

Simpósio de Energia da UFRJ

14 e 15 de junho

MINICURSO

Energia Solar: Aspectos Técnicos e Mercado Nacional



Ministrante: Armando Abrantes, M.Sc. Student - Coppe/UFRJ
UFRJ, Centro de Tecnologia, G-122, de 14:30 às 17h

Sumário

- Recurso Solar
- Sistemas de Conversão Fotovoltaicos
- Desafios Técnicos e Questões Ambientais
- Legislação e Procedimentos
- Mercado Nacional
- Aplicações com Energia Solar para Além da rede Elétrica
- Novas Tecnologias



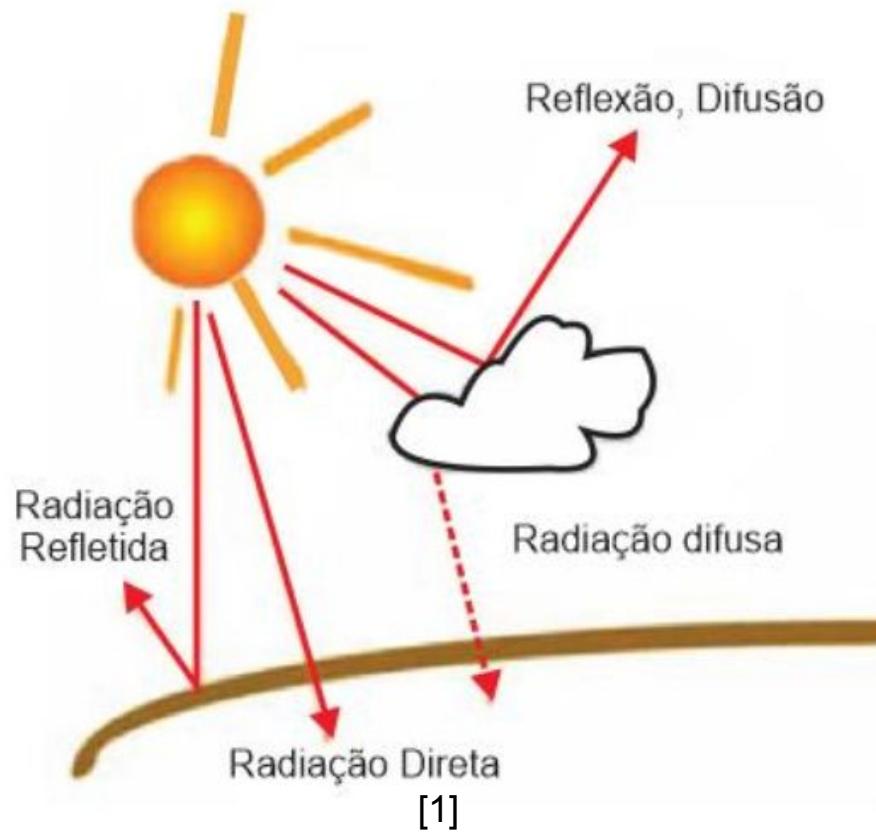
Conhecendo um pouco vocês :)

- Recurso Solar
- Sistemas de Conversão Fotovoltaicos
- Desafios Técnicos e Questões Ambientais
- Legislação e Procedimentos
- Mercado Nacional
- Aplicações com Energia Solar para Além da rede Elétrica
- Novas Tecnologias



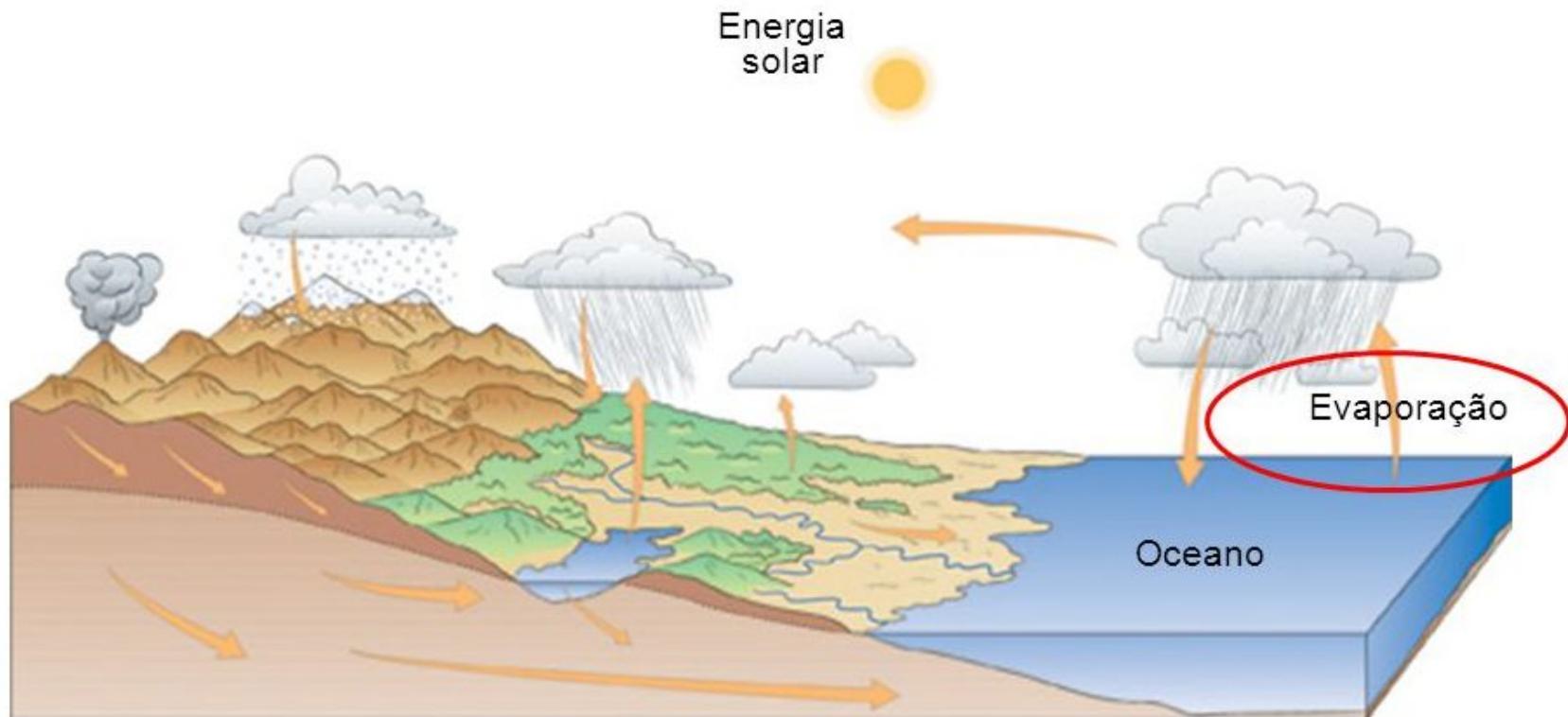
Recurso Solar

Sol: Fonte primária de energia



Recurso Solar

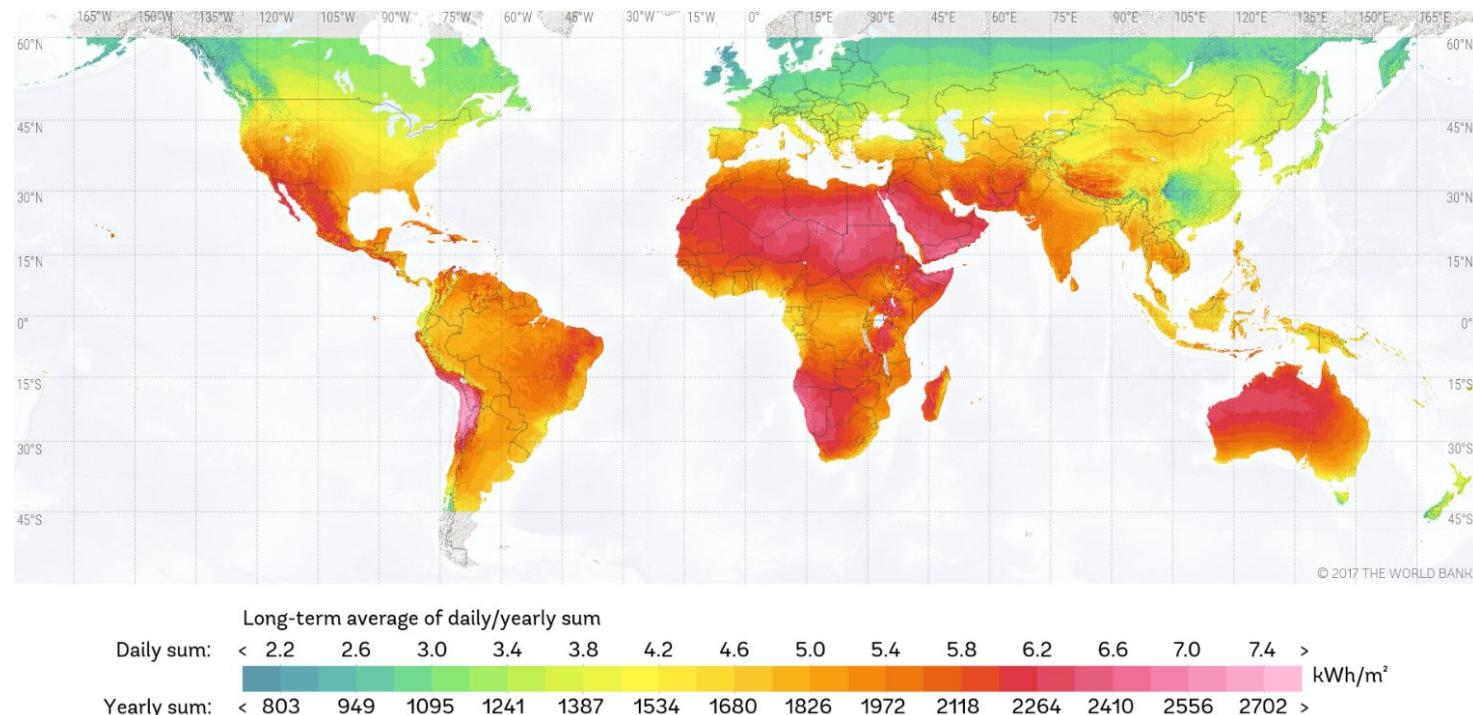
Processos Físicos derivados da radiação solar



[2]

Recurso Solar

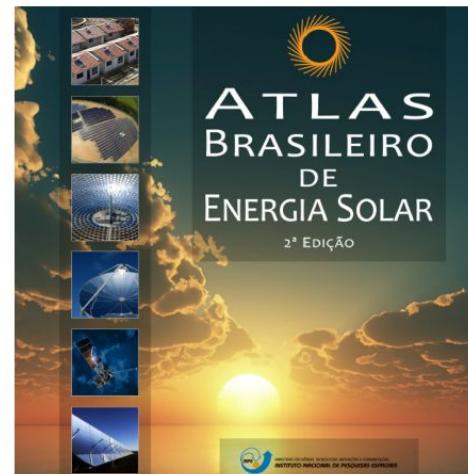
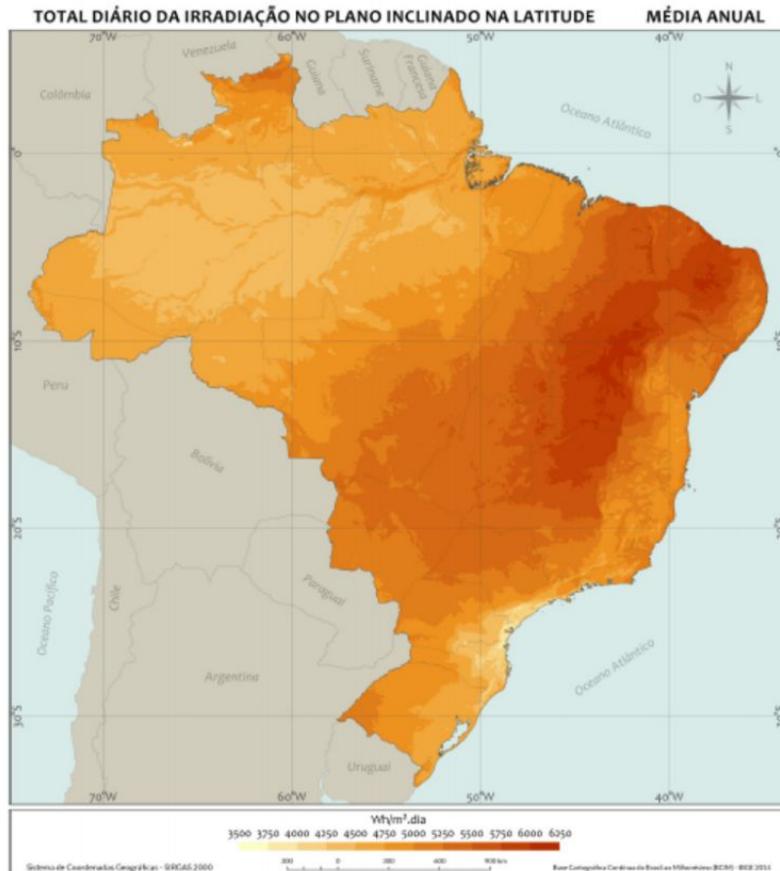
Média da Radiação Solar Anual no Mundo



[3]

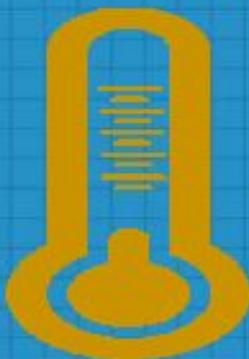
Recurso Solar

Média da Radiação Solar Anual no Brasil



ENERGIA SOLAR

VERDADE OU MENTIRA?

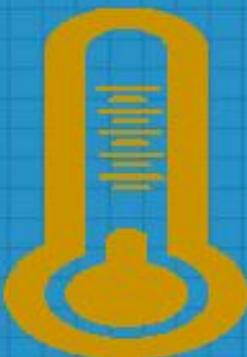


A placa solar gera energia
a partir do calor?



ENERGIA SOLAR

VERDADE OU MENTIRA?



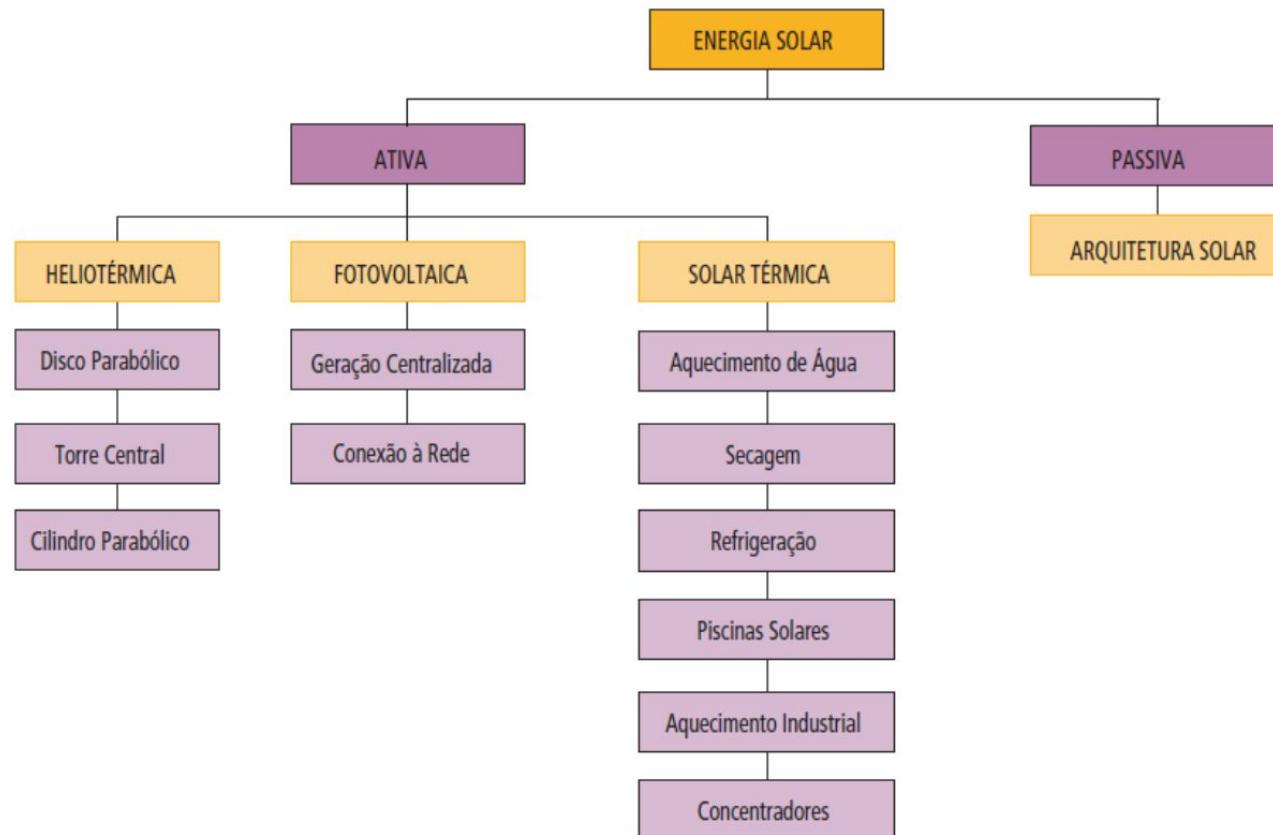
A placa solar gera energia
a partir do calor?

MENTIRA!



Recurso Solar

Tecnologias para aproveitamento direto da energia solar



[5]

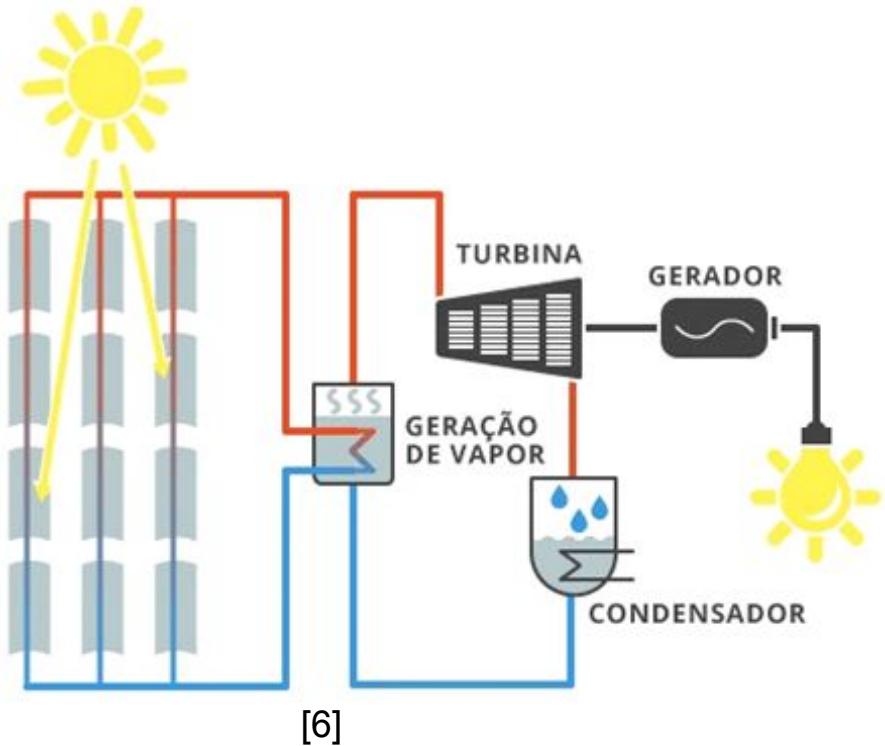
11

ARMANDO ABRANTES

COPPE
UFRJ 5

Recurso Solar

Heliotérmica



[7]



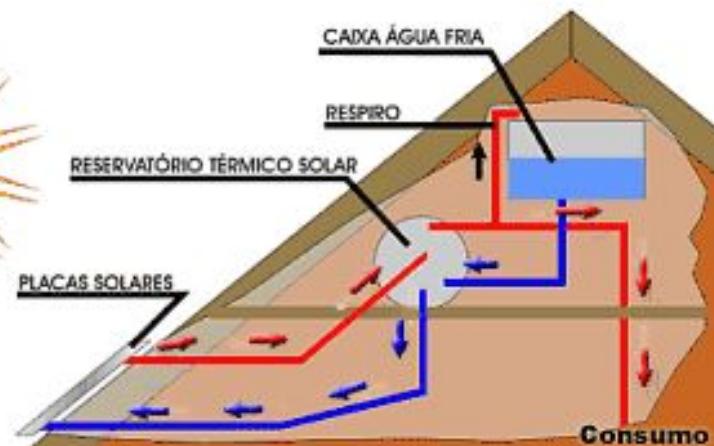
[8]



[9]

Recurso Solar

Solar Térmica



[10]



[11]

Recurso Solar

Solar Fotovoltaica



[12]



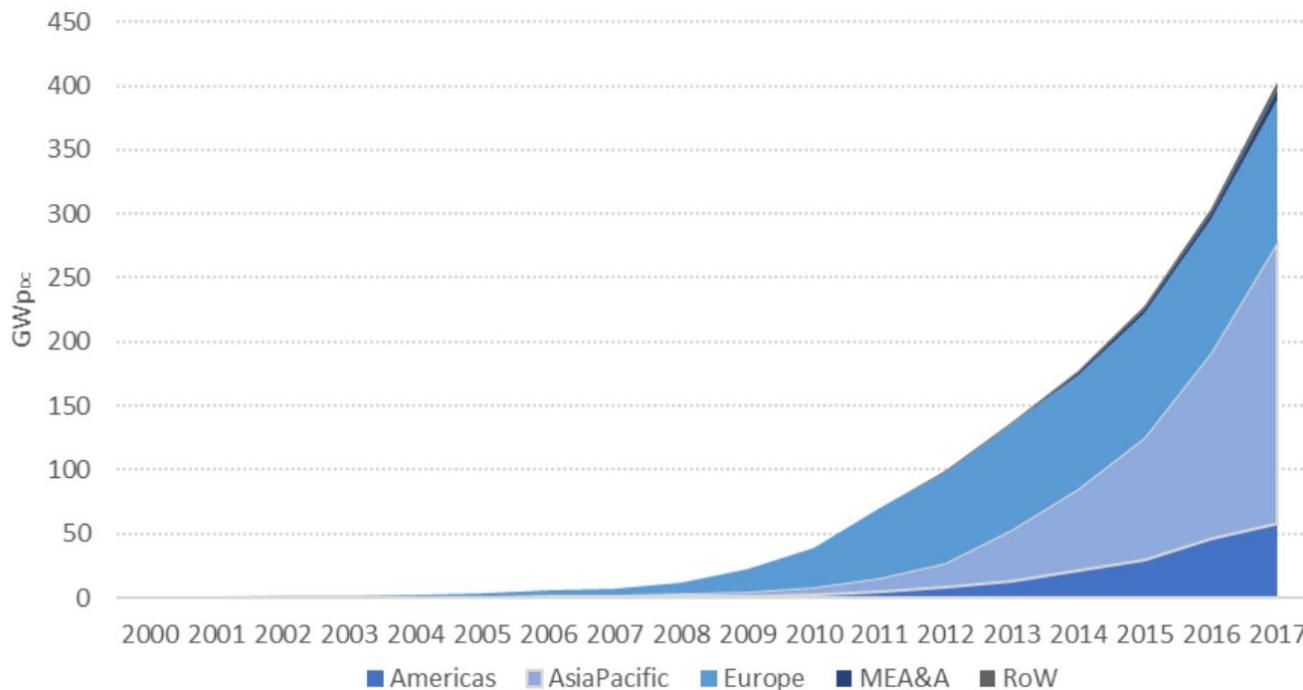
[13]

- Recurso Solar
- **Sistemas de Conversão Fotovoltaicos**
- Desafios Técnicos e Questões Ambientais
- Legislação e Procedimentos
- Mercado Nacional
- Aplicações com Energia Solar para Além da rede Elétrica
- Novas Tecnologias



