

SEMINÁRIO 3: ESTRATÉGIA GERAÇÃO DE ENERGIA, USOS MÚLTIPLOS E LICENCIAMENTO



**Outras fontes de energia: tecnologias
maduras e em desenvolvimento**

25 de novembro de 2020

RICARDO DUTRA e LEONARDO VIEIRA

- Fontes renováveis e não renováveis no mundo
- Energia Eólica
- Energia Solar Fotovoltaica
- Energia Solar Heliotérmica
- Conclusão

As energias renováveis no mundo (dados 2018)

Produção energética



■ renovável ■ não renovável

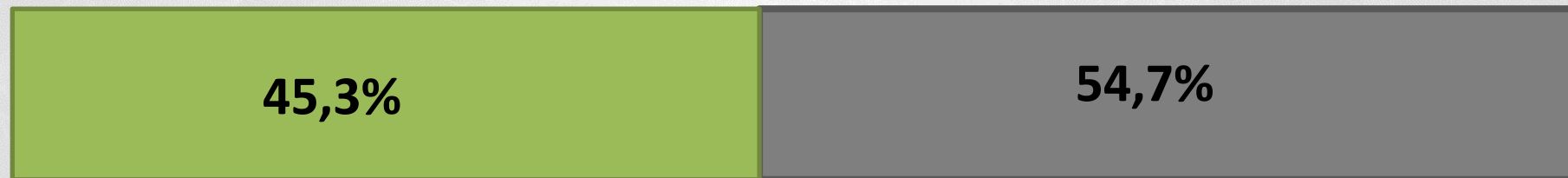
Produção de eletricidade



(Fonte: IEA, 2019. *World Energy Outlook 2019 - Data and statistics*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=WORLD&energy=Balances&year=2018>)

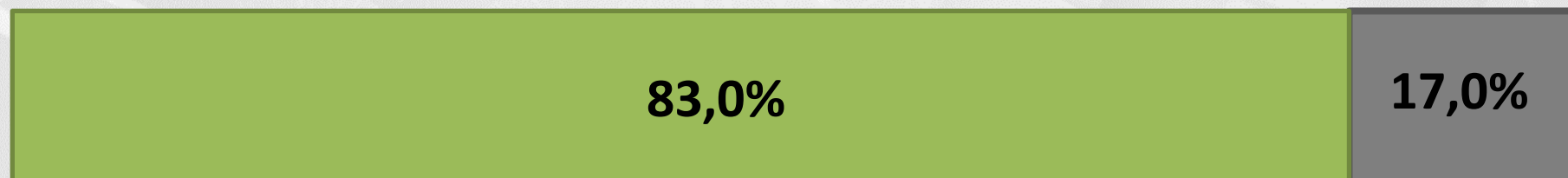
A matriz energética brasileira e a geração de eletricidade (dados 2019)

Produção energética



■ renovável ■ não renovável

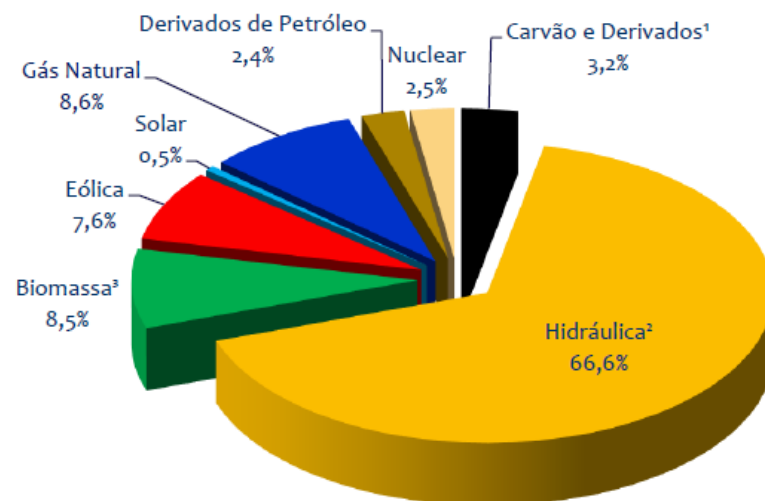
Produção de eletricidade



(Fonte: EPE, 2020. *Balanço Energético Nacional 2020 – Relatório Síntese/Ano Base 2019*. https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf)

Matriz Elétrica Brasileira – Geração de Energia (2018/19)

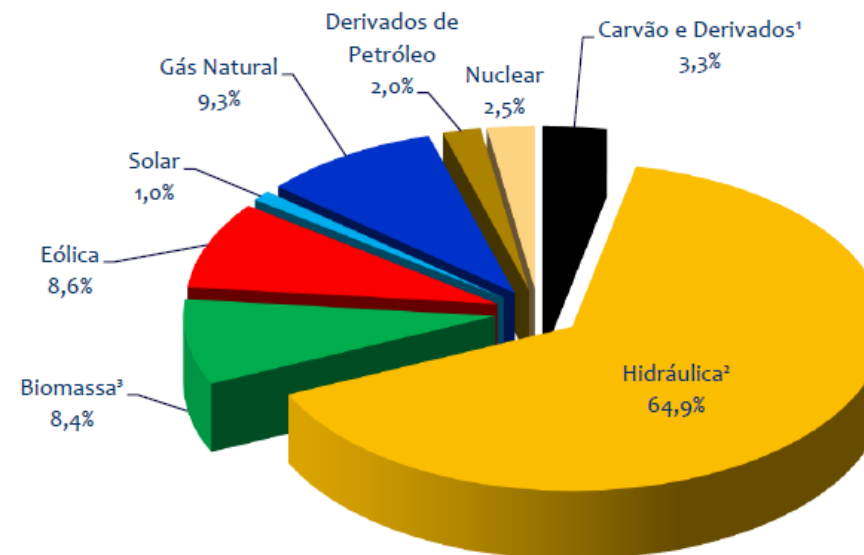
BRASIL (2018)



oferta hidráulica² em 2018: **423,9 TWh**

oferta total² em 2018: **636,4 TWh**

BRASIL (2019)



oferta hidráulica² em 2019: **422,8 TWh**

oferta total² em 2019: **651,3TWh**

¹ Inclui gás de coqueria, gás de alto forno, gás de aciaria e alcatrão

² Inclui importação

³ Inclui lenha, bagaço de cana, lixo, biodiesel e outras fontes primárias.

(Fonte: EPE, 2020. Balanço Energético Nacional 2020 – Relatório Síntese/Ano Base 2019. https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf)

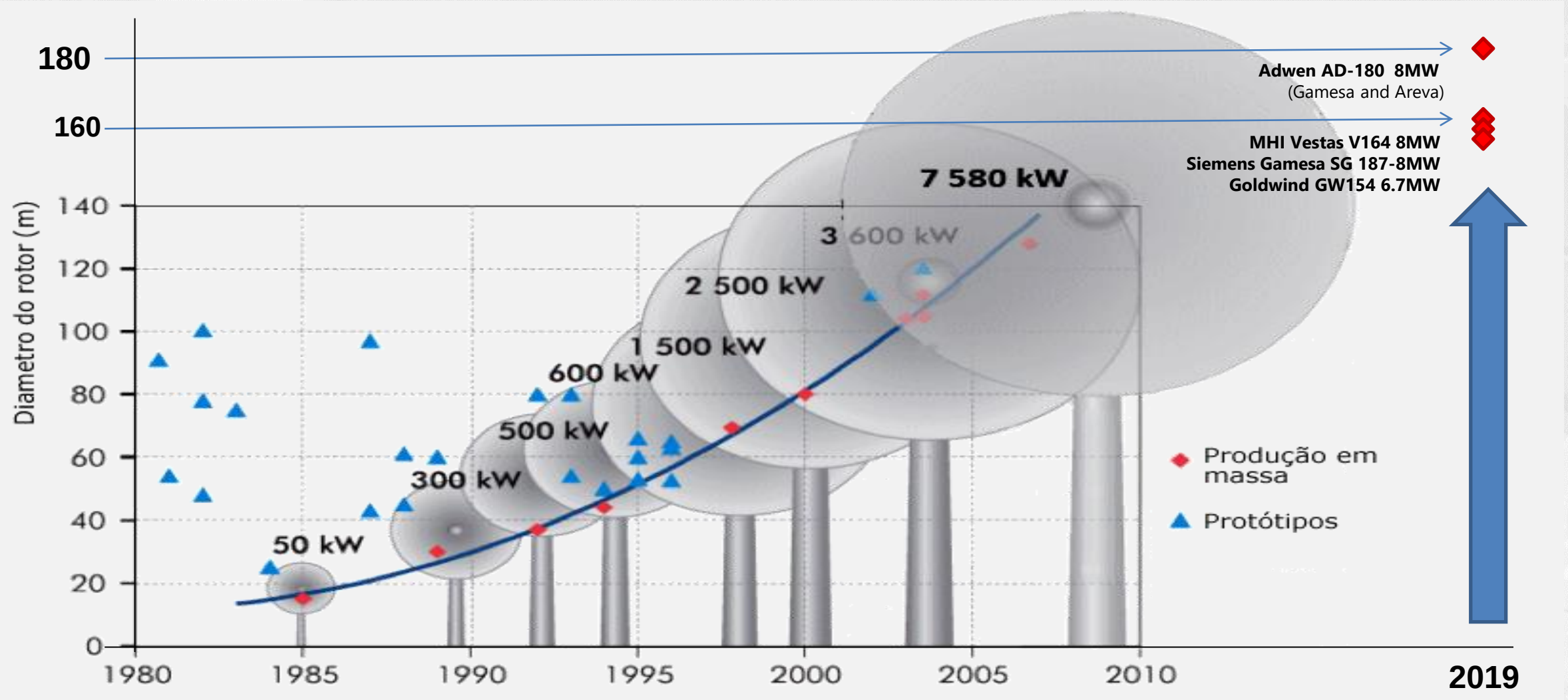
Energia Eólica

MUNDO



<https://www.shutterstock.com/pt/image-photo/aerial-view-wind-turbines-beautiful-agricultural-644728165>

