

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Oswaldo Soliano Pereira¹

Ricardo Ruther²

¹Universidade Federal da Bahia

²Universidade Federal de Santa Catarina

DOI: 10.47168/rbe.v27i3.642

RESUMO

O artigo se propõe a analisar o setor solar fotovoltaico no Brasil, cobrindo como o planejamento do setor elétrico fez sua inserção no período 2011-2020 e o que prevê para década 2021-2030 ou seja, uma análise crítica dos resultados da década que se encerrou e das propostas/tendências para a década que se inicia. Mostra-se como o Brasil, ainda que tardiamente, se alinhou completamente à tendência global, ainda que aqui a questão ambiental não seja um motor relevante para a alta penetração já alcançada atualmente e que se delineia nos cenários para o futuro. Destaca-se os três segmentos de mercado: a solar centralizada, a geração distribuída e as oportunidades nos sistemas isolados. Conclui-se ressaltando alguns desafios e barreiras ainda existentes, alguns eventuais retrocessos no incentivo a essa fonte, exatamente por se priorizar a competitividade entre as fontes, relevando seus atributos ambientais. Todavia, a tendência de preços declinantes faz compensar os retrocessos sinalizando perspectivas de crescentes percentuais de participação na matriz elétrica nacional.

Palavras-chave: Energia solar, Crescimento histórico, Políticas públicas, Perspectivas, Desafios.

ABSTRACT

The article's objective is to analyze the solar photovoltaic sector in Brazil. It covers how the planning of the power sector has embodied this source in the period between 2011 and 2020, and what the sector forecasts for the decade of 2021-2030. The article is, therefore, a critical analysis of the results of the decade that ended and the proposals / trends for the decade that begins. The article shows how Brazil, albeit belatedly, fully aligned itself with the global trend, despite the environmental issue not being a relevant driver for the high penetration solar energy already achieved and which is outlined in the scenarios for the future. The threemarket segments are discussed: centralized solar, distributed

generation and opportunities in isolated systems. The article concludes by highlighting some challenges and barriers that still exist, and some possible setbacks in encouraging this source. These setbacks are of notice precisely because, when prioritizing the competitiveness between the sources, it fails to consider its environmental attributes. However, the declining price trend compensates for the setbacks, signaling the prospect of increasing levels of participation in the national power sector.

Keywords: Solar energy, Historical growth, Public policy, Perspectives, Challenges.

1. INTRODUÇÃO

O mundo vive uma grande transformação energética, com a taxas de crescimento, sem precedentes, das fontes renováveis de energia, em particular, das fonte solar e eólica (IRENA, 2019a). A Figura 1 (UNEP GAP REPORT; IEA, 2020b) deixa evidente que todas as previsões da publicação anual *World Energy Outlook* (WEO) da Agência Internacional de Energia (IEA, 2020a) sobre a capacidade instalada da energia solar fotovoltaica são anualmente ultrapassadas pela realidade. O relatório atribui esta explosão, que prefere de nominar de transformação energética, a algumas forças da mudança, das quais são destacadas aqui os custos declinantes dessas duas fontes, a redução da poluição, a contribuição delas para mitigar a mudança do clima e as políticas de promoção das renováveis.

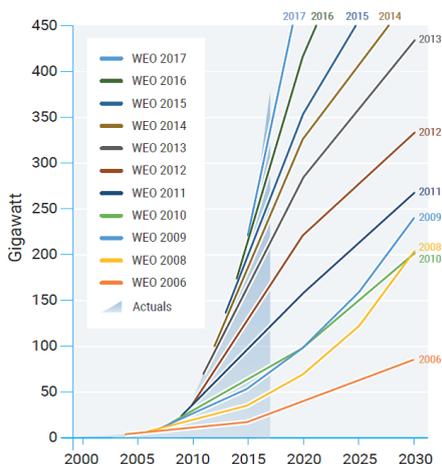


Figura 1 - Instalações fotovoltaicas solares cumulativas em comparação com as previsões dos vários WEO