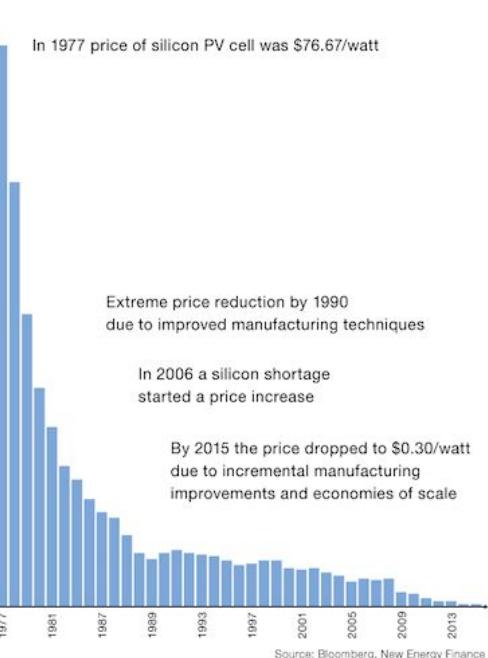
Sistemas Fotovoltaicos

Evolução da Capacidade Instalada no Mundo



[14]

Histórico de preços de células FV em US\$/watt



[15]

Sistemas Fotovoltaicos

TOP 10 COUNTRIES FOR INSTALLATIONS AND TOTAL INSTALLED CAPACITY IN 2017

TOP 10 COUNTRIES IN 2017

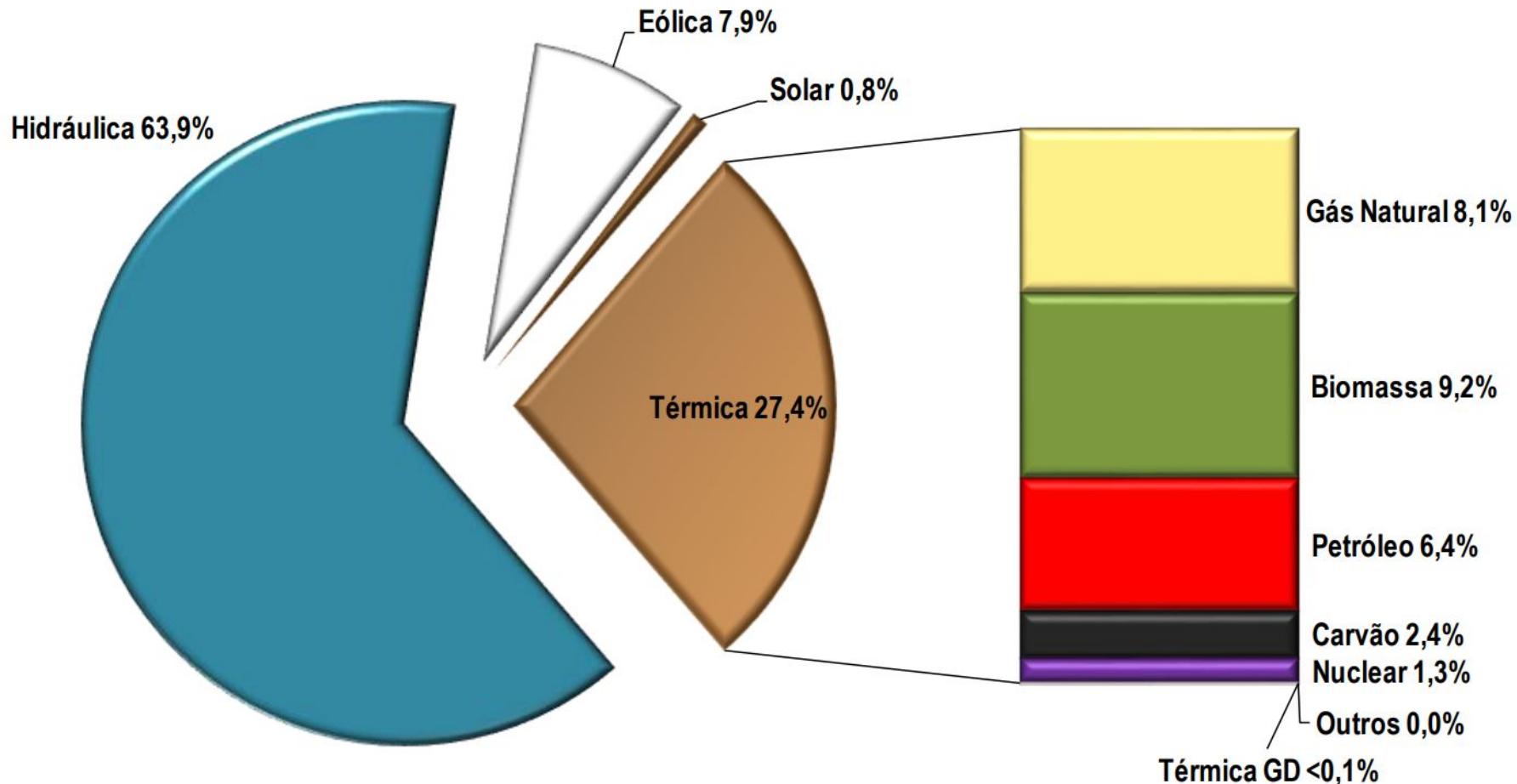
TOP 10 COUNTRIES IN 2017

1		China	53 GW	1		China	131 GW
2		USA	10,6 GW	2		USA	51 GW
3		India	9,1 GW	3		Japan	49 GW
4		Japan	7 GW	4		Germany	42 GW
5		Turkey	2,6 GW	5		Italy	19,7 GW
6		Germany	1,8 GW	6		India	18,3 GW
7		Australia	1,25 GW	7		UK	12,7 GW
8		Korea	1,2 GW	8		France	8 GW
9		UK	0,9 GW	9		Australia	7,2 GW
10		Brazil	0,9 GW	10		Spain	5,6 GW

[14]

Sistemas Fotovoltaicos

Matriz de Capacidade Instalada de Geração de Energia Elétrica - Mar/2018



[16]

Sistemas Fotovoltaicos

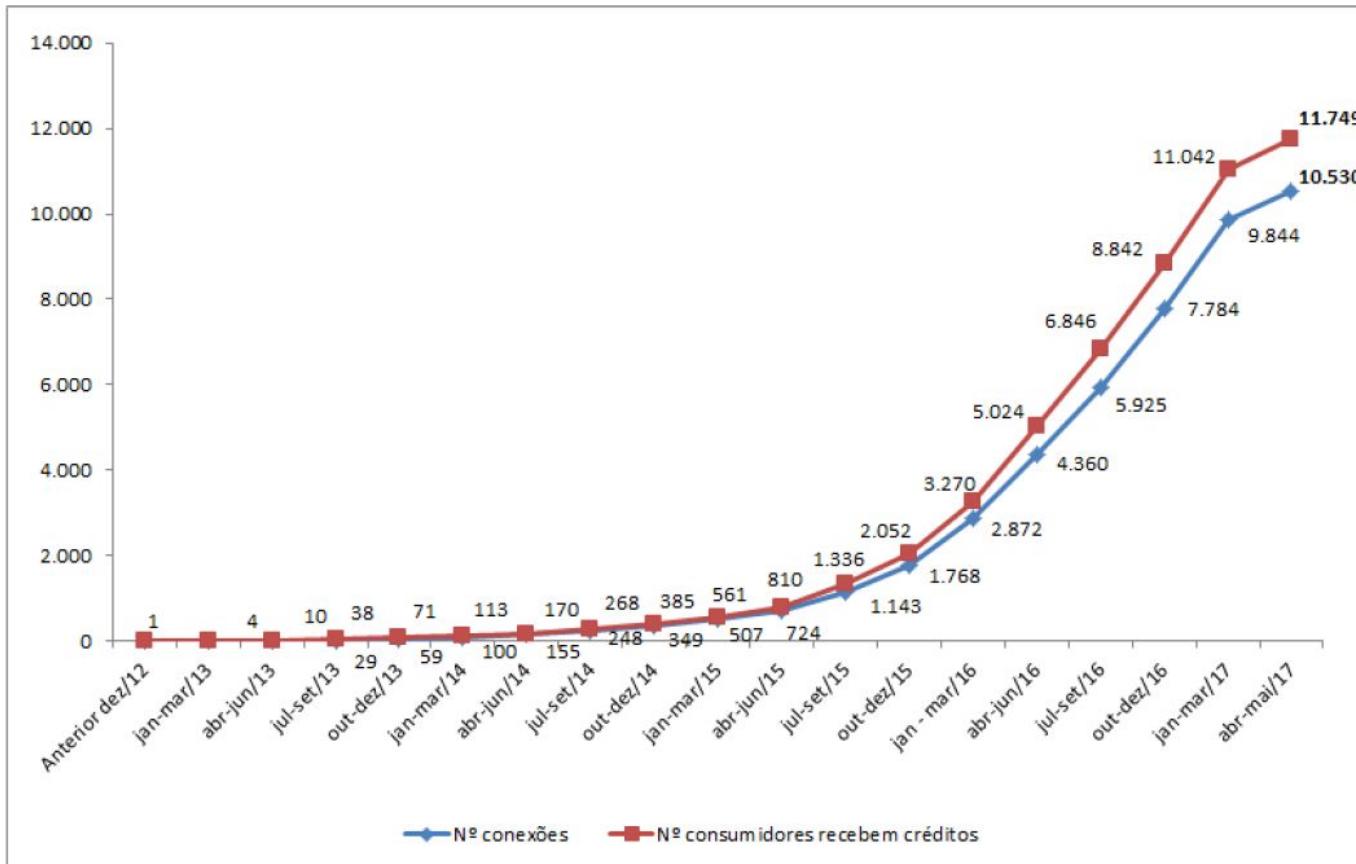
Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil.

Fonte	Mar/2017	Mar/2018			Evolução da Capacidade Instalada Mar/2018 / Mar/2017
	Capacidade Instalada (MW)	Nº Usinas	Capacidade Instalada (MW)	% Capacidade Instalada	
Solar	94	25.042	1.355	0,8%	1342,7%
Solar (não GD)	25	93	1.130	0,7%	4509%
Solar GD	69	24.949	226	0,1%	226%

[16]

Sistemas Fotovoltaicos

Crescimento de micro e minigeração até Maio/2017



[17]

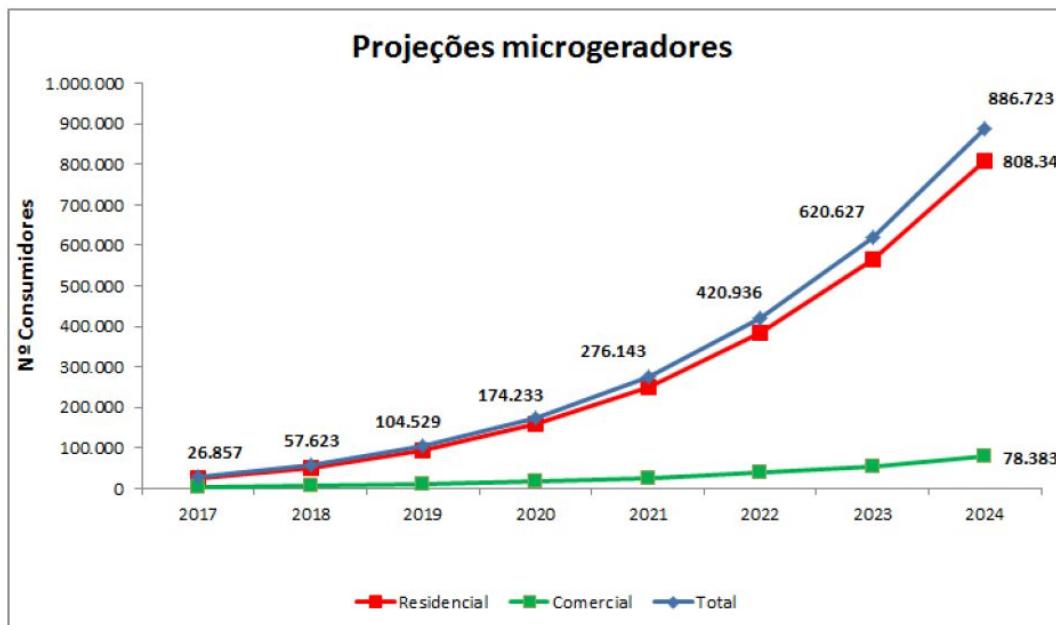
20

Sistemas Fotovoltaicos

Previsão de expansão de curto prazo

Previsão da expansão da geração (MW).

Fonte	Previsão ACR 2018 (MW)	Previsão ACR 2019 (MW)	Previsão ACR 2020 (MW)
Solar	618,220	490,144	0,000
Solar (não GD)	618,220	490,144	0,000
Solar GD	0,000	0,000	0,000



[17]

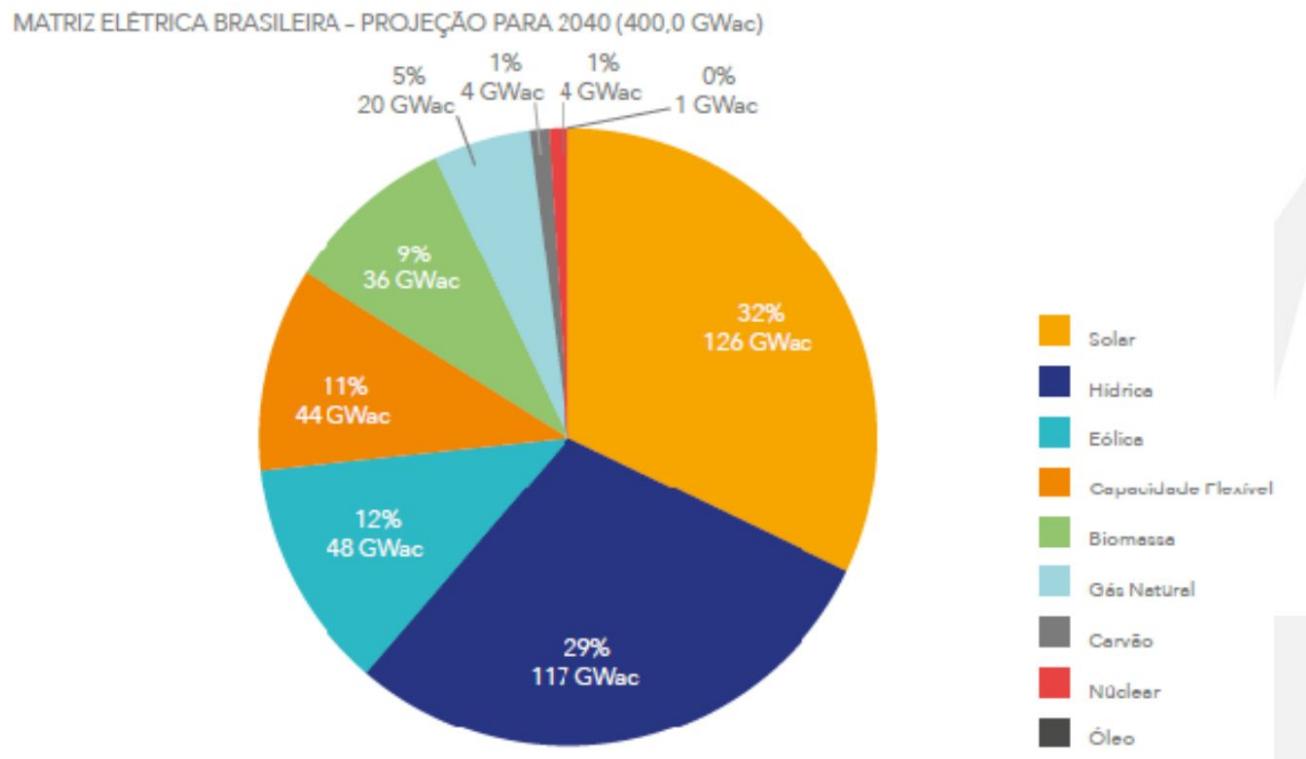
21

ARMANDO ABRANTES

COPPE
UFRJ 5

Sistemas Fotovoltaicos

Projeção da BNEF para Matriz Elétrica Brasileira em 2040



[18]

Sistemas Fotovoltaicos

- Sem emissão de CO₂ durante a geração
- Alta confiabilidade, não possui partes móveis
- Operação e Manutenção de baixo custo
- Sistema Modular
- Aumento da oferta de energia com menores investimentos em estrutura de transmissão
- Excelente em lugares remotos ou de difícil acesso

Sistemas Fotovoltaicos

- Custo inicial elevado
- Não despachável

Resultado Leilão A-4 de 2017 CCEE

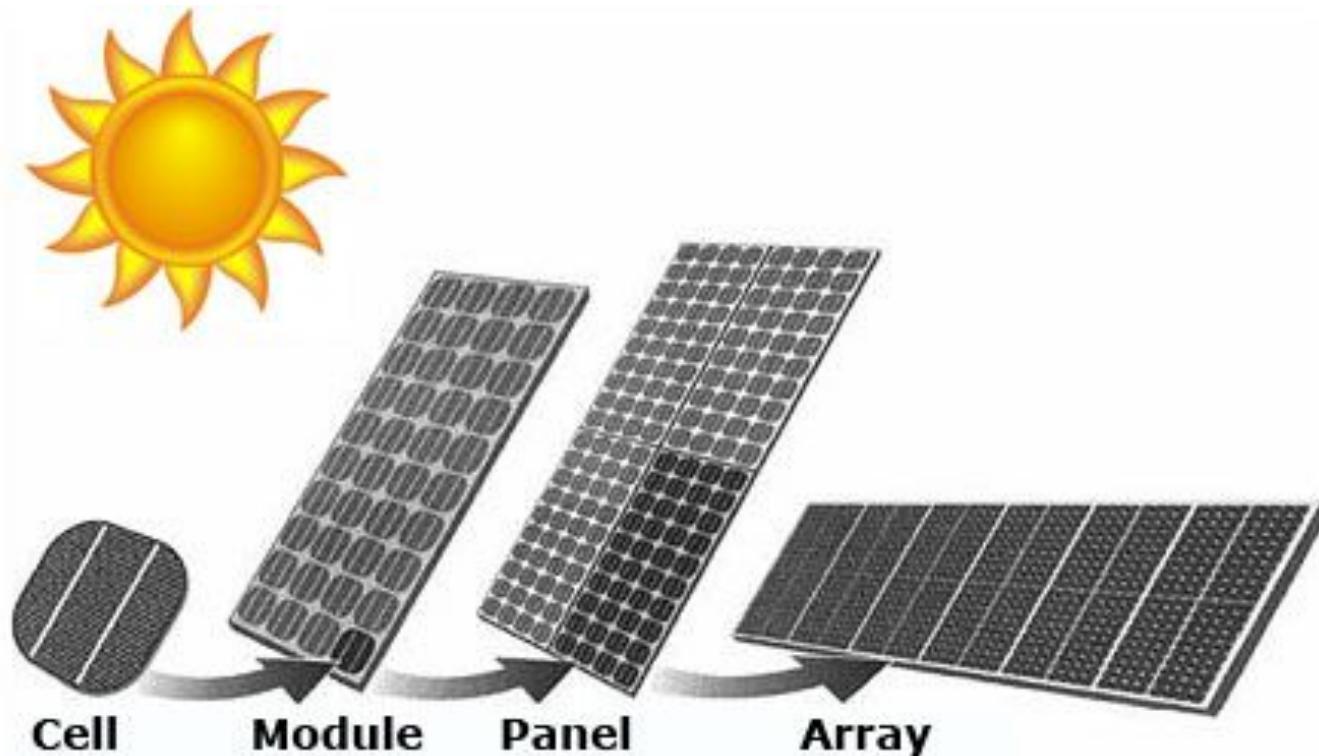
Proprietário	Empreendimento	C.E.G.	Subestação	Tipo	UF	Fonte	Combustível	Investimento (R\$)	Pot. (MW)	Pot. C.C. (MWp)	GF (MWh)	Lotes Contratados	Preço de Referência (R\$/MWh)	Total (MWh)	ICB (R\$/MWh)	Receita Fixa (R\$/ano)	Montante (R\$)
AES TIETE	AGUA VERMELHA IV	UFV.RS.SP.034206-6.01	AVERMELHA	ESO SP	UES	RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL	87.173.010,00	15.000	18.748	4.000	40	170,00	701.280,000	145,49	5.097.970,00	102.029.227,20	
AES TIETE	AGUA VERMELHA V	UFV.RS.SP.034207-6.01	AVERMELHA	ESO SP	UES	RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL	174.346.010,00	30.000	37.498	7.900	79	170,00	1.385.028,000	145,49	10.068.490,00	201.507.723,72	
AES TIETE	AGUA VERMELHA VI	UFV.RS.SP.034208-4.01	AVERMELHA	ESO SP	UES	RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL	174.346.010,00	30.000	37.498	7.900	79	170,00	1.385.028,000	146,66	10.149.459,00	203.128.206,48	

Proprietário	Empreendimento	C.E.G.	Subestação	Tipo	UF	Fonte	Combustível	Investimento (R\$)	Pot. (MW)	GF (MWh)	Lotes Contratados	Preço de Referência (R\$/MWh)	Total (MWh)	ICB (R\$/MWh)	Receita Fixa (R\$/ano)	Montante (R\$)
VOLTALIA PB	VILA PARAIBA II	EOL.CV.RN.036985-3.01	ACUIII500	ESO RN	UEE	VENTO		178.681.880,00	32.000	19.200	177	139,00	3.103.164,000	108,00	18.016.724,52	335.141.712,00
VOLTALIA PB	VILA PARAIBA III	EOL.CV.RN.036981-0.01	ACUIII500	ESO RN	UEE	VENTO		178.681.880,00	32.000	18.800	179	139,00	3.138.228,000	108,00	18.258.970,29	338.928.824,00

[19]

Sistemas Fotovoltaicos

Célula, Módulo e Painéis

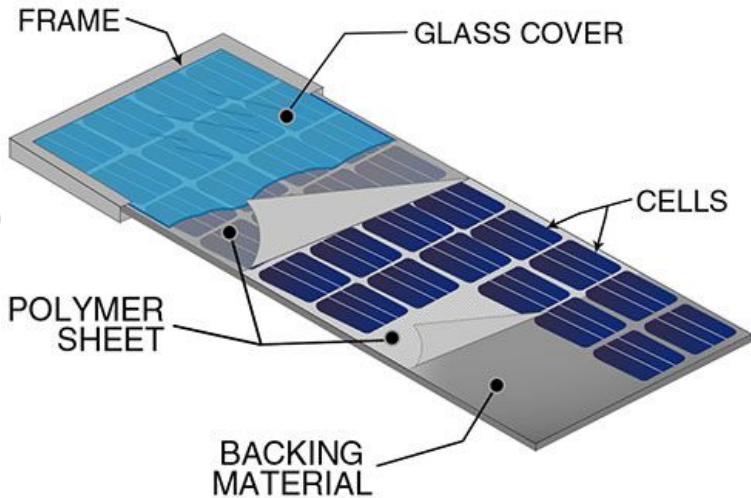
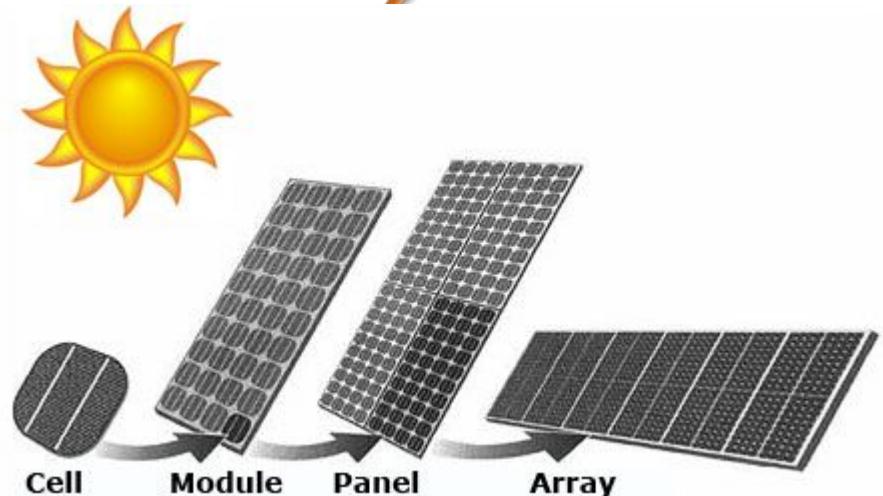