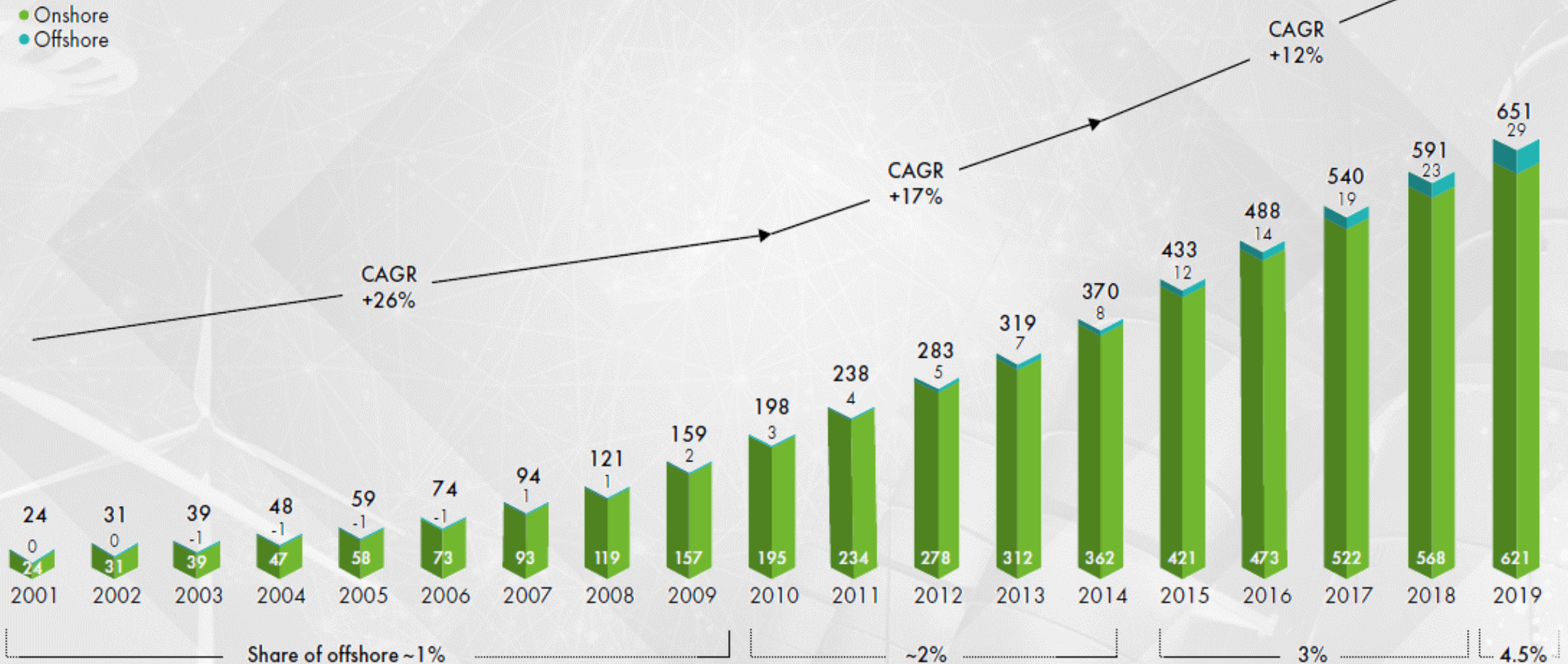
Evolução da potência dos aerogeradores



(Fonte: DEWI, 2006. Curso de Energia Eólica - Brasil)

(Fonte: WindPowerMonthly, 2019. TEN OF THE BIGGEST TURBINES. <https://www.windpowermonthly.com/10-biggest-turbines>)

Evolução da capacidade instalada de geração eólica no mundo



(Fonte: GWEC, 2020. *Global Wind Statistics 2019*. <https://gwec.net/download/118362/>)

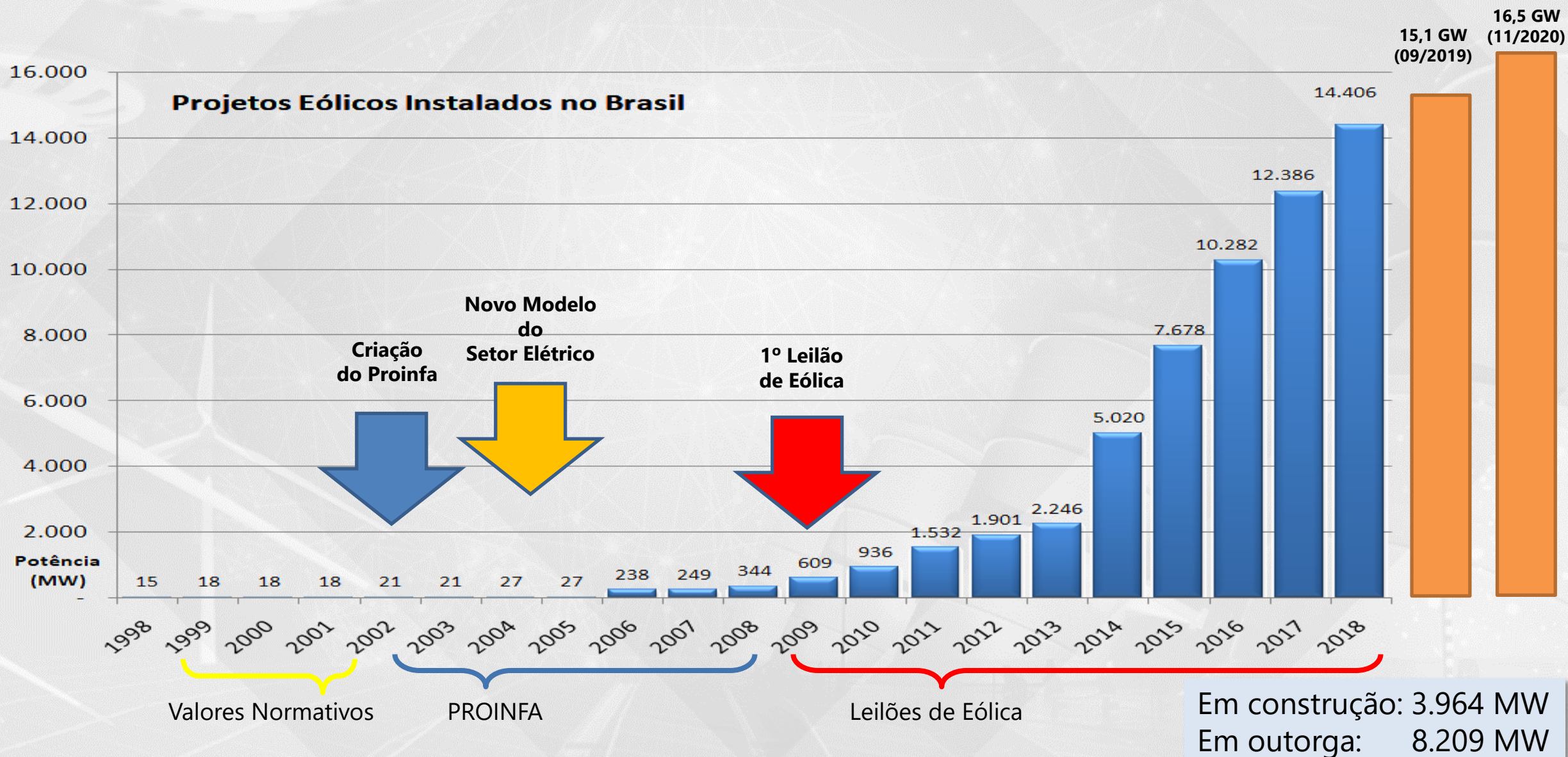
Energia Eólica

BRASIL



<https://www.shutterstock.com/pt/image-photo/wind-energy-plant-brazil-northeast-1516917176>

