

GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Atualmente a tecnologia fotovoltaica, que transforma energia solar em elétrica, vem experimentando importante avanço, impulsionado pelos vários predicados positivos que apresenta, dentre os quais se destacam o baixo impacto ambiental, a flexibilidade de utilização e facilidade de construção e de operação.

Por várias décadas a oferta de energia fotovoltaica teve como principal obstáculo o alto custo que apresentava, no entanto, nos últimos anos houve uma expressiva expansão da utilização no mundo todo dessa tecnologia com redução de custo, graças a intensas pesquisas motivadas por incentivos de governo e demanda crescente por fontes limpas. Essa expansão se deve também à melhoria de rendimento e da confiabilidade dos módulos fotovoltaicos, bem como à grande flexibilidade que essa modalidade de geração tem, no estabelecimento do seu porte que pode ser projetado de modo ajustado com as necessidades.

A energia elétrica de origem fotovoltaica apresenta particularidades que a distingue de outros tipos como: inexistência de partes girantes, ausência de inércia e autodespacho em períodos previsíveis, com possíveis intermitências provocadas por sombreamento de nuvens. São utilizadas tanto em sistemas in-

terligados como para o atendimento de regiões isoladas, usualmente neste caso, com fontes complementares ou mesmo sistemas de armazenamento.

Unidades de geração fotovoltaica podem ser tanto microcentrais instaladas em telhados de residências, usualmente conectadas em baixa tensão, como médias ou grandes centrais integradas nos sistemas de média ou alta tensão.

As pequenas unidades fotovoltaicas representam uma conveniente modalidade de oferta de energia, na medida em que atendem à demanda absolutamente junto ao local de consumo, dispensando as estruturas de centrais distantes dos centros de consumo e todas as instalações associadas de transmissão e de distribuição de energia. Este fato por si só confere um importante grau de mérito à micro ou mini geração fotovoltaica.

A penetração intensiva de micro e mini centrais fotovoltaicas integradas nas redes de distribuição inauguram uma nova era para esses sistemas, com a possibilidade de modular a carga com a geração autodespachada, com a presença de fluxos inversos no sentido carga-fonte, a requerer apurado sistema de controle de tensão e de reativos.

O caráter intermitente, com períodos definidos de disponibilidade de geração durante o dia e sujeitos à incerteza climática do sombreamento resultante das nuvens, traz peculiaridades operativas a um sistema de distribuição que abriga grande capacidade de oferta fotovoltaica. A rede deve estar preparada para operar durante o dia, quando solicitada em carga máxima com e sem as fontes fotovoltaicas e durante a noite, certamente sem essas fontes. A adequada integração da oferta fotovoltaica às demandas horárias em harmonia com a reserva de capacidade do sistema pode trazer postergação de investimentos na rede e demais benefícios, quando combinada com políticas de gestão da demanda, previstas em estrutura com diferentes postos tarifários e tipos de contratos de energia interrompíveis. Esse ambiente técnico regulatório traz vantagens tanto ao cliente, que pode pagar menos ao se oferecer para interrupções voluntárias de parte de sua demanda em situações contingenciais, e para a operadora da rede pública que adia investimentos em sua rede. É a gestão inteligente das redes de energia e das fontes sustentáveis tomando lugar das redes passivas que transportam energia de centrais distantes, com todo o impacto ambiental e aparato técnico que impõem.

A previsão da intermitência de produção de energia elétrica pelas centrais fotovoltaicas é objeto, atualmente, de intensas pesquisas, ao combinar aspectos ambientais morfológicos e meteorológicos, onde os comportamentos estatísticos do vento, das nuvens e do clima de modo geral, são estudados no ambiente

topográfico, buscando avaliar, com a antecipação de horas e dias, a produção energética das geradoras fotovoltaicas.

Pesquisadores têm buscado outras soluções para contornar a intermitência natural da produção de eletricidade a partir de energia solar, com o desenvolvimento de formas de armazenamento de energia em acumuladores químicos por meio de baterias ou termodinâmicos, realizados com concentradores da irradiação solar de alta capacidade que aquecem um fluido contendo sais a altas temperaturas, que por sua vez, é armazenado para produzir energia elétrica em turbinas a vapor, mesmo na ausência do sol.

Do ponto de vista da engenharia e projeto de redes, é importante ressaltar que a normalização da conexão das micro e mini centrais fotovoltaicas ao sistema de distribuição deve levar em conta as ações de manutenção, quando a operadora desenergiza a rede para intervenções. Nessas condições os geradores fotovoltaicos devem se desconectar automaticamente da rede pública, havendo em situações especiais, a possibilidade de atender o consumo interno das unidades onde estão sediados.

Quanto à operação de um sistema com grande presença de micro e mini geradores fotovoltaicos, a manutenção adequada dos níveis de tensão e de reativos deve merecer atenção especial, na medida em que a intermitência da produção e o autodespacho dessas unidades geradoras, como mencionado, requerem instrumentos que garantam o controle adequado.

As grandes centrais fotovoltaicas, guardada a proporção, também requerem a atenção descrita para as micro e mini, no entanto, cumpre notar que esse tipo de central, por seu porte, é conectado à rede de transmissão ou de subtransmissão, que por natureza, são dotadas de elevado grau de “inteligência” no que diz respeito ao projeto e à operação.

A natural armazenagem na forma de energia potencial mecânica, nos reservatórios do sistema hidroelétrico, oferece importante complemento ao sistema gerador baseado na produção de eletricidade a partir de energia solar, que por sua vez opera, naturalmente, de forma intermitente.

Essa complementariedade é ainda mais relevante quando se considera que a operação do sistema hidrotérmico brasileiro prevê o despacho otimizado das usinas, considerando o risco de déficit de geração no compromisso de despacho de centrais térmicas, cuja operação tem maior custo do que as hidroelétricas. Com isso, nas situações climáticas adversas, quando o regime pluviométrico das bacias que alimentam os reservatórios é insuficiente para garantir risco adequado

de deficit, são acionadas centrais térmicas de custo operacional muito alto, são as chamadas termoelétricas emergenciais.