[20]

25

Sistemas Fotovoltaicos

Célula, Módulo e Painéis

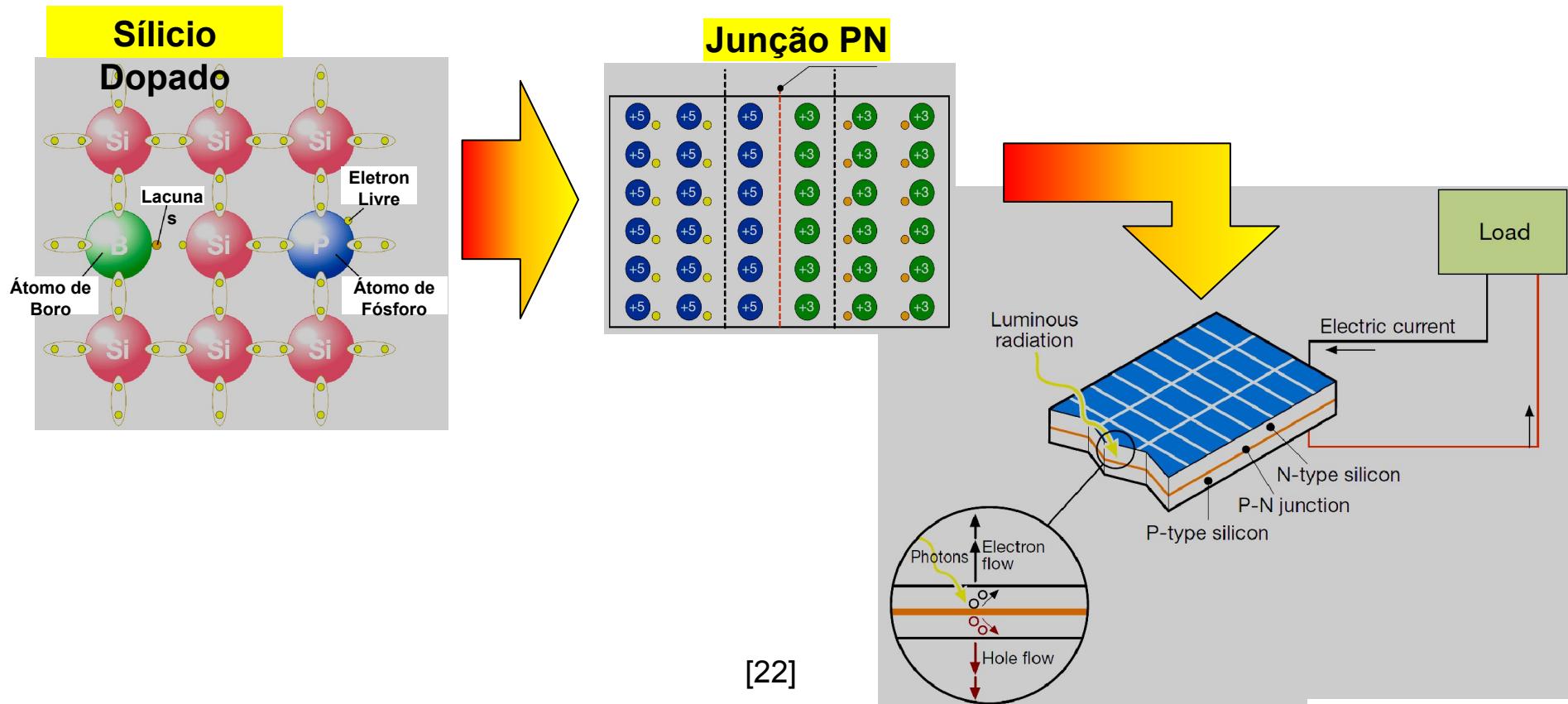


[21]



Sistemas Fotovoltaicos

Transforma a energia solar em energia elétrica diretamente (**Efeito Fotoelétrico**)



Sistemas Fotovoltaicos

Tecnologias

- Silício Monocristalino
 - Eficiência (η) de 14 a 21%
 - 3.2 a 3.5 €/W
- Silício Policristalino
 - Eficiência (η) de 12 a 17%
 - 2.2 a 3.3 €/W



Sistemas Fotovoltaicos

Tecnologias

- Filme Fino
 - a-Si (Silício Amorfo), $\eta = 5$ a 6%
 - CdTe(S) (Telureto de Cádmio (Sulfito de Cádmio)), $\eta = 10$ a 11% (1.5-2.2 €/W)
 - CIGS (Cobre-Índio-Gálio-Selênio), $\eta = 10$ a 11%, ainda em desenvolvimento (2.2-2.5 €/W)
 - GaAs (Arseneto de Gálio), $\eta = 25$ a 30%, elevado custo



Sistemas Fotovoltaicos

Tecnologias

Tecnologia	Filme Fino			Células cristalinas		Multi junção
	(a-Si)	(CdTe)	Cl(G)S	mc-Si	pc-Si	CPV III-V
Eficiência da célula	4-8%	10-11%	7-12%	16-22%	14-18%	30-38%
Eficiência do Módulo				13-19%	11-15%	~25%
Área Necessária por kW	~15m ²	~10m ²	~10m ²	~7m ²	~8m ²	

[23]

Sistemas Fotovoltaicos

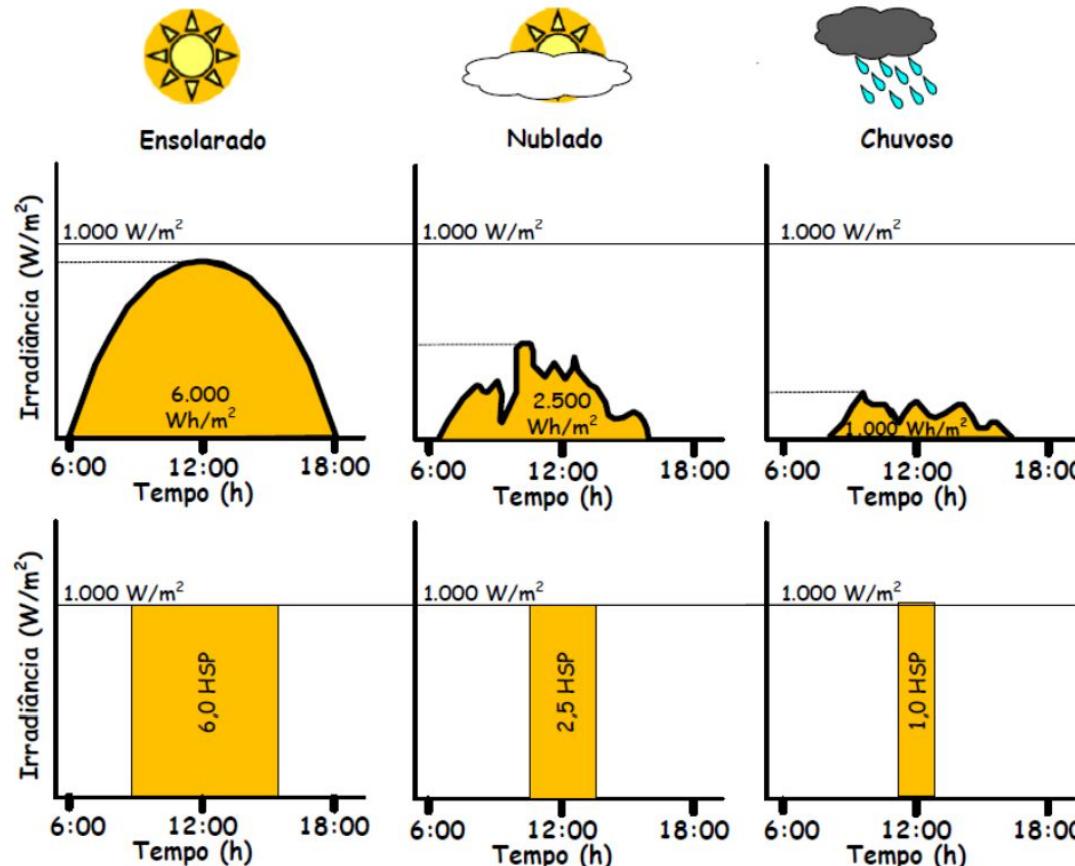
Potência Nominal de Pico

- É a potência que a planta poderá fornecer sob as condições padrão de teste (STC)
 - Radiação Solar perpendicular = **1,0 kW/m²**
 - Temperatura da Célula = **25°C**
 - Massa do Ar = **1,5**

Na linha do equador ao meio dia,
no equinócio, a massa de ar = 1,0
Influencia na sensibilidade das
células

Sistemas Fotovoltaicos

Horas de Sol Pleno



[24]

Sistemas Fotovoltaicos

Comparativo HE x FV

- Usina de Itaipu

- Área do Lago = 1350 km²
- Potência Instalada = 1,4 GW
- Potência/área = 10,37 W/m²
- Energia Gerada em 2017: 96 TWh



[25]

Sistemas Fotovoltaicos

Comparativo HE x FV

- Usina de Itaipu

- Área do Lago = 1350 km²
- Potência Instalada = 1,4 GW
- Potência/área = 10,37 W/m²
- Energia Gerada em 2017: 96 TWh



[25]

Potência/área Solar FV > 100 W/m²

Sistemas Fotovoltaicos

Comparativo HE x FV

- Usina de Itaipu

- Área do Lago = 1350 km²
- Potência Instalada = 1,4 GW
- Potência/área = 10,37 W/m²
- Energia Gerada em 2017: 96 TWh

Potência/área Solar FV > 100 W/m²

Potência equivalente > 135 GW



[25]

Energia gerada (considerando HSP = 6h) = 236 TWh

**A FONTE SOLAR FOTOVOLTAICA É
INTERMITENTE, PORTANTO NÃO TEM A
CONTROLABILIDADE QUE A HIDRELÉTRICA
POSSUI**

Sistemas Fotovoltaicos

Inclinação e Orientação dos Painéis

Sistemas Fotovoltaicos

Inclinação e Orientação dos Painéis

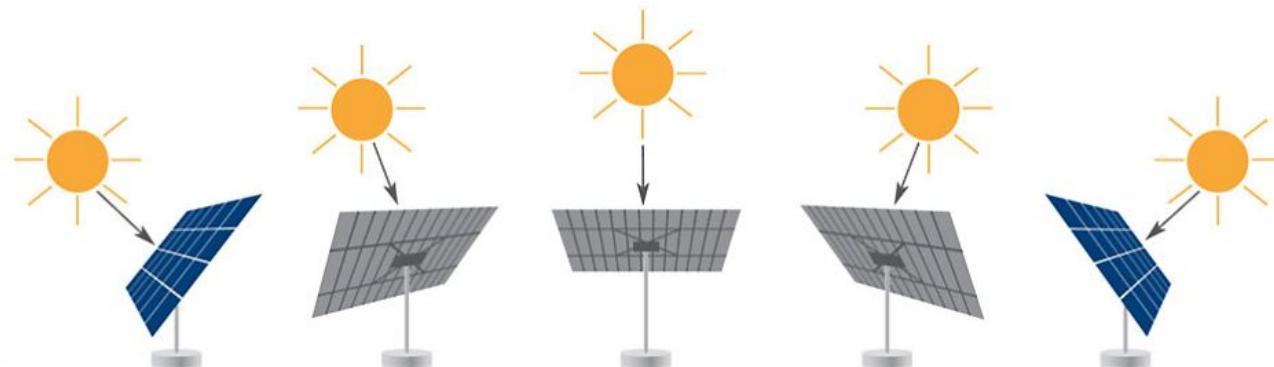
- Seguidor Solar



Sistemas Fotovoltaicos

Inclinação e Orientação dos Painéis

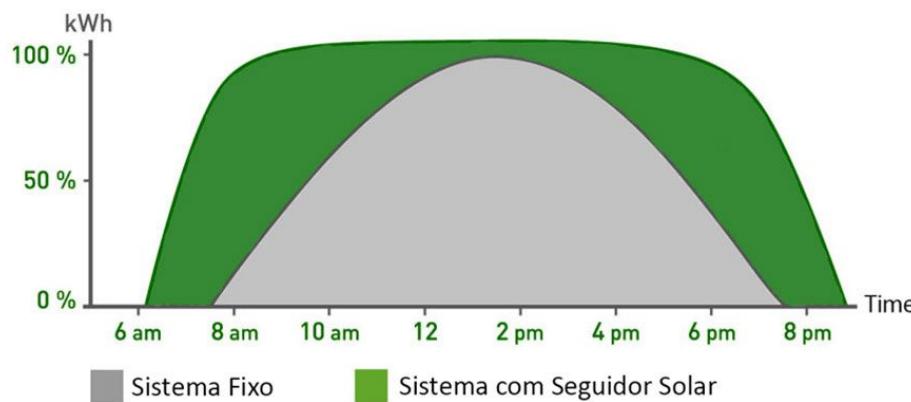
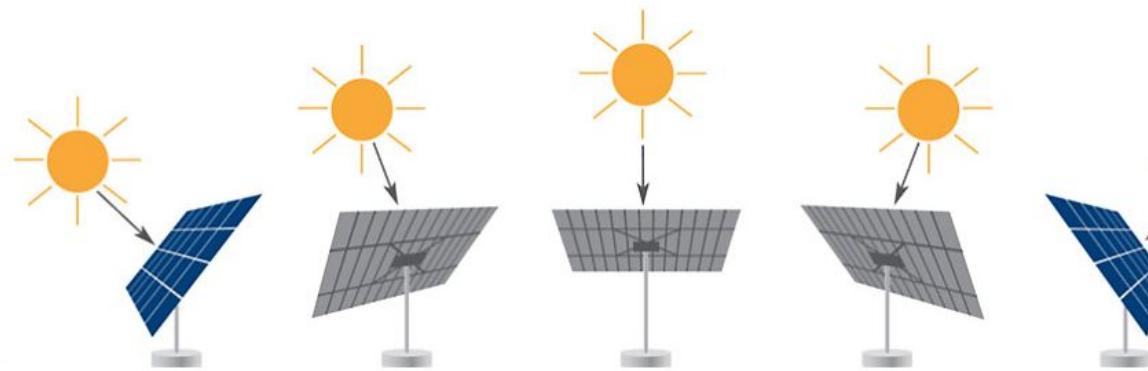
- Seguidor Solar



Sistemas Fotovoltaicos

Inclinação e Orientação dos Painéis

- Seguidor Solar



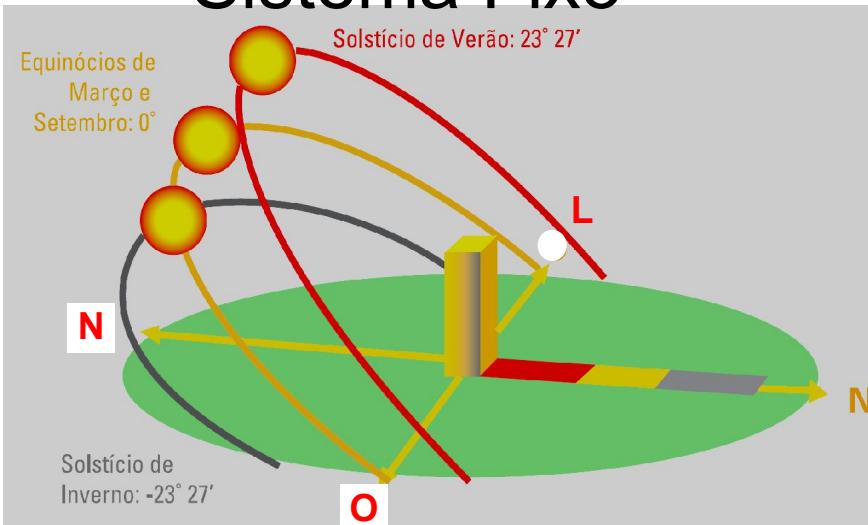
Os custos de instalação
e manutenção são altos

[26]

Inclinação e Orientação dos Painéis

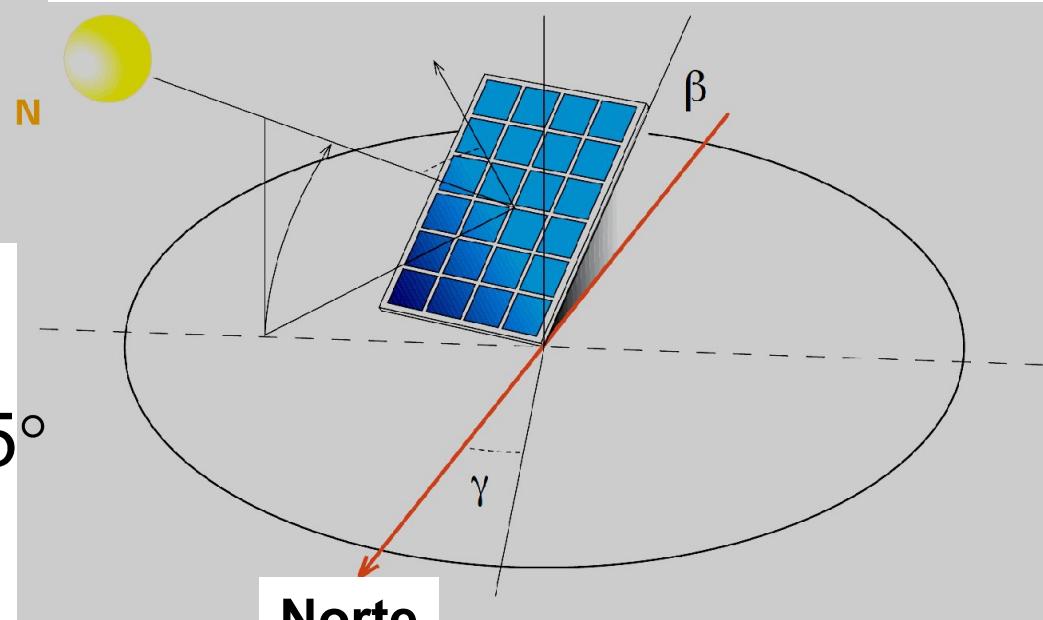
Inclinação e Orientação dos Painéis

- Sistema Fixo



$$\beta = 90^\circ - \alpha$$

$$\alpha \approx 90^\circ \pm \text{latitude} \mp 23,45^\circ$$



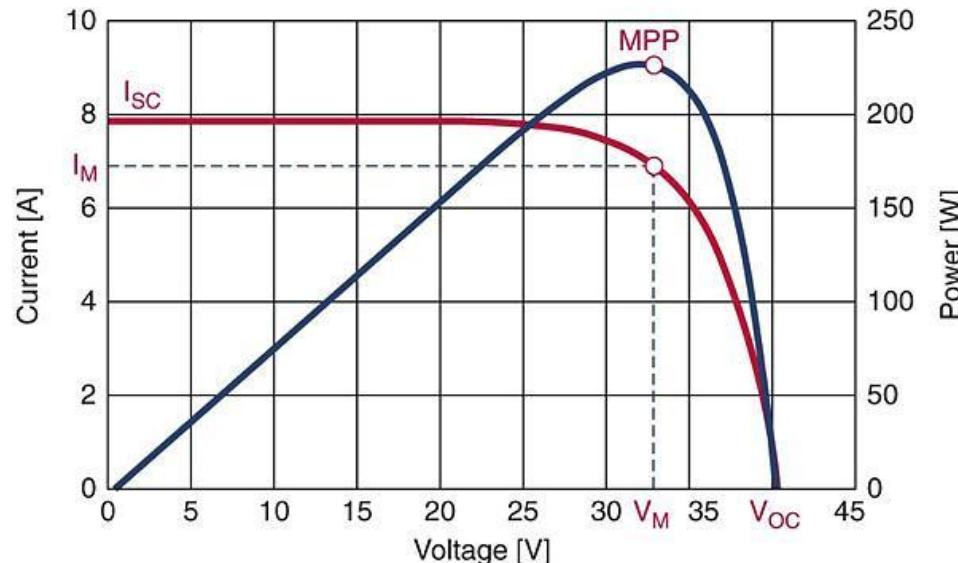
[23]

40

Sistemas Fotovoltaicos

Curvas Características

Temperatura e irradiância constantes



[27]

ENERGIA SOLAR

VERDADE OU MENTIRA?



A placa solar gera energia
em dias nublados?



ENERGIA SOLAR

VERDADE OU MENTIRA?



A placa solar gera energia
em dias nublados?

Verdade!

