



INTRODUÇÃO ÀS ENERGIAS RENOVÁVEIS

Professor José R. Simões-Moreira

SISEA – Lab. de Sistemas Energéticos Alternativos e Renováveis

Escola Politécnica da USP

www.usp.br/sisea

e-mail: jrsimoes@usp.br



25th COBEM International Congress of Mechanical Engineering

Uberlândia – 21 a 25 a outubro de 2019



Prof. José R. Simões Moreira

Biografia



Graduado em Engenharia Mecânica pela Escola Politécnica da USP (1983), Mestrado em Engenharia Mecânica pela mesma instituição (1989), Doutorado em Engenharia Mecânica - Rensselaer Polytechnic Institute (1994) e Pós-Doutorado em Engenharia Mecânica na Universidade de Illinois em Urbana-Champaign (1999). Atualmente é Professor Titular da Escola Politécnica da USP. Foi secretário de comitê técnico da Associação Brasileira de Ciências e Engenharia Mecânica, Avaliador in loco do Ministério da Educação. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Engenharia Térmica, atuando principalmente nos seguintes temas: mudança de fase líquido-vapor, uso e processamento de gás natural, refrigeração por absorção, tubos de vórtices, energia solar concentrada e sistemas alternativos de energia. Coordenou vários cursos de extensão e atualmente coordenada o curso de especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética da USP. Tem sido professor de cursos de extensão universitária para profissionais da área de termelétricas, energia, válvulas e tubulações industriais. Tem participado de projetos de pesquisa de agências governamentais e empresas, destacando: Fapesp, Finep, Cnpq, Eletropaulo, Ultragaz, Ipiranga, Comgas e Petrobras. Foi professor visitante no INSA - Institut National des Sciences Appliquées em Lyon (França) em junho e julho de 2009. Tem desenvolvido projetos de cunho tecnológico com apoio da indústria (Comgas, Ultragaz, Petrobras e Vale). É autor de mais de 100 artigos técnico-científicos, além de ser autor de um livro intitulado 'Fundamentos e Aplicações da Psicrometria' e editor e autor do livro "Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética" da LTC. Finalmente, coordena o laboratório e grupo de pesquisa da EPUSP de nome SISEA - Lab. de Sistemas Energéticos Alternativos (www.usp.br/sisea).



OUTRAS INFORMAÇÕES SOBRE O PALESTRANTE E SUAS ATIVIDADES

SISEA – Lab. de Sistemas Energéticos Alternativos e alternativos

REPORTER ECO – participação no Reporter Eco da TV Cultura em 16/09/2018

Entrevista concedida à Rádio USP sobre Energias Renováveis (1/12/2017)

Organização da Escola Avançada sobre Energias Renováveis (julho/ago 2018)

LIVRO “Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética” (2017)

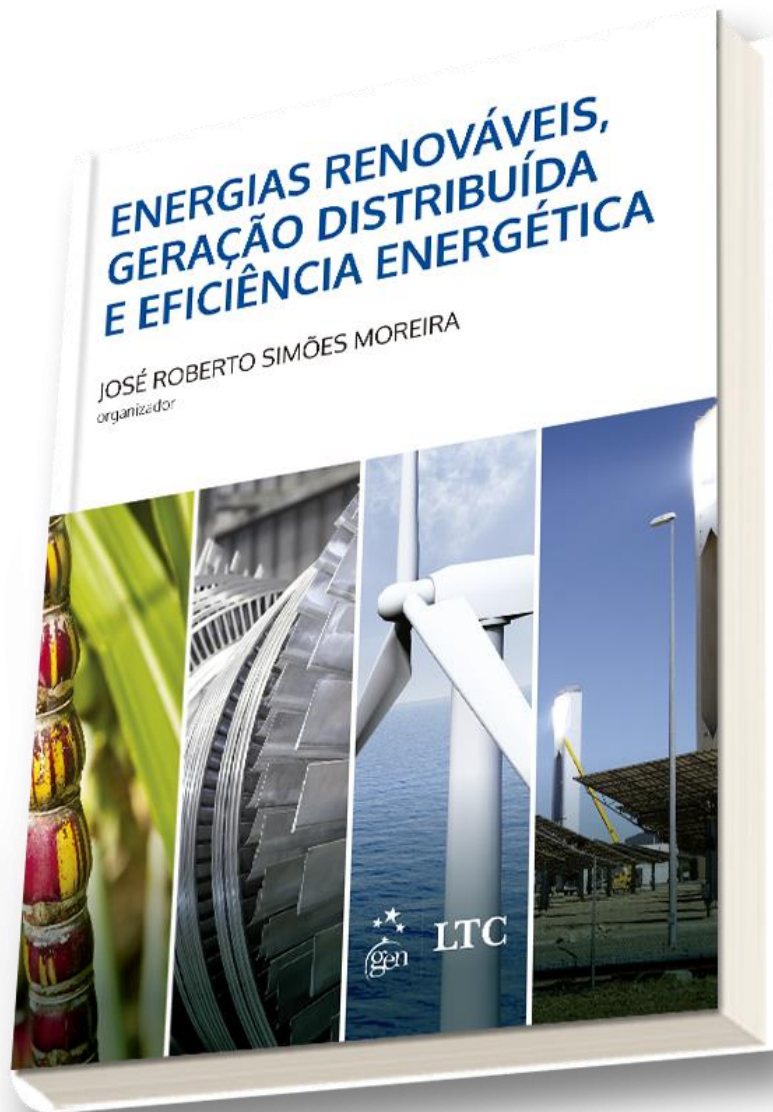
LIVRO “Fundamentos e Aplicações da Psicrometria – 2ª edição” (2019)

Coordenação de Curso de Especialização em Energias Renováveis (desde 2011)

Implantação do laboratório para estudos experimentais de separação de CO₂ de gás natural (Shell – RCGI - USP)

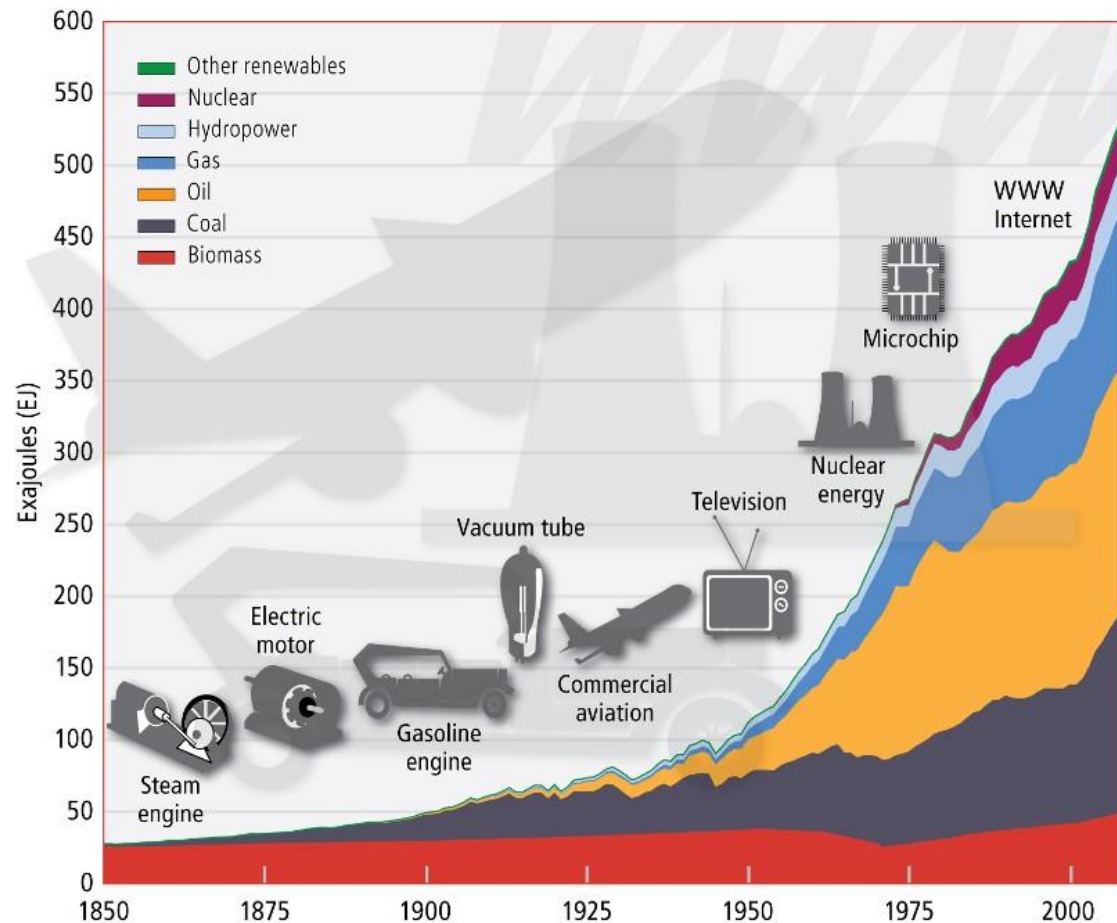
Projeto de uso de energia solar para reforma a vapor de gás natural (Shell/FAPESP – RCGI - USP)