Ora, unidades solares, a par de todas as vantagens de baixo impacto ambiental, de proximidade do consumo (sobretudo no caso das micro e mini), de facilidade de construção e de operação, também funcionam com “mantenedoras de água nos reservatórios”, evitando, o quanto possível, o despacho das termelétricas de maior custo.

Cabe ao planejador do sistema gerador, especificar a participação ideal, na matriz elétrica, de geração de eletricidade a partir de energia solar, para otimizar, estatisticamente, o risco de operar termoelétricas de alto custo para garantir o suprimento, mesmo em períodos hidrológicos adversos.

1.2 INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR

1.2.1 Conceitos gerais

No interior do sol ocorrem reações nucleares que dão lugar a emissões para todo o sistema solar, designada por energia solar, que é, segundo a lei da irradiação com simetria esférica, transmitida na forma de radiação eletromagnética.

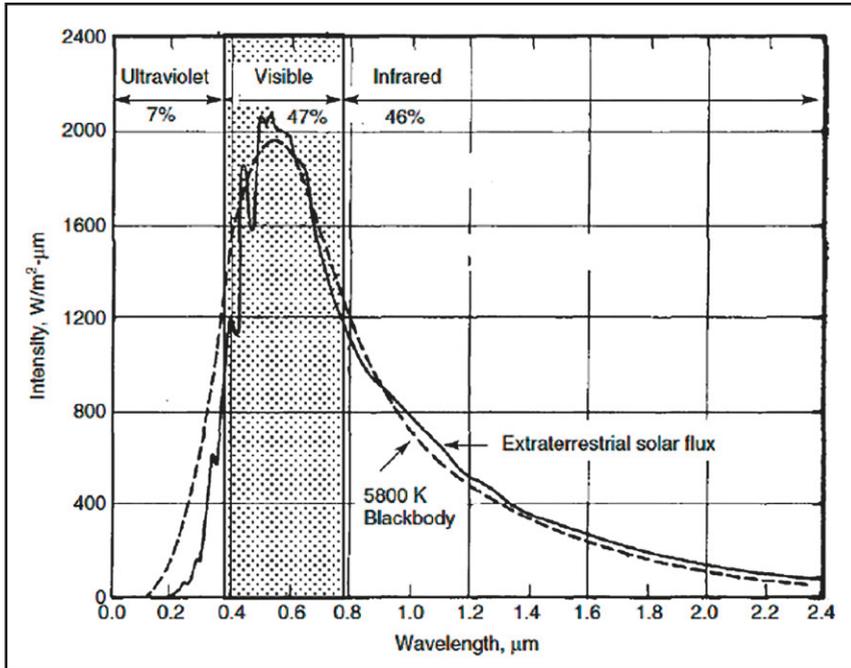
Considerando-se o sol como um corpo negro, com temperatura superficial de 5780 K, ocorrerá, de acordo com a lei de Stefan – Boltzmann, a emissão de potência térmica específica em cada direção, I , dada por:

$$I = \sigma T^4 = 6,33 \times 10^7 \text{ W/m}^2 \quad (1)$$

Onde $\sigma = 5,670400 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \times \text{K}^4$ é a constante de Stefan – Boltzmann

A radiação solar é constituída por ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda compreendidos entre 0,22 a 3 μm . Na Figura 1.1 apresenta-se a intensidade da radiação, no exterior da atmosfera terrestre, em função do comprimento de onda, onde observa-se que a distribuição de energia nas faixas ultravioleta, visível e infravermelho corresponde, respectivamente, a 7 %, 47 % e 46 % da radiação total. Na figura está apresentada, ainda, a radiação de um corpo negro à temperatura de 5800 K.

Figura 1.1 Espectro solar no limite externo da atmosfera (Serafini, 2012)



1.3 ENERGIA SOLAR NO BRASIL E NO MUNDO

No Brasil, a energia fotovoltaica tem também despertado grande interesse não só por esses aspectos citados, mas também em função das características geográficas, climáticas e facilidade de encontrar terrenos para abrigar instalações geradoras dessa natureza, sem que haja prejuízo ambiental e na produção agrícola.

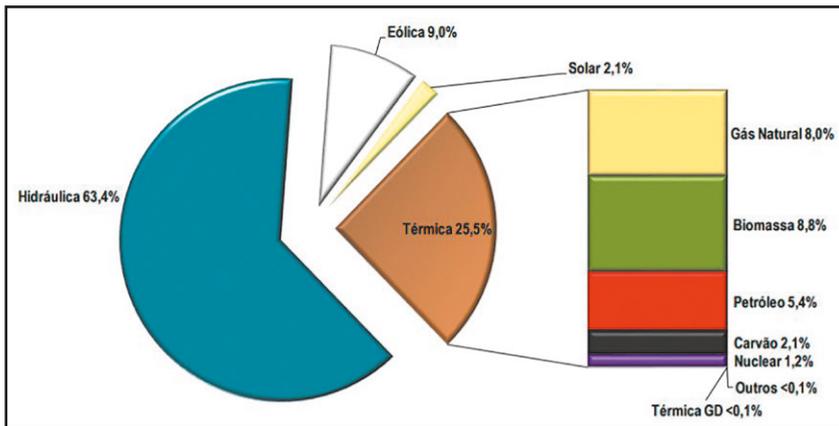
A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) classifica as centrais geradoras fotovoltaicas quanto ao porte, em quatro categorias, como apresentado na Tabela 1.1:

Tabela 1.1 – Classificação da FV quanto ao porte

Tipo de GD-FV	Capacidade [MW]
Micro	até 0,1, usualmente em BT
Mini	> 0,1 até 1, usualmente em MT
Pequena	> 1 até 30, usualmente em MT ou AT
Grande	> 30 em AT

Quer seja de pequeno porte, quer seja de grande porte, a penetração intensiva de energia solar como fonte primária da produção de energia elétrica no Brasil traz uma importante contribuição positiva na matriz energética brasileira, em sua porção elétrica. Com efeito, o parque gerador que supre o sistema elétrico brasileiro é preponderantemente hidroelétrico, conforme mostra a Figura 1.2.