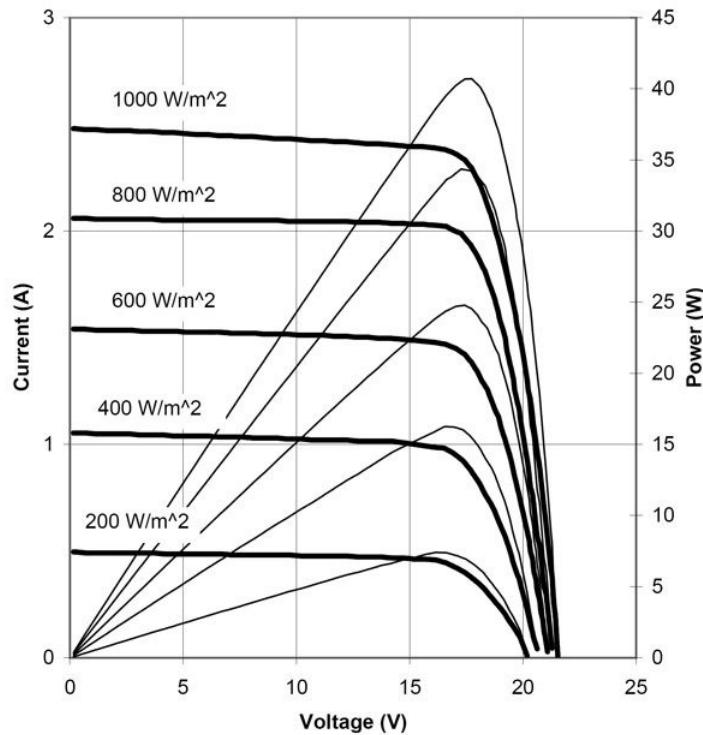


Sistemas Fotovoltaicos

Curvas Características

Temperatura constante e irradiância variável

Cell Temperature: 25°C

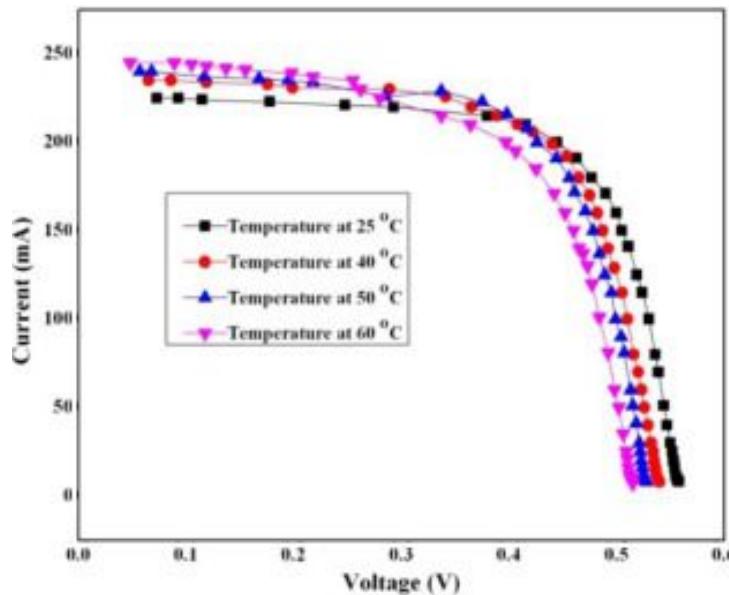


[27]

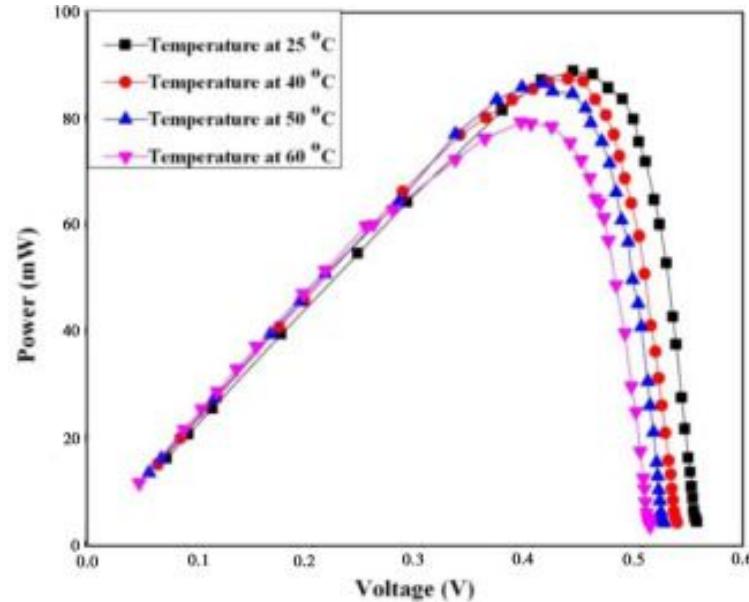
Sistemas Fotovoltaicos

Curvas Características

Irradiância constante e temperatura variável

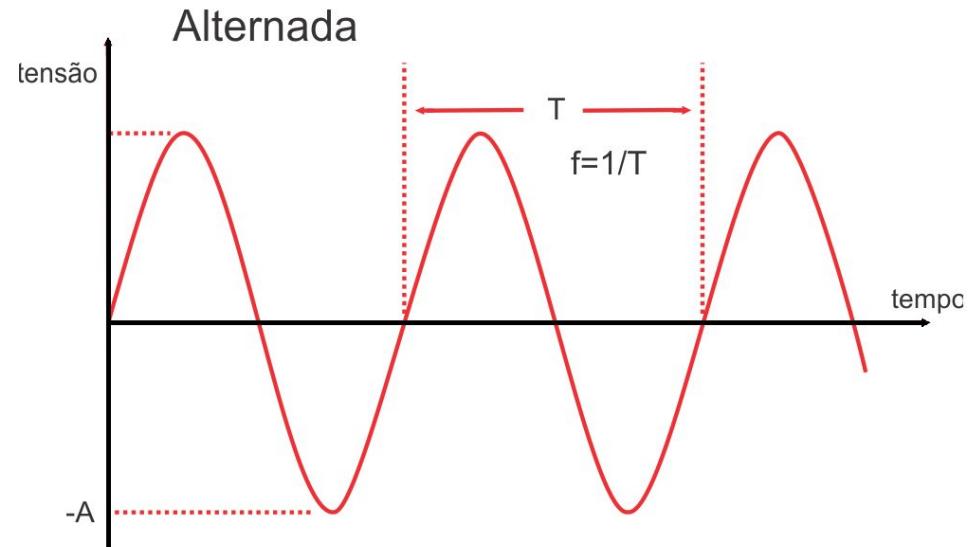
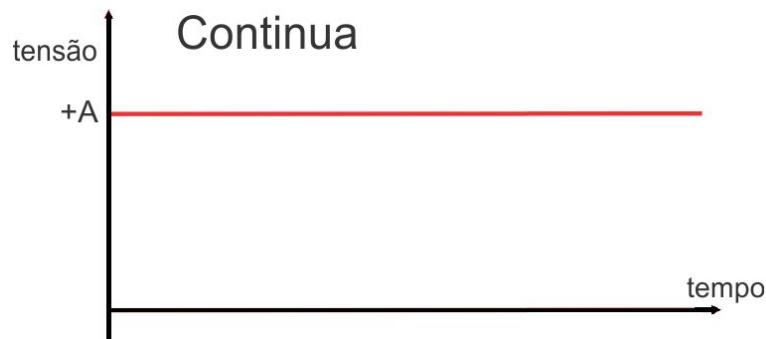


[27]



Sistemas Fotovoltaicos

Tensão Contínua vs Alternada

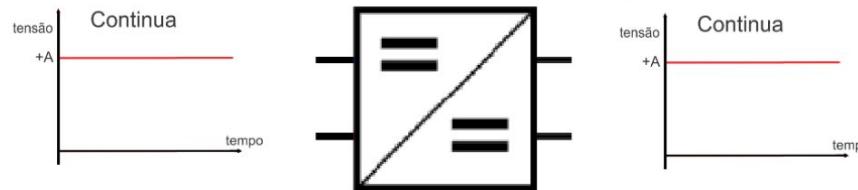


[28]

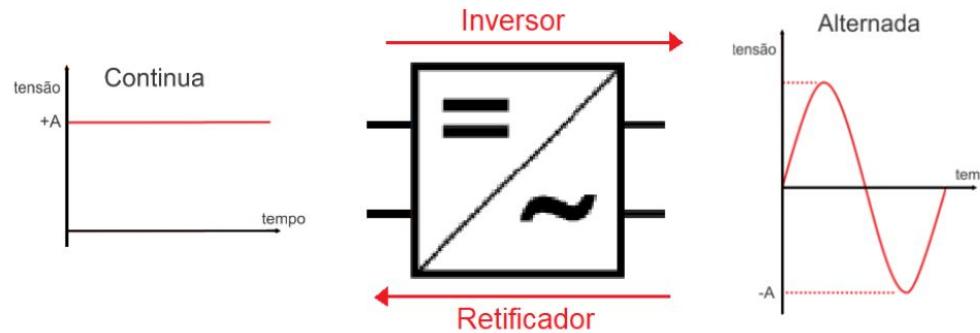
Sistemas Fotovoltaicos

Eletrônica de Potência: está mais presente na sua vida do que talvez você possa imaginar!

Conversor CC/CC

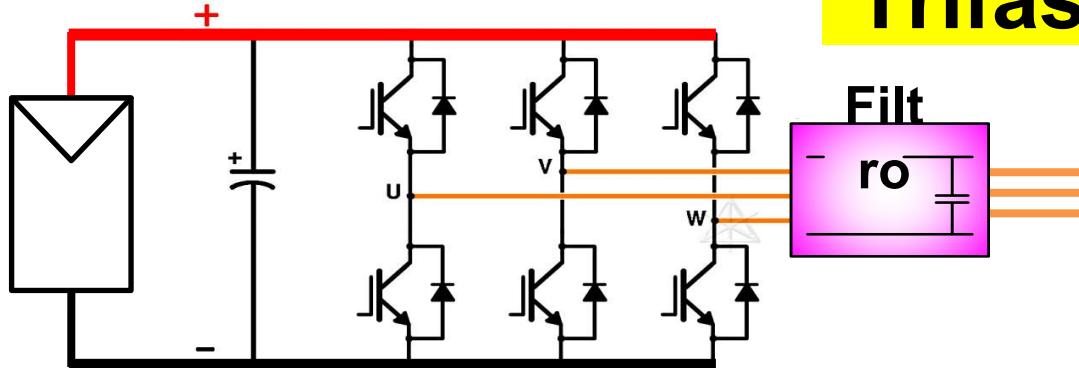


Conversor CC/CA



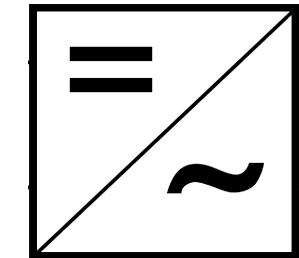
Sistemas Fotovoltaicos

Inversores

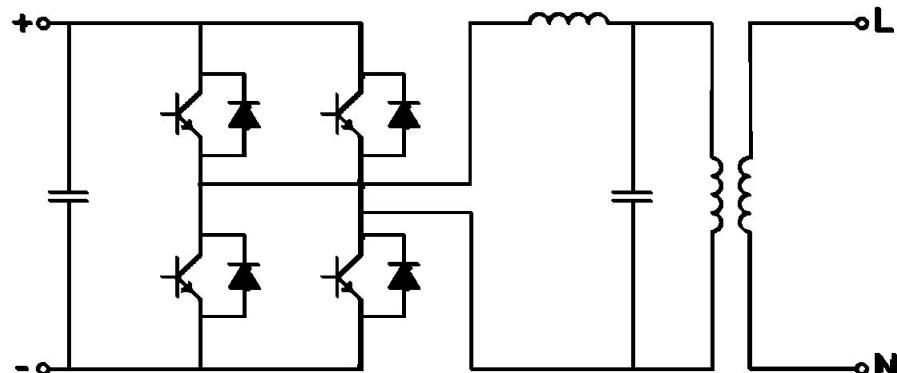


Trifásico

Símbolo



Monofásic



O

Pode ter um
conversor CC/CC
para elevar a tensão
do elo CC

[23]

Sistemas Fotovoltaicos

- Sistemas Isolados (com armazenamento)



[29]

Sistemas Fotovoltaicos

Sistemas Isolados (com armazenamento)

Vantagens e Desvantagens

- Energia Disponível em Locais Remotos;
- Independência Energética;
- Alto Custo -> Payback mais longo
- Baterias têm limite de armazenamento de energia

Para empreendimentos particulares, não há necessidade de adequação a Normas referentes a redes de distribuição

Sistemas Fotovoltaicos

Resolução Normativa ANEEL nº 493/2012: atendimento
aos sistemas isolados

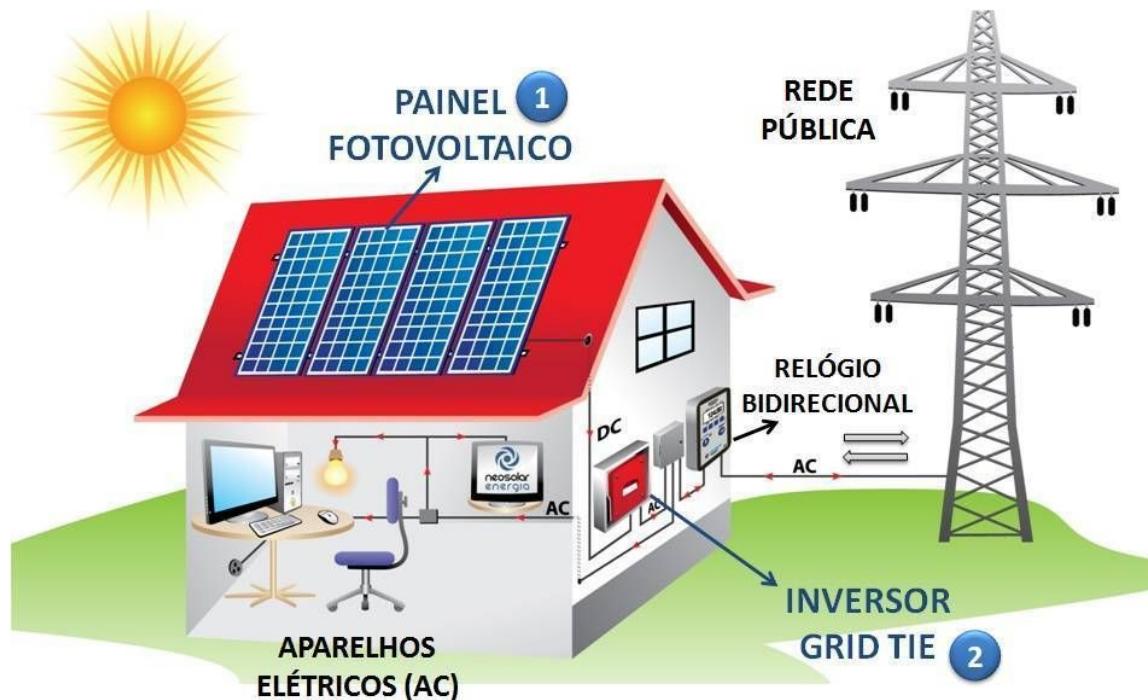
- Microssistema isolado de geração e distribuição de energia elétrica – MIGDI: $P_n \leq 100 \text{ kW}$
- Sistema individual de geração de energia elétrica com fonte intermitente – SIGFI



[30], [31]

Sistemas Fotovoltaicos

- Pequenas e médias instalações de consumidores, conectadas à rede

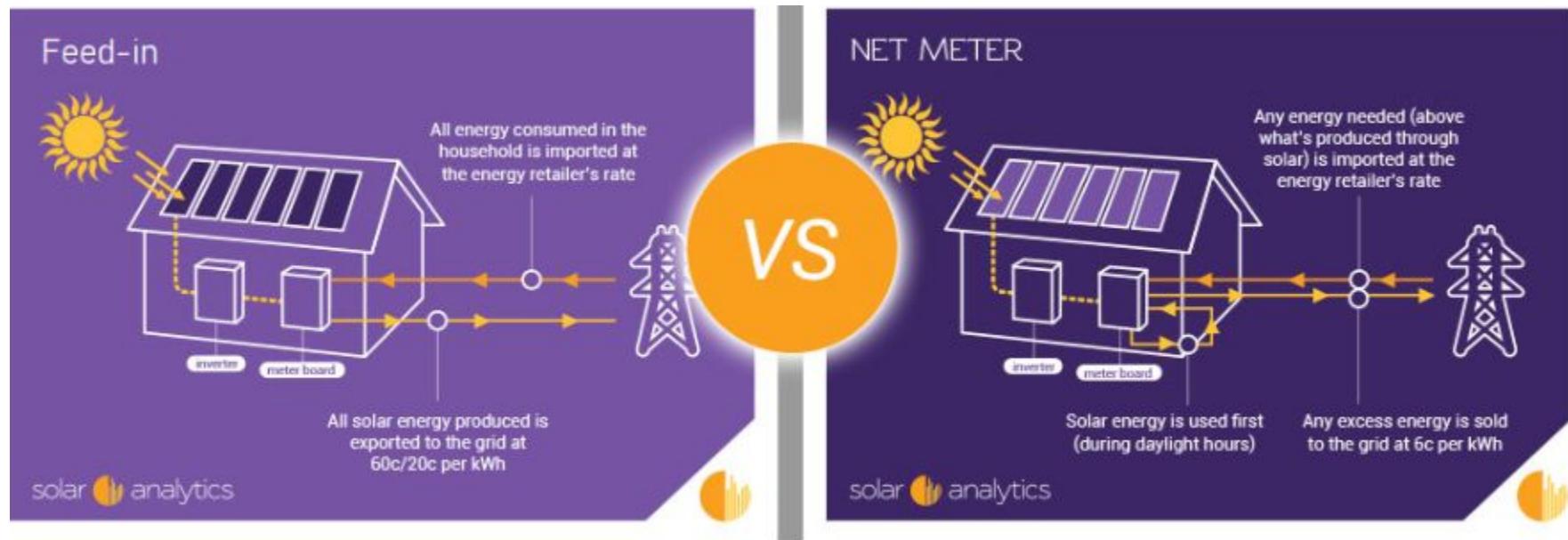


[32]

Sistemas Fotovoltaicos

Mecanismos de Incentivo no Mundo

- *Feed-in*
- Sistema de compensação de energia elétrica (*Net Metering*)



[33]

Sistemas Fotovoltaicos

Resolução Normativa ANEEL nº 482/12 (atualizada pela REN 687/15): sistemas de microgeração e minigeração distribuída

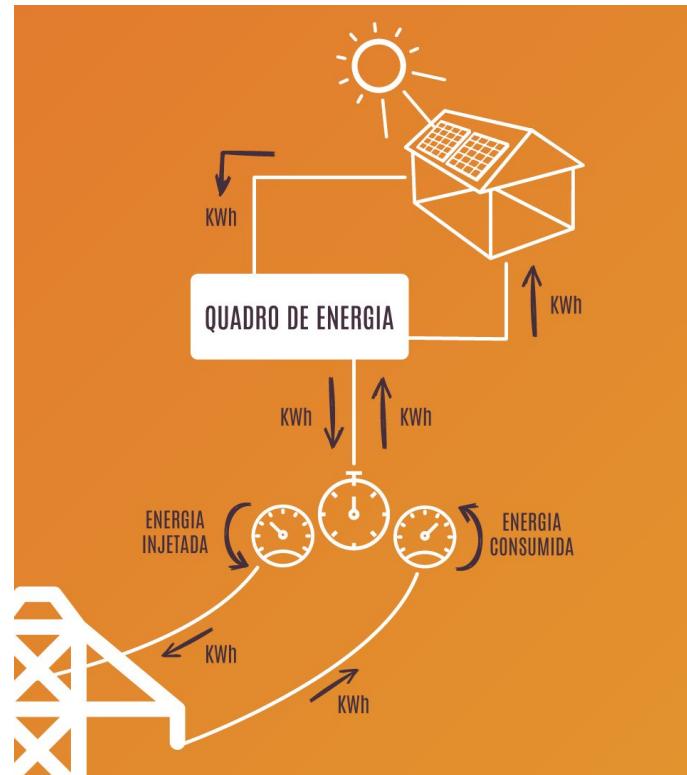
Central Geradora	Potência instalada
Microgeração	$P_n \leq 75 \text{ kW}$
Minigeração	$75 \text{ kW} < P_n \leq 5 \text{ MW}$

[34]

Sistemas Fotovoltaicos

Resolução Normativa ANEEL nº 482/12 (atualizada pela REN 687/15): sistemas de microgeração e minigeração distribuída

Sistema de compensação de energia elétrica: a energia injetada por unidade consumidora é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa



[35]

Sistemas Fotovoltaicos

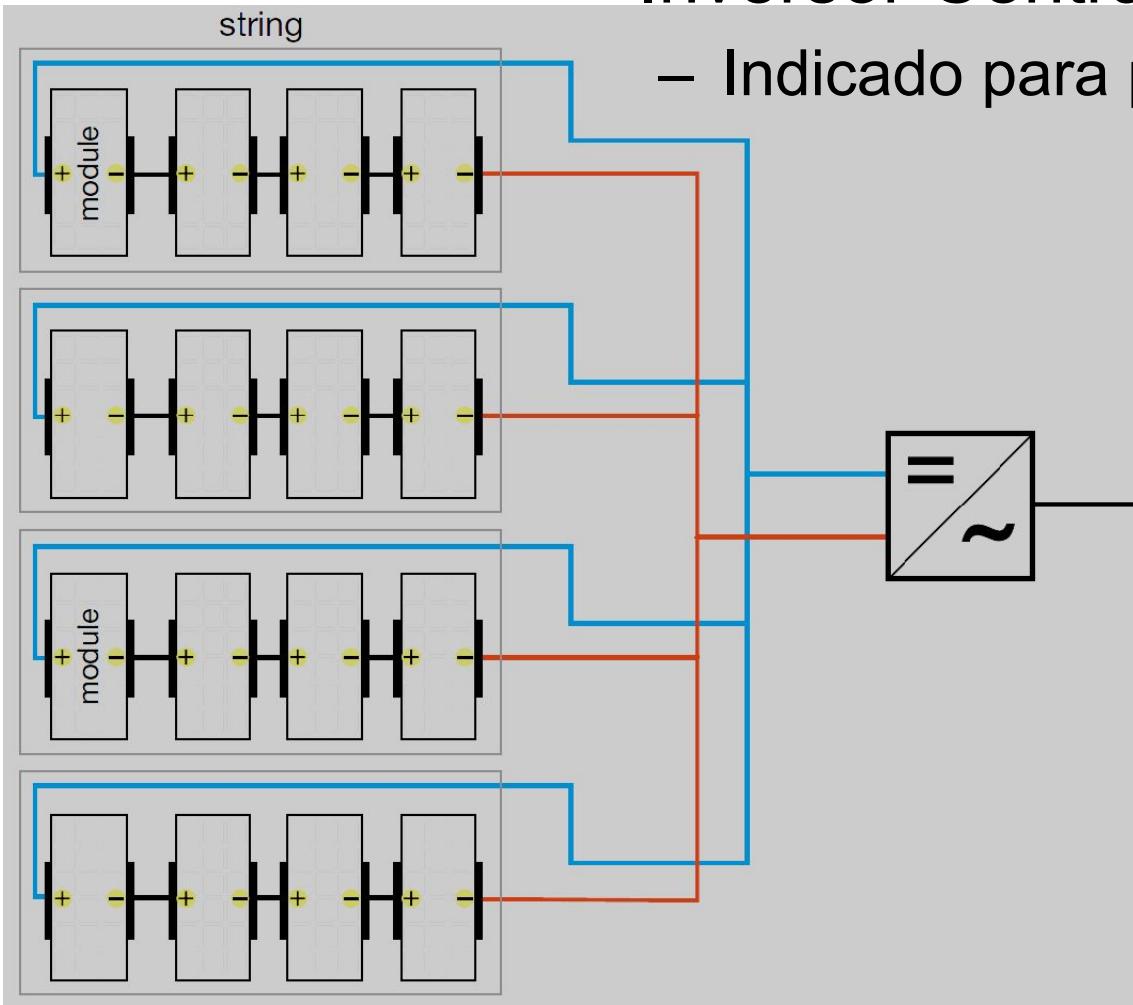
Resolução Normativa ANEEL nº 687/15: novas possibilidades para o consumidor utilizar os créditos de energia

- Geração compartilhada
- Autoconsumo remoto
- Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (condomínios)

[36]

Sistemas Fotovoltaicos

- Inversor Central ou Inversor Simples
 - Indicado para plantas pequenas

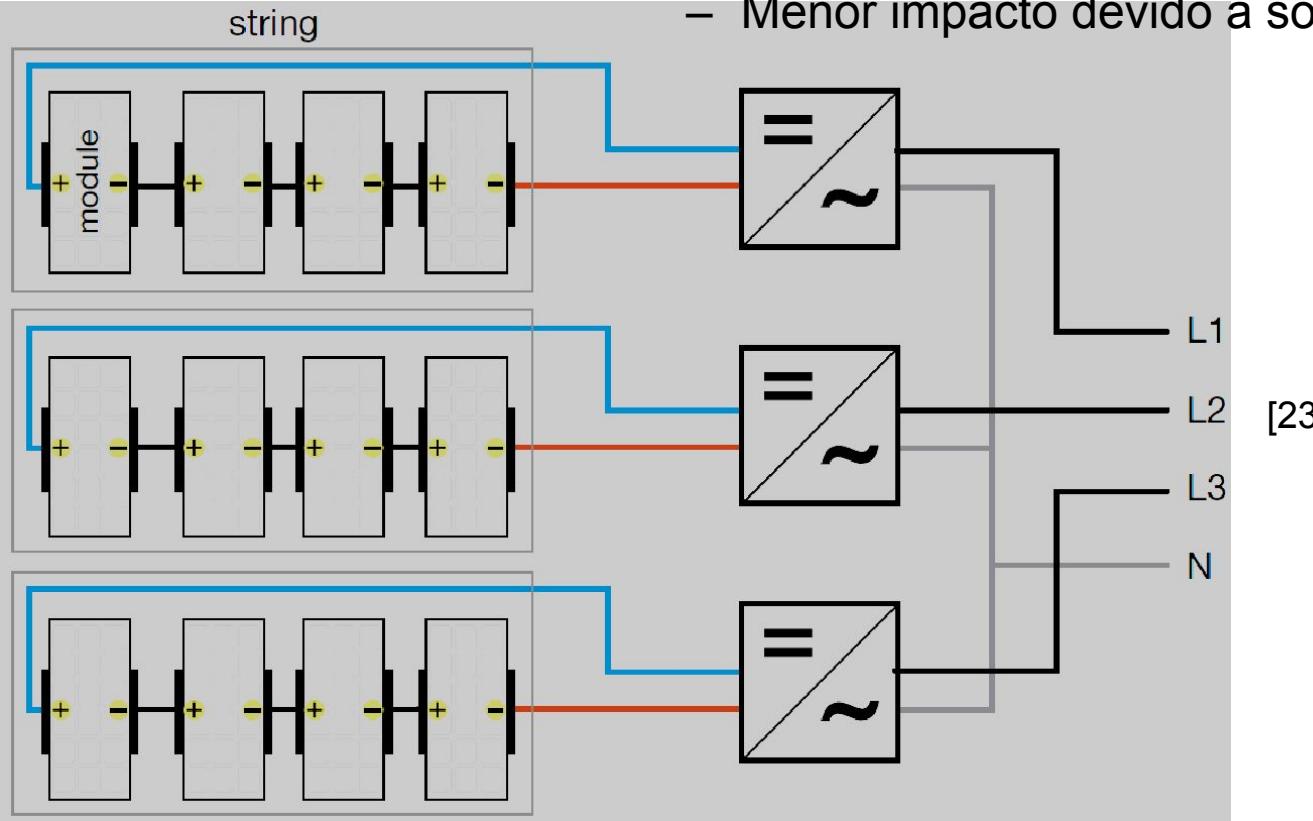


[23]