A energia solar adicionou em 2017 mais capacidade instalada do que as usinas a carvão, gás e nuclear juntas. Em 2018 repetiu-se o feito, com 102 GW, ficando o carvão em segundo lugar, com 50 GW, colado com a eólica que incorporou 49 GW e o gás natural em seguida, com 46 GW (SOLARPOWER EUROPE, 2019). Já em 2019, os números foram 117 GW para a fonte solar, 61 GW de eólica e 18 GW para o carvão ao se considerarem as capacidades líquidas adicionadas (SOLARPOWER EUROPE, 2020). O ano de 2020 viu a repetição da tendência de predominância da fonte solar como tecnologia com a maior capacidade instalada anualmente. Apesar da pandemia, foram instalados globalmente 141 GW (PVTECH, 2021). No Brasil, os cenários são muitos mais modestos, mas também expressivos.

Esse artigo concentra-se na energia solar fotovoltaica, sua evolução no Brasil ao longo dos dez últimos anos e as perspectivas para os próximos dez anos. Discute-se como esta tecnologia surpreendeu os planejadores e como pode ainda se tornar uma das principais fontes de produção de energia elétrica no Brasil, seus gargalos e os desafios a serem enfrentados.

2. PLANEJAMENTO

No caso do Brasil as previsões da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), assim como aquelas da IEA, também foram superadas em muito pela realidade. Apenas no PDE 2023, que cobre o período 2014-2023, aparece a primeira alusão à energia solar, prevendo que se teria uma capacidade instalada de 500 MW em 2017, e daí em diante 500 MW adicionais por ano. Entretanto, a realidade foi muito diferente. Nos leilões realizados ao longo de 2014 foram arrematados 891 MW (EPE, 2015). Ao final, em maio de 2018 já se tinha instalado 1180 MW. Portanto, apenas quatro anos antes a EPE prevê a entrada da energia solar, quase dentro do limite de tempo para instalação da energia a ser arrematada nos leilões.

O PDE 2024 (2015-2024) prevê 900 MW para 2017, ainda abaixo do que se teria em maio de 2018. Apenas no PDEE 2026, com previsões para o horizonte de 2017 a 2026, praticamente acerta-se o que estará instalado no ano de 2017. A partir daí, como pode ser visto na Figura 2, as previsões começam a errar no sentido otimista, mas já por contas das recessões que o País viveu em 2015 e 2016 e, mais recentemente, em 2020, sendo que alguns leilões anuais não foram realizados pelas quedas de demanda.