Evolução da capacidade instalada de geração eólica no Brasil



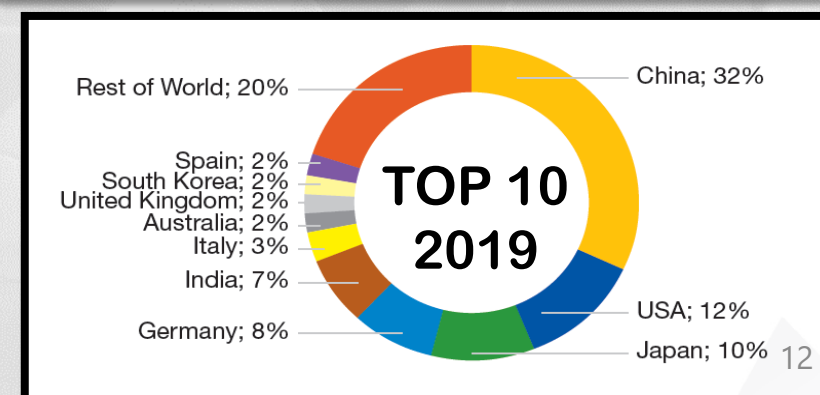
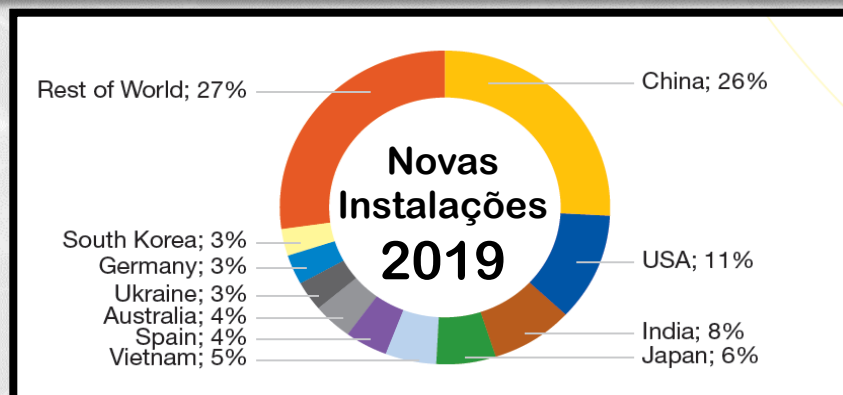
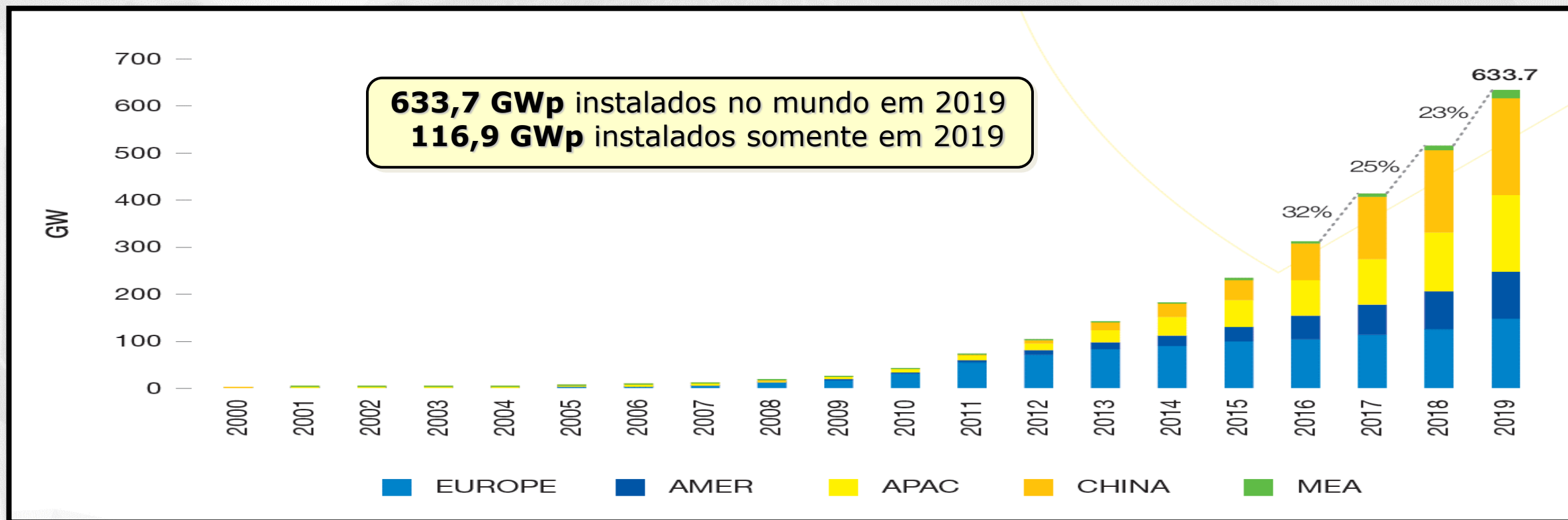
Energia Solar Fotovoltaica

MUNDO



<https://constructionreviewonline.com/2018/06/moroccos-noor-ouarzazate-iii-plant-switched-on/>