Sistemas Fotovoltaicos

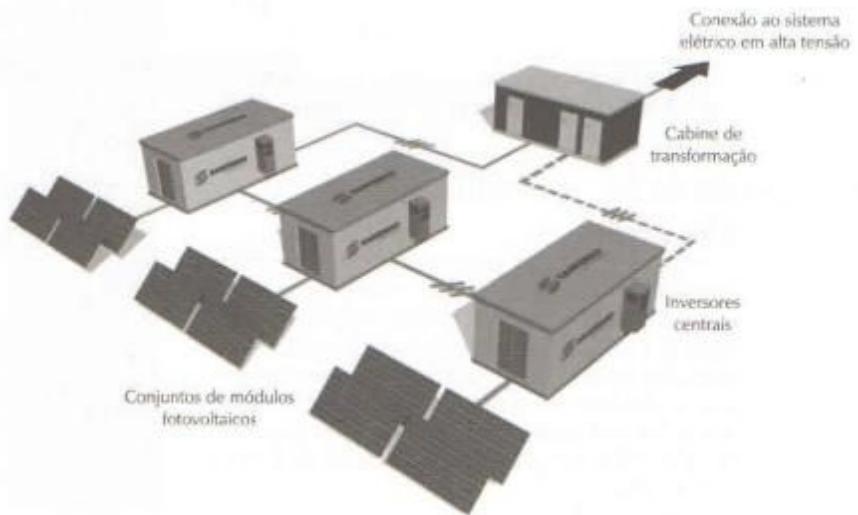
- Um inversor por String

- Indicado para plantas de médio porte
- Módulos diferentes podem ser usados em cada string
- Menor impacto devido a sombreamento



Sistemas Fotovoltaicos

Usinas fotovoltaicas geralmente conectadas à rede em MT



[37]

Sistemas Fotovoltaicos

Leilões de Geração

- Leilão de Energia de Reserva
- Leilão de Energia Nova
- Leilão de Fontes Alternativas

Cemig compra 431,5 MW de energia solar e eólica em leilão

A companhia não informou os valores dos contratos fechados e nem as empresas vendedoras

Por [Luciano Costa, da Reuters](#)
© 7 jun 2018, 10h13 - Publicado em 7 jun 2018, 10h06

[38]

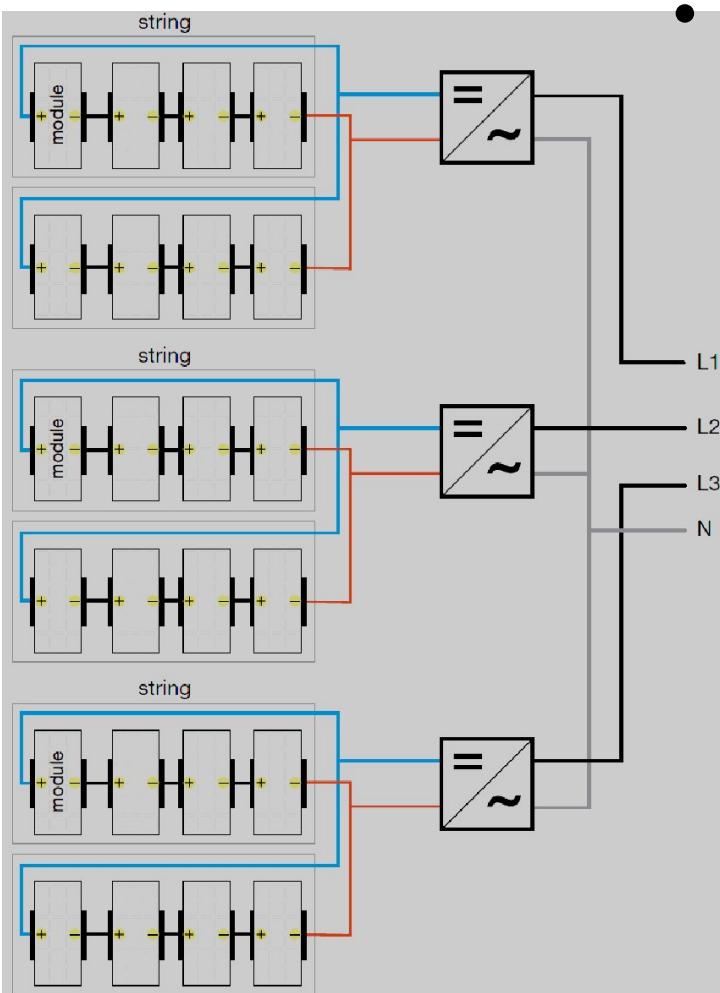
Leilão de Geração A-4/2018

Resumo de Projetos Vendedores

Fonte	Projetos	Oferta (MW)	GF (MWmed)
Eólica	4	114	57,70
Fotovoltaica	29	807	240,50
Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH	2	35	17,56
Centrais Geradoras Hidrelétricas - CGH	2	7	5,93
Termelétricas a Biomassa	2	62	34,50
Total	39	1.024	356,19

[39]

Sistemas Fotovoltaicos



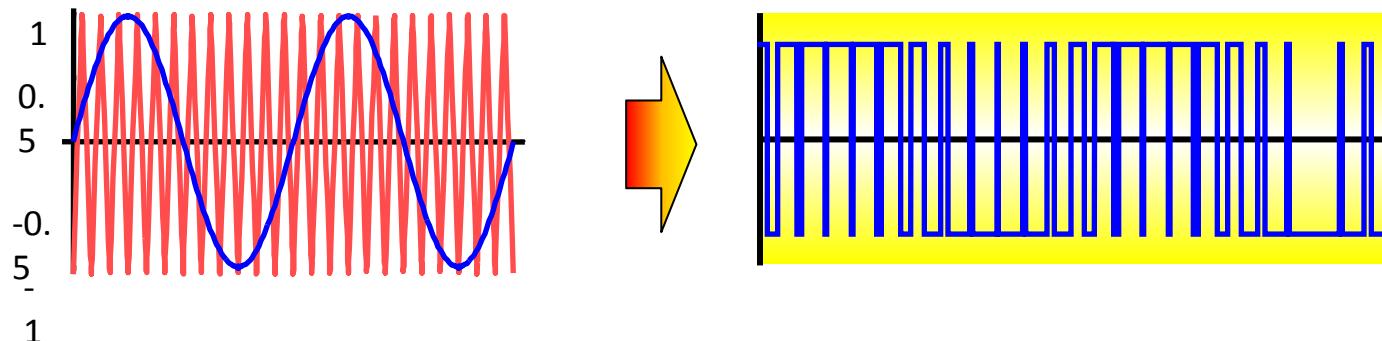
- Multi-Inversor

- Indicado para plantas de grande porte
- Planta dividida em “subplantas”

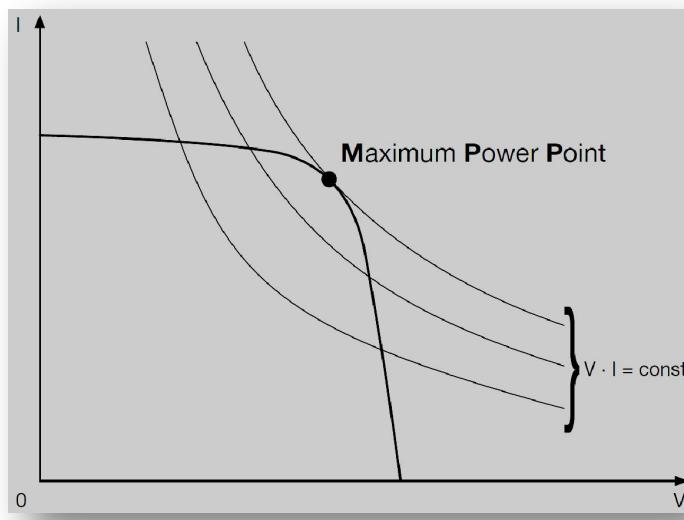
[23]

Sistemas Fotovoltaicos

- Modulação PWM



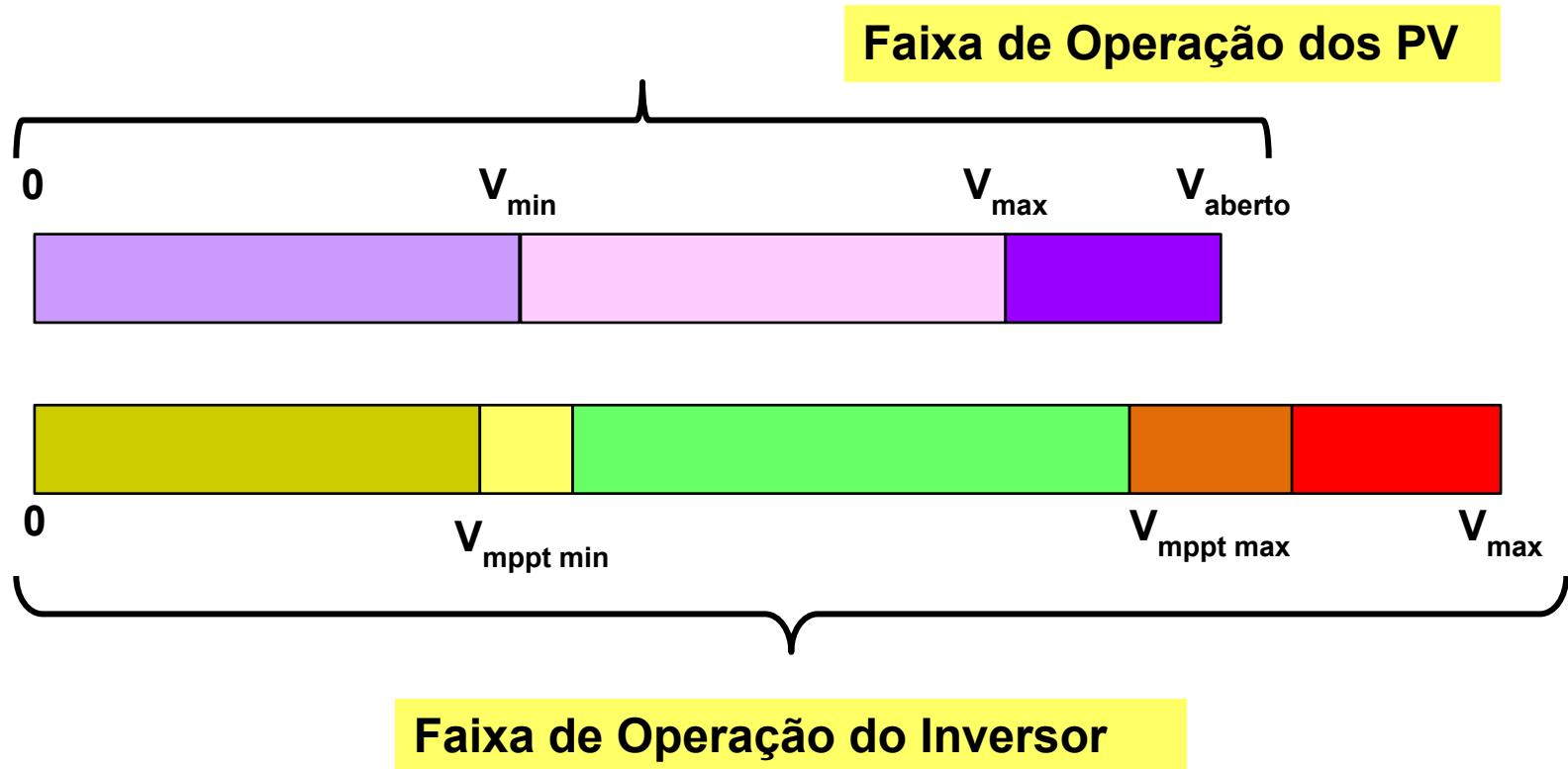
- Seguidor de Máxima potência



[23]

Sistemas Fotovoltaicos

- Faixas de operação do inversor e dos PV



[23]

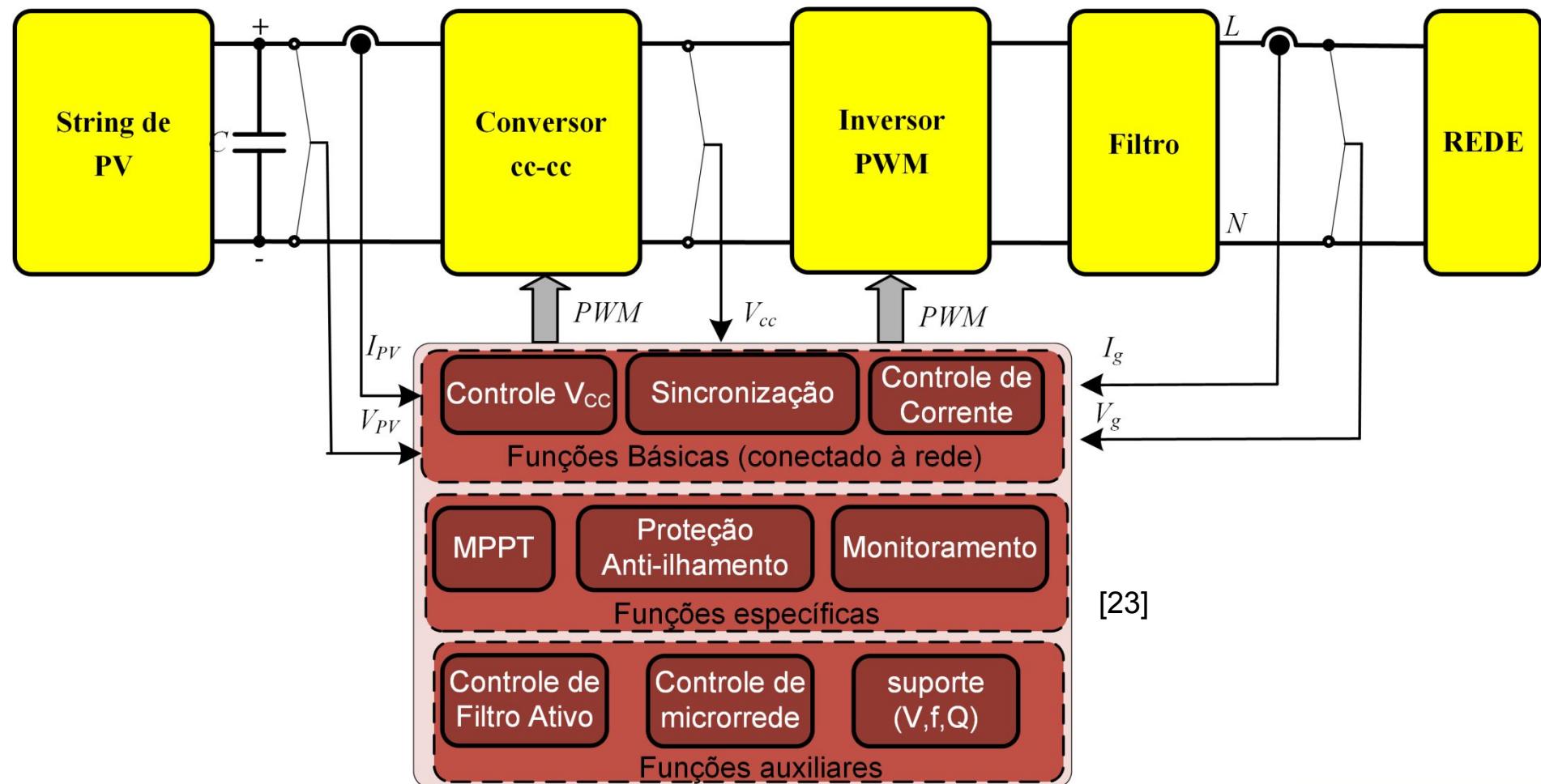
Sistemas Fotovoltaicos



[23]

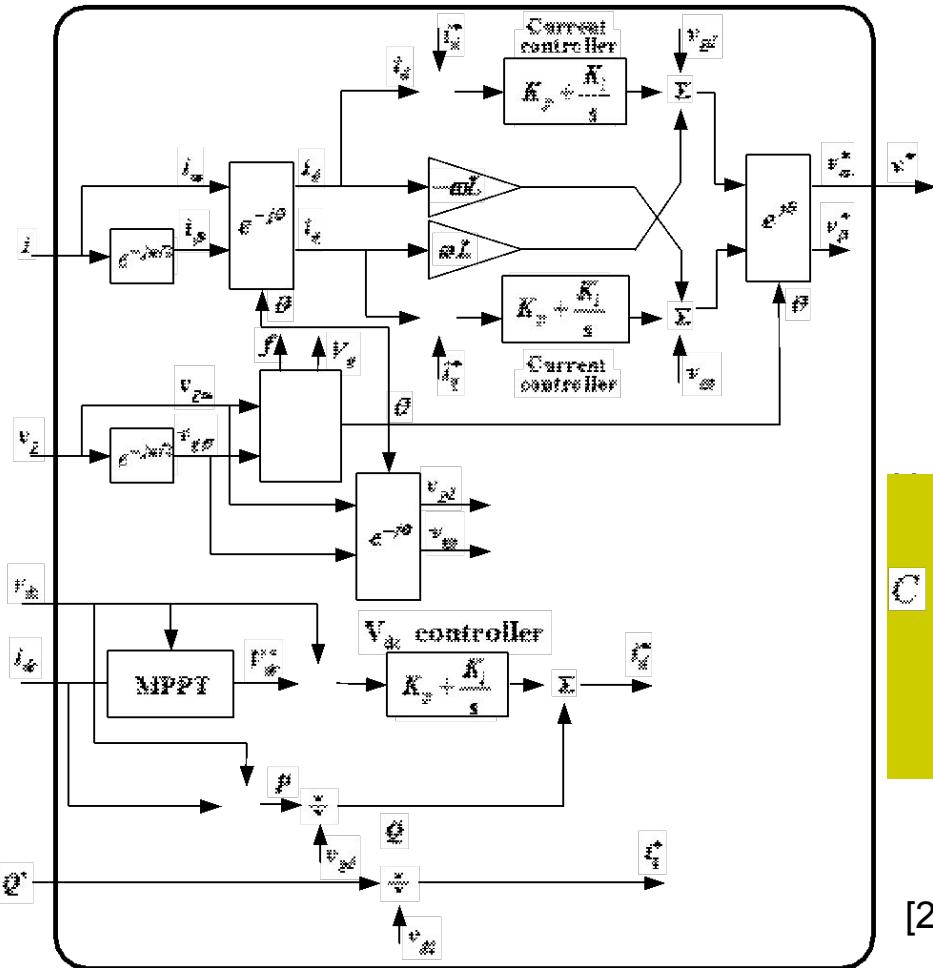
Sistemas Fotovoltaicos

Controle do Inversor

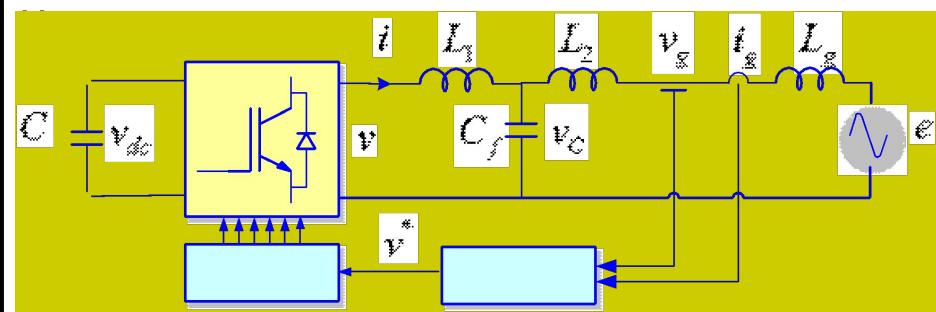


Sistemas Fotovoltaicos

Controle do Inversor



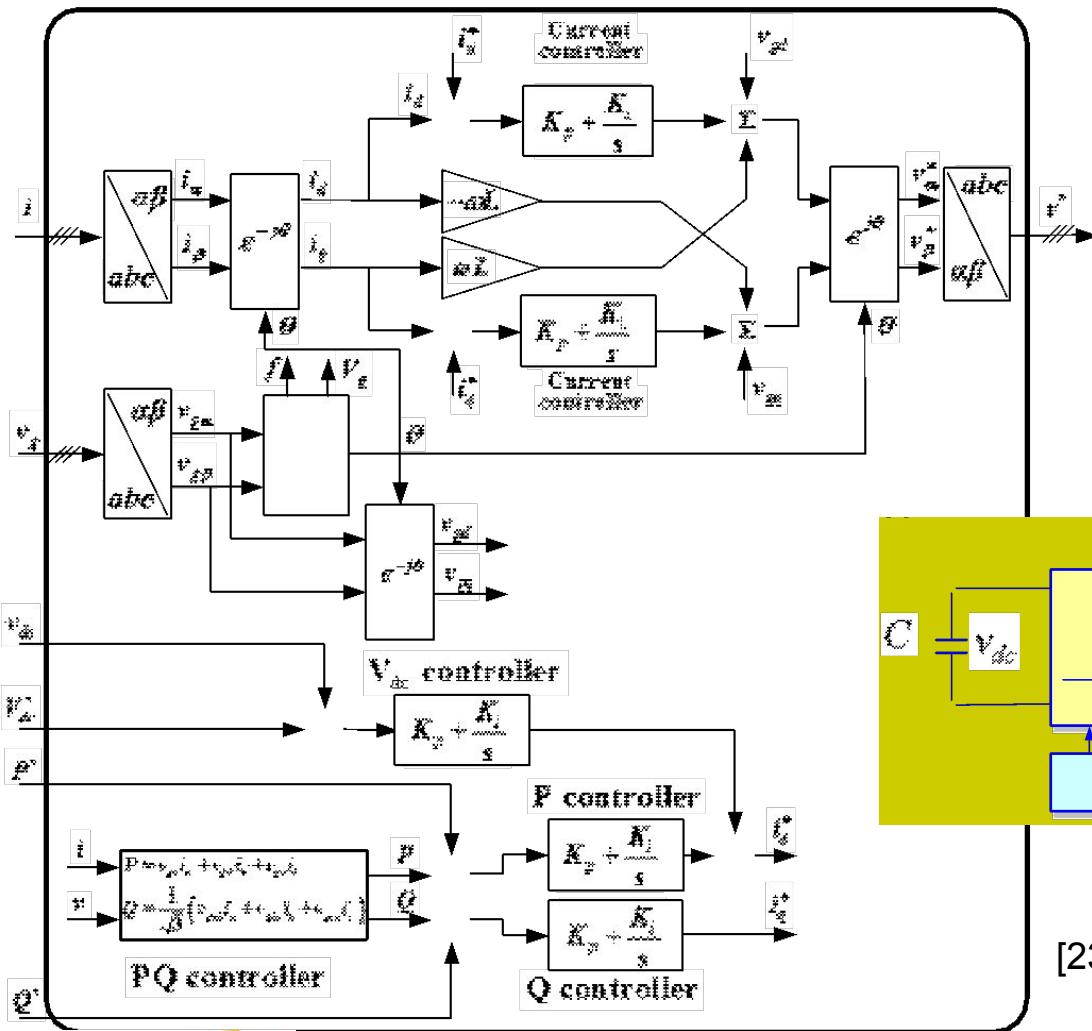
Monofásico



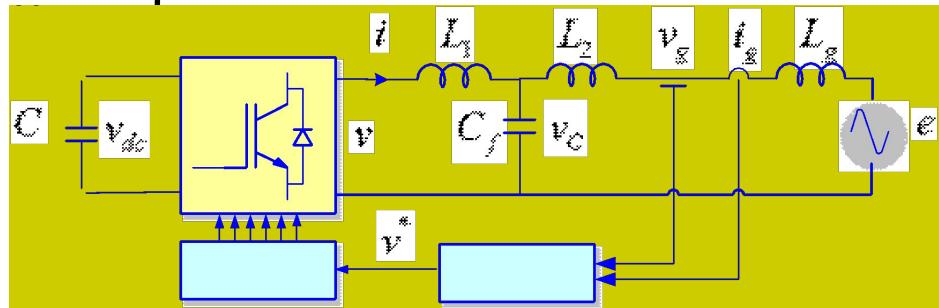
[23]