Curriculo Lattes





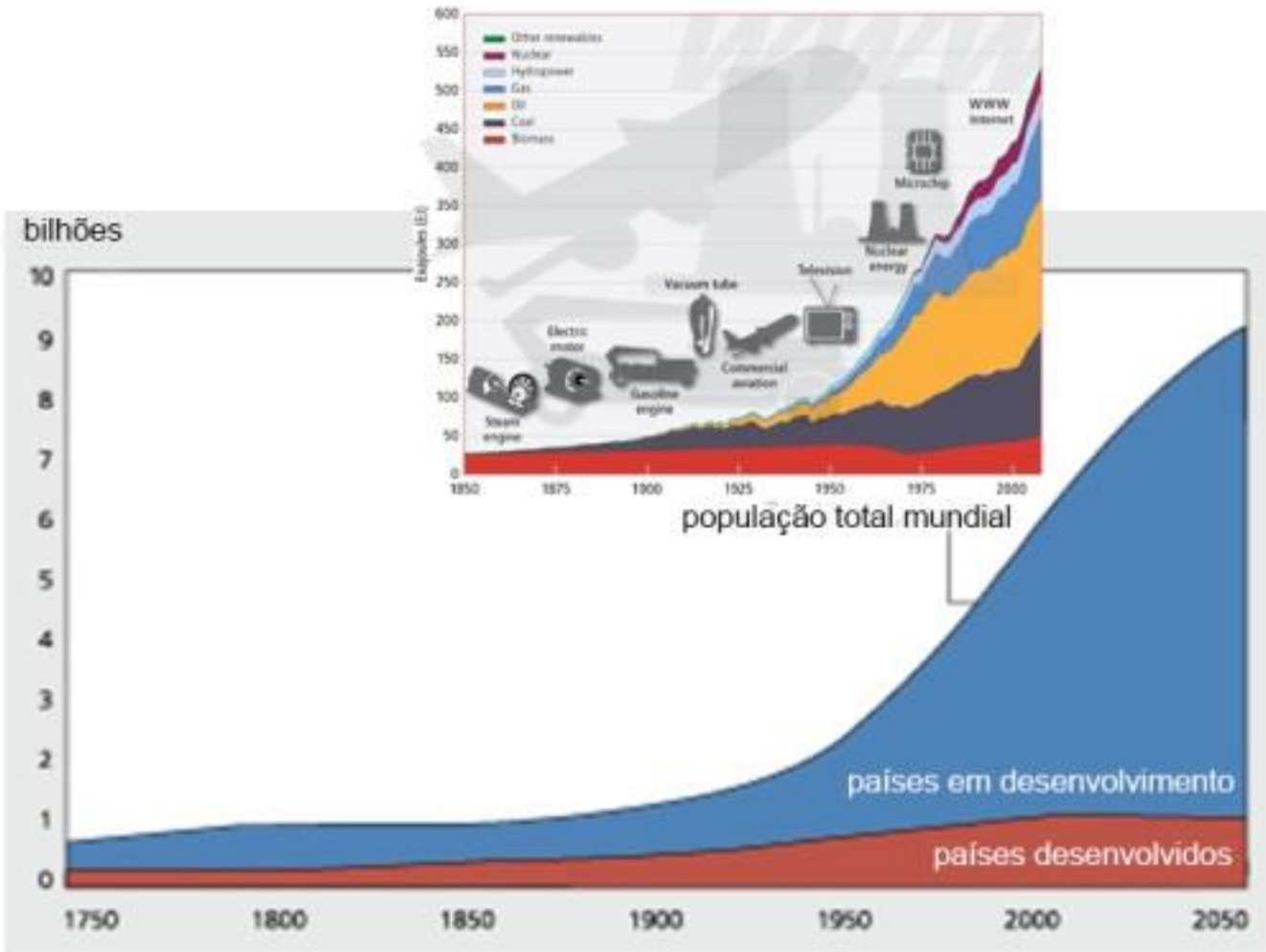
evolução do uso de fontes primárias de energia em nível mundial



(EJ = exajoule = 10^{18})



evolução do uso de fontes primárias de energia em nível mundial x crescimento populacional

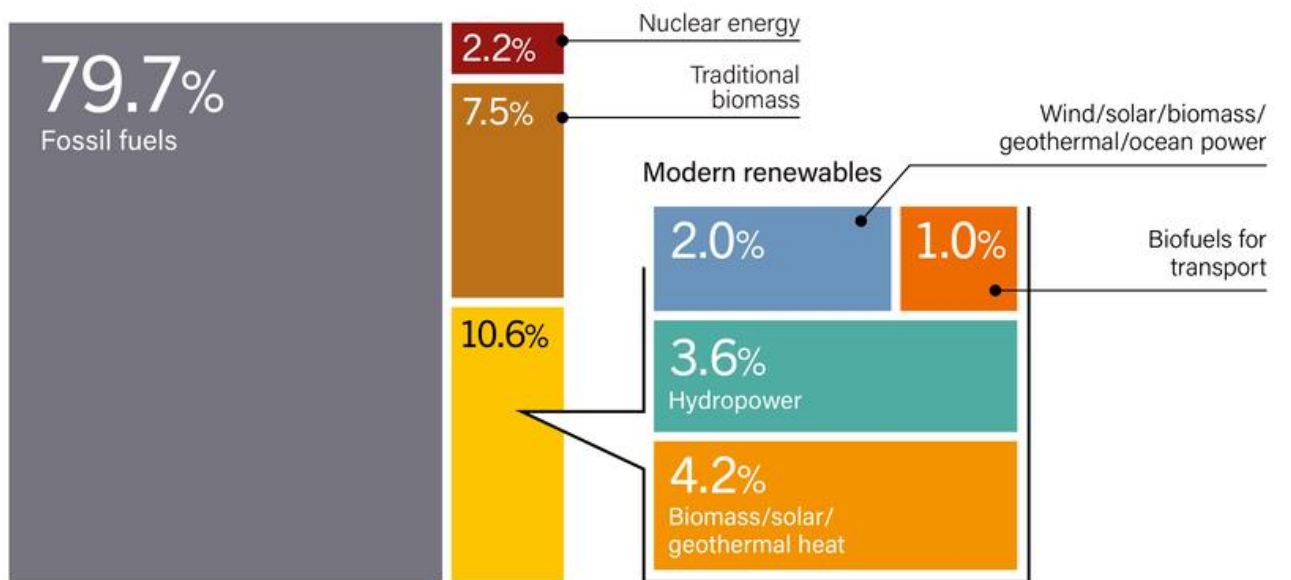


(EJ = exajoule = 10^{18})



ENERGIAS RENOVÁVEIS – participação em nível mundial no consumo final de energia útil

Estimated Renewable Share of Total Final Energy Consumption, 2017

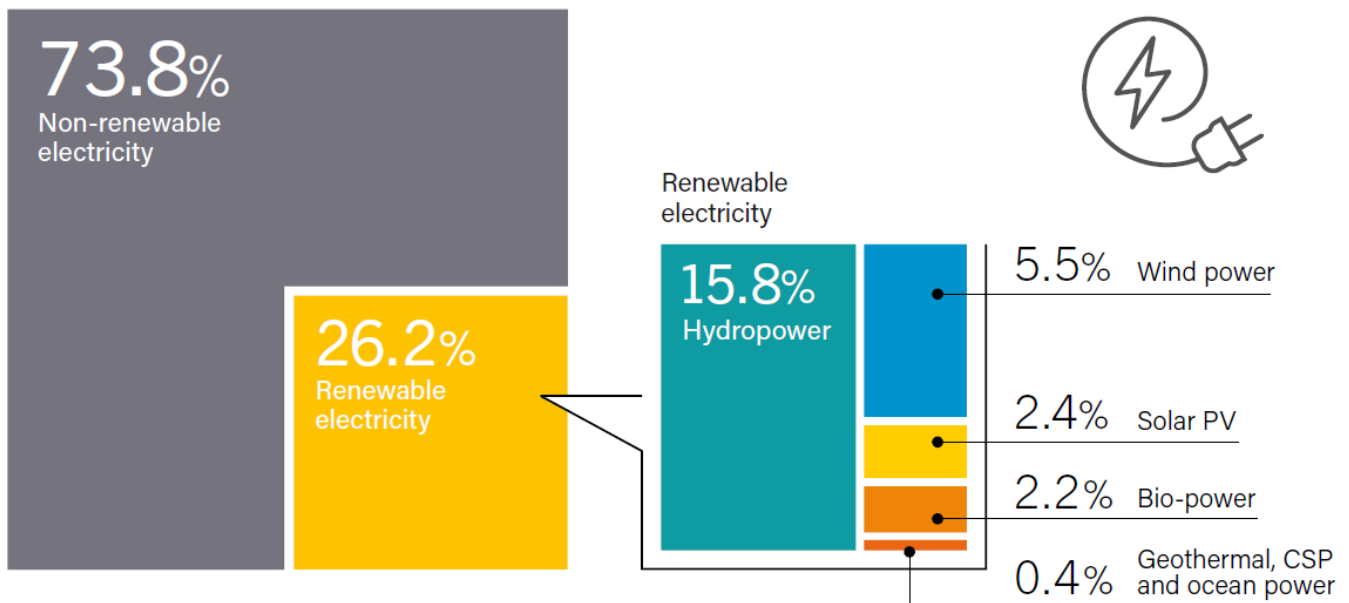


Note: Data should not be compared with previous years because of revisions due to improved or adjusted data or methodology. Totals may not add up due to rounding.

Source: Based on OECD/IEA and IEA SHC.



ENERGIAS RENOVÁVEIS – participação em nível mundial na produção de energia elétrica



Note: Data should not be compared with previous versions of this figure due to revisions in data and methodology.

Source: See endnote 192 for this chapter.