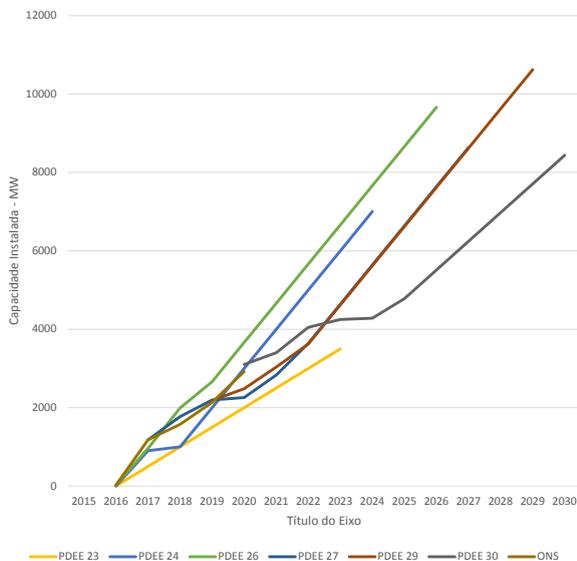


Figura 2 - Planos Decenais e dados do realizado pela ONS

O PDE 2026 (2017-2016) estimava uma redução de 30% dos custos no horizonte decenal, abrindo um cenário alternativo de redução de até 40%. Neste ano o PDE trabalhou com um Modelo de Decisão de Investimento (MDI) que passou a fornecer uma expansão ótima da oferta para cada visão de futuro. No caso do cenário de referência, o Plano trabalha com a indicação de um programa de expansão da oferta solar fotovoltaica de 1.000 MW em 2020, além de uma indicação de expansão uniforme (cujo montante foi otimizado pelo MDI) da mesma fonte de, no mínimo, 1.000 MW/ano a partir de 2021, prevendo-se, portanto, uma capacidade instalada da energia solar de 9,6 GW ao final do horizonte. A partir desse cenário, oito análises de sensibilidades são feitas (*what-if*), fazendo variar os cenários de demanda, do custo de investimento da energia solar fotovoltaica, de disponibilidade de energia hidrelétrica e de políticas energéticas. O caso mais crítico para a energia solar seria o de Evolução da Expansão Indicativa no Cenário Livre (sem política energética), “uma alternativa onde o MDI tem total liberdade para escolher a expansão que minimiza os custos de investimento e operação ao longo do horizonte de planejamento” (EPE, 2017) que tenderia a penalizar a energia solar que ainda apresentava os maiores custos. Nessa situação, a previsão de entrada de solar até 2026 seria zero (Caso 7). Já no caso de Evolução da Expansão Indicativa no Cenário de Redução do Custo de Investimento da

Solar Fotovoltaica, em que o CAPEX da opção fotovoltaica cairia de US\$ 1.300/kW para US\$ 800/kW (Caso 4), a capacidade instalada de solar ao final do horizonte seria superior a 13.100 MW, o cenário mais otimista. Como mencionado acima a realidade ficou um pouco abaixo do cenário de referência em razão das repercussões das crises econômicas de 2015 e 2016 e do atraso na entrada em operação de usinas fotovoltaicas dos leilões realizados até então.

No PDE 2027 (BRASIL, 2018), a expansão da energia solar fotovoltaica é avaliada sob duas análises de sensibilidade distintas no seu cenário de referência, que trabalha com uma capacidade instalada de 8,6 GW no final do horizonte. Na primeira sensibilidade analisa-se a penetração da fotovoltaica considerando sua contribuição para a ponta da carga, que poderia ser nula em alguns meses do ano (de maio a agosto), resultando numa necessidade de expansão num valor inferior ao caso base de 1.000/MW, ainda que para alguns meses o pico fosse diurno e a contribuição solar muito significativa. Na segunda sensibilidade, trabalha-se considerando adicionalmente um efeito da redução de 40% do CAPEX da solar fotovoltaica, levando seu custo de implantação para R\$ 2.400/kW, o que a tornaria mais competitiva que as demais fontes, fazendo elevar o mercado de referência para um nível de 3.000 MW/ano, a partir de 2024. Em todos os casos o Modelo de Decisão de Investimento (MDI) novamente fornece a expansão ótima da oferta. Apesar de prever cenários otimistas para o longo prazo, o PDE 2027 voltou a subestimar a retomada do mercado da energia solar após as crises de 2015/16, tendo a capacidade instalada realizada em 2020 ficado muito além do previsto, mostrando uma grande resiliência desse mercado.

Como visto na Figura 2, as estimativas do PDE 2029 (BRASIL, 2020) são praticamente as mesmas do 2027, com um ligeiro aumento para as previsões no horizonte de curto prazo¹. Esse documento trabalha no seu cenário de referência uma expansão de 1.000 MW/ano a partir de 2023, para a energia solar fotovoltaica, já numa perspectiva de custos de operação do sistema elétrico brasileiro mais baixos. Uma das análises de sensibilidade impacta os cenários da energia solar fotovoltaica. Ao se assumir um cenário de aumento de demanda e custos da fotovoltaica a R\$ 2.400/kW, poder-se-ia adicionar mais 6,9 GW dessa fonte, elevando sua participação para 16% na expansão. Nesse PDE, dedicado ao papel da tecnologia fotovoltaica na expansão, a EPE analisa as quedas de preço variando de 70 a 90% nos anos anteriores no mercado internacional, mas observa uma grande variabilidade nos dados nacionais (EPE, 2018), o que traz grandes incertezas ao planejamento da EPE. Outros fatores como a consideração de custos locais e políticas energéticas podem resultar em grandes

¹ Não foi publicado o PDE 2028, assim como não fora o PDE 2025.

variações no perfil da expansão. Ao final, no cenário de referência, o Plano ainda traz valores consideravelmente inferiores referentes à potência instalada que ocorrerá em 2020, mas aqui certamente por ter como ponto de partida a capacidade instalada em maio de 2019, sem considerar o que será instalado ao longo do ano.