Sistemas Fotovoltaicos

Controle do Inversor



Trifásico



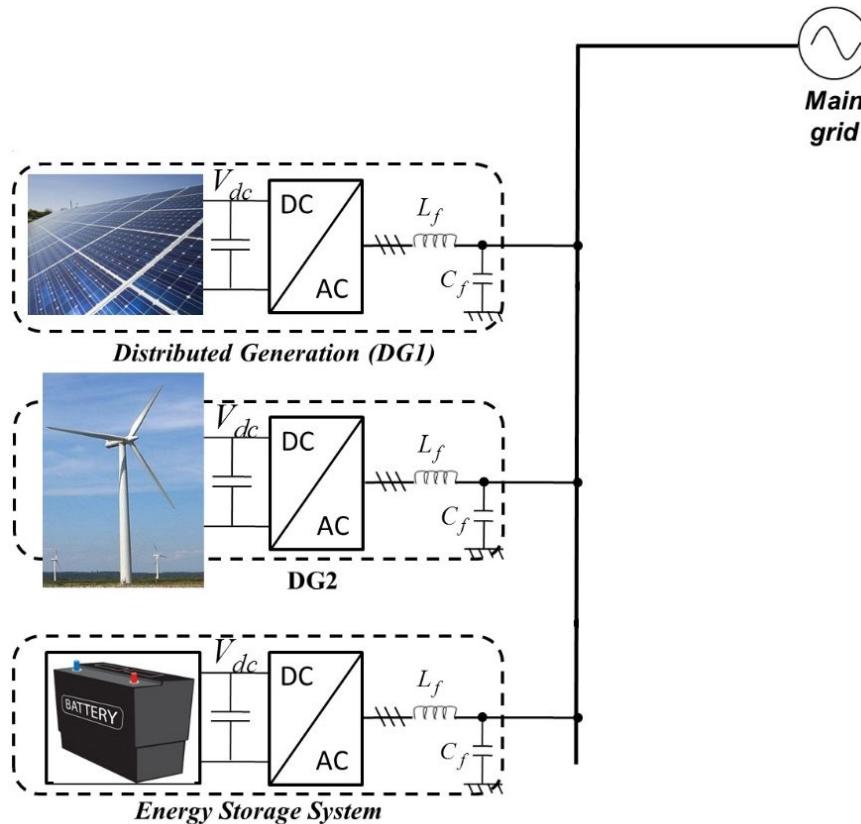
[23]

- Recurso Solar
- Sistemas de Conversão Fotovoltaicos
- **Desafios Técnicos e Questões Ambientais**
- Legislação e Procedimentos
- Mercado Nacional
- Aplicações com Energia Solar para Além da rede Elétrica
- Novas Tecnologias



Desafios para o Sistema Elétrico

- Não despachável: caráter intermitente das fontes renováveis

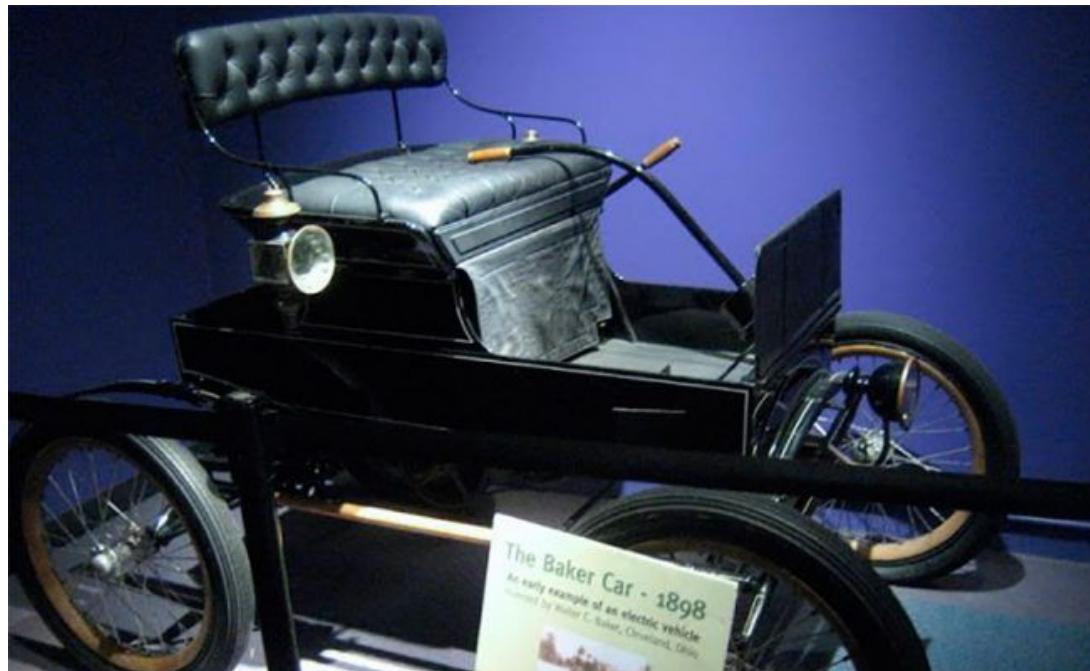


[40]

Desafios para o Sistema Elétrico

O gargalo do armazenamento de energia

Baker Motor Vehicle Company, 1898



[41]

Desafios para o Sistema Elétrico

Tecnologias de Armazenamento de Energia

Baterias de chumbo ácido (MWh)



[42]

Baterias de Lítio (MWh)



- Li-ion
- Li-Po
- LiFePo4



[43]

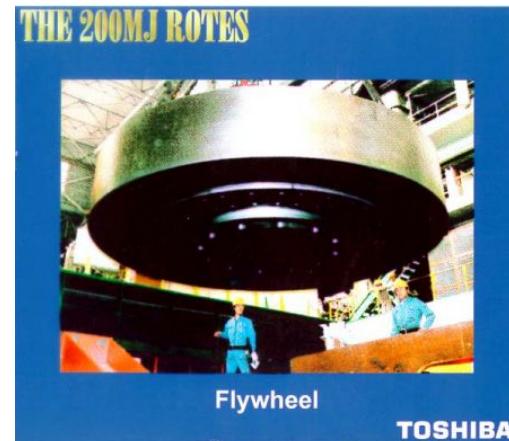
Desafios para o Sistema Elétrico

Tecnologias de Armazenamento de Energia

Flywheel (kWh)

Energia equivalente a um tanque

de combustível de um carro (55kWh)



[44]

72

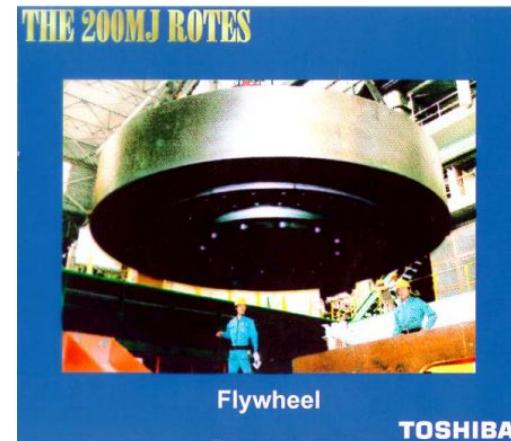
Desafios para o Sistema Elétrico

Tecnologias de Armazenamento de Energia

Flywheel (kWh)

Energia equivalente a um tanque

de combustível de um carro (55kWh)



Ar comprimido (GWh)

armazenamento de ar em alta pressão

em minas abandonadas

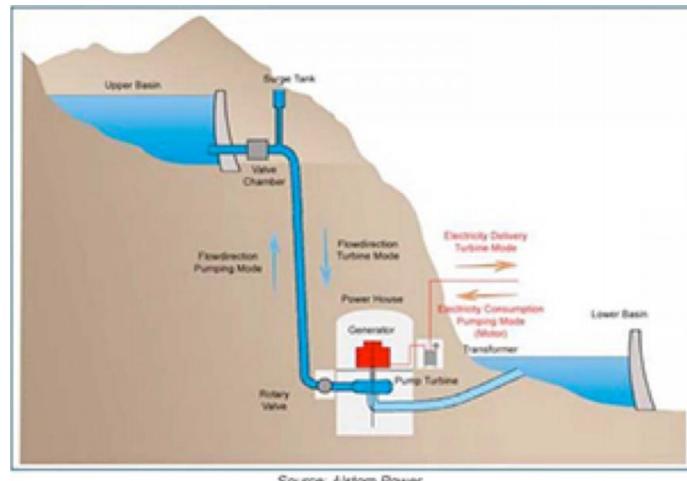


[44]

Desafios para o Sistema Elétrico

Tecnologias de Armazenamento de Energia

Usinas Reversíveis (GWh)



Source: Alstom Power

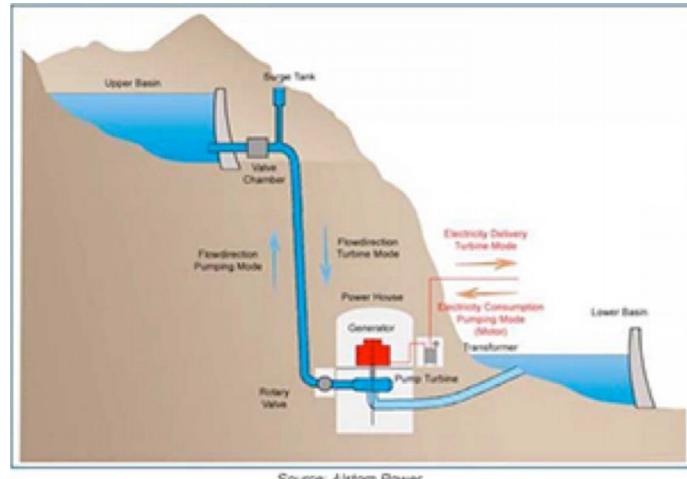
[44]

74

Desafios para o Sistema Elétrico

Tecnologias de Armazenamento de Energia

Usinas Reversíveis (GWh)



Supercapacitor (kWh)

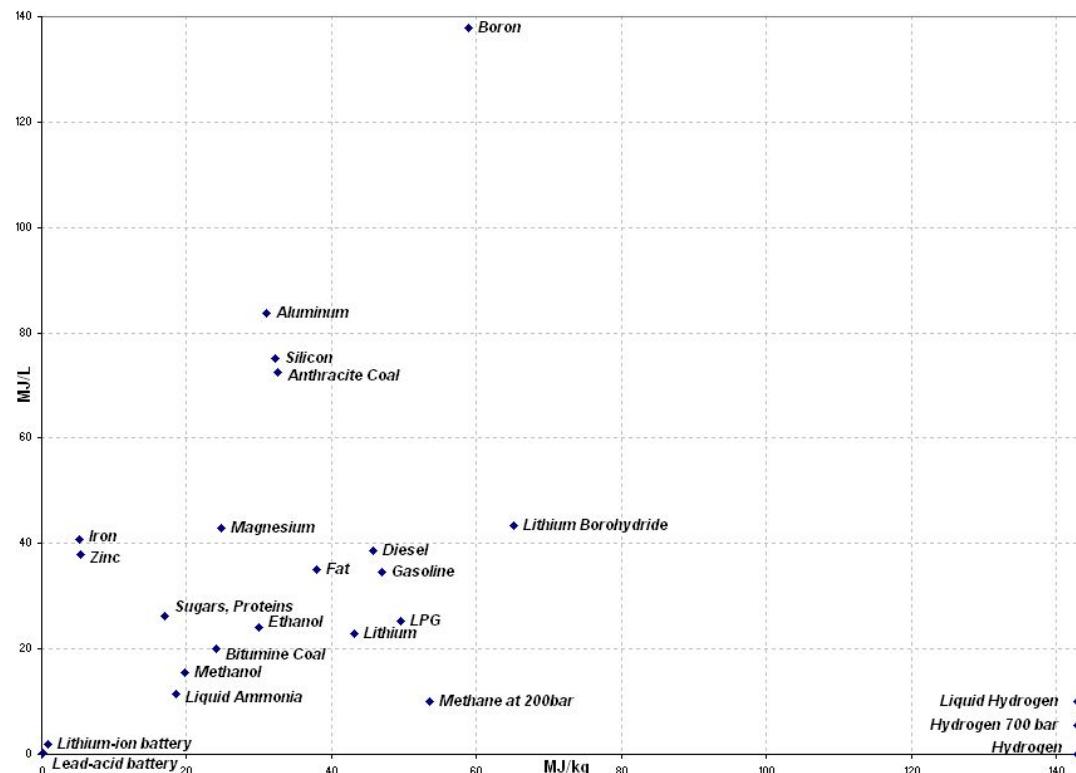


[44]

Desafios para o Sistema Elétrico

Tecnologias de Armazenamento de Energia

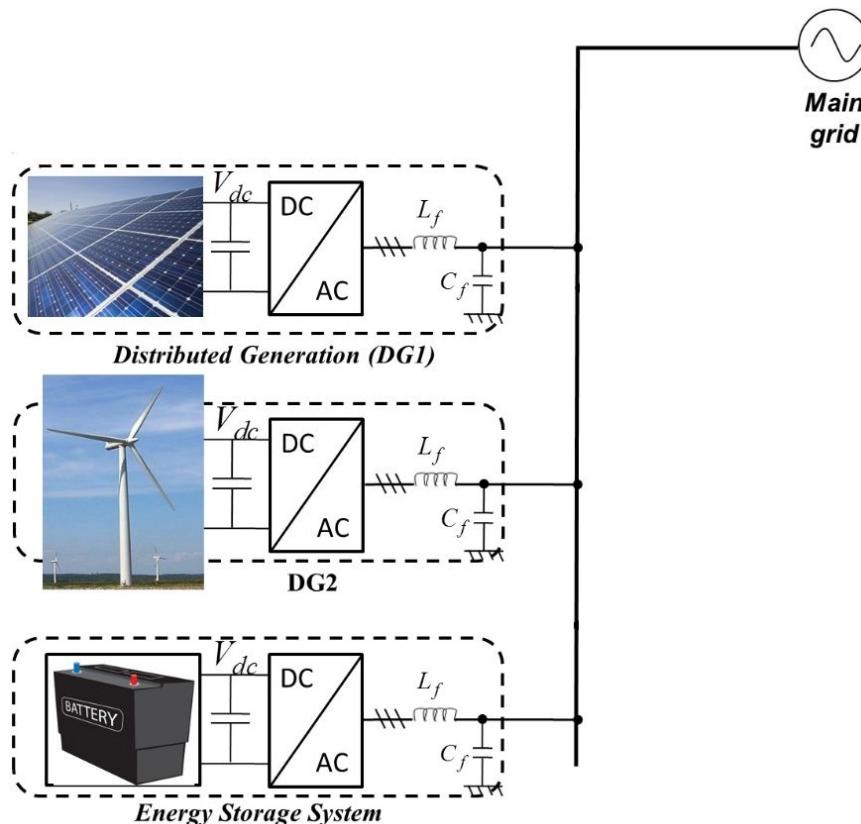
Comparativo de tecnologias



[45]

Desafios para o Sistema Elétrico

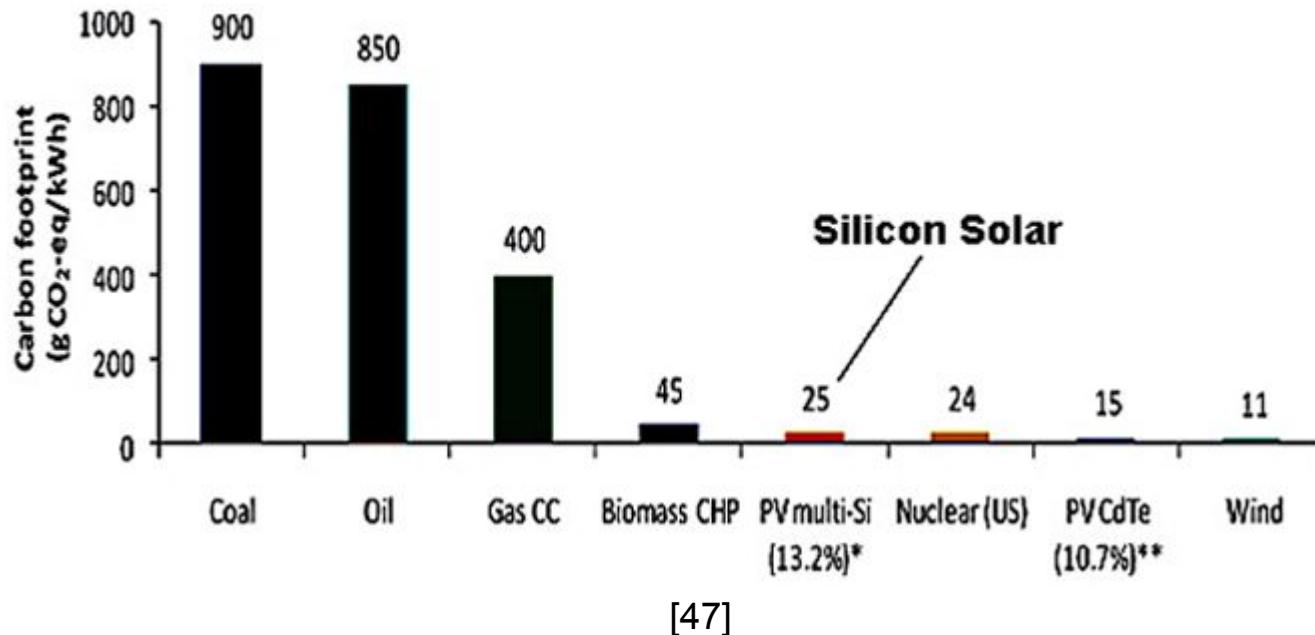
- Redução de inércia rotativa no sistema: “Tem que ter gerador conectado”



[46]

Aspectos Ambientais

- Comparação entre “pegadas de carbono” de várias tecnologias



Aspectos Ambientais

Desmatamento para instalação de usinas geradoras



[48]

- Recurso Solar
- Sistemas de Conversão Fotovoltaicos
- Desafios Técnicos e Questões Ambientais
- **Legislação e Procedimentos**
- Mercado Nacional
- Aplicações com Energia Solar para Além da rede Elétrica
- Novas Tecnologias



Procedimentos com Concessionária

Fluxograma do Processo



[49]

Procedimentos com Concessionária

Tempo necessário (em dias)

	Micro s/obra	Mini s/obra	Micro c/obra	Mini c/obra
Emitir Parecer	15	30	30	60
Solicitar vistoria		120		
Realizar vistoria		7		
Entregar relatório de vistoria		5		
Aprovação ponto conexão		7		

[49]

82

Procedimentos com Concessionária

Solicitação de acesso

1. Formulário de Solicitação de acesso para microgeração distribuída (μG) **com potência igual ou inferior a 10 kW ou com potência superior a 10 kW, ou minigeração distribuída (mG);**
2. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema;
3. Diagrama unifilar contemplando Geração, Proteção, Inversor e Medição e memorial descritivo da instalação;
4. Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede;
5. Projeto elétrico das instalações de conexão, memorial descritivo (para $\mu G > 10\text{ kW}$ e mG);
6. Estágio atual do empreendimento, cronograma de implantação e expansão (para mG);
7. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento
8. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver);
9. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver).

[50], [51]

Padrão de Conexão - LIGHT SESA

Potência de Geração Instalada	Categoria de conexão
< 10 kW	Monofásico, bifásico ou trifásico
>10 e \leq 5000 kW	Trifásico
<15 kW (em Rede Rural monofásica com transformador exclusivo)	Monofásico

[50]

Padrão de Conexão - Enel Rio

Potência de Geração Instalada (kW)	Tensão Nominal (V)	Categoria de conexão
≤ 8	127/120	Monofásico
$> 8 \text{ e } \leq 10$	220	Bifásico
≤ 15 (Rede Rural)	240	Bifásico
$> 10 \text{ e } \leq 75$	220	Trifásico
$> 75 \text{ e } \leq 5000$	13.800 e 11.950	Trifásico

[51]

Requisitos

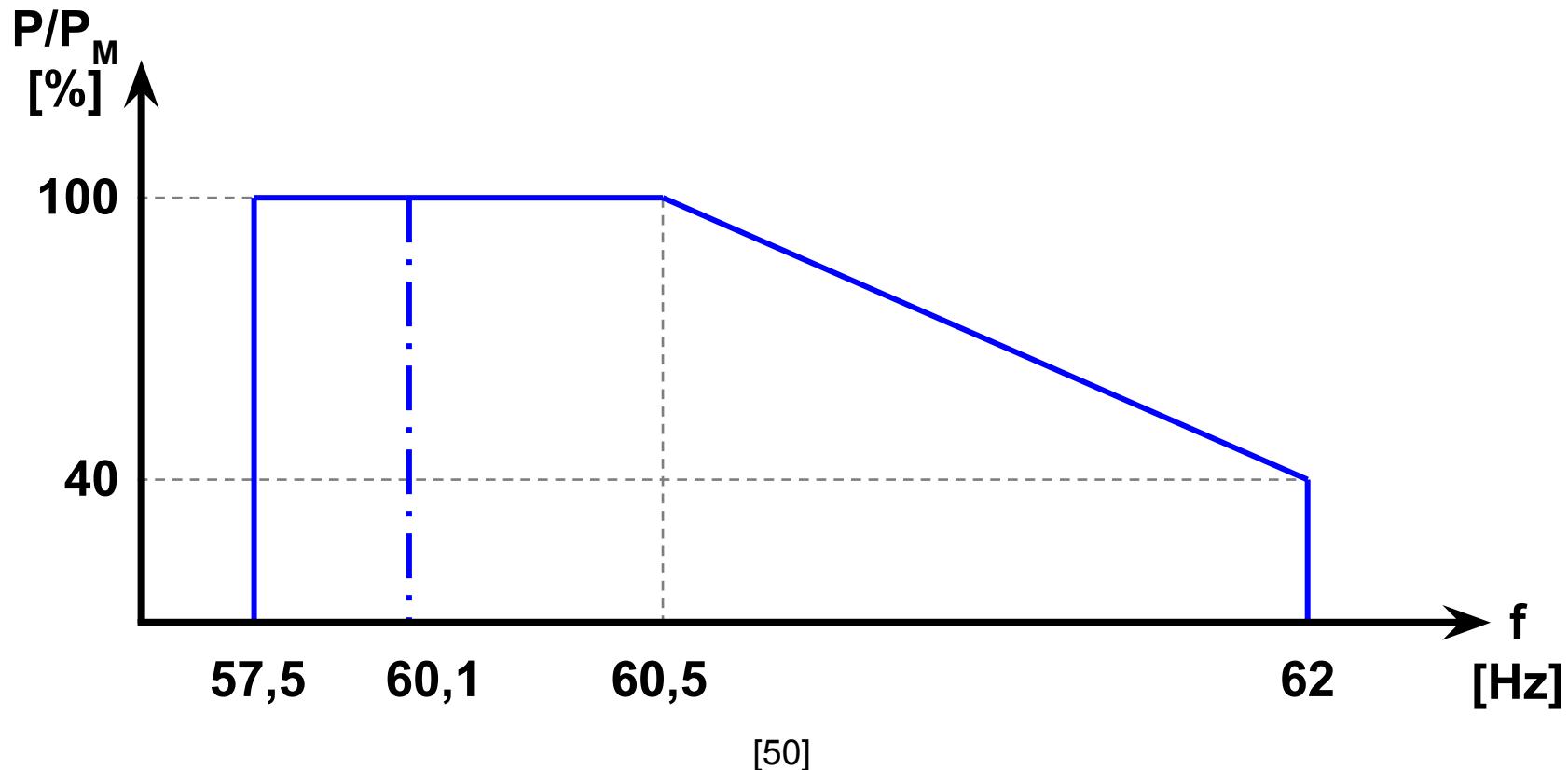
- Resposta a condições anormais

Tensão no ponto comum de conexão (% em relação à $V_{nominal}$)	Tempo máximo de desligamento ⁽¹⁾
$V < 80\%$	$0,4\text{ s}^{(2)}$
$80\% \leq V \leq 110\%$	Regime normal de operação
$110\% < V$	$0,2\text{ s}^{(2)}$

