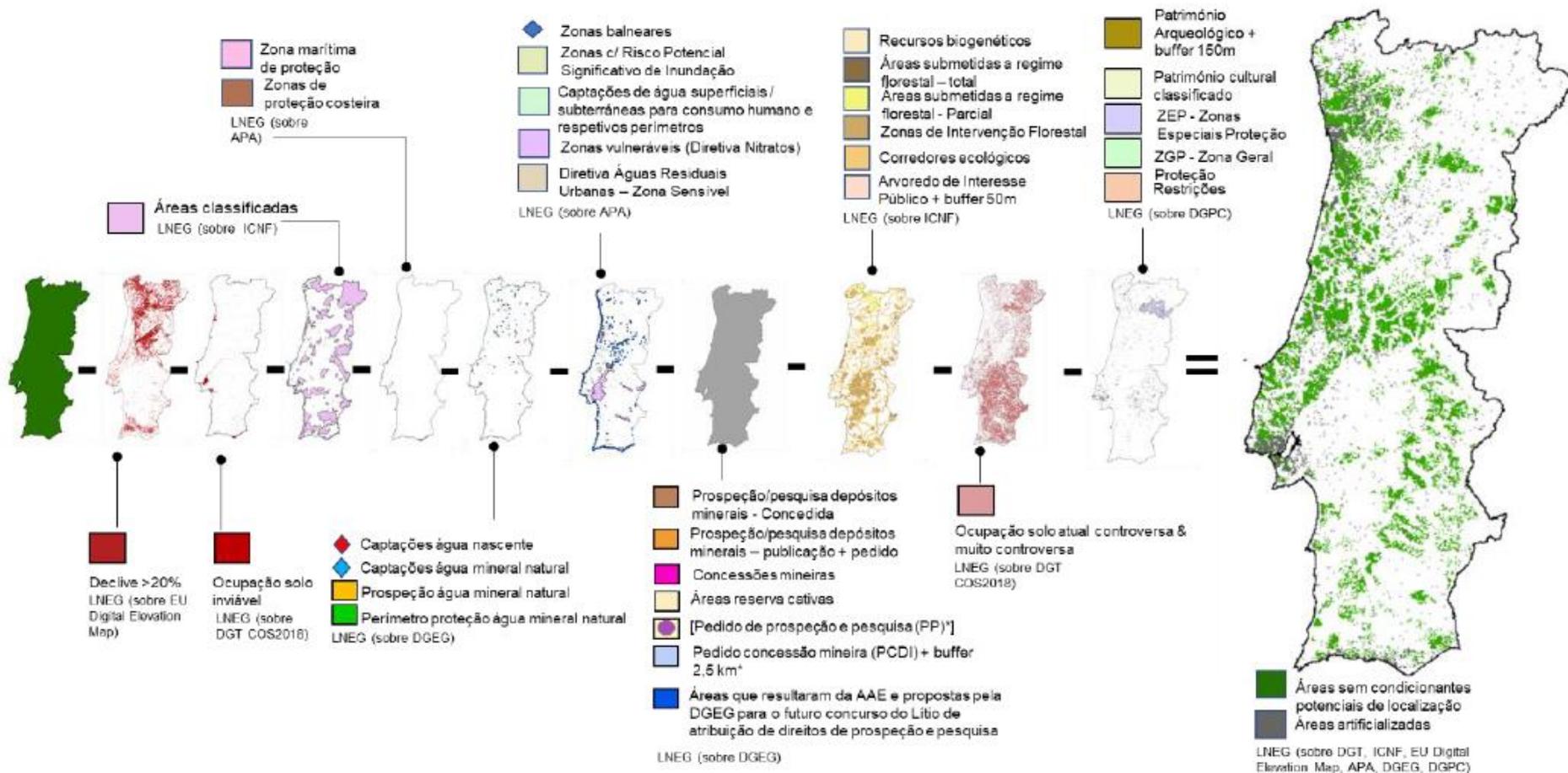
janeiro 2023

Sofia G. Simões, Lídia Quental, Teresa Simões,  
Justina Catarino, Carlos Rodrigues, Pedro Patinha,  
Paulo J.R. Pinto, Pedro Azevedo, Ana Picado, João P. Cardoso  
Juliana Barbosa, Paula Oliveira

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia



<https://geoportal.lneg.pt/mapa/?mapa=AreasCandidatasRenovaveis>



**Figura 1 – Abordagem metodológica utilizada para o mapeamento de áreas sem condicionantes potenciais de localização, incluindo as diversas condicionantes de exclusão**

<http://repositorio.lneg.pt/handle/10400.9/4006>