Figura 1.2 Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica sem importação – Set/2019 (Ministério de Minas e Energia, 2019)



A natural armazenagem na forma de energia potencial mecânica, nos reservatórios do sistema hidroelétrico, oferece importante complemento ao sistema gerador baseado na produção de eletricidade a partir de energia solar, que por sua vez opera, naturalmente, de forma intermitente.

1.3.1 As instalações fotovoltaicas no mundo

Graças à sua estrutura modular o sistema fotovoltaico é, dentre as tecnologias com fontes renováveis, a que oferece maior possibilidade para aplicações com diferentes potências instaladas, que vão desde poucos W até vários MW. Esta característica contribuiu para seu significativo crescimento de sua capacidade instalada, a nível mundial.

Há algumas décadas os Estados Unidos foi a nação que mais investiu na tecnologia fotovoltaica, sendo que em 1980, produzia 85 % dos painéis solares, em termos mundiais. Entretanto, em 2005 essa parcela reduziu-se a menos de 10 % (Quaschnig, 2010) e nos anos posteriores até o ano de 2012 a Europa assumiu a liderança absoluta no que concerne a novas instalações, em que pesem os anos

da crise econômica mundial. Nesse período houve, no mundo, um crescimento exponencial das instalações fotovoltaicas. De fato, de 2010 para 2011 foram conectadas à rede, instalações somando respectivamente, 16,6 GW e 27,6 GW. No ano de 2010, na classificação dos países da Europa por potência instalada, destacava-se a Alemanha em primeiro lugar, seguida pela Itália e em terceiro, a República Tcheca. No ano de 2011 a Itália superou a marca da Alemanha e assumiu a liderança como se pode notar da Tabela 1.2 que apresenta as potências instaladas nos países do mundo que tenham pelo menos 1 GW instalado, onde a Europa representa o 75 % do mercado das novas instalações, com a Alemanha e a Itália representando quase o 60 % do total.

No gráfico apresentado na Figura 1.3 estão representados os dez países com as maiores potências fotovoltaicas instaladas no fim do ano de 2018.

Figura 1.3 Top 10 de países por capacidade FV instalada (IRENA, 2019)

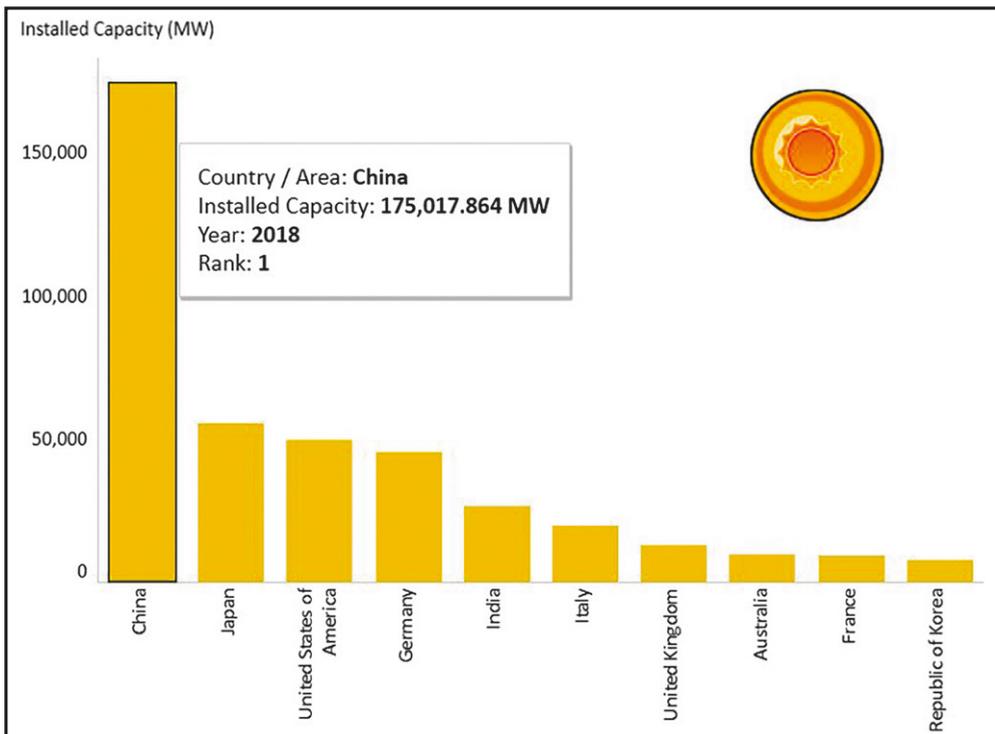
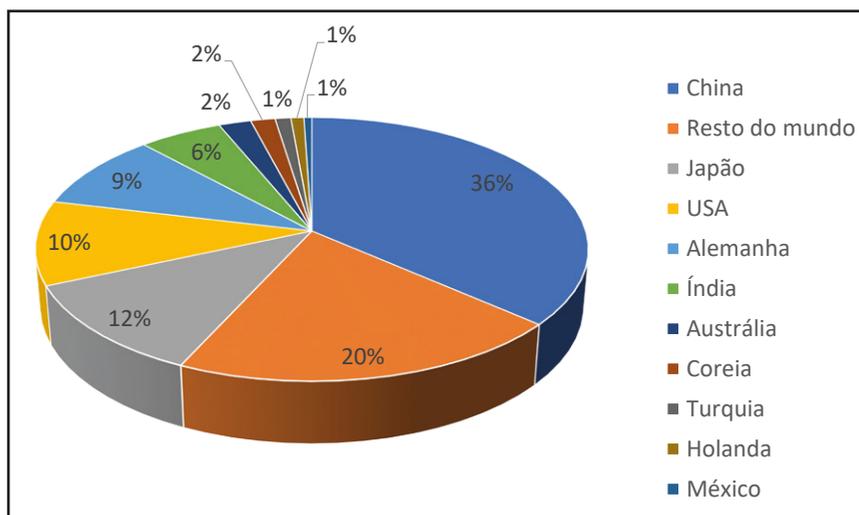