[50]

Requisitos

- Injeção de potência em função da frequência



Requisitos

- Qualidade de Energia
 - THD de corrente inferior a 5%

Harmônicas ímpares	Limite de distorção
3° a 9°	< 4,0 %
11° a 15°	< 2,0 %
17° a 21°	< 1,5 %
23° a 33°	< 0,6 %

Harmônicas pares	Limite de distorção
2° a 8°	< 1,0 %
10° a 32°	< 0,5 %

[50]

Requisitos

- Fator de Potência

Potência Nominal (Injetada >20%)	Limites para o Fator de Potência
$P_n \leq 3 \text{ kW}$	Igual a 1,0 com tolerância de 0,98 indutivo ou capacitivo
$3 \text{ kW} \leq P_n \leq 6 \text{ kW}$	Ajustável de 0,95 indutivo a 0,95 capacitivo
$P_n \geq 6 \text{ kW}$	Ajustável de 0,92 indutivo a 0,92 capacitivo

[50]

- Proteção Anti-Ilhamento

Anti-ilhamento

- Quando o sistema (rede) sair de operação, o inversor deve ser desconectado do sistema, para evitar:
 - Danificar o equipamento quando houver o religamento do sistema (fora de fase)
 - Segurar a integridade dos profissionais de manutenção

[50]

Regulamentação Internacional

- **Grid connection requirements**
 - IEEE 1547-2003 Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems
 - IEEE 1547.1- 2005 Standard for Conformance Tests Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems
 - IEEE 929-2000, Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems – incorporated in IEEE 1547
 - UL 1741, Standard for Inverters, Converters, and Controllers for Use in Independent Power Systems - elaborated by Underwriters Laboratories Inc. – compatibilized with IEEE 1547
 - IEC61727 [6] Photovoltaic (PV) systems - Characteristics of the utility interface - December 2004
 - IEC 62116 Ed.1 2005: Testing procedure of islanding prevention measures for utility interactive photovoltaic inverter (describes the tests for IEC 61727) – approved in 2007
 - VDE0126-1-1 2006 Automatic disconnection device between a generator and the public low-voltage grid” – Safety issues- applied on German Market
- **EMC**
 - IEC 61000-3-2, Ed. 3.0 – “Electromagnetic compatibility (EMC) –Part 3-2: Limits –Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)”, ISBN 2-8318-8353-9, November 2005
 - EN 61000-3-3, Ed. 1.2 —“Electromagnetic compatibility (EMC) –Part 3-3: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection”, ISBN 2-8318-8209-5, November 2005
 - IEC 61000-3-12, Ed. 1 – “Electromagnetic compatibility (EMC) –Part 3-12: Limits – Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current > 16 A and ≤ 75 A per phase” , November 2004
 - IEC 61000-3-11, Ed. 1 —“ Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-11: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems – Equipment with rated current ≤ 75 A and subject to conditional connection” , August 2000Standard EN 50160 – “Voltage Characteristics of Public Distribution System”, CENELEC: European Committee for Electrotechnical Standardization, Brussels, Belgium, November 1999
- **Utility Voltage Quality**
 - Standard EN 50160 – “Voltage Characteristics of Public Distribution System”, CENELEC: European Committee for Electrotechnical Standardization, Brussels, Belgium, November 1999 .

Qualidade da Tensão – EN50160

- ✓ Desbalanço trifásico. Max de 3% 3%
- ✓ Variação de amplitude de tensão: max +/-10%
- ✓ Desvio de frequência: max +/-1%
- ✓ afundamentos: duração< 1 sec, max< 60%
- ✓ Nível de distorção harmônica. Max THD é 8%

Odd harmonics				Even harmonics	
Not multiple of 3		Multiple of 3			
Order <i>h</i>	Relative voltage (%)	Order <i>h</i>	Relative voltage (%)	Order <i>h</i>	Relative voltage (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.5	6..24	0.5
13	3	21	0.5		
17	2				
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				

[52]

Resposta a condições anormais

✓ Desvio de Tensão

IEEE 1547		IEC61727		VDE0126-1-1	
Voltage range (%)	Disconnection time (s)	Voltage range (%)	Disconnection time (s)	Voltage range (%)	Disconnection time (s)
V < 50	0.16	V < 50	0.10	110 ≤ V < 85	0.2
50 ≤ V < 88	2.00	50 ≤ V < 85	2.00		
110 < V < 120	1.00	110 < V < 135	2.00		
V ≥ 120	0.16	V ≥ 135	0.05		

✓ Desvio de Frequência

IEEE 1547		IEC61727		VDE0126-1-1	
Frequency range (Hz)	Disconnecti on time (s)	Frequency range (Hz)	Disconnecti on time (s)	Frequency range (Hz)	Disconnecti on time (s)
59.3 < f < 60.5*	0.16	fn-1 < f < fn+1	0.2	47.5 < f < 50.2	0.2

✓ Religamento

IEEE 1547	IEC61727	VDE0126-1-1
88 < V < 110 [%] AND 59.3 < f < 60.5 [Hz]	85 < V < 110 [%] AND fn-1 < f < fn+1 [Hz] AND Min. delay of 3 minutes	N/A

Qualidade de Energia

- ✓ Injeção de Corrente CC

IEEE 1574	IEC61727	VDE0126-1-1
$I_{dc} < 0.5 [\%]$ of the rated RMS current	$I_{dc} < 1 [\%]$ of the rated RMS current	$I_{dc} < 1A$ Max Trip Time 0.2 s

- ✓ Harmônicos de Corrente

IEEE 1547 and IEC 61727						
Individual harmonic order (odd)* (%)	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	Total harmonic distortion THD (%)
(%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

Se IEC 61727 não for considerada, a prática é considerar a IEC 61000-3-2 para equipamentos classe A

Odd harmonics		Even harmonics	
Order h	Current (A)	Order h	Current (A)
3	2.30	2	1.08
5	1.14	4	0.43
7	0.77	6	0.30
9	0.40	$8 \leq h \leq 40$	$0.23 \times 8/h$
11	0.33		
13	0.21		
$13 \leq h \leq 39$	$0.15 \times 15/h$		

- Recurso Solar
- Sistemas de Conversão Fotovoltaicos
- Desafios Técnicos e Questões Ambientais
- Legislação e Procedimentos
- **Mercado Nacional**
- Aplicações com Energia Solar para Além da rede Elétrica
- Novas Tecnologias



Principais Incentivos no Brasil

- **Chamada Pública ANEEL - CP nº 013/2011:** de 2014 a 2016 entraram em operação 24,6 MW de plantas FV ao custo de R\$ 396 milhões
- **Isenção de IPI - Decreto nº 7.212/2010:** sobre energia elétrica, derivados de petróleo, combustíveis e minerais
- **Isenção de ICMS - Convênio ICMS 101/97:** sobre operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica, válido até 31/12/2021
- **Desconto na TUST/TUSD - RN ANEEL nº 481/2012:** 80% de desconto na tarifa de uso do sistema de transmissão/distribuição para empreendimentos com potência inferior a 30 MW

Principais Incentivos no Brasil

- **Redução do Imposto de Importação** - Resolução CAMEX nº 22: 2% para a alíquota incidente sobre bens de capital destinados à produção de equipamentos de geração solar fotovoltaica, válido até 31 de dezembro de 2018
- **Inclusão no programa “Mais Alimentos”**: possibilita financiamentos a juros mais baixos
- **Apoio BNDES - Lei nº 13.203/2015**: financiamento com taxas diferenciadas de projetos de geração distribuída em hospitais e escolas públicas.

[53]

Principais Incentivos no Brasil

- **Plano Inova Energia:** Fundo criado em 2013 pelo BNDES, FINEP e ANEEL com foco na empresa privada e com o objetivo de pesquisa e inovação tecnológica, contemplando a energia solar
- **Isenção de PIS, Cofins e ICMS na Geração Distribuída** - Lei nº 13.169/2015 e Convênio ICMS nº 16/2015: sobre a energia que o consumidor gera em todos os estados da federação
- **Fundo Clima - subprograma Máquinas e Equipamentos Eficientes:** financiamento para pessoas físicas e jurídicas (empresas, prefeituras, governos estaduais e produtores rurais) na aquisição de equipamentos de energia solar - primeira fase do programa - até 28 de dezembro de 2018

Análise Econômica

Financiamento

	 Santander	 Banco do Brasil	 CAIXA CAIXA ECONÔMICA FEDERAL	 Bradesco
Nome da Linha	CDC Eficiência Energética de Equipamentos	BB Crédito Material de Construção.	Construcard Caixa	Leasing Ambiental
Limites	Conforme análise de crédito	De R\$ 70,00 a R\$ 50.000,00	Entre R\$ 1.000,00 e R\$ 180.000,00.	Com 30% entrada limitada até R\$ 500.000,00
Quem pode solicitar	Correntista e não correntista	Correntistas do Banco do Brasil	Correntistas da Caixa Econômica Federal, maiores de 18 anos ou emancipados.	Correntista e não correntista com abertura de conta necessária
Taxa de juros	De 1,5% a 1.8% a.m.	de 1,61% a 2,10% a.m.	de 1,50% a 1,75%. a.m	de 1,50% a 2,00% a.m
Prazo para pgto	Até 60 meses	Até 60 meses	Até 240 meses	Até 60 meses

[56]

Análise Econômica

Financiamento

	 BNDES O banco nacional do desenvolvimento	 Banco do Nordeste	 BANCO DO BRASIL	 CAIXA CAIXA ECONÔMICA FEDERAL	 DESENVOLVE SP Agência de Desenvolvimento Paulista
Nome da Linha	Financiamento de empreendimentos (FINEM)	Programa de Financiamento à Sustentabilidade Ambiental (FNE Verde).	BB Crédito Empresa (Outras: Ver ProGer)	ProduCard	Economia verde
Limites	Mínimo de R\$ 20MM. Demais valores, consultar linha do BNDES automático	Conforme o porte da empresa e a tipologia do município instalado	Até 100% do valor do equipamento	Até R\$100Mil	Conforme análise de crédito até 90% do equipamento
Condições para solicitar	Sociedades com sede e administração no país, de controle nacional ou estrangeiro e pessoas jurídicas de direito público.	Produtores e empresas rurais, industriais, agroindustriais, comerciais e de prestação de serviços, cooperativas e associações legalmente constituídas no Nordeste do País	Empresas com faturamento bruto anual até R\$90MM	Empresas com faturamento anual de R\$15MM	Pequenas e médias empresas
Taxa de juros	Taxa de juros de 5% ao ano, mais remuneração básica do BNDES de 0,9% ao ano.	Entre 3,53% e 4,12% ao ano, podendo incidir bônus de adimplênciia de 3,0% a 3,5% ao ano	A partir de 1,44% a.m.	1,00% a.m.	A partir de 0,53% a.m. + TJLP
Prazo para pgto	20 anos	Até 12 anos, incluídos até 4 anos de carência. Demais prazos e condições, sob consulta	Até 60 meses incluindo 3 meses de carência	36 meses	Até 120 meses incluindo a carência de 24 meses

[56]

Análise Econômica

Financiamento

	 BNDES O banco nacional do desenvolvimento	 BNDES O banco nacional do desenvolvimento	 BNDES O banco nacional do desenvolvimento
Nome da Linha	PRONAF MAIS ALIMENTOS	PRONAF ECO	Fundo Clima - Subprograma Energias Renováveis
Limites	Até R\$ 300 mil	Até R\$ 150,00 mil	Até R\$ 30 Mi
Condições para solicitar	Agricultores familiares enquadrados no Pronaf, exceto nos grupos A, A/C e B	Agricultores familiares enquadrados no Pronaf, exceto nos grupos A, A/C e B.	Empresas, prefeituras, governos estaduais e produtores rurais
Taxa de juros	Entre 2% a 5.5% a.ano	Entre 2,5% a 5.5% a.ano	Entre 4,03% a 5.55 a.ano
Prazo para pgto	Até 10 anos com até 3 aos de carência	Até 10 anos com até 5 anos de carência	Até 12 anos com até 2 anos de carência

[56]

101

Modelos de Negócio

Leilões de Energia

Built, Operate and Transfer (BOT)

Power Purchase Agreement (PPA)

Franquias

[57]

- Recurso Solar
- Sistemas de Conversão Fotovoltaicos
- Desafios Técnicos e Questões Ambientais
- Legislação e Procedimentos
- Mercado Nacional
- **Aplicações com Energia Solar para Além da Rede Elétrica**
- Novas Tecnologias



Sumário

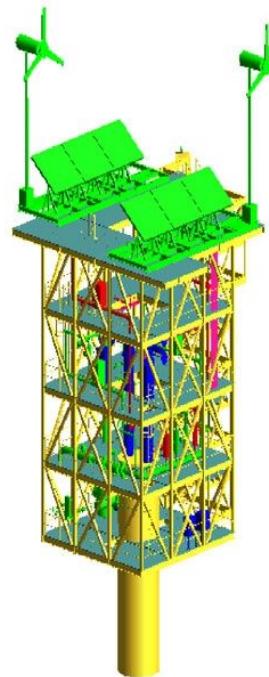
Aplicação no setor de óleo e gás

Midway-Sunset oil field, USA



[58]

Shell Cutter micro-platform, UK



[59]

Novas Aplicações

Carro com captação solar

Sion, Sono Motors (ALE, 2017)



Custo: 20000 €

[60]

One, Lightyear Motors (HOL, 2019)



Custo: 113000 €

[61]

Novas Aplicações

Aplicações de energia solar fotovoltaica em embarcações

Rhenan Botamedi Captivo - Equipe LaFAE e-mail:
equipelafae@poli.ufrj.br

Novas Aplicações

Barcos Solares

Ms. Tûranor



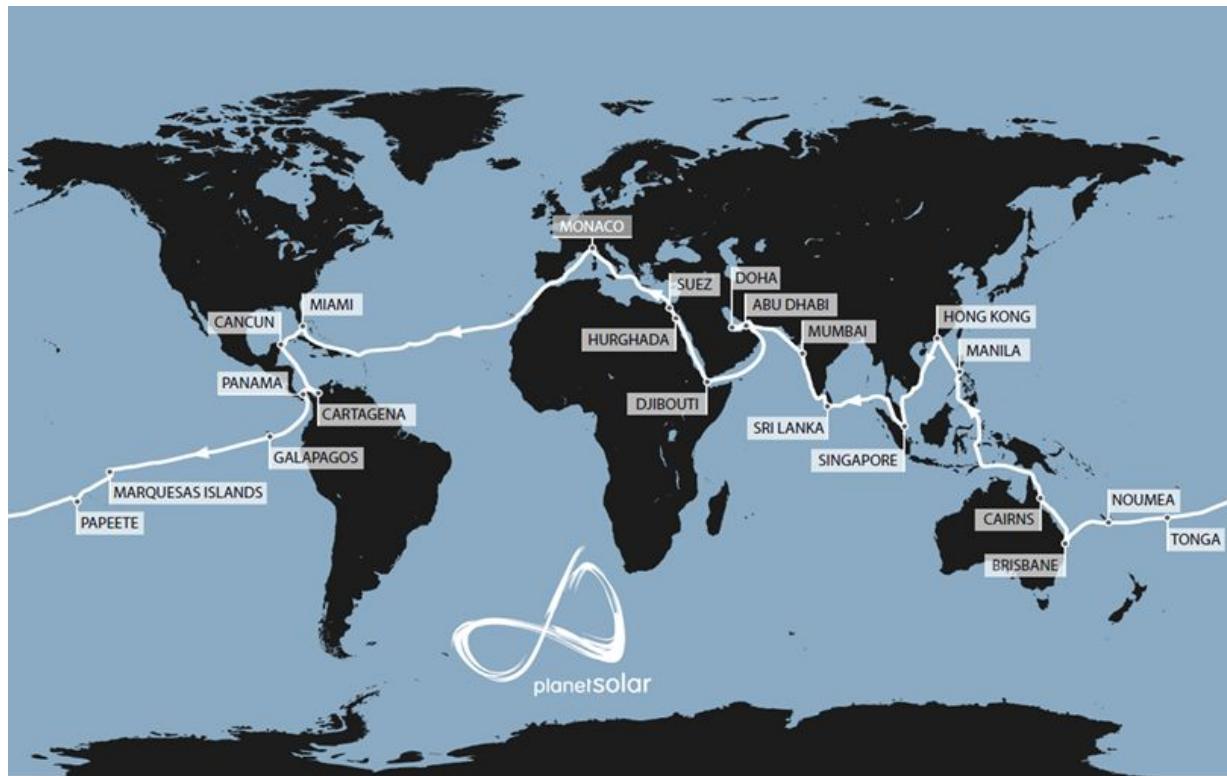
- Maior barco solar do mundo
- 512m² de área de painéis solares, 29.124 células.
- 2 motores de 60 kW, consumo médio de 20 kW.
- Velocidade máxima de 14 Knots, média de 5 Knots

[62]

Novas Aplicações

Barcos Solares

Ms. Tûranor



Entre setembro de 2010 e maio de 2012, o Tûranor realizou uma expedição de volta ao mundo com 52 paradas, durante 584 dias, divulgando a utilização da energia solar pelos locais onde passou e mostrando a viabilidade da construção de embarcações solares de grande porte

[62]

Novas Aplicações

Barcos Solares

A Equipe LaFAE



A equipe é composta por alunos de graduação da UFRJ, além de professores orientadores e funcionários integrantes do laboratório de fontes alternativas de energia (LAFAE - UFRJ).

Os participantes tem por objetivo desenvolver as tecnologias necessárias à construção do barco.

Além do desenvolvimento e construção de embarcações, a equipe participa desde a primeira edição do Desafio Solar Brasil, que é uma competição de barcos movidos a energia solar.

Novas Aplicações

Barcos Solares

A Equipe LaFAE

Trabalhos desenvolvidos no laboratório

Conversores



Sistema de monitoramento de baterias



- Sensoriamento
- Projetos de mecânica
- Projetos de extensão

Novas Aplicações

Barcos Solares

A Equipe LaFAE

Como fazer parte do equipe?



- Projetos de IC
- Estágio
- Extensão
- Contagem de ACE

equipelafae@poli.ufrj.br

Novas Aplicações

Aviões e Vants

Solar Impulse - Suiça (2011)



NASA Pathfinder, USA (2002)



Airbus Zephyr, USA (2003)



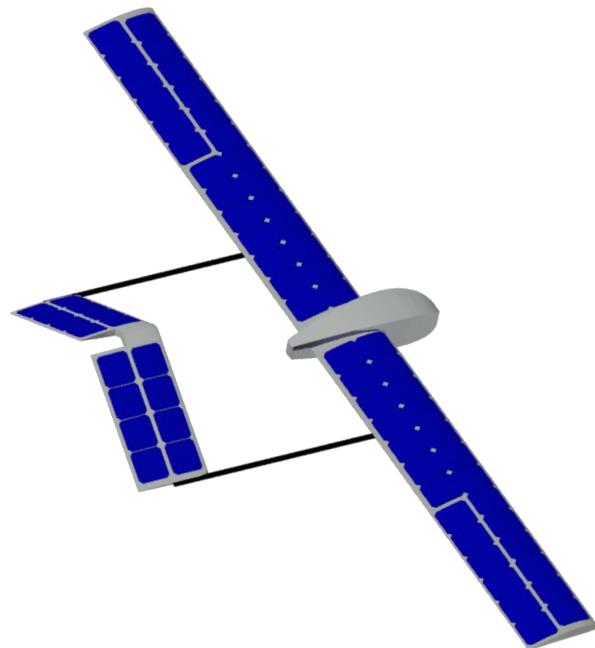
Google Skybember, USA (2014)



[63]

Novas Aplicações

Eletrovant (2018)



[64]

113

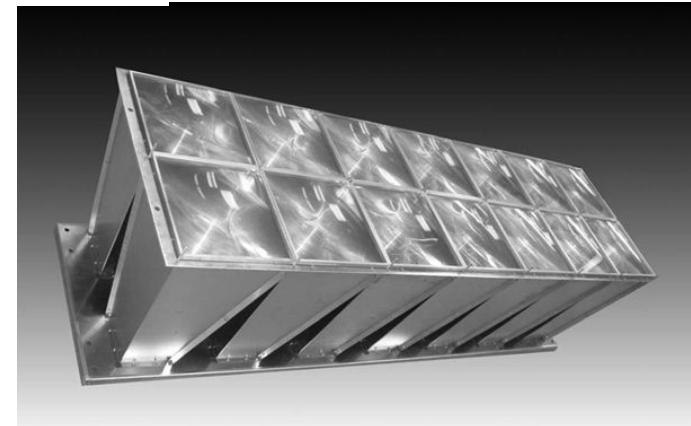
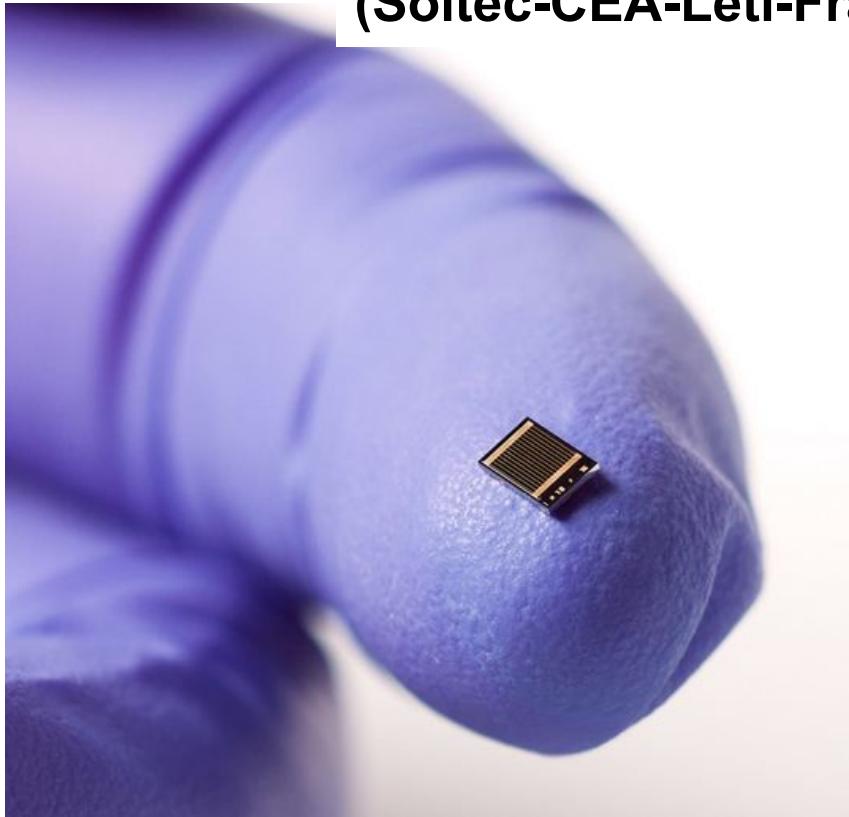
Sumário