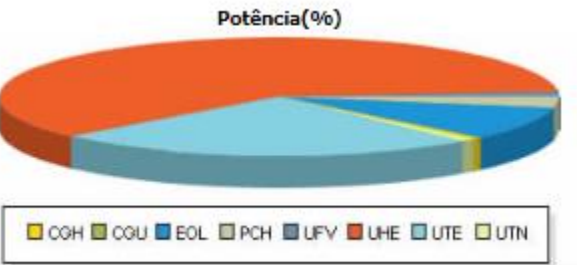


ENERGIAS RENOVÁVEIS – produção de energia elétrica - potência de empreendimentos em operação - Brasil

O Brasil possui no total 7.453 empreendimentos em operação, totalizando 165.825.779 kW de potência instalada. Está prevista para os próximos anos uma adição de 21.632.890 kW na capacidade de geração do País, proveniente dos 210 empreendimentos atualmente em construção e mais 383 em Empreendimentos com Construção não iniciada. (BIG – ANEEL 2019 – atualizado em 26/07/2019)

Empreendimentos em Operação				
Tipo	Quantidade	Potencia Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
CGH	704	720.211	720.025	0,43
CGU	1	50	50	0
EOL	615	15.106.789	15.075.293	9,09
PCH	424	5.268.249	5.224.676	3,15
UFV	2.474	2.106.239	2.103.239	1,27
UHE	217	102.532.178	99.922.634	60,26
UTE	3.016	42.300.291	40.789.862	24,6
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1,2
TOTAL	7453	170.024.007	165.825.779	100

Potência (%)



- CGH Central Geradora Hidrelétrica (< 1 MW)
- EOL Central Geradora Eólica
- PCH Pequena Central Hidrelétrica
- UFV Central Geradora Solar Fotovoltaica
- UHE Usina Hidrelétrica
- UTE Usina Termelétrica
- UTN Usina Termonuclear



O Sol irradia a astronômica quantidade de $1,0 \times 10^{22}$ TJ para o Universo por ano, sendo que apenas a pequena fração de 0,00000000000038% dessa quantia atinge nosso planeta anualmente. Não obstante essa diminuta parcela, ela representa mais de 10.000 vezes o que a humanidade demanda na atualidade para suas atividades sociais e industriais.

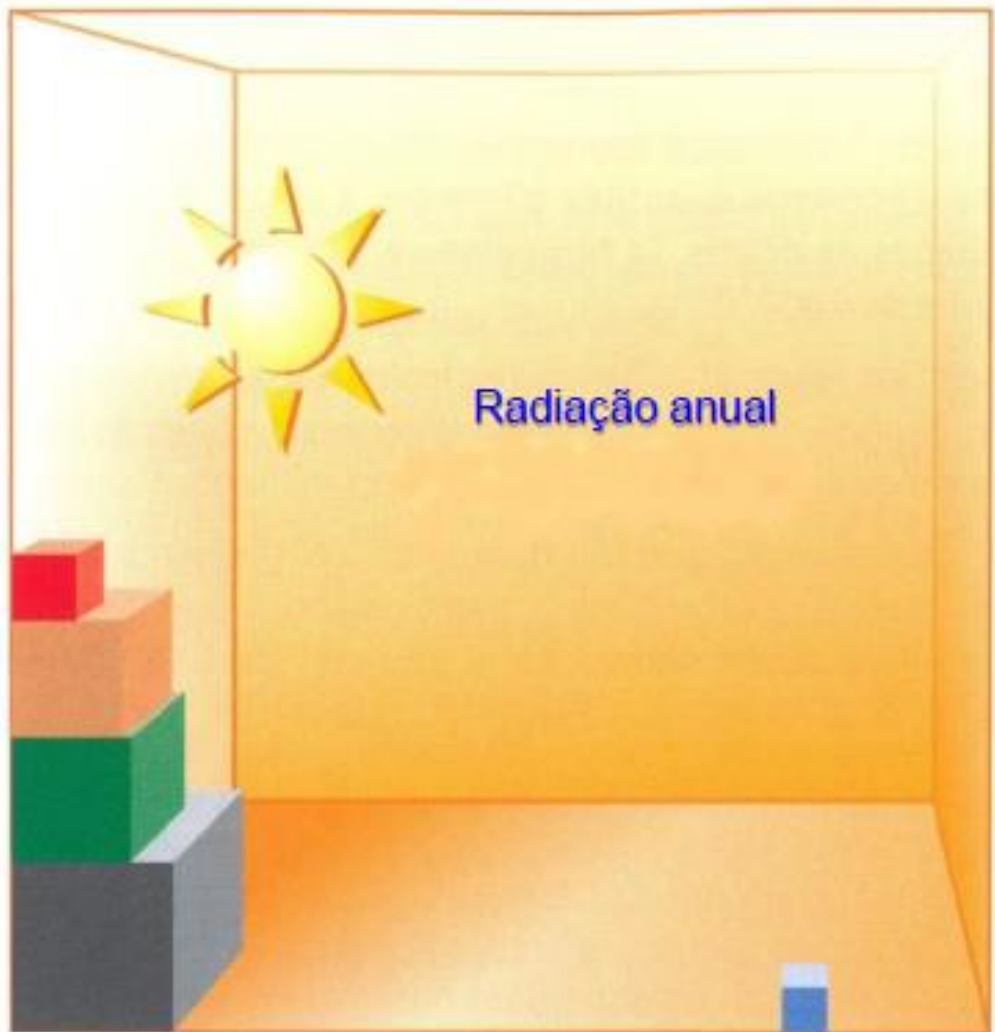




O sol é a principal fonte de energia para o planeta para os vegetais, animais e para o homem nas suas próprias atividades. Em última análise, o Sol é a fonte primária de energia, uma vez que praticamente todas as fontes de energia necessárias à sobrevivência do homem, tais como os alimentos (vegetais ou animais), calor, luz, além de promover o ciclo da água como elemento fundamental aos seres vivos, são supridas de alguma forma pela energia solar.



Imagens do deus-sol e sua adoração em culturas antigas. Da esquerda para a direita: código de Hamurabi na Babilônia (1760 AC); rei Assurbanibal II da Assíria apontando para Shemesh, o deus-sol (sec. IX AC); deusa Sekhmet do Egito com o disco solar sobre a cabeça. (acervo do autor – imagens do Museu Britânico)



Comparação da radiação solar anual incidente na superfície da Terra com outros recursos energéticos.

Peuser et. All (2005)



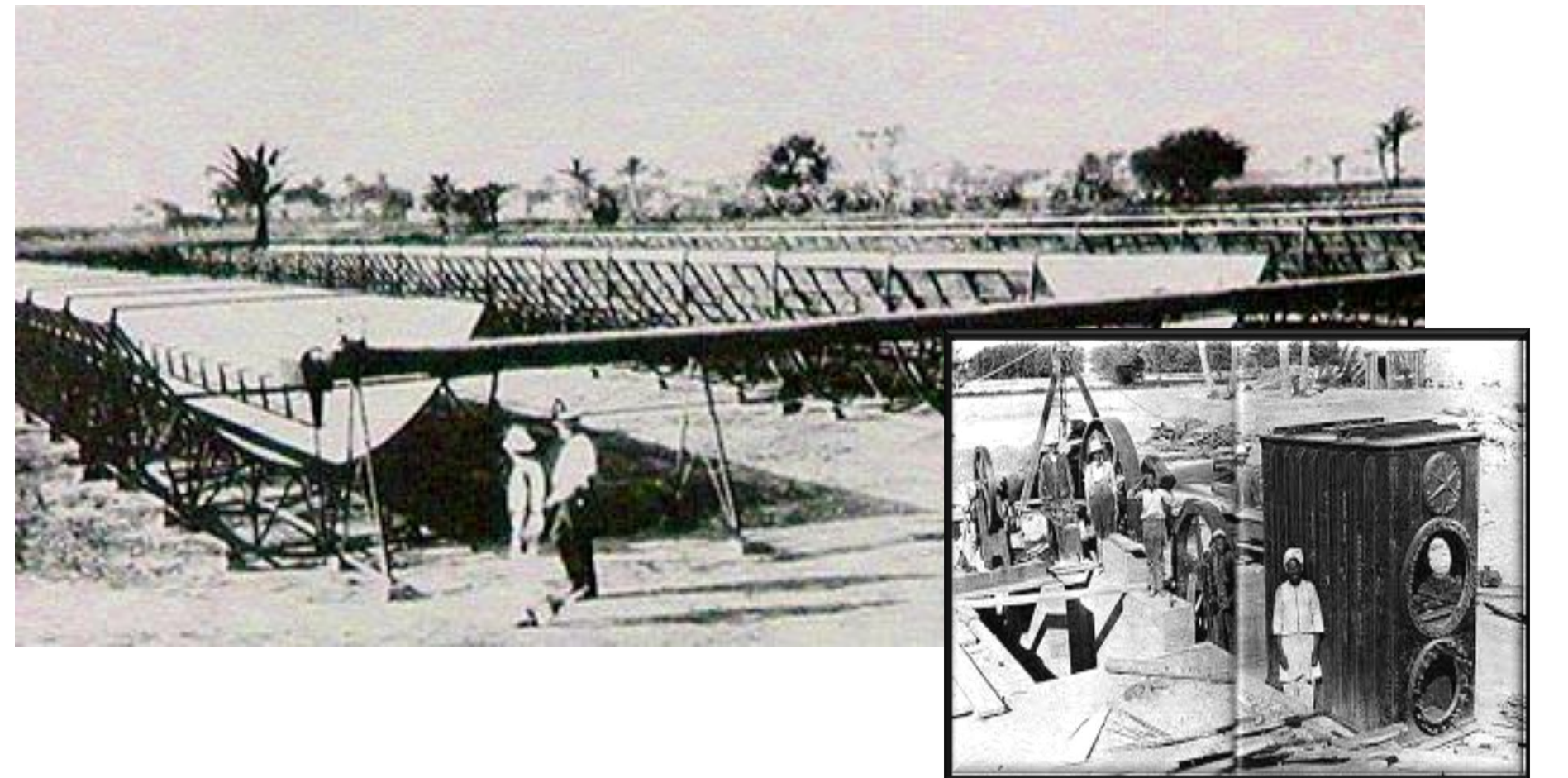
Marinheiros gregos já usavam o processo de dessalinização de água desde o 4º século BC