O PDE 2030 (BRASIL, 2021) introduziu novos critérios de suprimento de potência e de energia, que são atrelados ao *Conditioned Value at Risk* – CVaR (Valor esperado condicionado a um determinado nível de confiança) e ao *Loss of Load Probability* – LOLP (risco de insuficiência de capacidade). Como cenário de referência a energia solar sairia de 3,1 GW em 2020 para 8,4 GW em 2030, considerando um cenário para a geração distribuída, chamado de Verão, que será discutido mais abaixo. Prevê-se um incremento anual da fotovoltaica centralizada de 731 MW, a partir de 2026. Numa análise de sensibilidade que poderia impactar a energia solar fotovoltaica, ao se considerar o impacto da Lei 14.120 (MP 998/2020) com a revisão dos incentivos às fontes renováveis, ditas alternativas, nota-se que o resultado não alteraria o cenário de referência. É evidente que todo o planejamento do setor elétrico foi impactado com a crise da pandemia que resulta no cancelamento dos leilões de 2020, fazendo PDE 2030 prevê que em 2024, com pouco mais de 4 GW de capacidade instalada, atingir-se-á pouco mais da metade do que o PDE 26 previra para o mesmo ano, cenário que certamente pode ser novamente superado com potenciais quedas de preços nos mercados nacionais e internacionais.

No que diz respeito à geração distribuída (GD), já o PDE 2022 (BRASIL, 2013) prevê uma produção de 325 GWh para 2017 e de 1.919 GWh (1,4 GWp) em 2022, para a autoprodução de origem fotovoltaica, em função da penetração de sistemas de geração solar fotovoltaica nas classes residencial e comercial. Para esse cenário limita o mercado potencial a residências com consumo acima de 500 kWh/mês, restringindo ainda mais na medida que apenas 30% dos telhados das residências adequados ao aproveitamento para tal nível de consumo. Considera ainda uma parcela da classe comercial na baixa tensão. O PDE 2023 (BRASIL, 2014) expande um pouco o mercado ao passar a considerar residências que consomem acima de 400 kWh/mês e que 55% dos telhados seriam passíveis de serem aproveitados. Inclui ainda uma parcela da classe comercial na baixa tensão. A previsão é de 664 MWp para uma energia gerada de 100 MWmed em 2023. A redução em relação ao ano anterior é em função da mudança do esquema de tributação pelo qual a energia fotogerada passaria a ser tributada seguindo acordo do Sistema Confaz (Conselho Nacional de Política Fazendária), posteriormente revisado. Os valores para 2020 estariam na faixa de pouco mais de 250 MWp e 40 GWh.

O PDE 2024 (BRASIL, 2015) modificou a metodologia utilizada

para previsão da geração distribuída fotovoltaica baseando-se num modelo de Bass (1969 apud BRASIL, 2015) adaptado ao Brasil por Konzen (2014 apud BRASIL, 2015), em que se passa a considerar características socioeconômicas da população, características técnicas dos domicílios, como nas versões anteriores e curvas de difusão tecnológica. O valor estimado para 2024 é de 1.593 GWh, com 1.319 MWp.

O PDE 2026 incorpora em suas análises várias premissas que tinham se modificado desde o PDE 2024, como as mudanças introduzidas na REN 482/2012 com a REN 687/2015 (ANEEL, 2015), as reduções de impostos estaduais e federais à energia compensada, a redução dos preços dos sistemas fotovoltaicos e ao aumento das tarifas de energia elétrica acima da inflação nos anos anteriores. Isso vai aumentar significativamente as estimativas para o final do horizonte com 770 mil sistemas fotovoltaicos e 3,3 GWp em 2026. Para 2020 o número giraria em torno de 600 MWp, novamente longe da realidade dos mais de 4.600 MW de GD fotovoltaica acumulados até o final de 2020.