- Recurso Solar
- Sistemas de Conversão Fotovoltaicos
- Desafios Técnicos e Questões Ambientais
- Legislação e Procedimentos
- Mercado Nacional
- Aplicações com Energia Solar para Além da rede Elétrica
- Novas Tecnologias



Novas Tecnologias

Célula com 46% de eficiência
(Soitec-CEA-Leti-Fraunhofer)



[65]

115

ARMANDO ABRANTES

COPPE
UFRJ 5

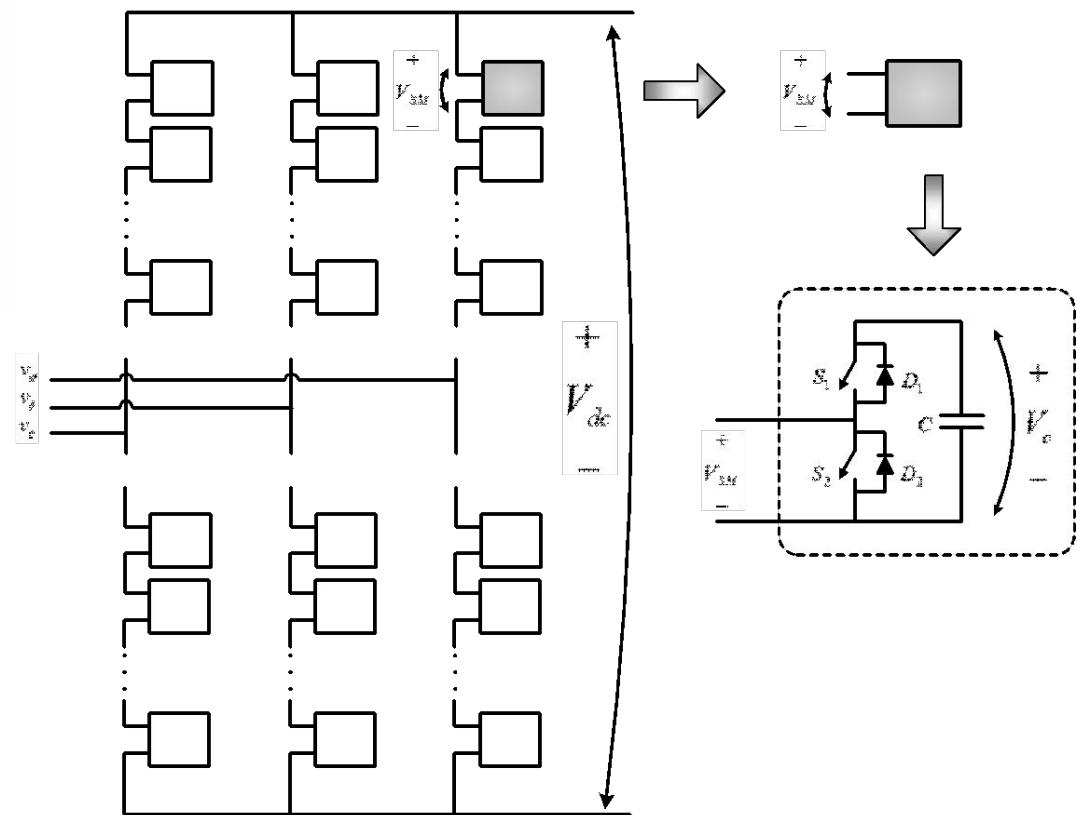
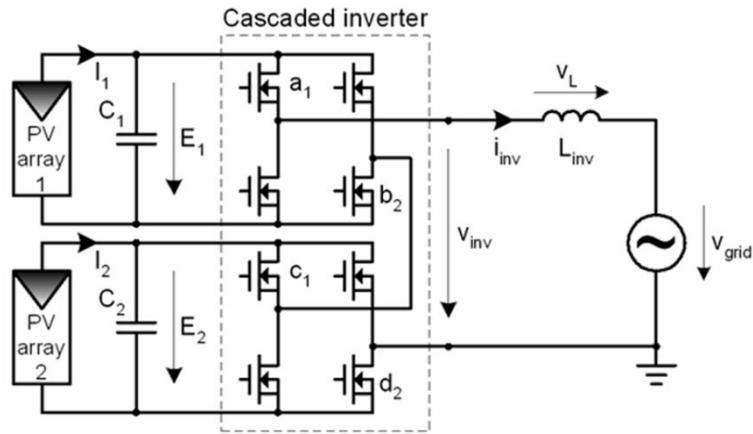
Novas Tecnologias

Materiais translúcidos para integrar à fachada e aumentar eficiência energética



Novas Tecnologias

- Novas topologias de inversores



[67]

Novas Tecnologias

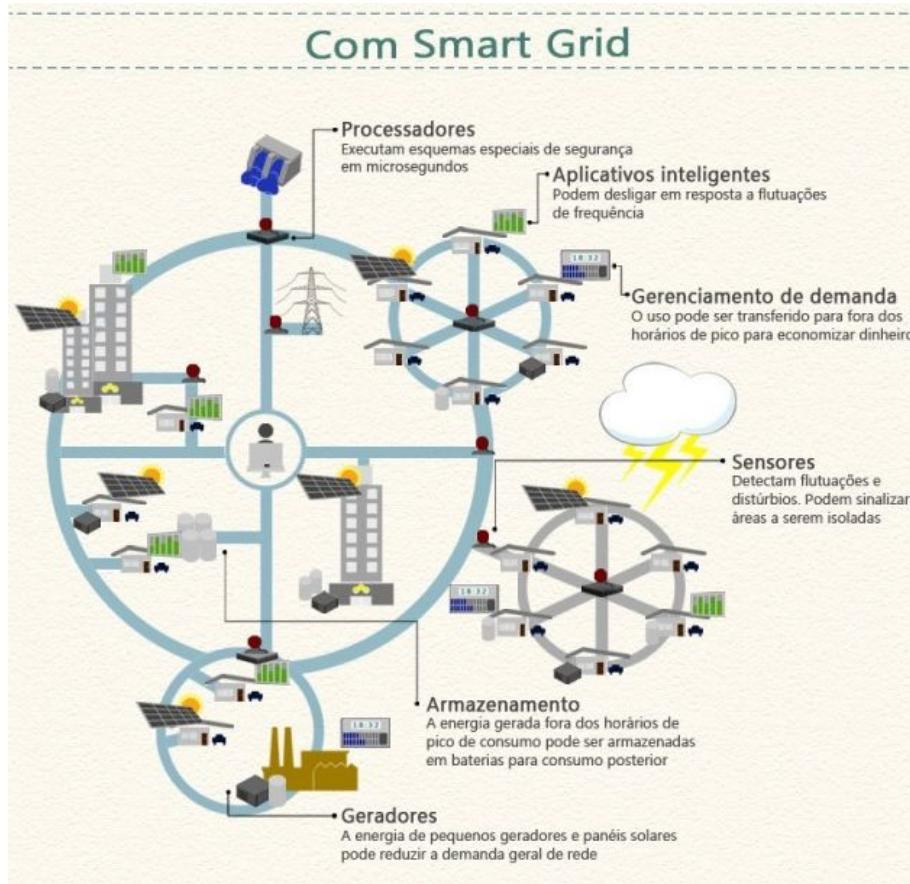
Funcionalidades

- Filtro ativo
- Compensação

[68]

Novas Tecnologias

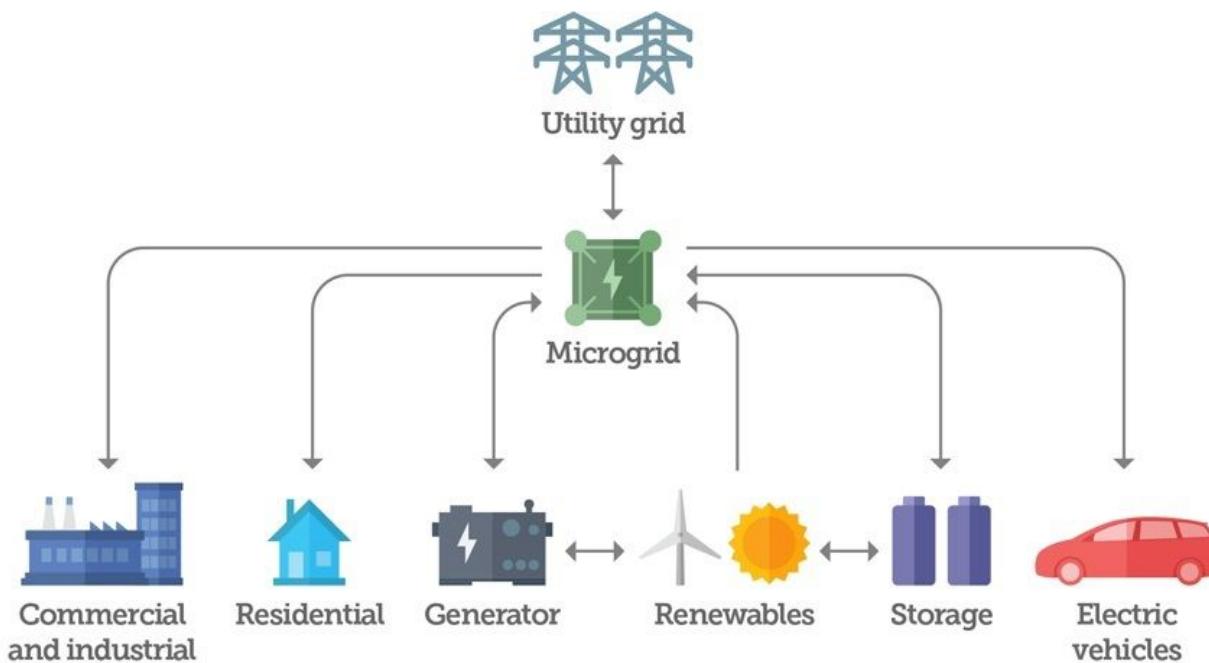
Redes inteligentes



[69], [70]

Novas Tecnologias

Microrredes desconectáveis da rede



[70]

Source: LG CNS

© 2016 The Pew Charitable Trusts

Referências

- [1] MONTEIRO, M. da C. **Células Fotovoltaicas de Silício Cristalino: Tecnologias e Processos de Fabricação**, 74 f. Monografia, Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, 2016.
- [2] Santillana Constância, **Unidade 3 - Fluxos de energia e ciclos de matéria**, Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/1751884/>> Acesso em 10 de Maio de 2018
- [3] World Bank Group, **Global horizontal irradiation**, Disponível em: <<http://globalsolaratlas.info/downloads/world>> Acesso em 10 de Maio de 2018
- [4] PEREIRA, E. B. et al, **Atlas brasileiro de energia solar**, São José dos Campos: INPE, 2006. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf> Acesso em 10 de Maio de 2018
- [5] PEREIRA, E. M. D. et al. **Energia Solar Térmica**. In: "Fontes Alternativas de Energia no Brasil". Rio de Janeiro:Ed. Ciência Moderna., 2004.
- [6] Plataforma Online de Energia Heliotérmica, **Energia Heliotérmica - Como funciona?**, Disponível em <<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/como-funciona>> Acesso em 10 de Maio de 2018
- [7] AECweb, **Energia heliotérmica é renovável, mas incipiente no Brasil**, Disponível em <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/energia-heliotermica-e-renovavel-mas-incipiente-no-brasil_12417_10_0> Acesso em 10 de Maio de 2018

Referências

- [8] Plataforma Online de Energia Heliotérmica, **Energia Heliotérmica - O que é Energia Heliotérmica?**, Disponível em <<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/o-que-e-energia-heliotermica>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [9] Ambiente Energia, **O que é e como funciona a energia heliotérmica**, Disponível em <<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2014/02/o-que-e-e-como-funciona-energia-heliotermica/23874>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [10] Lidersol, **Energia Solar Térmica**, Disponível em <<https://www.lidersol.com/portfolio/energia-solar-termica/>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [11] Lumen Tecnologia, **Tipos de Energia Solar: Fotovoltaica e Fototérmica são Iguais?**, Disponível em <<http://www.lumentec.net.br/tipos-de-energia-solar-fotovoltaica-e-fototermica-sao-iguais/>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [12] DAILY MAVERICK. **Rooftop Solar PV will be a game changer**. Disponível em: <<https://www.dailymaverick.co.za/article/2016-04-21-rooftop-solar-pv-will-be-a-game-changer/#.WzFSB1VKiUk>> Acesso em 10 de Maio 2018.
- [13] HÉSTIA ENERGY. **Usina Fotovoltaica nos Parques de São Paulo**. Disponível em <<http://hestiaenergy.com.br/usina-fotovoltaica-em-sao-paulo/>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [14] IEA PVPS. **A Snapshot of Global PV (1992-2017)**. Disponível em <http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2017.pdf> Acesso em 10 de Maio de 2018.

Referências

- [15] RENEWABLE ENERGY WORLD, **Ditching the Grid for Solar.** Disponível em: <<https://www.renewableenergyworld.com/ugc/articles/2016/12/17/ditching-the-grid-for-solar.html>> Acesso em 10 de Maio 2018.
- [16] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro:** Março/2018. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Mar%C3%A7o+-+2018_1.pdf/a87b8720-c030-4bfa-8c10-e19cb8d2854c> Acesso em 10 de Maio 2018.
- [17] ANEEL. **Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL.** Disponível em <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [18] BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE. **New Energy Outlook 2017.** <https://data.bloomberg.com/bnef/sites/14/2017/06/NEO-2017_CSIS_2017-06-20.pdf> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [19] CCCE. **25º Leilão de Energia Nova A-4 - Resumo Vendedor.** Disponível em <https://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE_546033> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [20] SUNMETRIX. **What is solar panel efficiency and how does it affect your system's performance?** Disponível em <<https://sunmetrix.com/what-is-solar-panel-efficiency-and-how-does-it-affect-your-systems-performance/>> Acesso em 10 de Maio de 2018.

Referências

- [21] SOLARQUOTES. **How Do Solar Panels Work?** <<https://www.solarquotes.com.au/panels/how-do-they-work/>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [22] STROM BRASIL. **Efeito Fotovoltaico**. Disponível em <<http://www.strombrasil.com.br/efeito-fotovoltaico/>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [23] DIAS, R. F. da S. **Energia Renováveis**: Eólica e Solar Fotovoltaica. 2017. 63 slides.
- [24] ALVES, A. F. **Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em <http://www4.feb.unesp.br/dee/docentes/alceu/2379teo_arquivos/07%20Aula%20Energia%20Solar%20FV.pdf> 2016. 33 slides.
- [25] ITAIPU BINACIONAL. **Itaipu em números**. Disponível em <<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/itaipu-em-numeros>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [26] PORTAL SOLAR. **Seguidor solar - Tracker: Vantagens e Desvantagens Parte 1**. Disponível em <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/painel-solar/seguidor-solar---tracker-vantagens-e-desvantagens-parte-1.html>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [27] CRESESB/CEPEL - ELETROBRÁS. **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica: 5. Módulos Fotovoltaicos**. <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=331> Acesso em 10 de Maio de 2018.

Referências

- [28] MATRIX DO BRASIL. **Diferença entre corrente contínua e corrente alternada AC e DC.** Disponível em <<https://suporte.matrixdobrasil.com.br/hc/pt-br/articles/204572460-Energia-AC-e-DC>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [29] ENERGY SOLVER. **Sistema Off-Grid (Sem conexão à Rede de Distribuição).** Disponível em <<https://www.energysolver.com.br/single-post/2018/04/09/Sistema-Off-Grid-Sem-conex%C3%A3o-%C3%A0-Rede-de-Distribui%C3%A7%C3%A3o>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [30] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 493/2012.** Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012493.pdf>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [31] UBBER SOL. **Energia Solar Fotovoltaica.** Disponível em <<http://ubbersol.com.br/blog/energia-solar-fotovoltaica/>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [32] NEO SOLAR. **Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica e seus Componentes.** Disponível em <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [33] SOLAR ANALYTICS. **NSW Solar Bonus Scheme questions and answers.** Disponível em <<https://www.solaranalytics.com.au/blog/nsw-solar-bonus-scheme-questions-and-answers>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [34] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482/2012.** Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso em 10 de Maio de 2018.

Referências

- [35] COSOL. **Compreenda o sistema de compensação da energia elétrica.** Disponível em <<https://www.cosol.com.br/blog/compreenda-o-sistema-de-compensao-da-energia-eletrica>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [36] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687/2015.** Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [37] PORTAL SOLAR. **O que é Usina Solar.** Disponível em <<https://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>> Acesso em 10 de Maio 2018.
- [38] EXAME. **Cemig compra 431,5 MW de energia solar e eólica em leilão.** Disponível em <<https://exame.abril.com.br/negocios/cemig-compra-4315-mw-de-energia-solar-e-eolica-em-leilao/>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [39] CCCE. **27º Leilão de Energia Nova A-4 - Resumo Vendedor.** Disponível em: <https://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE_640133> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [40] PORTAL O SETOR ELÉTRICO. **O impacto do aumento das fontes intermitentes na operação do sistema.** Disponível em <<https://www.osetoreletrico.com.br/o-impacto-do-aumento-das-fontes-intermitentes-na-operacao-do-sistema/>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [41] AVENTURAS NA HISTÓRIA. **RETROTECH: QUANDO OS CARROS ELÉTRICOS DOMINAVAM.** Disponível em <<https://aventurasnahistoria.uol.com.br/noticias/almanaque/retrotech-quando-os-carros-eletricos-dominavam.phtml>> Acesso em 10 de Maio de 2018.

Referências

- [42] STA ELETRÔNICA. **A Bateria de Chumbo-Ácido.** Disponível em <<http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/vantagens-e-limitacoes-das-baterias-seladas-de-chumbo-acido>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [43] STA ELETRÔNICA. **A Bateria de Li-Ion.** Disponível em <<http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/vantagens-e-limitacoes-das-baterias-de-litio-ion>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [44] WATANABE, E. H. **Energias Elétrica, Renováveis e Smart Grid.** 2017. 144 slides.
- [45] NEW ENERGY AND FUEL. **a.** Disponível em <<https://newenergyandfuel.com/http://newenergyandfuel.com/2009/05/06/storing-energy-the-terms-and-the-payoff-to-consumers/energy-density-specific-energy-graph/>> Acesso em 10 de maio de 2018.
- [46] PV MAGAZINE. **Uma equipe de pesquisadores internacionais usa um algoritmo para reduzir o impacto negativo da emulação da inércia em microredes fotovoltaicas** <<https://www.pv-magazine-latam.com/brasil-noticias/uma-equipe-de-pesquisadores-internacionais-usa-um-algoritmo-para-reduzir-o-impacto-negativo-da-emulacao-da-inercia-em-microredes-fotovoltaicas/>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [47] XEN LIFE. **Benefits of Solar Power and Where it is Headed in the Future.** Disponível em <<https://xenlife.com.au/benefits-of-solar-and-where-it-is-headed-in-the-future/>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [48] CICLO VIVO. **Piauí terá maior usina de energia solar da América Latina.** Disponível em <<http://ciclovivo.com.br/planeta/desenvolvimento/piaui-tera-maior-usina-de-energia-solar-da-america-latina/>> Acesso em 10 de Maio de 2018.

Referências

- [49] ENEL. **Geração Distribuída**. Disponível em <<https://www.eneldistribuicao.com.br/ce/GeracaoDistribuida.aspx>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [50] LIGHT SESA. **PROCEDIMENTOS PARA A CONEXÃO DE MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DA LIGHT SESA BT E MT - ATÉ CLASSE 36,2KV**. Disponível em <http://www.light.com.br/Repositorio/Recon/ENG_0002_Informacao_Tecnica_DTE_DTP%201.pdf> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [51] ENEL. **Especificação Técnica no. 122**: Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema Elétrico da Enel Distribuição Rio/Enel Distribuição Ceará. Disponível em <<https://www.eneldistribuicao.com.br/rj/documentos/CNC-OMBR-MAT-18-0122-EDCE.pdf>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [52] CENELEC. **EUROPEAN STANDARD EN 50160**: Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems. Disponível em <http://www2.schneider-electric.com/library/SCHNEIDER_ELECTRIC/SE_LOCAL/APS/204836_1312/DraftStandard0026rev2-DraftEN501602005-05.pdf> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [53] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Energia Solar no Brasil e Mundo**: Ano de referência - 2016. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [54] BLUESOL. **Isenção de ICMS Sobre Energia Solar Passa a Valer em Todo o País Com Adesão dos Últimos Estados Em Convênio do CONFAMAZ**. Disponível em <<http://blog.bluesol.com.br/isencao-icms-todo-o-brasil/>> Acesso em 10 de Maio de 2018.

Referências

- [55] BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. **BNDES muda regra e pessoas físicas podem investir em energia solar.** Disponível em <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-muda-regra-e-pessoas-fisicas-podem-investir-em-energia-solar>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [56] RENEW ENERGIA. **Você sabia que é possível financiar seu sistema solar fotovoltaico em até 20 anos?** Disponível em <<http://renewenergia.com.br/voce-sabia-que-e-possivel-financiar-seu-sistema-solar-fotovoltaico-em-ate-10-anos/>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [57] THORMANN, A. L. et al. **Mapeamento de Modelos de Negócio de Integradores para Projetos de Energia Solar Fotovoltaica no Brasil.** Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Vol. 3, N.^o 2, p. 69-88. (2017). Editora CEUNES/DETec.
- [58] CHOI, Y. et al. **Review of Renewable Energy Technologies Utilized in the Oil and Gas Industry.** International Journal of Renewable Energy Research-IJRER, Vol 7, No 2 (2017).
- [59] GREEN CAR CONGRESS. **Fossil-Fuel Platform Runs on Renewable Energy.** Disponível em <http://www.greencarcongress.com/2006/04/fossilfuel_plat.html> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [60] SONO MOTORS. **Solar Car Sion.** Disponível em <<https://sonomotors.com/sion.html>> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [61] LIGHTYEAR MOTORS, **Lightyear:** The electric car that charges itself with sunlight. Disponível em <<https://lightyear.one>> Acesso em 10 de Maio de 2018.

Referências

- [62] THE VERGE. **An inside look at the world's largest solar-powered boat.** Disponível em <www.theverge.com/2013/6/22/4454980/ms-turanor-planetsolar-solar-powered-boat-photo-essay> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [63] SINOVOLTAICS. **Top 8 Solar Powered Drone (UAV) Developing Companies.** Disponível em <sinovoltaics.com/technology/top8-leading-companies-developing-solar-powered-drone-uav-technology> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [64] ELETROVANT AEROESPACIAL. **Eletrovant.** Disponível em <www.eletrovant.com/> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [65] FRAUNHOFER ISE. **New world record for solar cell efficiency at 46% – French-German cooperation confirms competitive advantage of European photovoltaic industry.** Disponível em <www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2014/new-world-record-for-solar-cell-efficiency-at-46-percent.html> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [66] QUEM INOVA. **Célula fotovoltaica transparente transforma janela em painel solar.** Disponível em <queminova.catracalivre.com.br/inventa/celula-fotovoltaica-transparente-transforma-janela-em-painel-solar> Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [67] AKAGI, H. Multilevel Converters: Fundamental Circuits and Systems. Proceedings of the IEEE, Volume: 105 Issue: 11, Nov. 2017.

Referências

- [68] ANABUKI, E. T. **Sistema Fotovoltaico com Função Auxiliar de Regulação de Tensão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 114. 2015.
- [69] CEMIG. O QUE SÃO AS REDES INTELIGENTES DE ENERGIA?
http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/Redes_Inteligentes/Paginas/as_redes_inteligentes.aspx Acesso em 10 de Maio de 2018.
- [70] FALCAO, D. **Smart Grids e Microredes**: o futuro já é presente. VIII Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, 2009.



Obrigado!

Armando Abrantes
abrantes.ferreira@coe.ufrj.br