Tabela 1.2 – Capacidade FV instalada no fim de 2018 no mundo (IRENA, 2019; IEA, 2019)

País	Capacidade instalada em 2018 (GW)	Capacidade acumulada instalada no fim de 2018 (GW)
China	45,0	175,016
Índia	10,8	26,887
USA	10,6	49,692
Japão	6,5	55,500
Austrália	3,8	10,352
Alemanha	3,0	45,267
México	1,9	2,541
Coreia	2,0	7,862
Turquia	1,6	5,063
Holanda	1,3	4,150
Resto do mundo	97,3	480,619

Na Figura 1.4 apresenta-se a repartição da potência instalada em fotovoltaicas no mundo ao final de 2018, quando a capacidade mundial instalada de instalações fotovoltaica alcançou 480,619 GW, ocupando o terceiro lugar dentre as tecnologias que usam fontes renováveis, cujo primeiro lugar é da hidroeletricidade, seguida pela eólica.

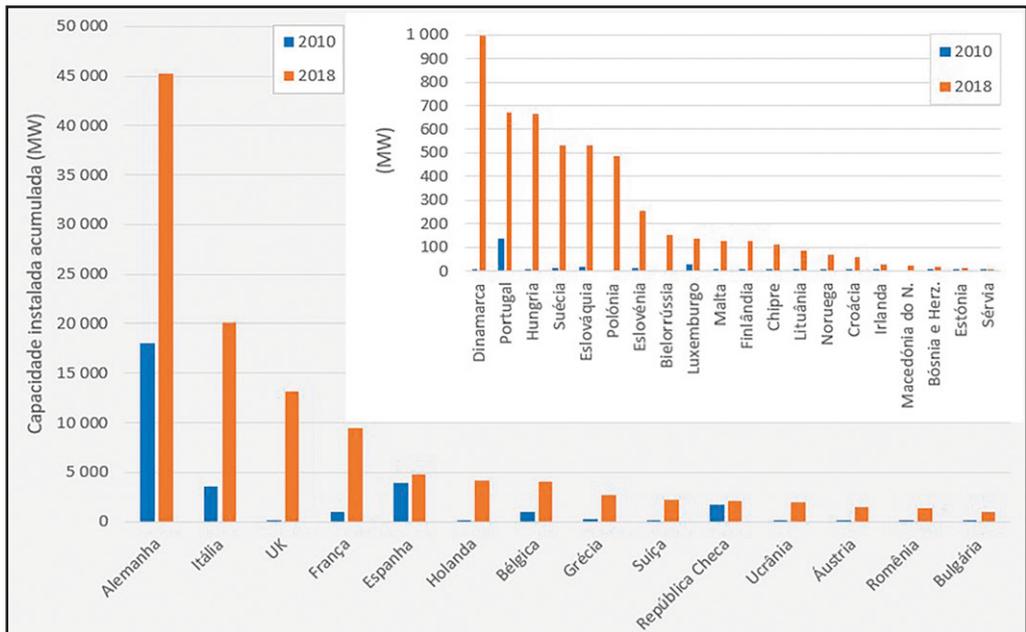
Figura 1.4 Distribuição percentual da capacidade instalada ao final de 2018. Elaboração própria com dados de (IRENA, 2019)



Instalações na Europa

Nos últimos anos, a evolução da potência instalada em geração fotovoltaica na Europa aumentou significativamente. Na Figura 1.5 apresenta-se a potência acumulada de instalações fotovoltaicas em alguns países da Europa (aqueles com capacidade instalada maior a 10 MW) no final de 2010 e de 2018. O total de capacidade instalada acumulada na Europa ao final de 2018 foi de 118,84 GW, enquanto em 2010 o acumulado total foi de 30,12 GW, isto é, um incremento de quase quatro vezes em oito anos (IRENA, 2019). Em alguns países o incremento supera em mais de 100 vezes a capacidade instalada em 2010, particularmente a Ucrânia, a Romênia, a Hungria, a Lituânia e a Croácia ultrapassam em mais de 200 vezes de incremento à capacidade instalada, isto devido principalmente a que estes países apenas contavam com alguns kilowatts instalados no início desta década.

Figura 1.5 Potência acumulada de instalações fotovoltaicas na Europa ao final de 2018 (IRENA, 2019)