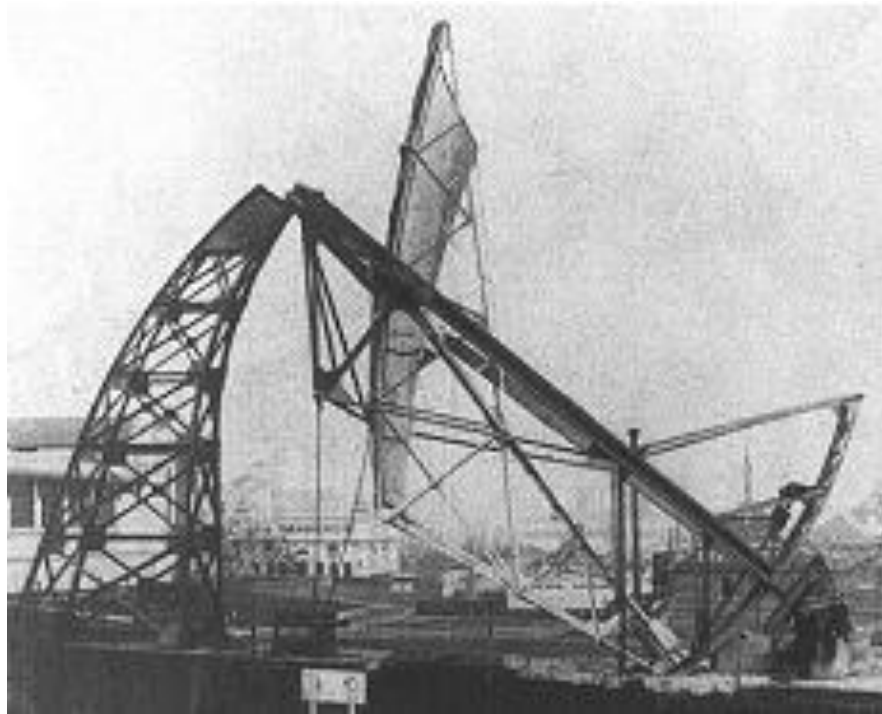
A “batalha de Siracusa” em que, segundo a lenda, Arquimedes (287-212 AC) mandou que se refletisse a luz solar em focos localizados nos barcos dos romanos.



Forno solar de Lavoisier. Na década de 1770 ele construiu esse forno com uma lente artesanal de diâmetro de cerca de 1,32 metros. A lente era formada por duas placas de vidro curvas e paralelas, cujo espaço de separação foi preenchido com vinagre. O objetivo era conduzir experimentos de combustão em alta temperatura (em diamante) com fonte de energia limpa (solar). A literatura informa que obtiveram 1750 °C, um feito que demorou a ser superado.

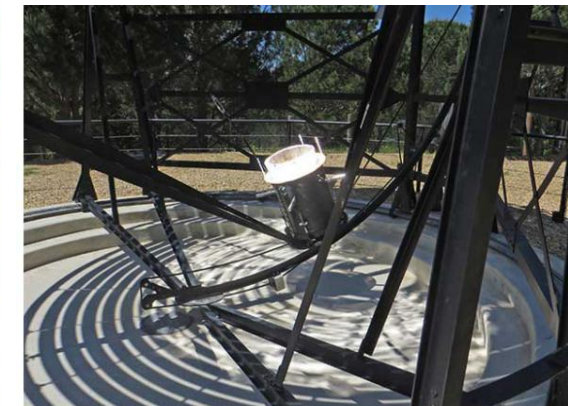


Em 1912, Shuman construiu a maior planta solar para bombeamento de água em Meadi, Egito. Eram calhas parabólicas com concentração em cilindros para vaporização da água. A área total era de 1200 m² sendo que cada fileira tinha 62 m de comprimento. Devido ao início da 1ª guerra mundial e ao baixo preço de combustíveis fósseis, a planta foi desativada em 1915.



“Em 1904, um português, conhecido como Padre Himalaya, recebia o "Grand Prix" na Exposição Mundial de St. Louis, nos EUA, por um engenho - chamado pireliófero - que utilizava a energia solar para derreter rochas e metais. Ao lado encontra-se a fotografia do pireliófero (que traduzido significa “eu trago o fogo do sol”). Tratava-se de uma estrutura de aço de 13 metros de altura e com uma larga superfície de 80 metros quadrados, formada por milhares de pequenos espelhos que refletiam a luz do Sol num pequeno forno onde se fundiam rochas e metais, a uma temperatura que ascendia aos 3500 °C.” (fonte: www.publico.pt)

Ao lado uma réplica de um forno solar concebido pelo Padre Himalaya





Aproveitamento da Energia

Além de ser a fonte energética mais abundante disponível, a energia solar pode ser aproveitada de diversas formas:

- 1- Solar térmica de baixa temperatura: fornos solares, aquecimento de água e ambientes, ciclos de refrigeração por absorção, secagem, dessalinização de água.
- 2- Solar térmica de média e alta temperatura: geração de vapor industrial, geração de energia elétrica em ciclos térmicos de potência
- 3 – Solar fotovoltaica: conversão direta de energia solar em energia elétrica por meio dos painéis fotovoltaicos.
- 4 – Outros aproveitamentos: combustíveis solares – produção de gás hidrogênio e gás de síntese; fotossíntese artificial.



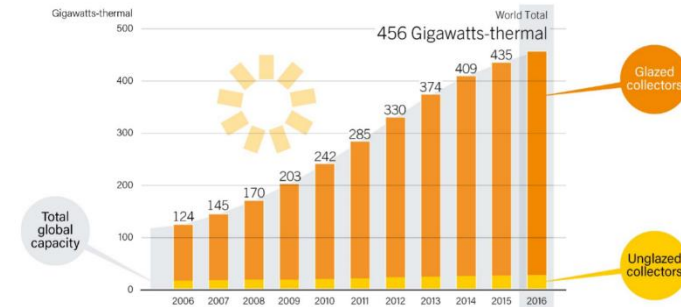
ENERGIAS RENOVÁVEIS – crescimento mundial

(1) Energia Solar – Térmica

Coletores Planos



Solar Water Heating Collectors Global Capacity, 2006-2016



REN21 Renewables 2017 Global Status Report



ren21.net



Aquecimento de piscinas

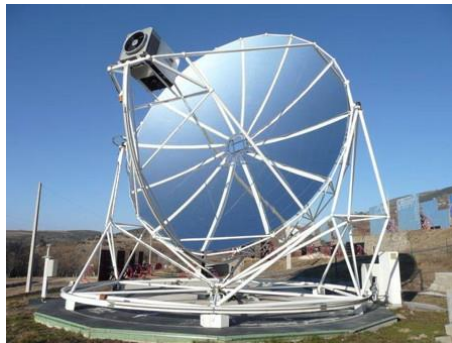
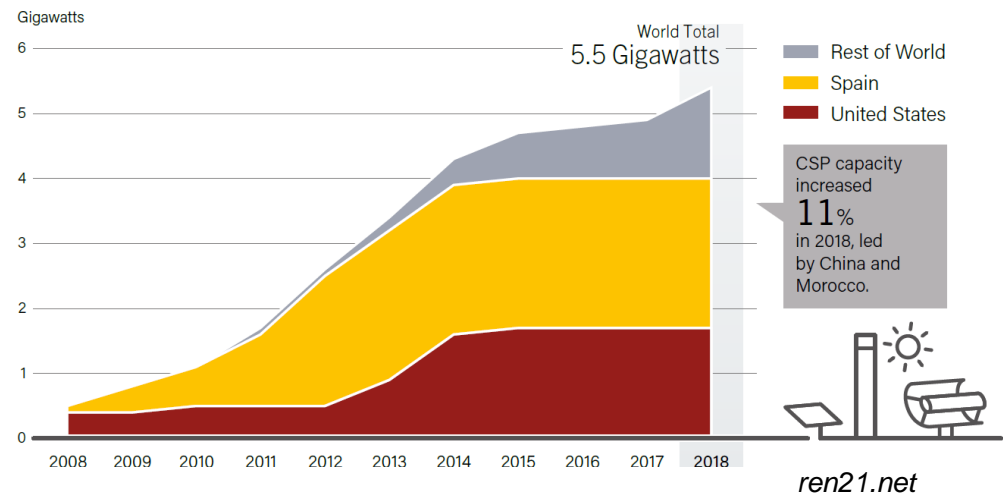


ENERGIAS RENOVÁVEIS

(1) Energia Solar – Térmica

Coletores Concentradores

FIGURE 30. Concentrating Solar Thermal Power Global Capacity, by Country and Region, 2008-2018



ERG-006 – Energia Solar I e ERG-007 – Energia Solar II

Califórnia, EUA



Location: Comuna de María Elena, Antofagasta Region, Chile

Output: 210 MW (110 MW in tower technology and 100 MW in PV technology)