Evolução da capacidade instalada de geração solar fotovoltaica no mundo

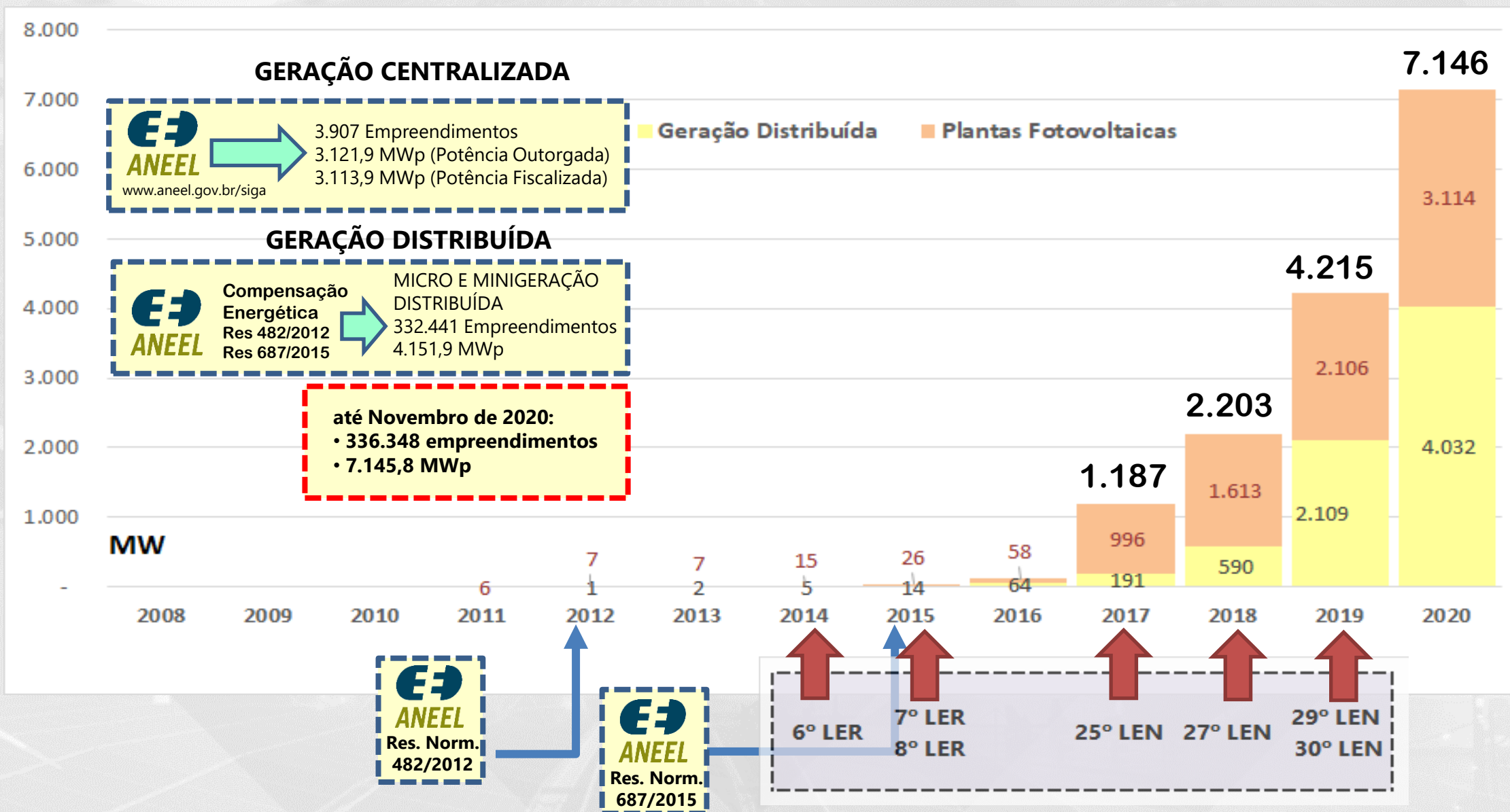


Energia Solar Fotovoltaica

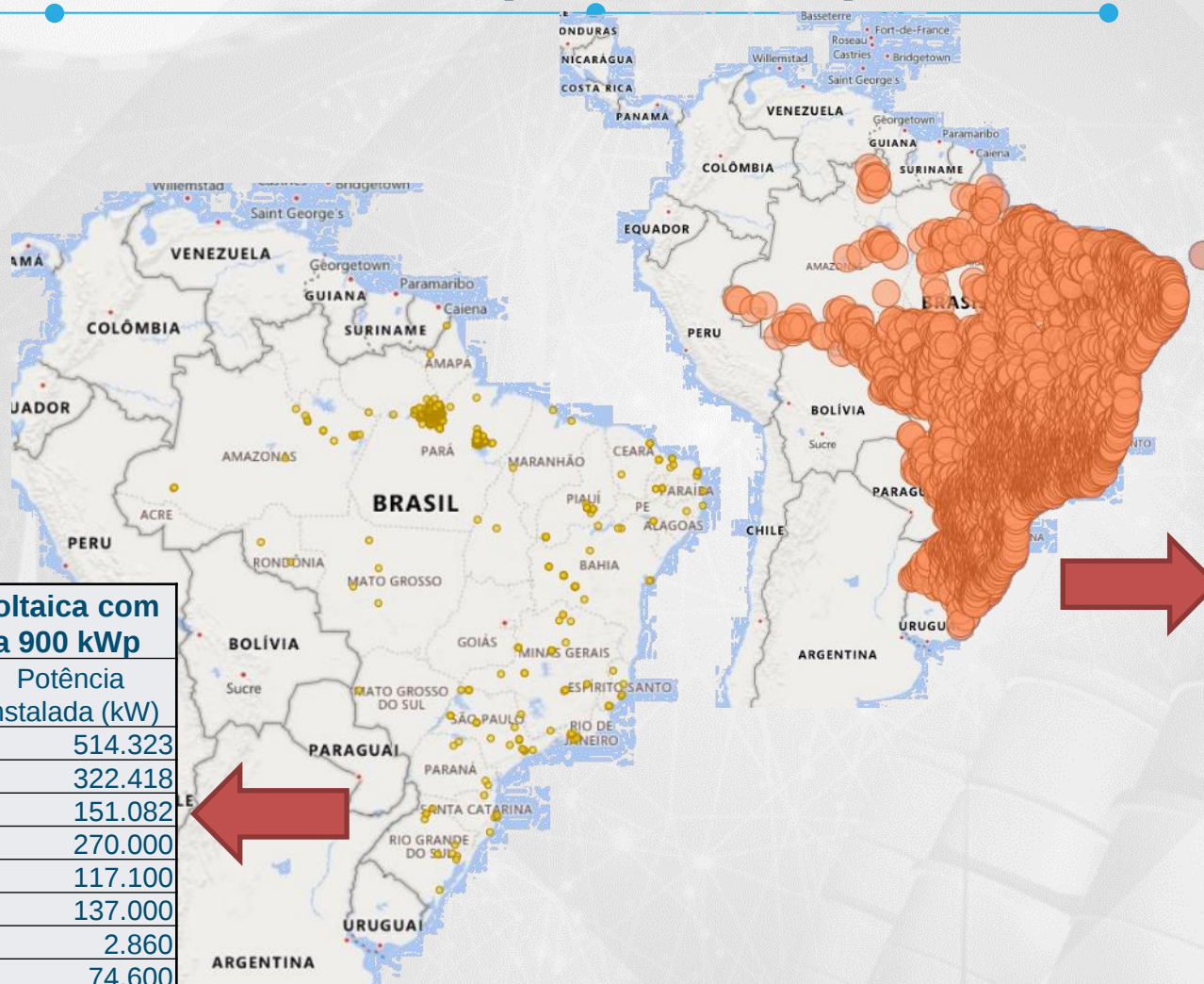
BRASIL



Evolução da capacidade instalada de geração solar fotovoltaica no Brasil (MW)



Capacidade instalada de geração solar fotovoltaica no Brasil (Nov/2020)



Plantas Solar Fotovoltaica com potência superior a 900 kWp

UF	Quantidade	Potência Instalada (kW)
BA	21	514.323
MG	18	322.418
SP	12	151.082
PI	9	270.000
RN	6	117.100
CE	5	137.000
MT	3	2.860
PB	3	74.600
PE	2	10.000
SC	2	3.998
AP	1	4.039
Total	82	1.607.421

UNIDADES CONSUMIDORAS COM GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA (Ger. Distribuída)

UF	Quantidade	Quantidade de UCs que recebem os créditos	Potência Instalada (kW)
MG	6.678	99.423	819.859,69
SP	53.698	65.959	512.917,50
RS	44.717	5.479	510.295,14
MT	17.838	18.075	298.639,15
PR	17.712	17.846	284.817,58
GO	14.359	19.138	232.368,58
SC	1.719	22.795	217.163,93
RJ	18.182	20.984	171.437,82
CE	9.387	11.973	160.227,01
BA	12.833	15.476	138.910,91
PE	6.898	10.612	112.418,16
MS	8.758	10.877	108.745,74
RN	536	5.925	80.691,95
PI	6.506	9.142	79.882,99
PB	5.605	9.231	79.595,99
ES	5.388	6.393	76.196,73
PA	5.888	6.681	64.269,68
MA	2.827	3.523	34.835,26
DF	2.521	2.709	33.945,90
AL	2.319	3.998	29.827,84
RO	1.746	1.893	28.447,01
TO	2.253	2.318	25.760,73
SE	1.856	2.248	20.944,16
AM	1.219	1.541	18.397,00
AC	559	564	6.948,11
AP	266	324	5.365,11
RR	226	278	2.832,70

Total	252.494	375.405	4.155.742
--------------	----------------	----------------	------------------

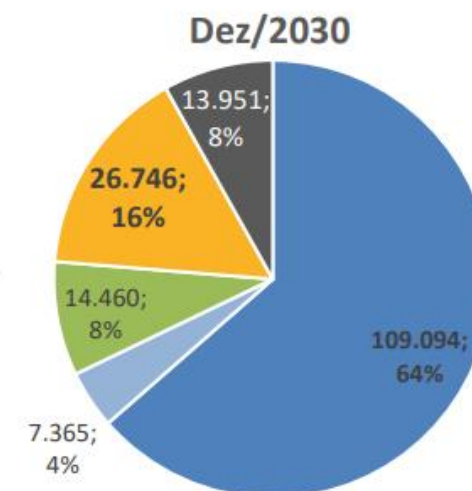
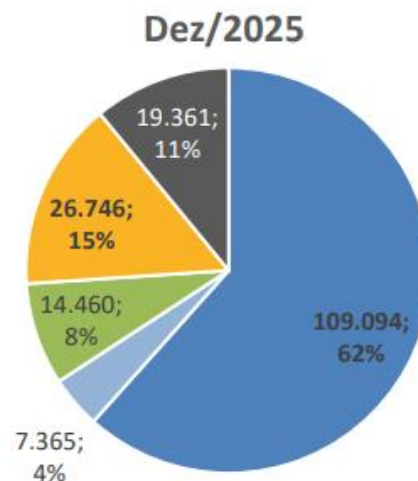
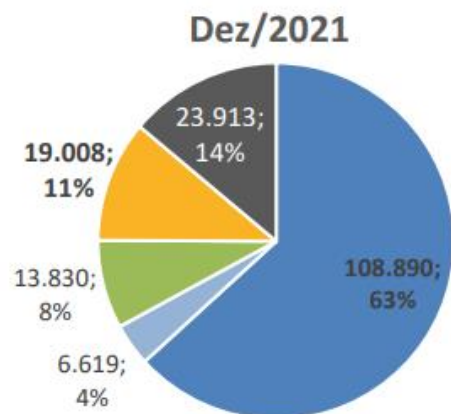
PERSPECTIVAS DAS ENERGIAS SOLAR FOTOVOLTAICA E EÓLICA

BRASIL

Variação entre a capacidade instalada inicial e com a expansão do PDE 2030 por tecnologia

Evolução da capacidade instalada no PDE 2030

- Hidrelétricas
- PCHs
- Biomassa a bagaço de cana
- Eólica e Solar
- Termelétricas



Aumento da participação das fontes eólica e solar

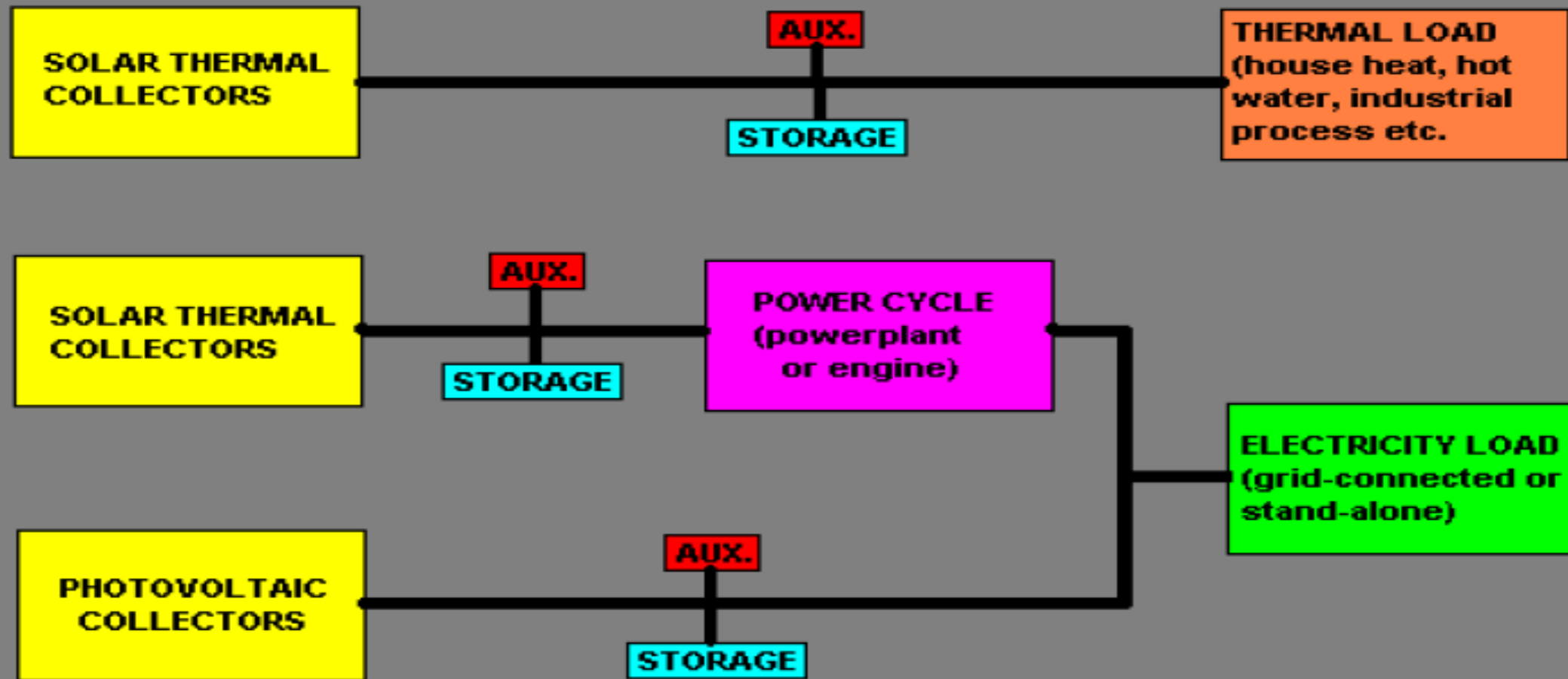
Redução da participação das termelétricas na capacidade instalada do SIN