O PDE 2027 segue utilizando a metodologia proposta por Konzen, mencionada acima e passa a levar em conta a tarifa binômia, a partir de 2020. A previsão resulta em 11,9 GW instalados, contribuindo com 2.400 MWmed. A geração fotovoltaica responderia por 82% da capacidade instalada (9,8 GW), e 55% da energia gerada. O valor estimado para 2020 seria de menos de 1.000 MW. Numa análise de sensibilidade, onde não se levaria em conta a tarifa binômia, a capacidade instalada saltaria de 12 GW para 21 GW em 2027.

PDE 2029 começa o capítulo sobre GD reconhecendo a importância dessa geração, que atingira 1 GW em junho de 2019, superando todas as previsões anteriores. O relatório já começa a trabalhar com possibilidades da revisão da REN 482 (ANEEL, 2012). Assim, as premissas são mudadas de forma a incorporar no cenário de referência, além das tarifas binômias, a incorporação de algumas tarifas que deixariam de ser objeto de compensação pela REN 482, fazendo reduzir a atratividade para os novos investidores de GD. Essas mudanças fariam as estimativas irem para 1,3 milhão de usuários da GD em 2029, totalizando 11,4 GW e 2.300 MWmed. A Figura 3 sintetiza esses números desagregando por ano e por tecnologias. A capacidade instalada de fotovoltaica superaria 2 GW em 2020 e se aproximaria de 9,5 GW em 2029, com 1.449 MWmed. Nas análises de sensibilidade os números da capacidade instalada poderiam variar de 9 a 32 GW, em função das eventuais mudanças na 482 e na aplicação das tarifas binômias.

O PDE 2030 constata que em 2019 foram instalados 1,5 GW em geração distribuída, novamente rompendo todas as estimativas anteriores. Ao final dos três primeiros meses de 2020 a capacidade insta-

lada romperia o patamar de 3 GW. A eminência de mudanças nas REN 482, previstas para 2019, mas posteriormente transferida para decisão do Poder Legislativo, fez aquecer o mercado. Dentro desse quadro de incertezas, o PDE trabalhou com o que chamou de “Cone de Possibilidades” para 2030, com um limite inferior de 16,8 MW e superior de 35,8 GW, partindo de 4,2 GW em 2021. Dois cenários de referências são traçados: Verão e Primavera. No primeiro, as mudanças no mecanismo de compensação de energia elétrica (REN 482/2015) seriam mínimas mantendo a GD muito incentivada; no segundo, os incentivos tarifários são removidos, desaquecendo o mercado para novos investidores. Assim, o resultado final dos cenários de referência, dentro do Cone de Possibilidades seria de 24,5 GW, no Cenário Verão e de 16,8 GW no Cenário Primavera. Em ambos cenários mais de 95% da capacidade instalada seria de origem fotovoltaica. A partir dos dados do PDEE 2029 (BRASIL, 2020) e PDEE 2030 (BRASIL, 2021) tem-se a Figura 3, que sintetiza o horizonte 2020-2030 por ano, nos dois cenários. Observa-se um grande salto nas estimativas do PDE 2029 para o PDE 2030, com previsão no primeiro de 11 GW para 2029 e no segundo de aproximadamente 15 GW. Duas explicações são dadas pela EPE: a popularização da GD e a “corrida” por instalações ante a iminência das regras vigentes atuais. Se essas regras mudarem apenas sutilmente o cenário de mais de duplicação da capacidade instalada poderia acontecer.

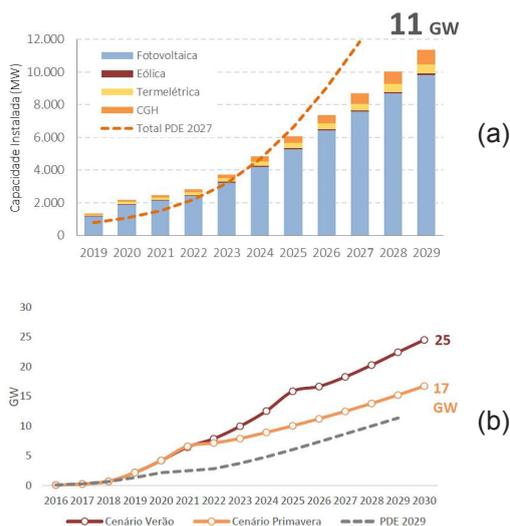


Figura 3 - Projeção da capacidade Instalada da micro e minigeração distribuída nos cenários 2019-2029 (a) e 2020-2030 (b)