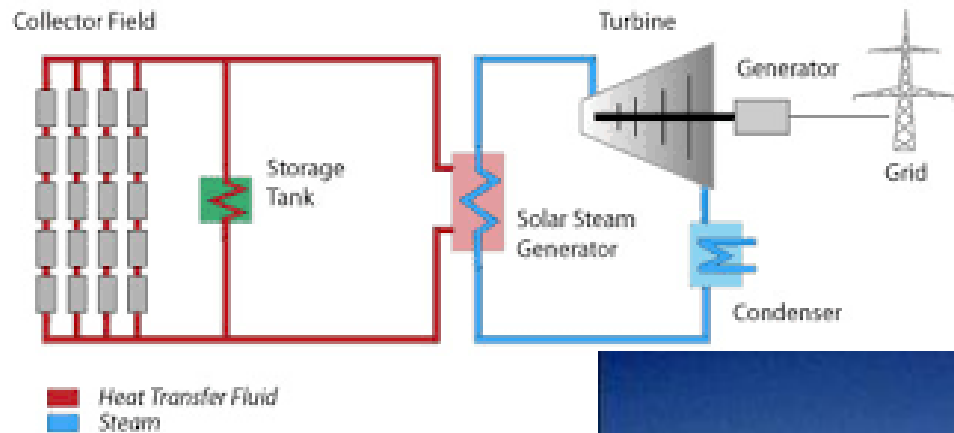
Technology: Molten salt tower and PV

Households supplied with clean energy: 410.000

Tons of CO₂ emissions eliminated each year: 864,000

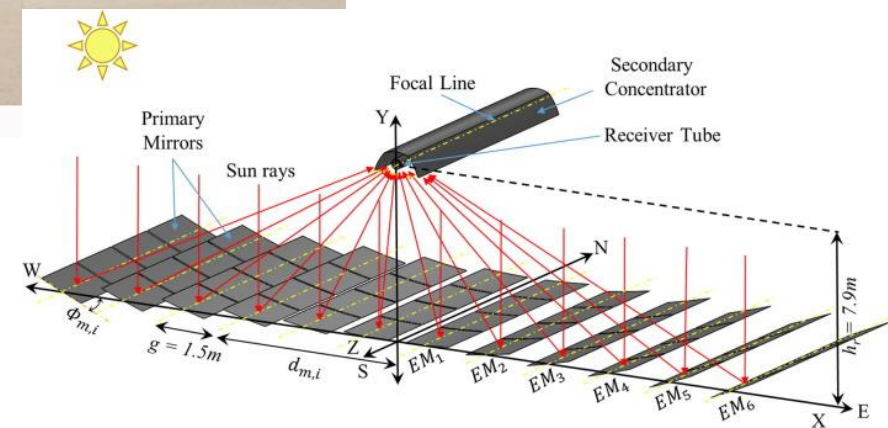
Status: under construcion

Abengoa





Tucson Electric Power Company, Solar Steam Generator Project





ENERGIAS RENOVÁVEIS

(2) Energia Solar – Fotovoltaica



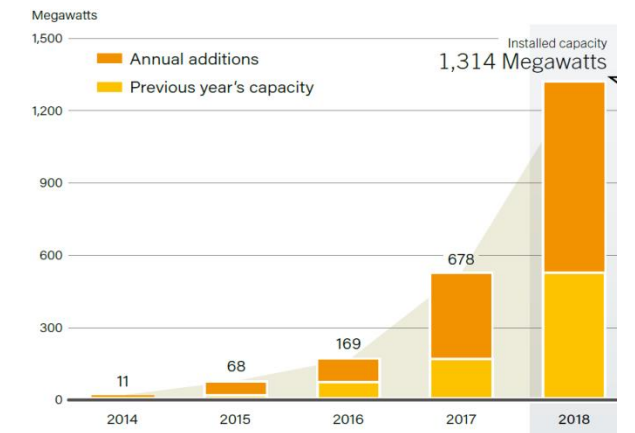
Mineirão



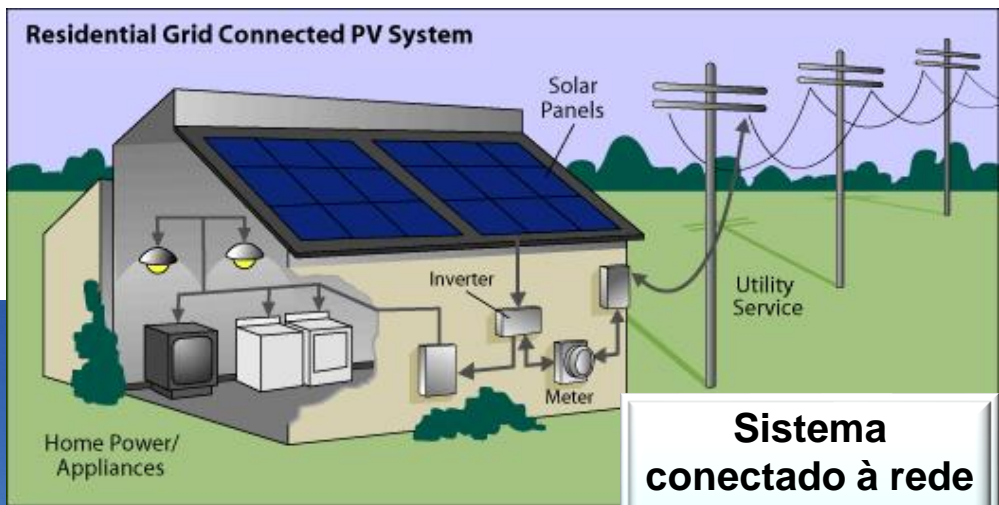
Ribeira do Piauí, PI, 292 MW

Lapa, BA, 158 MW

FIGURE 29. Floating Solar PV Global Capacity and Annual Additions, 2008-2018,

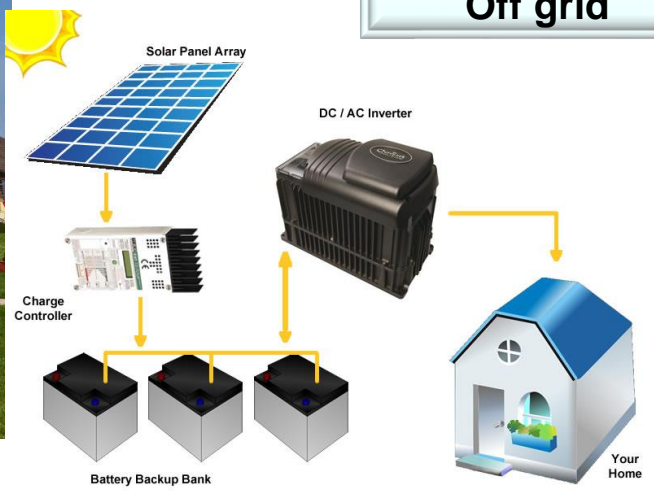


ren21.net



**Sistema
conectado à rede
- On grid**























**Sistema isolado
Off grid**





ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO MUNDO

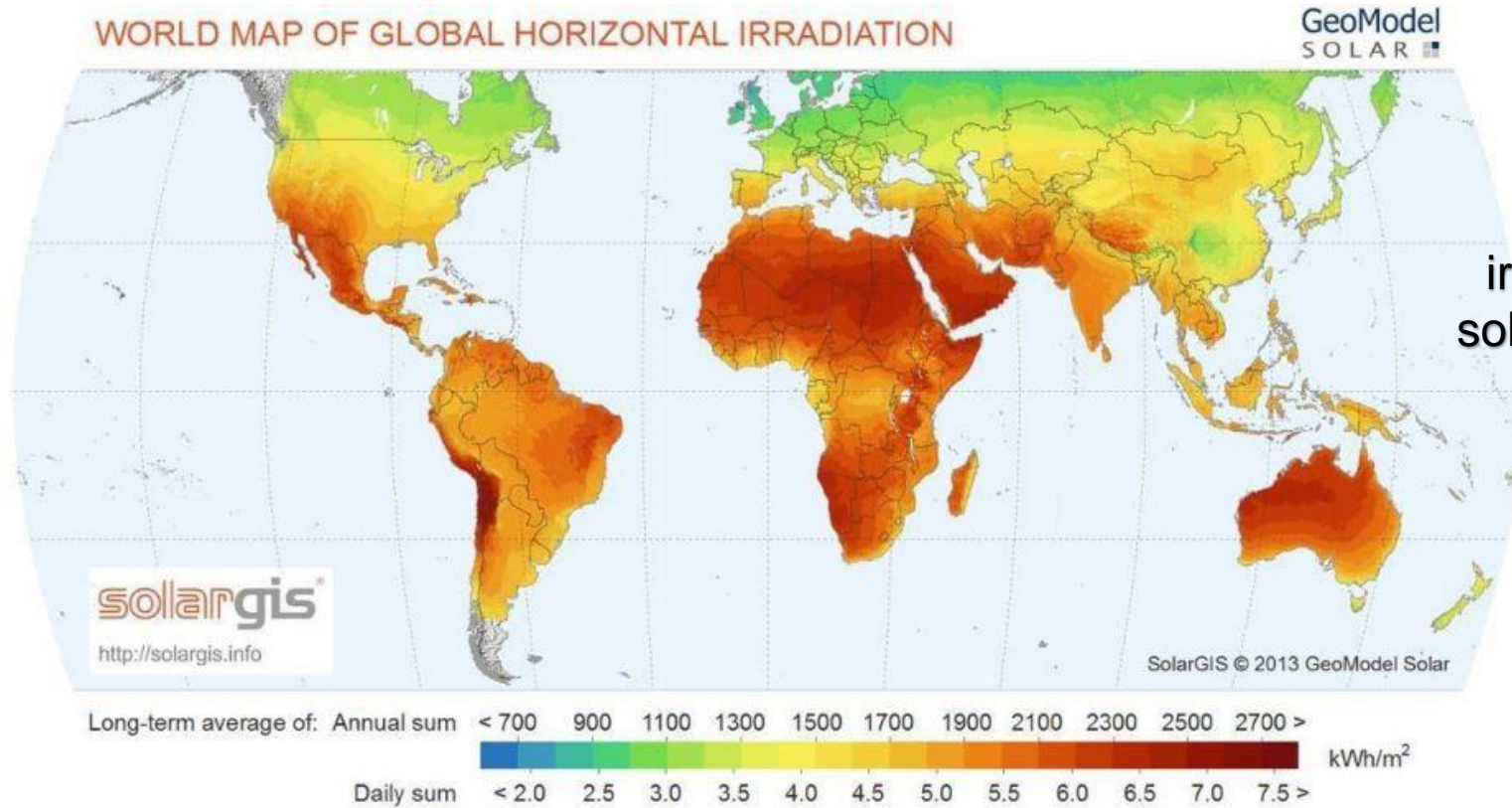
TABLE 1: TOP 10 COUNTRIES FOR INSTALLATIONS AND TOTAL INSTALLED CAPACITY IN 2018