Obs. A fonte solar é somente a fotovoltaica

Energia Solar Heliotérmica

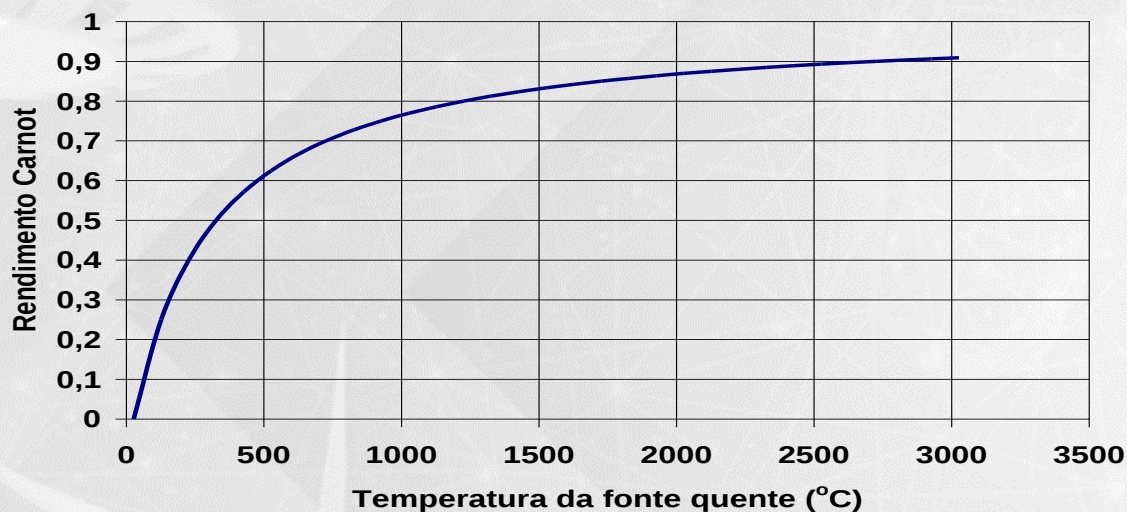


Configuração básica dos sistemas solares



Características da geração térmica solar (heliotérmica)- geração de eletricidade através de uma MT (máquina térmica)

Estimativa do rendimento ideal de uma MT (reversível) – rejeito p/ ambiente a 27°C (300 K)

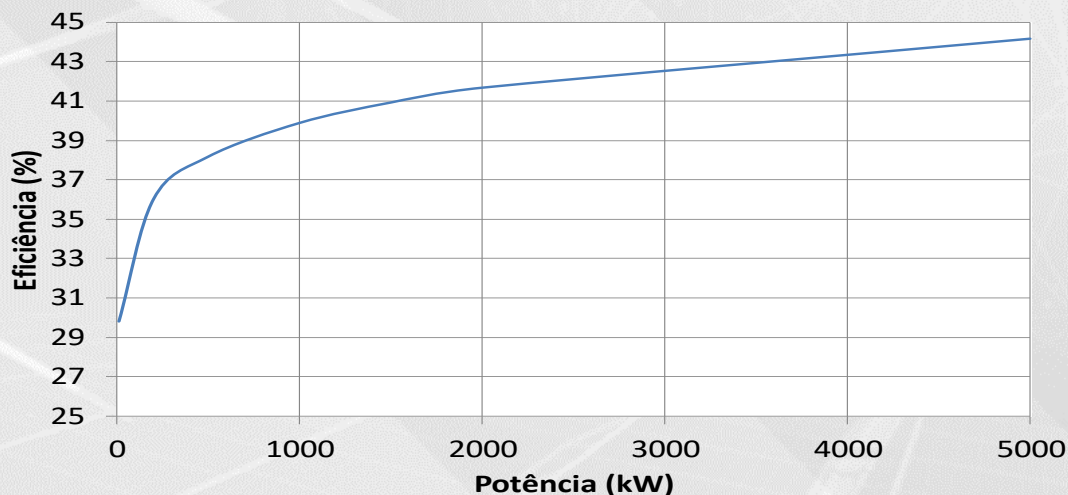


$$\eta_{Carnot} = \eta_{max} = 1 - \frac{T_F}{T_Q} < 1$$

O rendimento máximo de uma máquina térmica ideal (reversível) gerando eletricidade é sempre MENOR do que 100%

altas temperaturas
exige concentração (CSP)

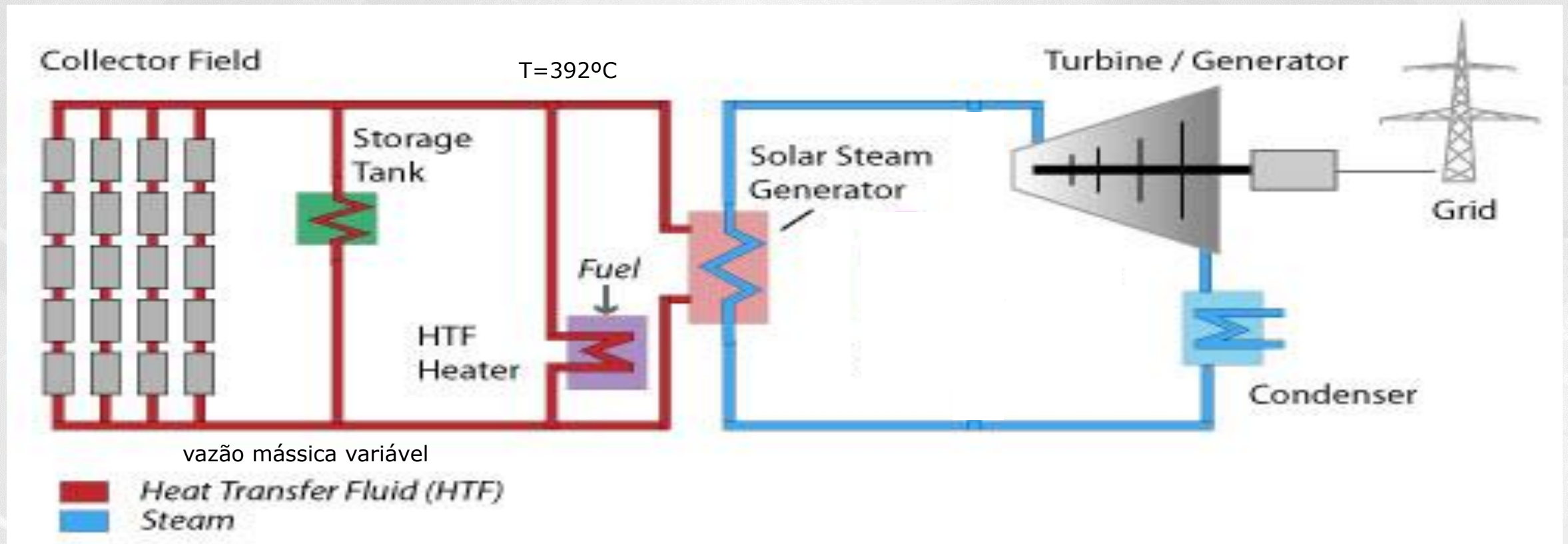
Estimativa de rendimento real de uma MT (irreversível)