Para o cenário 2050, a EPE, no seu Plano 2050 (BRASIL, 2020), avalia para a maioria dos casos rodados que a capacidade instalada de energia solar fotovoltaica poderia variar entre 27 e 90 GW, com uma produção entre 8 e 26 GW médios, o que faria da fonte ter sua participação entre 4 e 12% do total da energia gerada no País, sem levar em conta a geração distribuída. Alguns cenários alternativos em que pudesse haver restrições à expansão das hidrelétricas “quer seja por questões legais, por efeitos de mudanças climáticas ou por outras razões” (BRASIL, 2020), a expansão da fotovoltaica poderia ser extremamente favorecida, podendo variar em função do nível de restrições de 42 a 89 GW. Com eventuais restrições adicionais à eólica ou de transmissão, a capacidade poderia variar entre 95 e 190 GW. Por outro lado, a exploração de todo potencial hidrelétrico do País aliado ao uso da biomassa da cana de açúcar ao longo de todo ano e com repotenciação dessas usinas, pode levar a uma capacidade instalada na faixa de 18 GW. Há ainda cenários em que a energia solar fotovoltaica teria sua capacidade instalada limitada a 50 GW.

3. CAPACIDADE INSTALADA E ENERGIA GERADA

A expansão das fontes solares apresenta uma tendência de crescimento muito relevante. Em 2018, pela primeira vez instalou-se globalmente 100 GW num só ano, partindo de 1,2 GW em 2000. Em 2007 existiam 9,2 GW de usinas solares fotovoltaicas e em 2018 esta capacidade já alcançava 505 GW, ou seja, um crescimento superior a 42.000 %. A Figura 4 (REN21) mostra o crescimento anual da capacidade instalada e acumulada nos últimos dez anos, atingindo 627 GW ao final de 2019.

Para o futuro a organização *Solar Power Europe* (2020) sinaliza uma continuidade desse crescimento exacerbado, prevendo no seu cenário mais conservador que em 2024 existirão 1.177,5 GW de capacidade instalada, ante 610 GW previsto um ano antes para 2023, e no cenário mais arrojado 1.678,0 GW (1.043,6 GW para 2023), ou seja um crescimento de 13,2% ao ano (cenário pessimista) ou 21,5% no cenário mais otimista (2018). A Figura 5 (SOLARPOWER EUROPE, 2020) apresenta estes cenários.

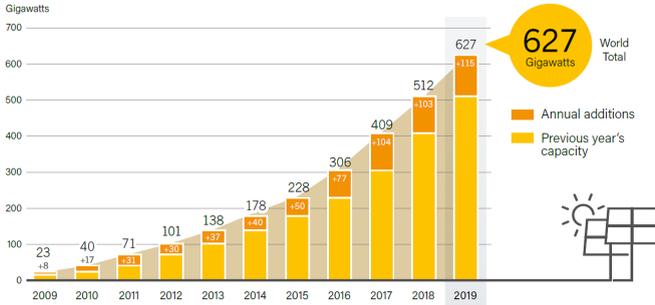


Figura 4 - Capacidade instalada de usinas fotovoltaicas no mundo

A situação da energia solar fotovoltaica no Brasil seguiu o padrão internacional de um grande avanço, mas com um certo atraso. Como mostra a Figura 6, com dados sintetizados pela ABSOLAR, havia no Brasil 42 MW em 2015 e em 2020 esta cifra atingiu o patamar de 7.740 MW, sendo 3.093 em sistemas centralizados e 4.616 em sistemas de GD, que representava 60% da capacidade instalada no País. Os números apresentados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), no seu Boletim Mensal de Geração Solar Fotovoltaica, na edição de dezembro de 2020, são ligeiramente diferentes, mas totalmente convergentes com os da ABSOLAR. O ONS despacharia 2.922 MW em sistemas centralizados, existiria mais 431 MW de geração de maior porte, operada diretamente pelos produtores e mais 4.548 MW em sistema de geração distribuída. Em março de 2021, segundo a ABSOLAR, o marco de 8 GW teria sido superado.