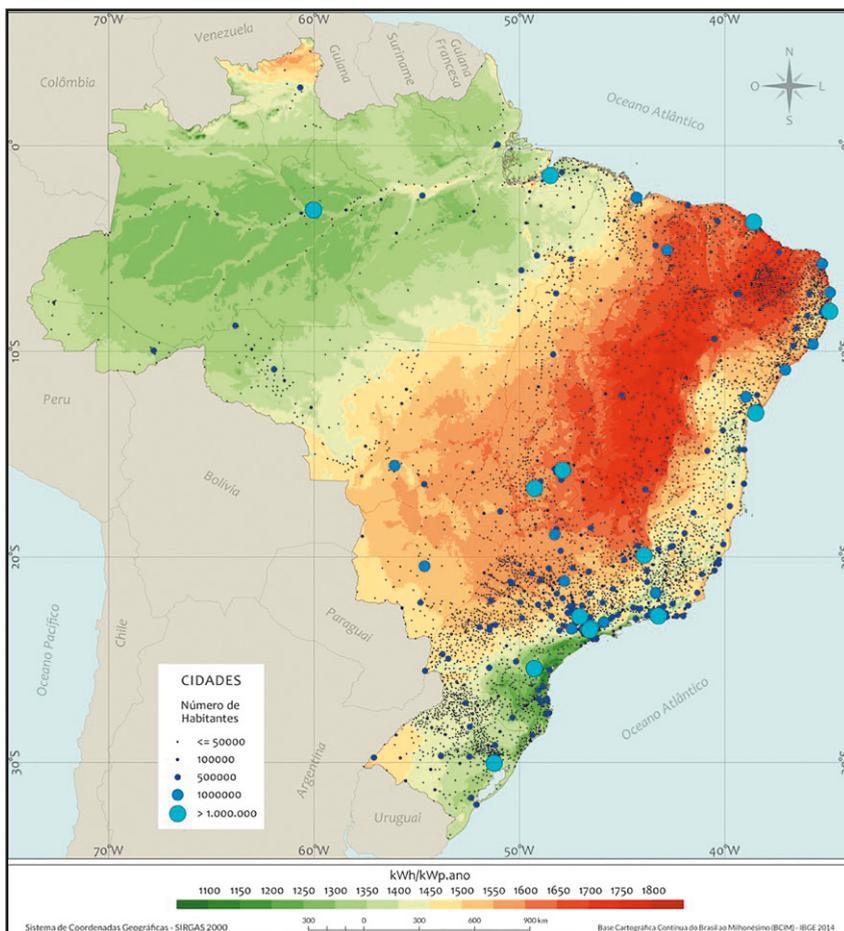


Instalações no Brasil

O Brasil, segundo o Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro do mês de setembro deste ano, conta com um total de cerca 3482 MW em geração solar sendo que 34,86 % correspondem à geração distribuída (Ministério de Minas e Energia, 2019).

A Figura 1.6 mostra o rendimento energético anual máximo (medido em kWh de energia elétrica gerada por ano para cada kWp de potência fotovoltaica instalada) em todo o Brasil, tanto para usinas de grande porte centralizadas e instaladas em solo, como para a geração fotovoltaica distribuída integrada em telhados e coberturas de edificações. Observa-se que grande parte do território nacional possui um potencial de geração fotovoltaica acima dos (Pereira, et al., 2017).

Figura 1.6 Potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual do território brasileiro (Pereira, et al., 2017)

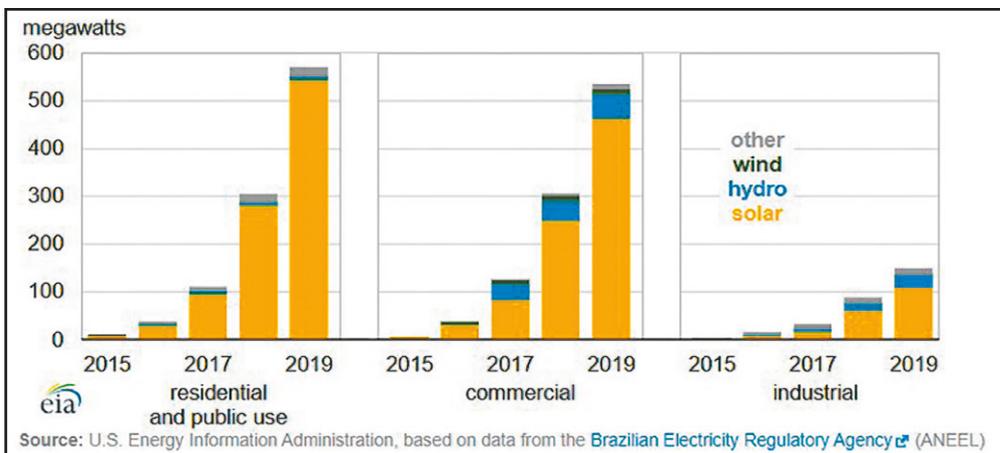


Em 2012 a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 482, que estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica, entre outras diretrizes, isto representou um primeiro impulso para o avanço da energia solar no Brasil.

Essa resolução regulamenta um sistema de compensação de energia que permite a uma unidade consumidora instalar uma central de geração de até 1 MW de capacidade que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada e trocar energia com a distribuidora local. Em 2015 a ANEEL alterou a resolução e incrementou a capacidade máxima para pequenas hidrelétricas até 3 MW e para outras fontes renováveis até 5 MW. Até meados de novembro de 2019, os usuários têm instalado mais de 135.000 sistemas de geração distribuída renovável no Brasil, totalizando cerca de 1,72 gigawatts (GW) de capacidade, de acordo com a ANEEL. Dessas instalações, 91 % (1,571 GW) correspondem a instalações fotovoltaicas (EIA, 2019).

A Figura 1.7 mostra o crescimento das instalações de geração distribuída desde 2015 e evidencia, especialmente, o incremento de instalações fotovoltaicas principalmente nas zonas residenciais, ultrapassando os 500 MW de capacidade instalada.

Figura 1.7 Capacidade instalada em geração distribuída no Brasil de Janeiro 2015 até Novembro 2019 (EIA, 2019)



Atualmente no Brasil existem vários projetos de geração de energia fotovoltaica que estão dedicados às aplicações abaixo relacionadas:

- Bombeamento de água para abastecimento doméstico, irrigação e piscicultura;
- Aplicações de uso coletivo, tais como, eletrificação de escolas, postos de saúde e centros comunitários;
- Atendimento residencial e comercial;
- Estações de telefonia e de atendimento remoto.

Previsões para o quinquênio 2011 a 2016

A União Europeia (UE), por meio da iniciativa “Clean energy for all Europeans”, pleiteia a transição do uso de combustíveis fósseis para uma energia mais limpa, onde o objetivo quanto às energias renováveis é atingir 32 % destas no seu mix energético até 2030. No curto prazo, a diretiva de energia renovável da UE de 2009 estabelece uma meta de 20 % do consumo final de energia proveniente de fontes renováveis até 2020 (European Union, 2019).

Segundo o relatório “Global Market Outlook 2019 – 2023” da SolarPower Europe, o cenário médio de crescimento do mercado solar fotovoltaico global do ano 2019 será de 25 % comparado com o do ano anterior e até 2023 o mercado terá um crescimento de quase 75 % comparado com a capacidade instalada em 2018 (SolarPower Europe, 2019). O relatório foi feito baseando-se em análises da indústria, de associações nacionais, de agências governamentais e de empresas de instalações elétricas.

A previsão de cinco anos da SolarPower Europe considera três cenários: baixo, médio e alto. O cenário médio antecipa o desenvolvimento mais provável, dado o estado atual do mercado. O cenário baixo baseia-se no suposto de que os formuladores de políticas interrompem o suporte solar e outras questões surgem, incluindo aumentos nas taxas de juros e situações graves de crise financeira. Por outro lado, o cenário alto prevê o melhor caso ideal em que o suporte a políticas, condições financeiras e outros fatores são aprimorados (SolarPower Europe, 2019).