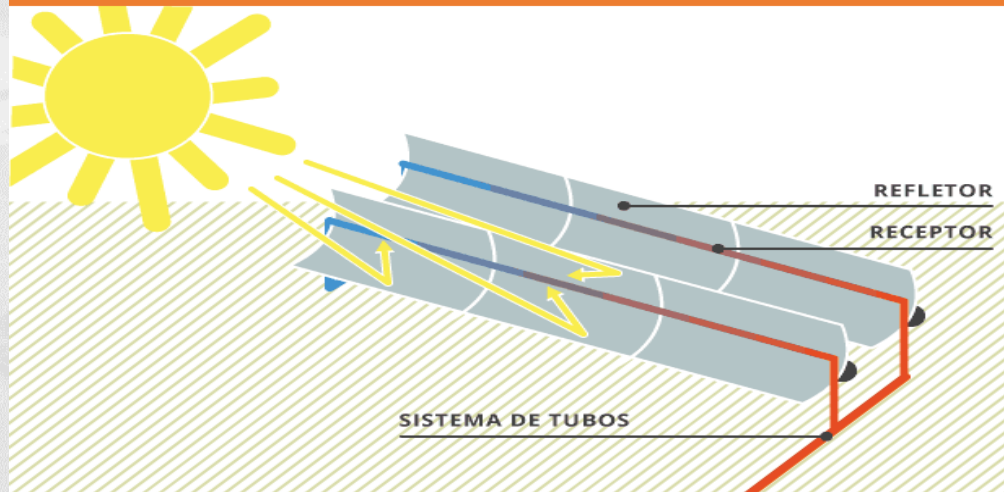
elevadas potências

Arranjos básicos possíveis – sistemas heliotérmicos

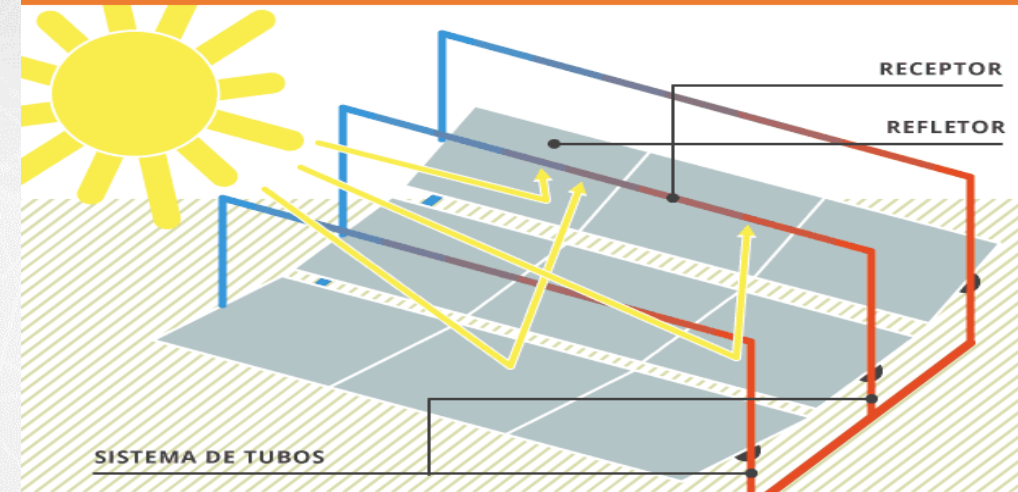
Sistemas solares com e sem armazenamento



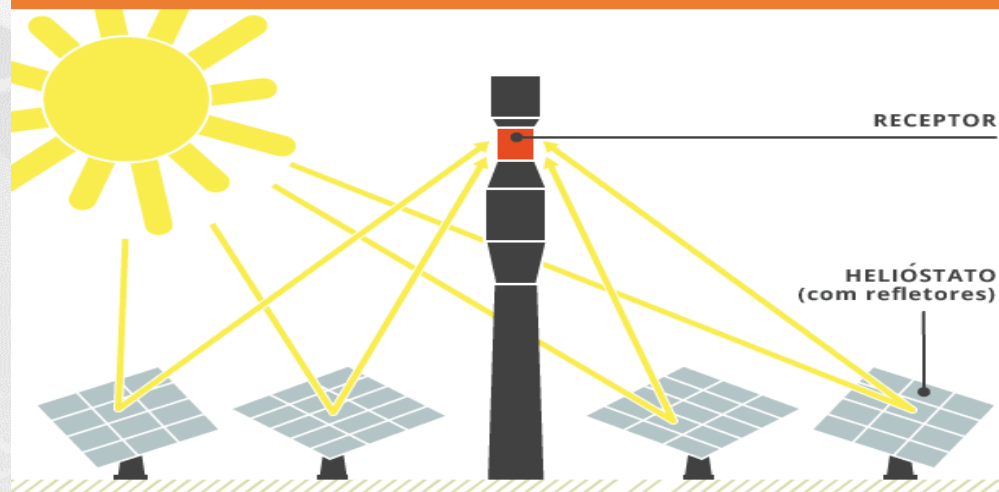
CALHA CILINDRO-PARABÓLICO



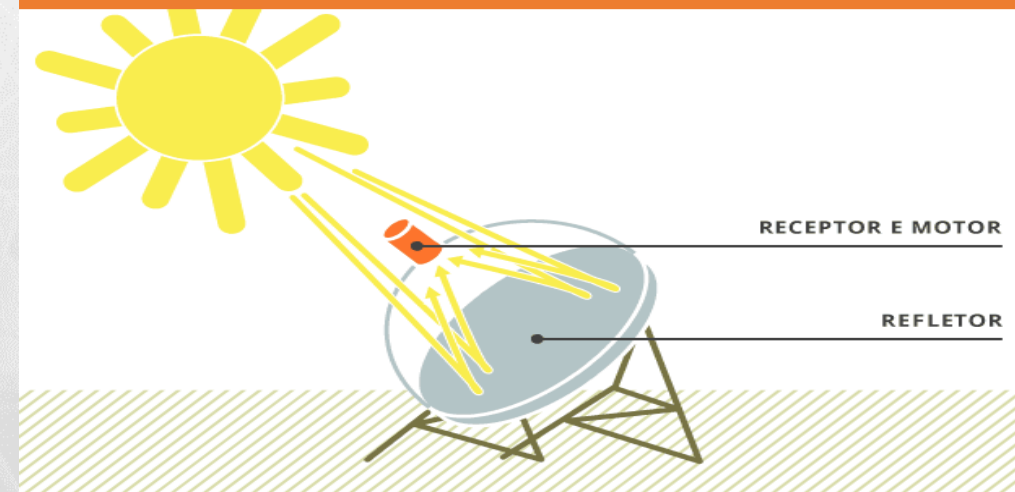
COLETOR LINEAR FRESNEL



TORRE SOLAR



DISCOS PARABÓLICOS



Tecnologias



Fresnel: Kimberlina Solar Thermal Energy Plant - 5 MW ,
Bakersfield - California



Cilindro: Solar Electric Generation Station
- SEGS - 354 MW (9 unidades), deserto
de Mojave, USA



Torre: planta PS10 (11 MW, com
armazenamento de energia),
Espanha, Sevilla.