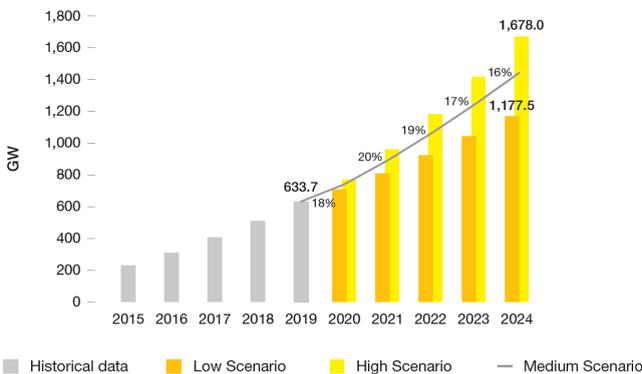


Figura 5 - Cenários do Mercado da Energia Solar Fotovoltaica total mundial no horizonte 2020-2024

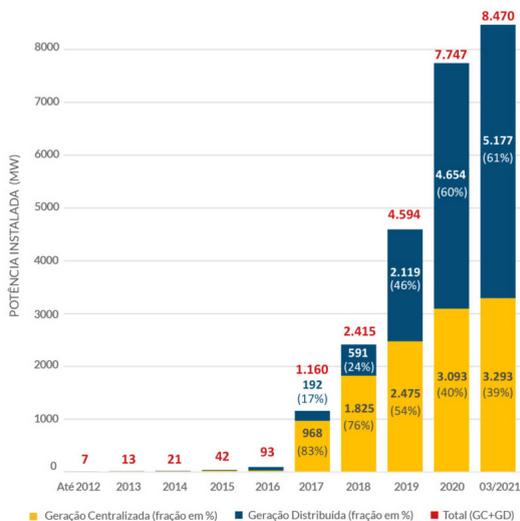


Figura 6 - Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil

Em 2016 a ANEEL não indicava nenhuma usina fotovoltaica a ser fiscalizada, já em março de 2021 a potência fiscalizada atingia 3.291 MW, do qual se excluem empreendimentos para consumidores livres (ANEEL, 2021). A potência outorgada atingia o número de 3.291 MW. Ainda totaliza mais 1.219 MW em empreendimentos em construção e mais 14.202 MW com potência outorgada em empreendimentos com construção não iniciada.

Segundo o ONS (2020), a produção de energia elétrica de origem fotovoltaica em dezembro de 2020 foi de 575,61 MWmed. Em junho de 2020 fora 614,81 MWmed e em janeiro do mesmo ano fora de 509,87 MWmed. O recorde histórico de produção numa base diária foi de 778,0 MWmed, atingindo um fator de capacidade de 26,89%, acontecido em 3 de outubro de 2020. Já o recorde numa base horária atingiu 2.073,12 MWmed, atingido em 3 de abril de 2020, às 10:00, quando o fator de capacidade teria atingido acima de 76%. Há, todavia, recordes instantâneos que superam 1.500 MW (CANALENERGIA, 2021). O fator de capacidade máximo já atingido numa base horária foi de 92,32% e numa base diária foi de 35,20%, enquanto o recorde de percentual de atendimento à carga do SIN, numa base horária foi de 4,32%. Duas questões que exigem cuidado na operação do sistema elétrico com altas penetrações de fontes variáveis como a solar são as rampas de elevação e de redução de geração em horas consecutivas. Esses recordes, que foram de 1.296,86 MW e -1.031,4 MW, estão apresentados na Figura 7 (ONS, 2020).