Um resumo das previsões que podem ser encontradas no relatório está apresentado na Figura 1.8, na Figura 1.9 e na Figura 1.10, onde se observam diferentes cenários do mercado FV no mundo.

Na Figura 1.8 apresenta-se a capacidade FV instalada anualmente a partir de 2019 nos três cenários mencionados anteriormente.

Na Figura 1.9 apresenta-se a evolução mundial da potência instalada por ano nas diferentes regiões, considerando duas hipóteses de crescimento: cenário baixo e cenário alto. Observa-se estabilização na potência das instalações fotovoltaicas a ser instaladas nos próximos anos, em alguns casos a previsão mostra que a capacidade se reduz.

A Figura 1.10 mostra o crescimento histórico em capacidade FV acumulada no mundo de 2014 a 2019 e a previsão até 2023 para os três cenários.

Figura 1.8 Cenários anuais do mercado mundial até 2023: baixo, médio e alto (SolarPower Europe, 2019)

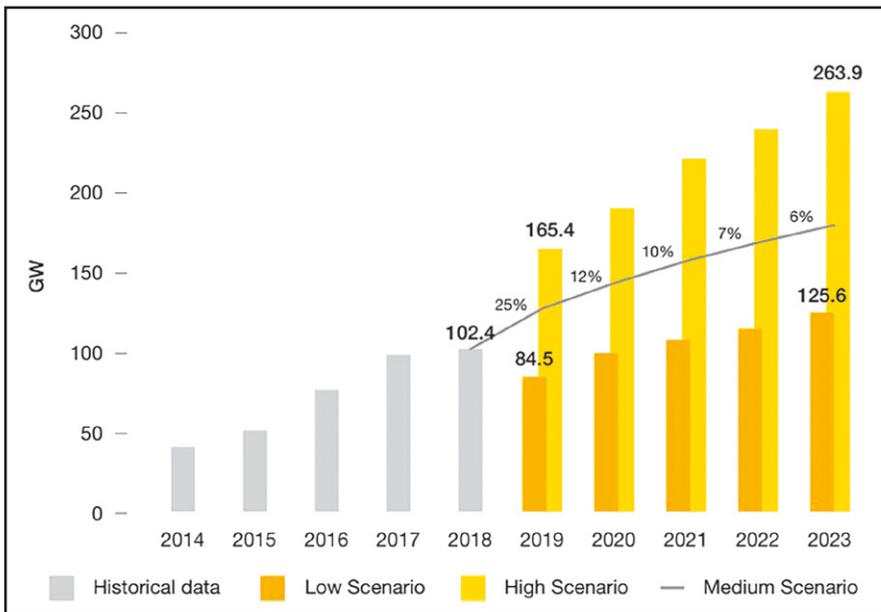


Figura 1.9 Evolução dos cenários do mercado mundial por região (SolarPower Europe, 2019)

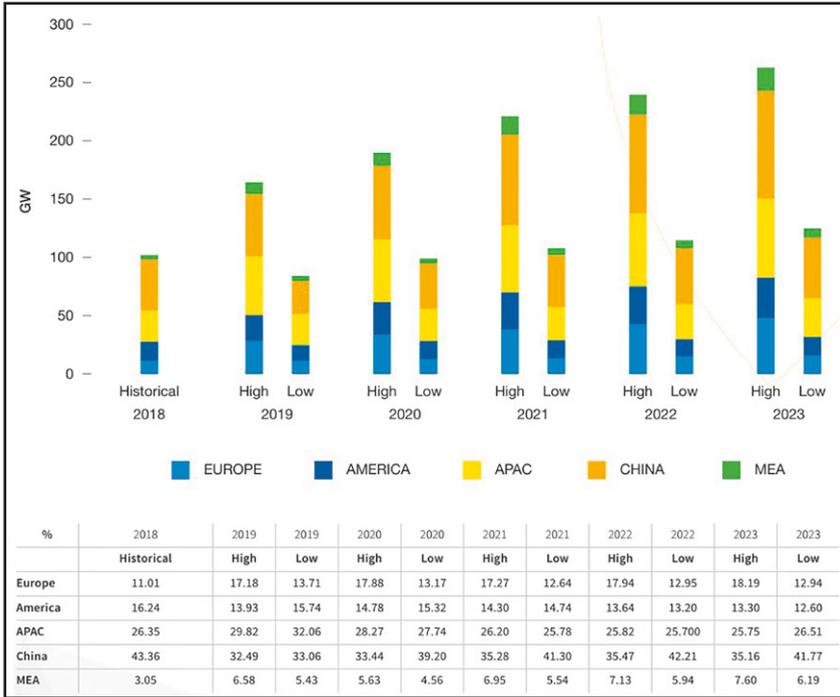
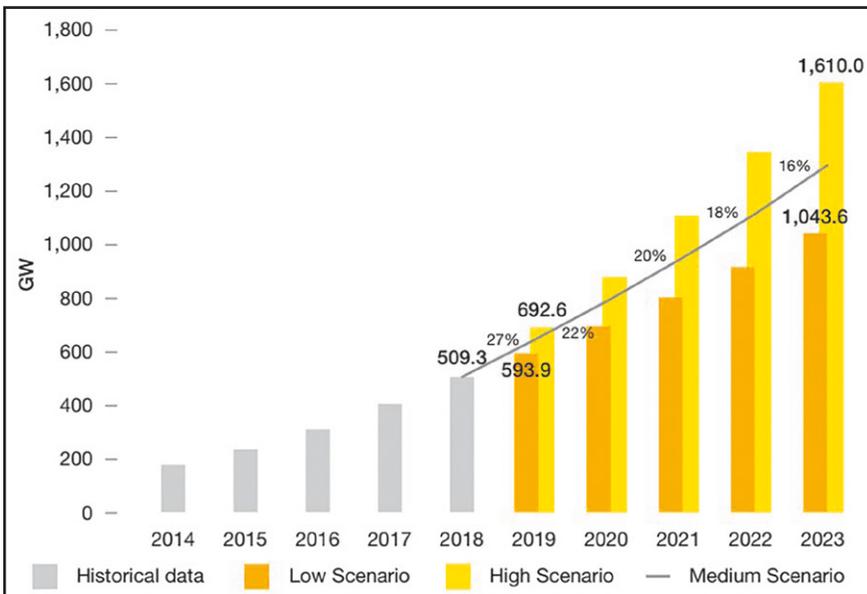