FOR ANNUAL INSTALLED CAPACITY				FOR CUMULATIVE CAPACITY			
1		China	45,0 GW	1		China	176,1 GW
2		India	10,8 GW	2		USA	62,2 GW
3		USA	10,6 GW	3		Japan	56,0 GW
4		Japan	6,5 GW	4		Germany	45,4 GW
5		Australia	3,8 GW	5		India	32,9 GW
6		Germany	3,0 GW	6		Italy	20,1 GW
7		Mexico	2,7 GW	7		UK	13,0 GW
8		Korea	2,0 GW	8		Australia	11,3 GW
9		Turkey	1,6 GW	9		France	9,0 GW
10		Netherland	1,3 GW	10		Korea	7,9 GW
 EU* 8,3 GW				 EU* 115,0 GW			

Fonte: IEA - PVPS – International Energy Agency, 2019



ENERGIA SOLAR NO BRASIL E O MUNDO



Incidência de
irradiação total
solar no Brasil e
no mundo

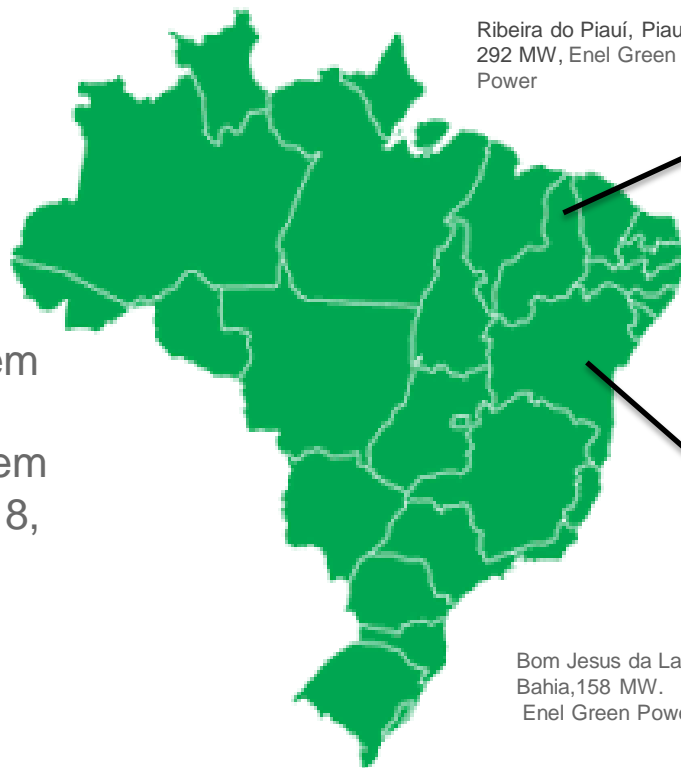
Source: SolarGIS

“As médias diárias de irradiação solar no Brasil são o dobro das médias de irradiação solar da Alemanha”



ENERGIA SOLAR NO BRASIL

A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) divulgou em jan. 2018 que o Brasil pode dobrar sua capacidade de geração de energia fotovoltaica de grandes empreendimentos em 2018. A Aneel estima que novas centrais elétricas podem ser concluídas ainda em 2018, Em 2017 cerca de 935 megawatts já estão sendo geradas.



Ribeira do Piauí, Piauí,
292 MW, Enel Green
Power



Bom Jesus da Lapa,
Bahia, 158 MW.
Enel Green Power



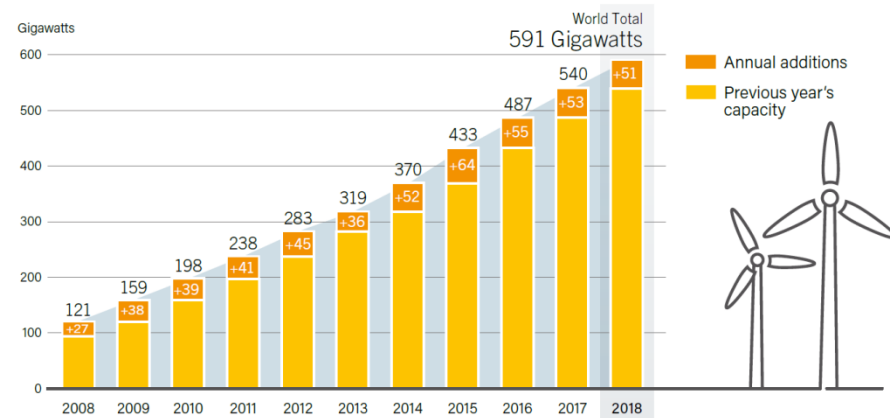
ENERGIAS RENOVÁVEIS

(3) Energia Eólica



Ceará

FIGURE 35. Wind Power Global Capacity and Annual Additions, 2008-2018



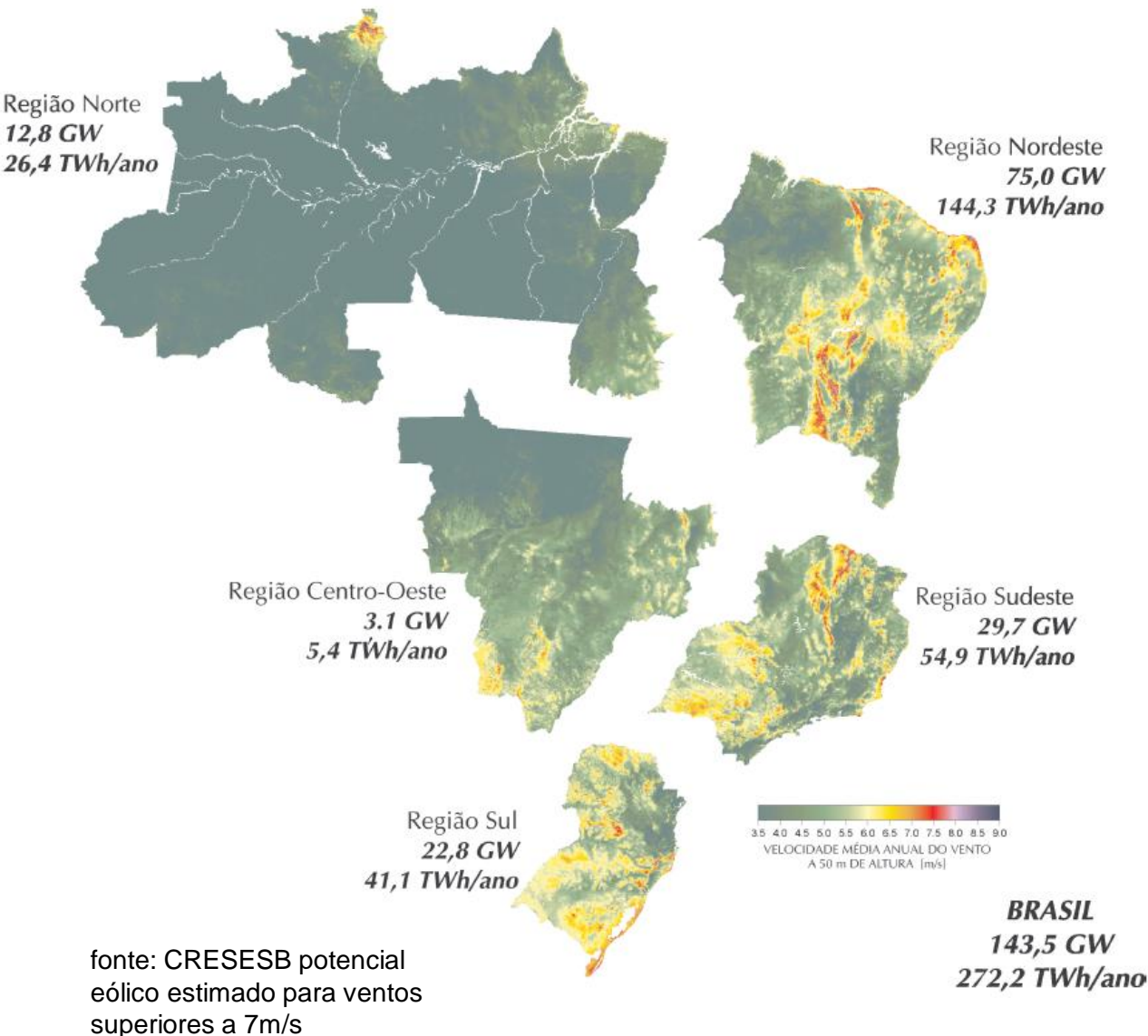
ren21.net

Em 2018, o Brasil assumiu a 5ª posição mundial em capacidade instalada de energia eólica, com 14,7 GW (compare com Itaipu = 14 GW – 15% da consumo brasileiro e 86% do paraguaio)



POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO

Em 2018, o Brasil assumiu a 5ª posição mundial em capacidade instalada de energia eólica, com 14,7 GW (compare com Itaipu = 14 GW – 15% da consumo brasileiro e 86% do paraguaio)



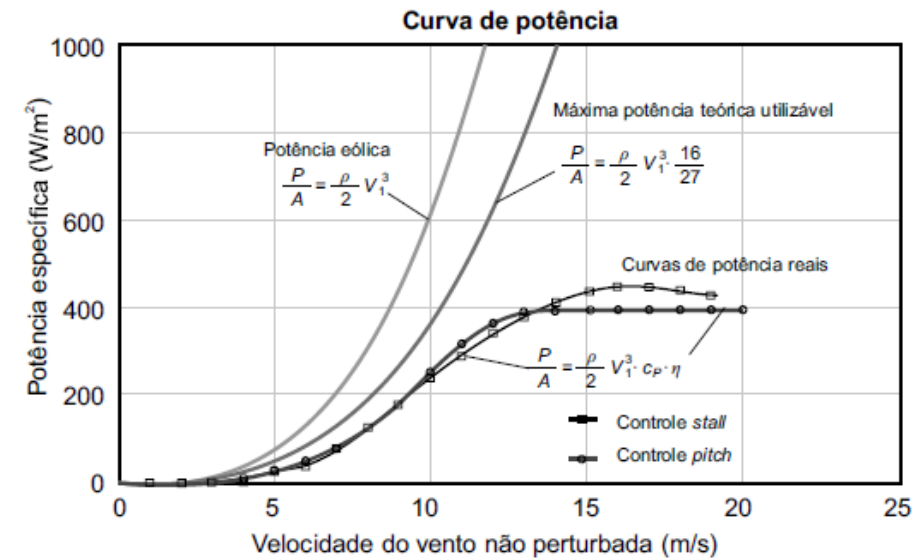


TIPOS DE TURBINAS

<u>Savonius</u> <u>VAWT</u>	<u>Helical</u> <u>VAWT</u>	<u>Darrieus</u> <u>VAWT</u>	<u>3-blades</u> <u>HAWT</u>	<u>2 blades</u> <u>HAWT</u>
				



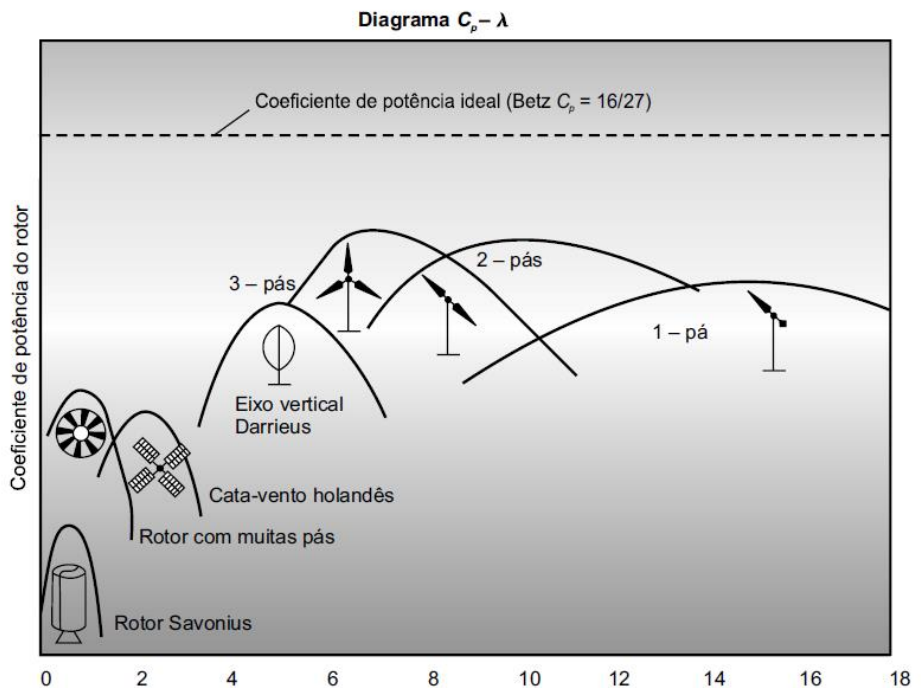
CÁLCULO DA POTÊNCIA EÓLICA



$$C_{p(max)} = 16/27$$

Valor de Betz

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A V_1^3$$





ENERGIAS RENOVÁVEIS

Global Trends in Ethanol, Biodiesel and HVO Production, 2006-2016

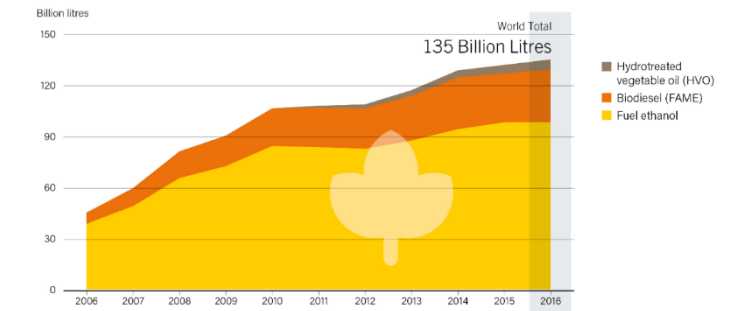
(4) Biocombustíveis Renováveis

Etanol

Biodiesel

Biodigestores e Biogás { *dejetos animais*
aterros sanitários

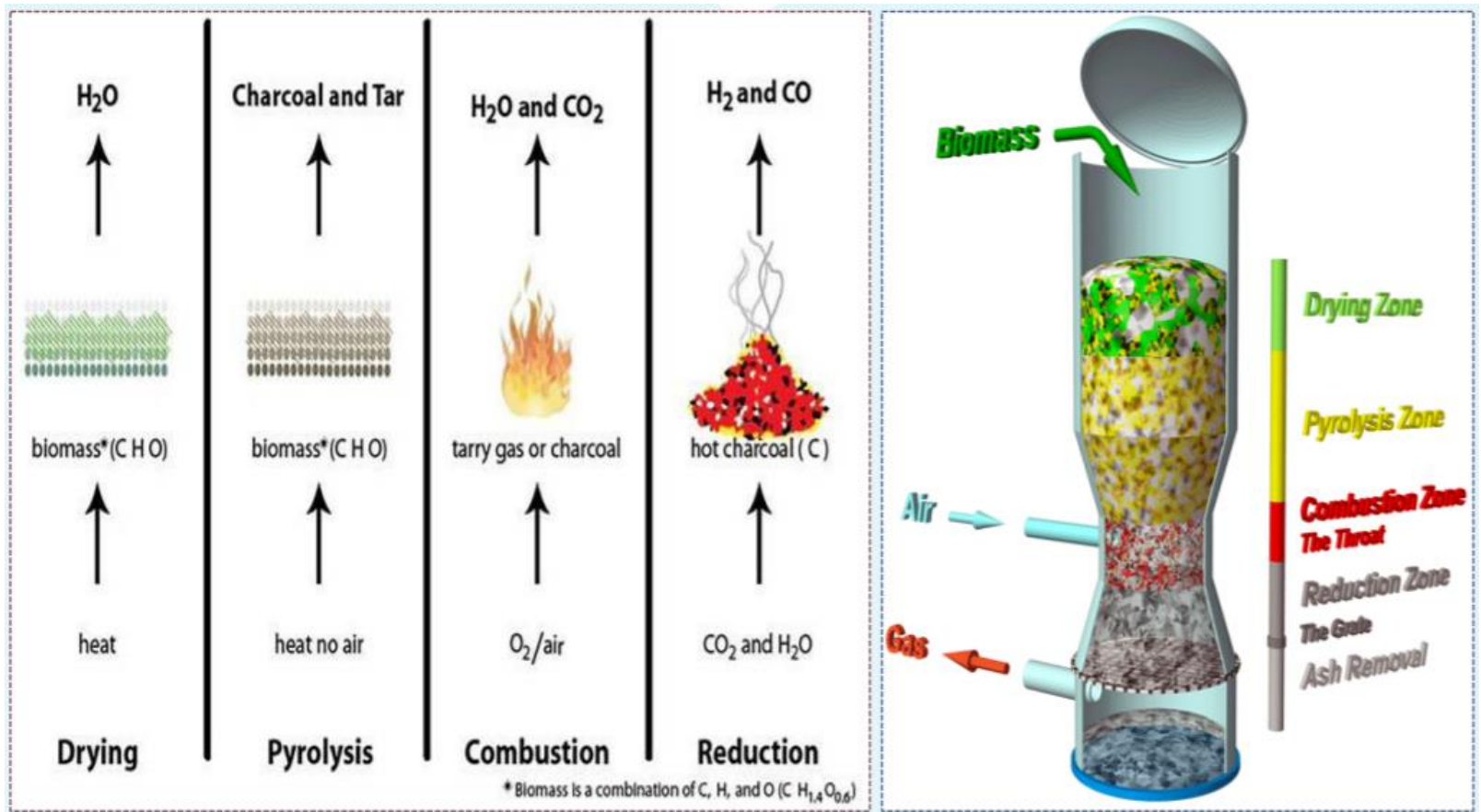
Gaseificação e Pirólise de Biomassa { *alga*
bagaço de cana