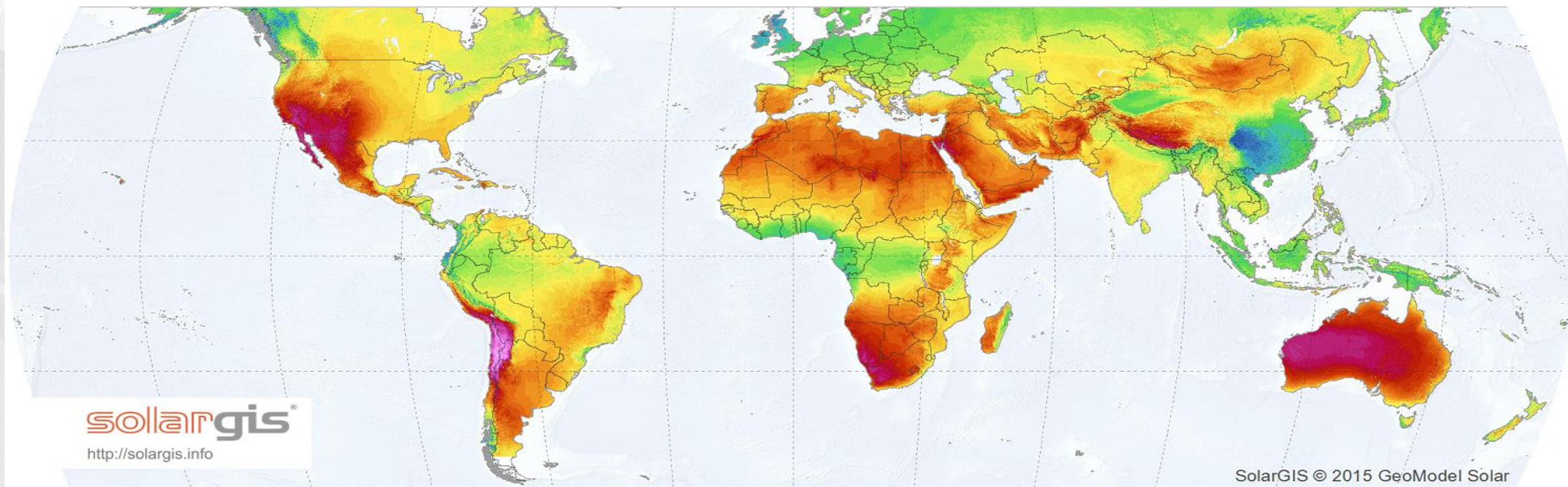


Disco: concepções com
potência nominal 10 kW

Recurso solar no mundo – radiação direta normal – geração heliotérmica

DIRECT NORMAL IRRADIATION

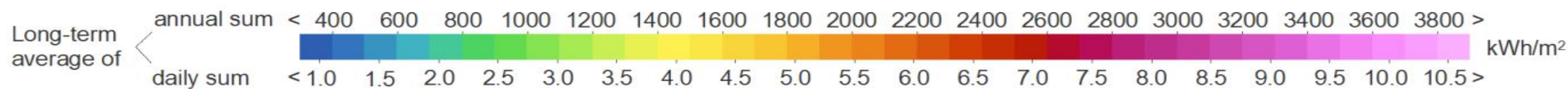
GeoModel
SOLAR



solarGIS

<http://solargis.info>

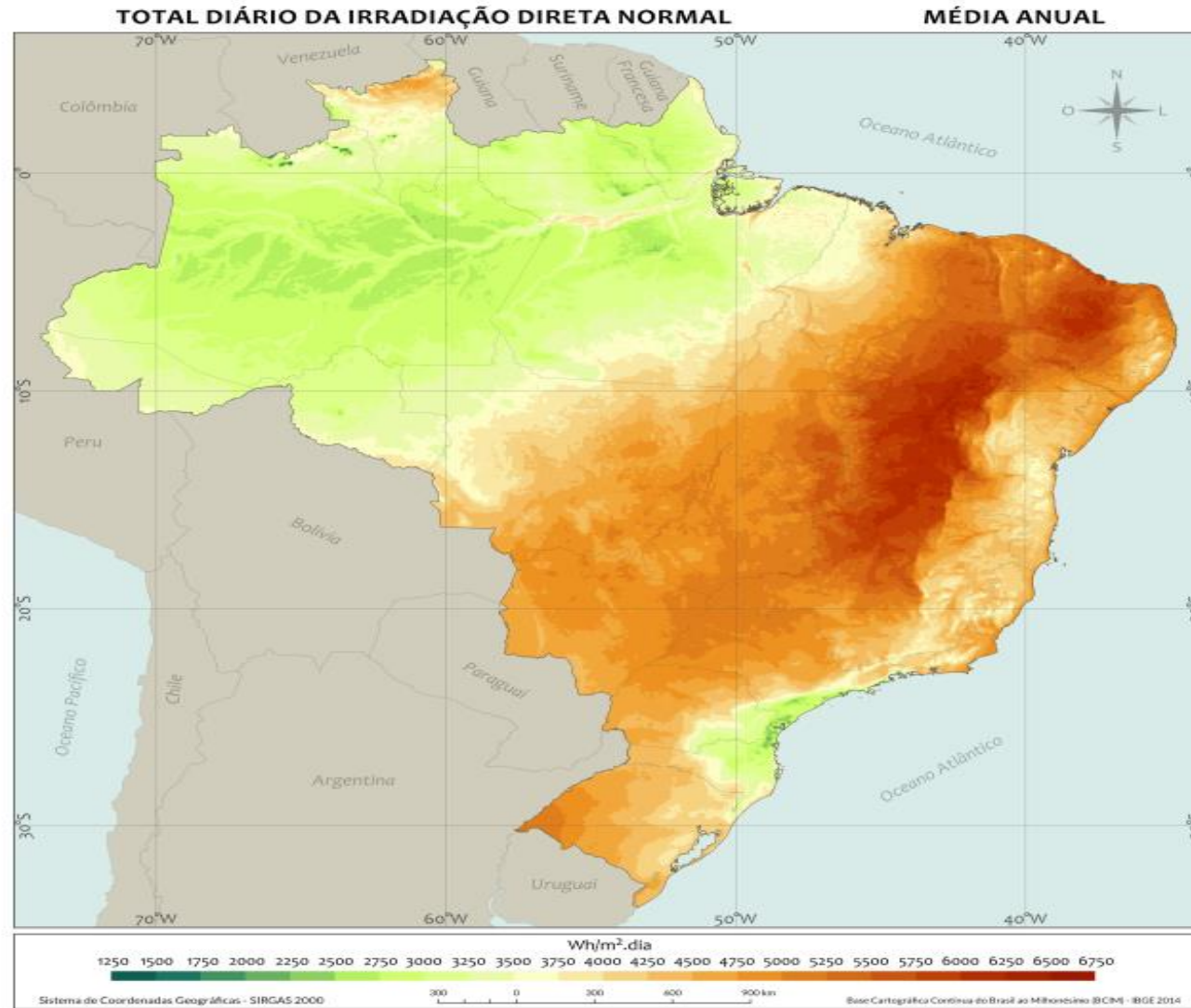
SolarGIS © 2015 GeoModel Solar



<http://solargis.com/assets/graphic/free-map/DNI/Solargis-World-DNI-solar-resource-map-en.png>

O recurso solar no Brasil

Atlas solarimétrico do Brasil 2ª Edição - 2017

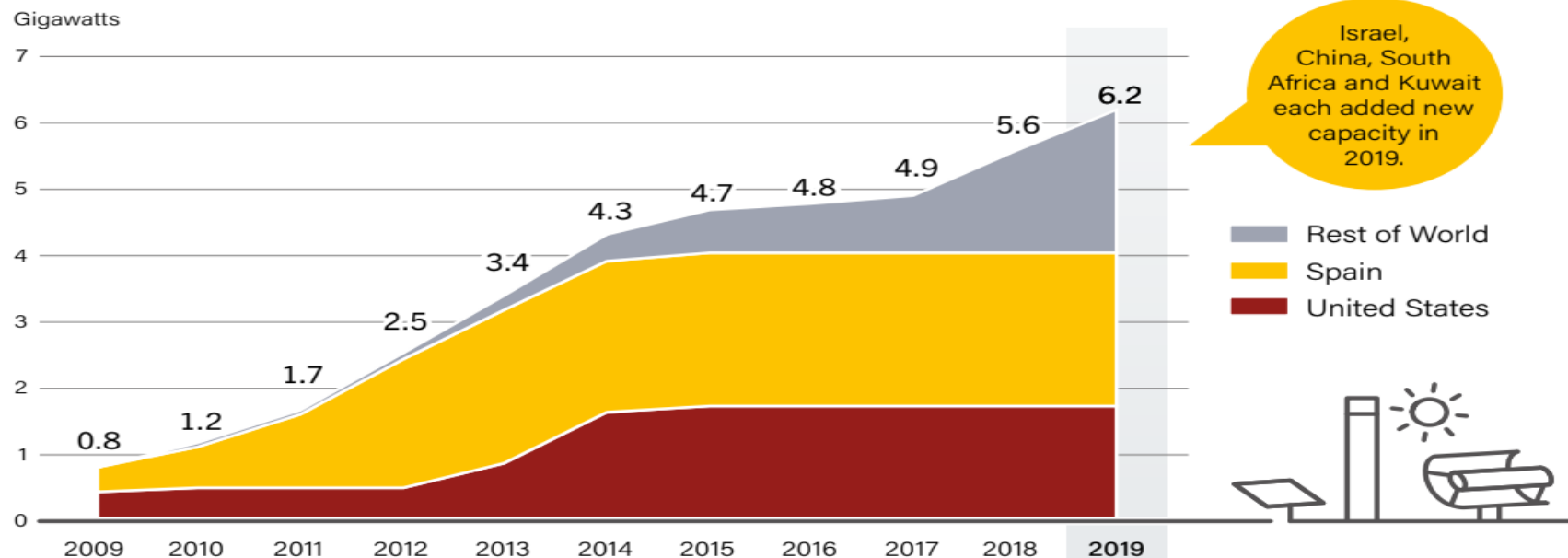


**radiação direta normal
- média anual
(kWh/m²/dia)**

Estimativa da irradiação direta normal a partir de modelo físico com dados medidos de satélite.

Energia heliotérmica - panorama no mundo

- Espanha e EUA contaram com subsídios governamentais:
 - Espanha: subsídio direto na tarifa (não existente hoje)
 - EUA: isenções fiscais



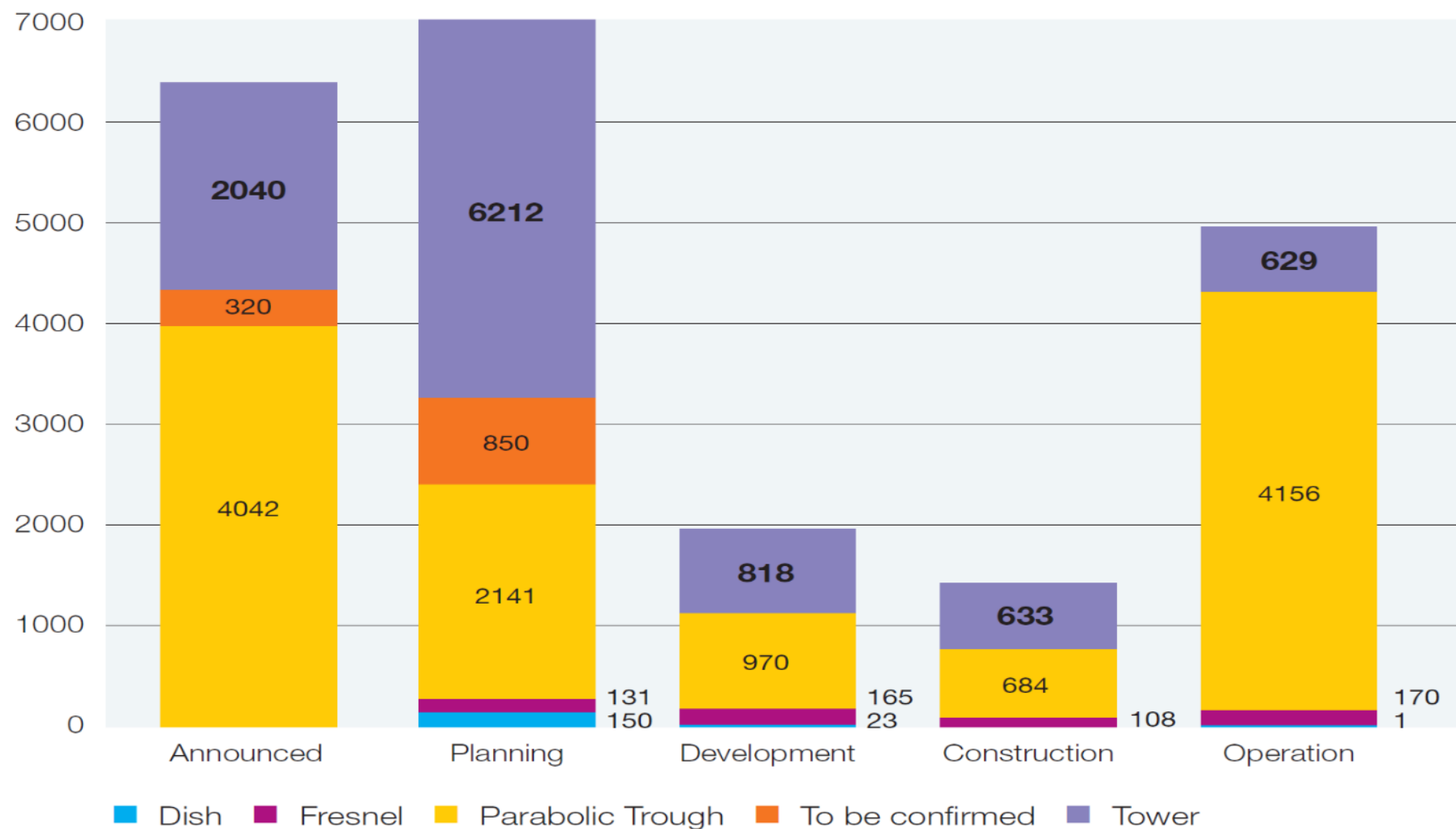
Country	Total End-2019
Spain	2,304
United States	1,738
Morocco	516
South Africa	500
China	420
Israel	240
India	225
United Arab Emirates	100
Saudi Arabia	50
Kuwait	50
Algeria	20
Egypt	20
Iran	17
France	9