Figura 1.10 Cenários cumulativos do mercado mundial até 2023: baixo, médio e alto (SolarPower Europe, 2019)



Maiores aplicações de instalações fotovoltaicas do mundo

A Tabela 1.3 apresenta as atuais 10 maiores usinas em operação no mundo com potências instaladas desde 500 MW até 820 MW. Neste caso só estão incluídas estações de geração individuais (usualmente com uma única conexão de exportação para a rede), não estão considerados parques solares compostos por várias destas (Wolfe, 2019).

Tabela 1.3 – Classificação das maiores usinas FV em operação no mundo (Wolfe, 2019)

País	Nome	Capacidade AC (MW)
China	Yanchi Solar Park	820
China	Datong ‘Front Runner’	800
China	Longyangxia Solar-Hydro	697
Índia	Kamuthi Solar Power Project	648
México	Villanueva	640
USA	Solar Star	579
China	Hongshagang	574
USA	Topaz	550
China	Yinchuan Xingqing	500
Índia	NP Kunta Greenko	500

A maior usina solar FV é a Yanchi Solar Park, situada no distrito Yanchi, Ninxia na China com uma capacidade DC de 1 GWp. Iniciou sua operação em 2016 (Wolfe, 2019).

1.3.2 Aplicações de energia solar no Brasil

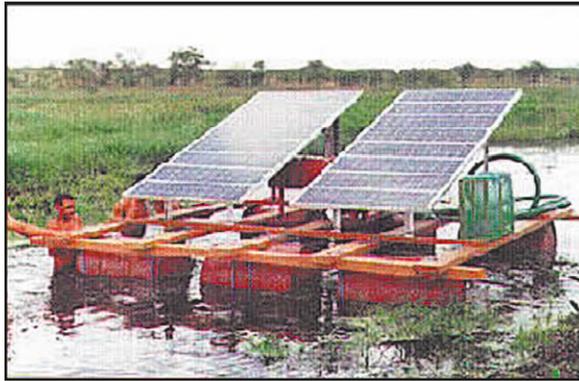
Bombeamento de água

Dentre as instalações de bombeamento de água destacam-se:

- Estação flutuante de bombeamento de água para irrigação instalada no Açude dos Peixes no município de Capim Grosso, Bahia, Figura 1.11. A instalação conta com 16 painéis M 55 da Siemens e uma bomba centrífuga de superfície com motor em corrente contínua de 1 HP. O sistema bombeia a água a uma distância de 300 m com vazão de 12 m³/dia. Foi desenvolvido em colaboração entre o Laboratório Nacional de Energias Renováveis dos

Estados Unidos (NREL, por suas siglas em inglês), o Centro de Pesquisas em Energia Elétrica, CEPEL e o governo da Bahia (ANEEL, 2005). Este projeto trouxe grandes benefícios à comunidade onde os sistemas FV de irrigação foram instalados, pois permitiu incrementar a produção dos cultivos na época de seca. Porém, após o ano 2002 as motobombas apresentaram problemas que não conseguiram ser solucionados e o projeto acabou (Santos, 2006);

Figura 1.11 Sistema fotovoltaico de bombeamento de água para irrigação (CRESESB, 2000)



- Sistema de bombeamento fotovoltaico para Santa Cruz I, Mirante do Paranapanema – SP, Figura 1.12. O reservatório tem capacidade de armazenamento de 7.500 litros e altura manométrica de 86 metros, abastecendo cerca de 440 famílias na região, Tabela 1.4. O sistema fotovoltaico é constituído por 21 módulos com potência nominal de 1,47 kWp (ANEEL, 2005).

Figura 1.12 Sistema de bombeamento fotovoltaico de Santa Cruz I (IEE, 2000)



Tabela 1.4 – Sistema de bombeamento de água da região do Paranapanema – SP (IEE, 2000)

Comunidade	Município	Altura Man. (m)	Reservatório (l)	Potência (Wp)	Famílias
Santa Cruz I	Mte. do Paranapan.	86	7500	1470	43
Santa Cruz II	Mte. do Paranapan.	92	7500	1470	12
Santana I	Mte. do Paranapan.	-	7500	2241	22
Santana II	Mte. do Paranapan.	74	27500	2490	35
Santa Rosa II	Mte. do Paranapan.	92	7500	1890	30
Santa Isabel	Mte. do Paranapan.	92	7500	2988	67
Palu	Pres. Bernardes	67	7500	1280	14
Santa Maria	Pres. Venceslau	80	7500	-	75
Santa Rita	Tupi Paulista	50	7500	-	31
Yapinary	Ribeirão dos Índios	85	7500	1494	20
Yapinary	Ribeirão dos Índios	68	7500	1494	19
Maturi	Caiuá	74	27500	-	50
Primavera I	Pres. Venceslau	74	7500	1743	23

Aplicações de uso coletivo

No Vale do Ribeira, litoral Sul de São Paulo, foram instalados vários sistemas de eletrificação para escolas, postos de saúde, pequenas comunidades, e unidades de preservação ambiental (IEE, 2000). Na Figura 1.13 ilustra-se a instalação do Núcleo Perequê que conta com laboratório, tanques de cultivo para a fauna marinha, salas de conferências, alojamentos.