REN21 Renewables 2017 Global Status Report

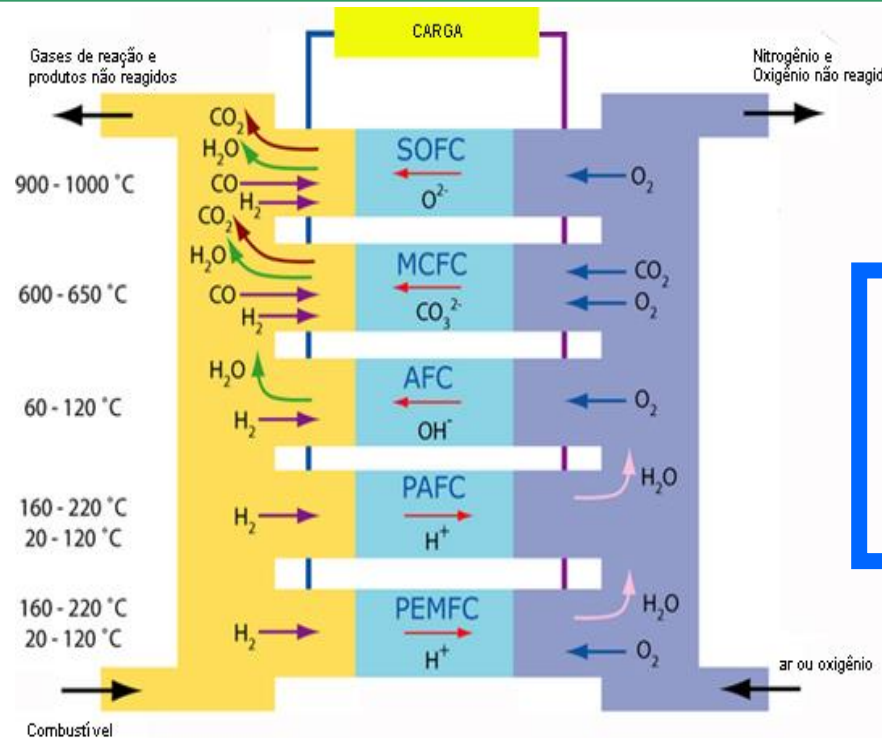
REN21

ren21.net



Fonte: Lefsrud, M. e outros

gás síntese a partir da biomassa



Tipos de células a combustível

- Células a combustível de membrana polimérica (PEM);
- Células a combustível de ácido fosfórico (PAFC);
- Células a combustível de carbonato fundido (MCFC);
- Células a combustível de óxido sólido (SOFC);
- Células a combustível alcalinas (AFC);
- Célula a combustível de membrana polimérica (PEMFC)



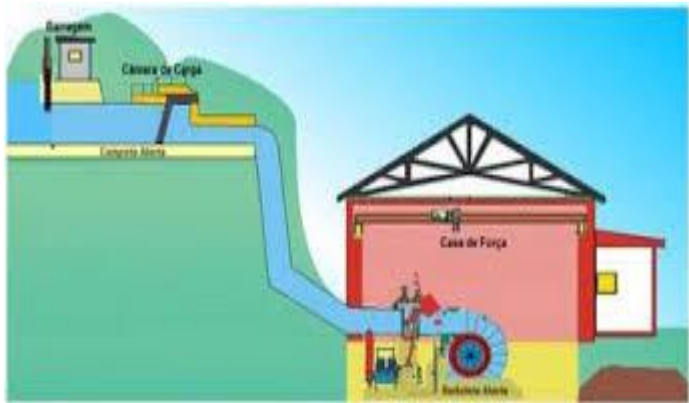
ENERGIAS RENOVÁVEIS (PCHs)

(5) Energia Hidrelétrica – PCHs

Uma PCH é uma usina hidrelétrica com capacidade entre 1 MW e 30 MW



Santa Catarina
hsbrservicos.com.br

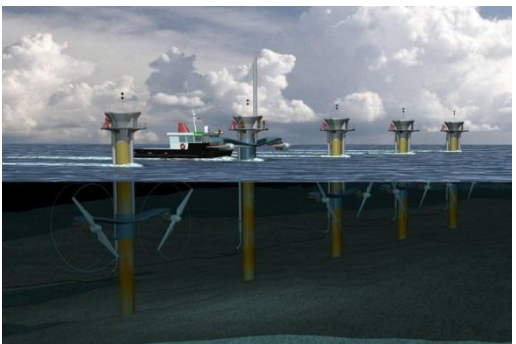


olharabertopr.blogspot.com

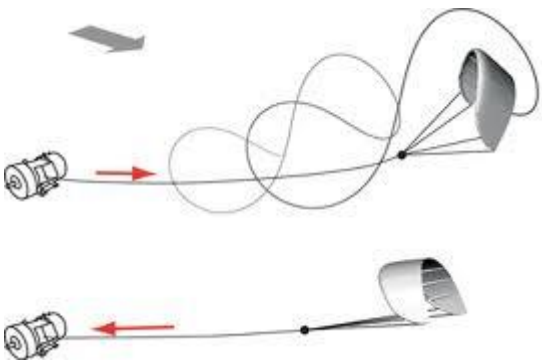


ENERGIAS RENOVÁVEIS - outras

(6) Energia Maremotriz



(7) Energia eólica com pipas





LEGISLAÇÃO

Micro e Minigeração Distribuídas

Desde 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a [Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012](#), o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se da micro e da minigeração distribuídas de energia elétrica, inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade.

Os estímulos à **geração distribuída** se justificam pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico. Entre eles, estão o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética.

Com o objetivo de reduzir os custos e tempo para a conexão da microgeração e minigeração; compatibilizar o **SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA** com as Condições Gerais de Fornecimento ([Resolução Normativa nº 414/2010](#)); aumentar o público alvo; e melhorar as informações na fatura, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687/2015 revisando a Resolução Normativa nº 482/2012.



LEGISLAÇÃO

Principais inovações

Segundo as novas regras, que começaram a valer em 1º de março de 2016, é permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se **microgeração distribuída** a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW) e **minigeração distribuída** aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW (sendo 3 MW para a fonte hídrica), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. De acordo com as novas regras, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto”.

Outra inovação da norma diz respeito à possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras). Nessa configuração, a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos em porcentagens definidas pelos próprios consumidores.

A ANEEL criou ainda a figura da “geração compartilhada”, possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados.

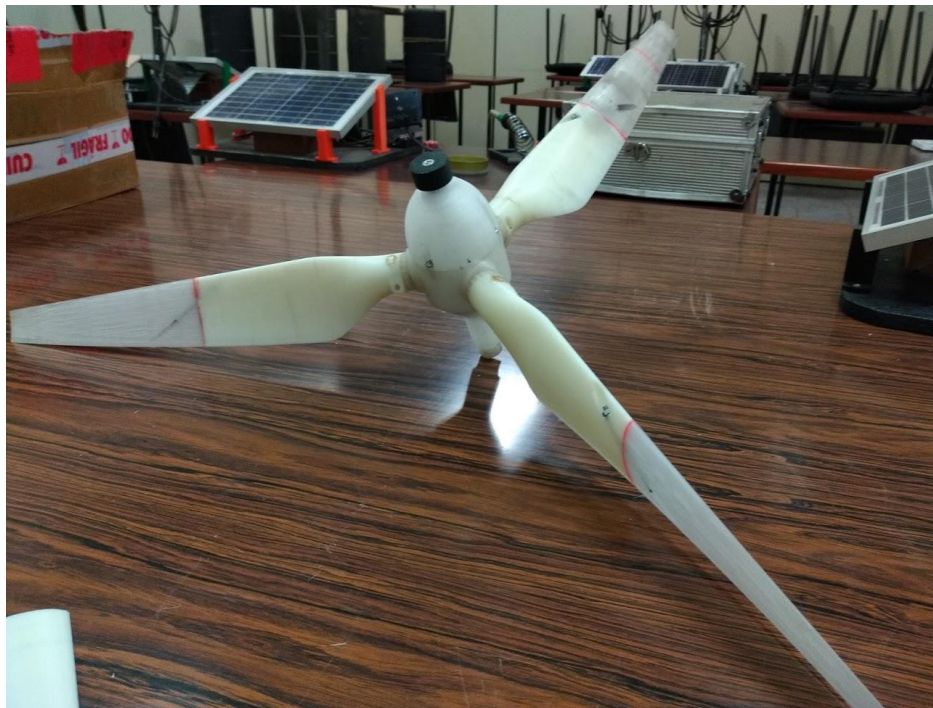
VIDEO IEA – sobre Energias Renováveis

Introdução às Energias Renováveis – Prof. José Roberto Simões Moreira – 21 a 25/10/2019

25th COBEM International Congress of Mechanical Engineering - Uberlândia

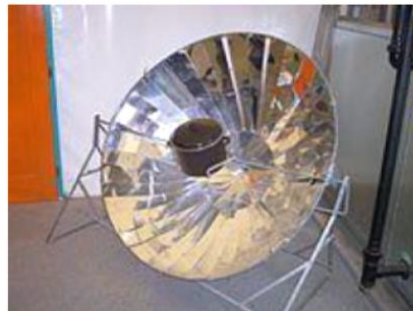
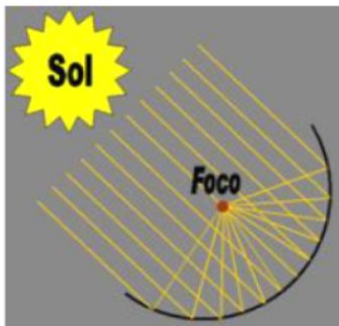


VOCÊ PODE FAZER!





Fogões solares



Wikipedia



OBRIGADO

Até amanhã com energia solar