Total World 6,2 GW

**Tecnologias Renováveis
no mundo: 2.588 GW
(2019)**

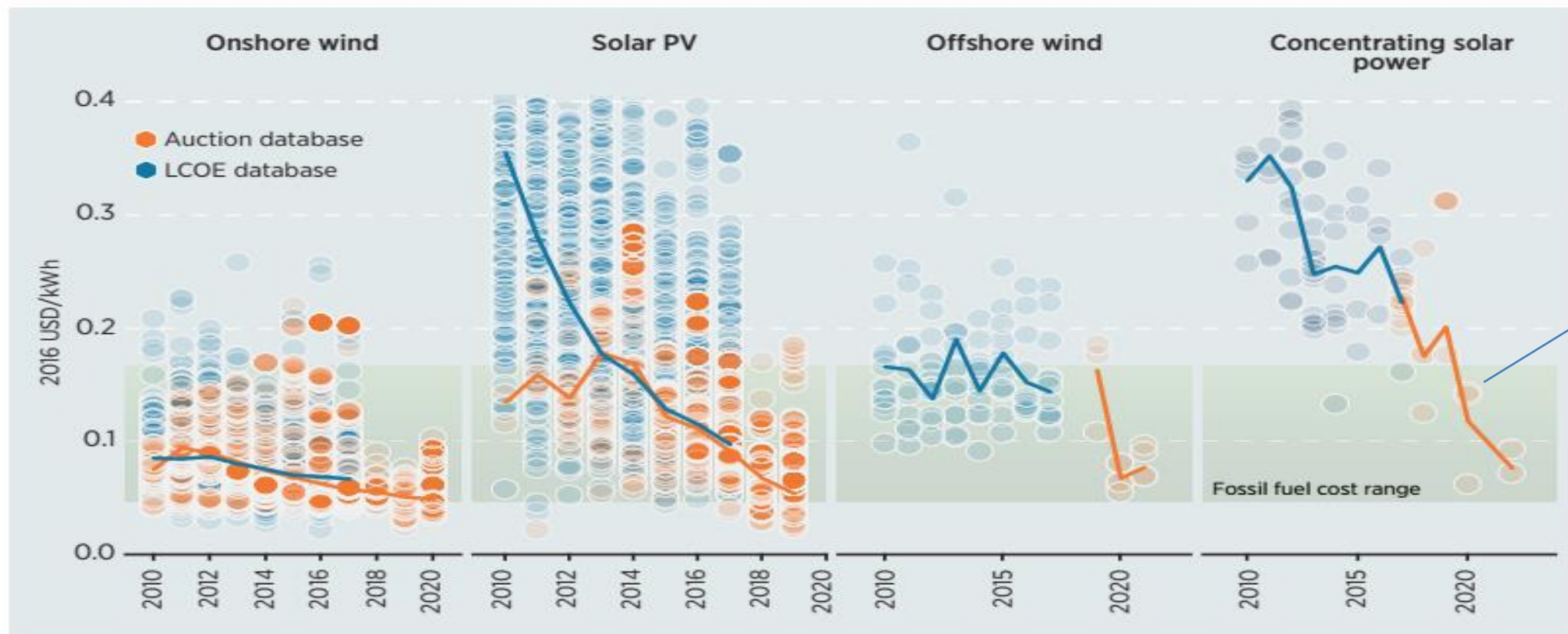
Energia heliotérmica - panorama no mundo

Global CSP Capacity (MWe) by Technology and Status



Custos de geração de energia elétrica (LCOE)

Figure ES.2 The levelised cost of electricity for projects and global weighted average values for CSP, solar PV, onshore and offshore wind, 2010-2022



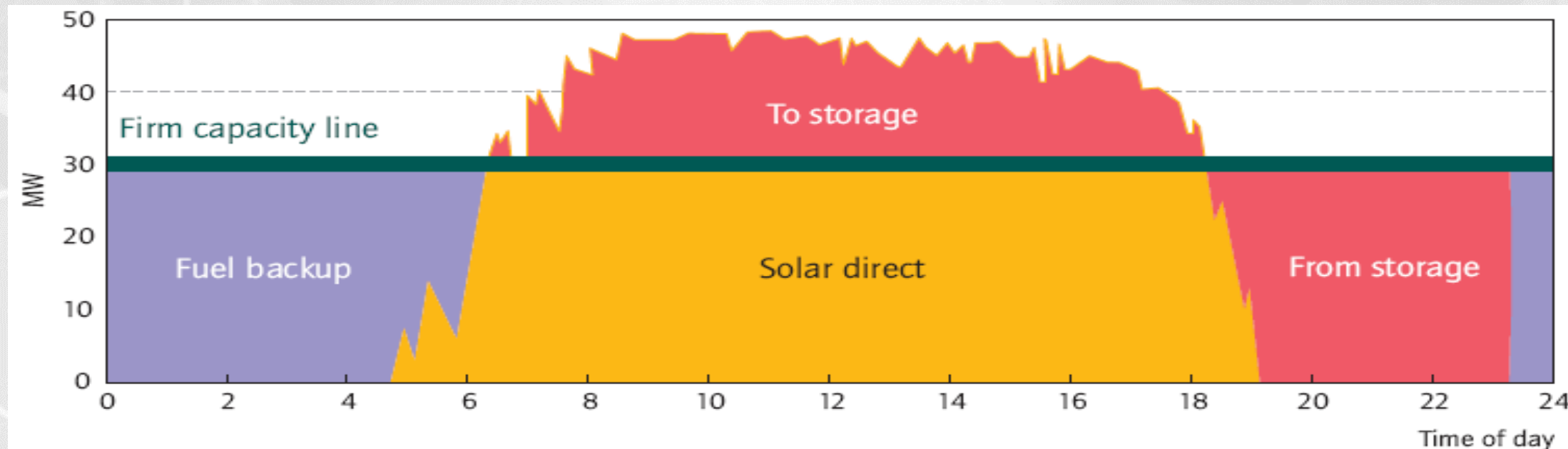
Source: IRENA Renewable Cost Database and Auctions Database.

Note: Each circle represents an individual project or an auction result where there was a single clearing price at auction. The centre of the circle is the value for the cost of each project on the Y axis. The thick lines are the global weighted average LCOE, or auction values, by year. For the LCOE data, the real WACC is 7.5% for OECD countries and China, and 10% for the rest of the world. The band represents the fossil fuel-fired power generation cost range.

redução de
custos
(redução do
investimento
+
aumento do
fator de
capacidade
com
armazen.)

Sistemas de armazenamento térmico

- sistema de armazenamento térmico permite operação fora do período de irradiação solar.
- é uma das grandes vantagens da geração heliotérmica, permitindo o fornecimento de energia “quase” firme – pode também ser associada a um sistema com combustível (sistemas híbridos)
- vantagem dos sistemas heliotérmicos torna-se mais evidente para armazenamentos de longos períodos
- necessidade de quantificar economicamente as características de “despachabilidade”



Source: Geyer, 2007, SolarPACES Annual Report.

Tecnologias heliotérmicas: panorama no Brasil

Chamada ANEEL 19/2015 - Desenvolvimento de Tecnologia Nacional de Geração Heliotérmica de Energia Elétrica – projetos com previsão de construção de usinas

- CESP (0,5 MWe – cilindros parabólicos, armazenamento térmico 1h, em construção em Porto Primavera)
- PETROBRAS (projeto reavaliado, a ser construída em Macaé – tecnologia de concentradores Fresnel - 3 MW)
- Eletrosul, Facto Energy (0,5 MWe – cilindros parabólicos, a ser construída em Laguna)
- CHESF - torre central, 250 kW, a ser construída no CRESO (Petrolina)
- Furnas – nacionalização, tecnologia de cilindros parabólicos



Tecnologias heliotérmicas: panorama no Brasil

Outros

- Projeto Helioterm - Cepel - Projeto Finep - Petrolina (2012-2016)
 - proposta de início de construção de uma plataforma experimental de energia solar mediante a implantação inicial de usina de demonstração com a tecnologia de cilindros parabólicos (estágio mais avançado de conhecimento)
 - projeto de uma planta piloto CSP de 1 MWe
 - nov. 2020 – Convênio Chesf – Cepel para a implantação da usina



CRESP: Centro de Referência em Energia Solar - Petrolina

Conclusão



<https://www.shutterstock.com/pt/image-photo/aerial-view-wind-turbines-beautiful-agricultural-644728165>



<https://www.shutterstock.com/pt/image-photo/seville-spain-september-28-2018-aerial-1214547886>



<https://constructionreviewonline.com/2018/06/morocco-noor-ouarzazate-iii-plant-switched-on/>

OBRIGADO

dutra@cepel.br - lsrv@cepel.br
(21) 2598-6187 - (21) 2598-6403