Figura 1.13 Sistema de eletrificação fotovoltaica do Núcleo de Perequê (Vale do Ribeira - SP) (IEE, 2000)



Sistemas híbridos

Dentre os sistemas híbridos integrados por painéis fotovoltaicos e grupos diesel-elétricos destaca-se a instalação no município de Mamoré, Rondônia, que está em operação desde abril de 2001, Figura 1.14. Conta com três unidades diesel-elétrica totalizando 162 kW de potência instalada e 320 painéis dispostos em 20 colunas de 16 painéis perfazendo uma capacidade de 20,48 kW. A instalação foi realizada pelo Laboratório de Energia Solar, Labsolar, da Universidade Federal de Santa Catarina no âmbito do projeto BR 98/019 mediante contrato de serviço celebrado entre ANEEL/PNUD e a Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão a Pesquisa daquela universidade (ANEEL, 2005).

Figura 1.14 Sistema híbrido de Mamoré – Rondônia (ANEEL, 2005)



Programas de desenvolvimento

Uma parcela significativa dos sistemas fotovoltaicos existentes no Brasil foi implantada no âmbito do Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios PRODEEM, gerenciado pela Secretaria de Energia do Ministério de Minas e Energia – MME. Foram destinados US\$37.250.000 para 8.956 projetos com um total de 5,112 MWp. A Tabela 1.5 ilustra os projetos coordenados pelo PRODEEM/MME.

Os sistemas energéticos incluem módulos, baterias, controladores, inversores CC/CA e estrutura de fixação. Os sistemas de bombeamento incluem módulos, inversores CC/CA, controladores bombas de água e estrutura de fixação dos módulos. Dados das Fases I e II fornecidos pelo CEPTEL.

Tabela 1.5 – Projetos fotovoltaicos coordenados pelo PRODEEM/MME (ANEEL, 2005)

Fases	Energéticos			Iluminação Pública			Bombeamento			Totalização		
	Qtd. (A)	Potência KWp (B)	Total US\$1mil (C)	Qtd. (D)	Potência KWp (E)	Total US\$1mil (F)	Qtd. (G)	Potência (KWp) (H)	Total US\$ 1mil (I)	Qtd. (J)=A+D+G	Potência KWp (L)=B+E+H	Total US\$ 1mil (M)=C+F+I
Fase I	190	87	526	137	7	76	54	78	480	381	172	1.081
Fase II	387	195	1.621	242	17	197	179	213	1.635	808	425	3.453
Fase III	843	526	3.495	0	0	0	224	165	1.173	1.067	691	4.668
Emerg.	0	0	0	0	0	0	800	235	2.221	800	235	2.221
Fase IV	1.660	972	5.456	0	0	0	1.240	457	4.569	2.900	1.429	10.026
Fase V	3.000	2160	15.801	0	0	0	0	0	0	3.000	2.160	15.801
Total	3.080	3.940	3.940	379	24	272	2.497	1.147	10.078	8.956	5.112	37.250

Empreendimentos fotovoltaicos

O Brasil possui no total 3764 empreendimentos fotovoltaicos em operação, incluindo sistemas de geração distribuída, totalizando 2.386.461 kW de potência instalada. Atualmente há 20 projetos em construção que somam uma potência de 699.876 kW e estão registrados 112 empreendimentos mais, que ainda não iniciaram sua construção com uma potência outorgada que totaliza 4.545.322 kW (ANEEL, 2019). Uma das primeiras usinas solares a se conectar ao Sistema Elétrico Nacional Brasileiro, em julho de 2011, é a Usina Solar de Tauá, do agente TAUÁ GERAÇÃO DE ENERGIA LTDA., instalada na cidade de Tauá, no Sertão dos Inhamuns do Ceará. Ocupa uma área de 12 mil metros quadrados e é formada por 4.680 painéis que lhe garantem capacidade de 1MW (Veja, 2011).

Figura 1.15 Central Solar de Tauá – Ceará (Veja, 2011)



Atualmente, o complexo solar Pirapora é a maior usina de geração solar do Brasil, está localizado em Pirapora, Minas Gerais, está composto por 11 usinas (3 x 27 MW e 8 x 30 MW) e tem uma capacidade instalada de 321 MW. Entrou em operação comercial em outubro de 2017 (Omega Energia, 2019).

Figura 1.16 Maior usina de geração FV no Brasil. 321 MW (Solis Energia, 2017)



A Usina de Tanquinho, foi a primeira do estado de São Paulo e chegou a ser a maior do Brasil. Construída pela CPFL Energia em Campinas, SP, entrou em operação em 27/11/2012. Trata-se de projeto de pesquisa e desenvolvimento que utiliza diferentes tipos de painéis, considerando desde as tecnologias de silício policristalino, 1ª geração, e silício amorfo microcristalino, 2ª geração. Testa ainda “filmes finos”, com o telureto de cádmio e o Cobre-Índio-Gálio-Selênio (CIGS), além do silício amorfo microcristalino. As tecnologias de filme fino têm sido utilizadas em países com clima semelhante ao do Brasil, pois se adequam melhor a localidades onde a temperatura é mais elevada. A instalação de módulos com diferentes tecnologias e configurações (arranjos de painéis fixos e móveis que acompanham o sol) tinha como objetivo verificar qual se comporta melhor nas condições climáticas do Brasil (CPFL Energia, 2011; ANEEL, 2019).

Figura 1.17 Usina Solar de Tanquinho da CPFL Energia em Campinas, SP (CPFL Energia, 2011)



Atualmente e graças ao impulso das energias renováveis com a publicação da Resolução Normativa nº 482 existem 112.023 empreendimentos fotovoltaicos de geração distribuída que representam 1.214 MW de capacidade instalada, estas instalações podem ser de tipo residencial ou comercial. Alguns exemplos deste tipo de instalações são a Megawatt solar da Eletrosul (Figura 1.18) e a usina solar do estádio Mineirão (Figura 1.19) em Belo Horizonte, Minas Gerais. A Megawatt solar foi construída sobre o prédio administrativo e as vagas de estacionamento da Eletrosul e possui 930 kW de potência enquanto o estádio Mineirão totaliza uma potência de 1.418,4 kW (CEMIG, 2014; Eletrobras/Eletrosul, 2014; ANEEL, 2019).

Figura 1.18 Usina Megawatt solar da Eletrosul em Florianópolis, SC (Eletrosul, 2014)



Figura 1.19 Usina solar do Mineirão em Belo Horizonte, MG (Mineirão, 2019)