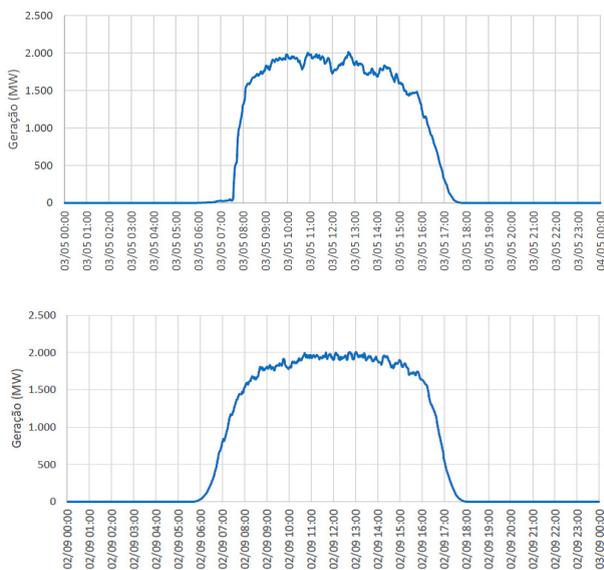


Figura 7 - Recordes históricos de elevação e de redução de geração em 1 hora no SIN

Para os leilões a serem realizados em 2021 a EPE cadastrou 1050 projetos de energia solar fotovoltaica totalizando 41.852 MW de potência. Todavia, a realização dos leilões está condicionada à declaração de necessidade das distribuidoras.

A geração distribuída acumula uma capacidade instalada 5.188 MW em março de 2021 (ANEEL, 2021), do qual 5.053 MW, representando 97,4% do total instalado é constituída de sistemas fotovoltaicos. Essa potência pulverizada em 426.584 sistema que atendem 537.797 consumidores.

No que diz respeito aos Sistemas Isolados, há 212 usinas, com potência instalada de 1.280 MW, sem nenhuma geração a partir da fonte solar. No Leilão para atendimento de Roraima em 2019, foi arrematada potência de 294 MW de capacidade a ser instalada. Há um projeto a ser instalado em Boa Vista que contempla a produção local de biocombustíveis líquidos, com 56,2 MW, num sistema híbrido conjugado com fotovoltaica com 27 MW e baterias em sua solução de suprimento num esquema de 10,8 MVA/11,4 MWh. No leilão previsto para abril de 2021 para atender um incremento de demanda de 97,3 MW nesses sistemas, foram cadastrados 1.361 MW com 51% da capacidade instalada em diesel, 28% em gás natural, e menos de 20% em renováveis, sendo apenas 6% em energia solar. Portanto, nos Sistemas

Isolados há também um grande espaço para a energia solar.

Como mencionado anteriormente, a ONS registra 431 MW em sistemas fotovoltaicos Tipo III, que são aqueles que não têm relacionamento operacional, sendo uma parte não discriminada deles empreendimentos de autoprodução conectados na rede básica, cuja demanda seja permanentemente maior que a geração.

4. POLÍTICAS PÚBLICAS DE APOIO À DISSEMINAÇÃO DA ENERGIA SOLAR

Somente em 2002, na esteira de um grande racionamento que o País sofreu no ano anterior, e seguindo a trilha aberta pela Alemanha com sua Lei das Energias Renováveis (EEG), de 2000, o Brasil introduz, através da Lei 10.438, um incentivo direcionado e efetivo para as fontes renováveis não convencionais (eólica, de biomassa e de pequenas centrais hidrelétricas), com um componente de tarifas prêmio (*feed-in tariffs*) e uma cota mínima, seguindo o padrão internacional de políticas de apoio às renováveis. A iniciativa foi um sucesso e fez deslanchar a indústria nacional dessas três fontes, em particular a energia eólica. A Lei, todavia, não contemplava a energia solar.

A Lei 10.848 de 2004 muda a direção dos incentivos com a introdução dos leilões de compra de energia tanto com a possibilidade de leilões específicos como de tratamento diferenciado para as novas renováveis. No entanto, só em 2015 acontece o primeiro leilão de energia solar, que atinge um deságio de 13,5%, mas com um preço ainda muito mais elevado que o da eólica, no mesmo ano. A sistemática de leilões específicos se consolida como um sucesso, na medida que coincide com a queda sistemática e acentuada dos preços da fonte solar nos mercados globais.

Mas esta história de sucesso acontece apenas para o SIN, deixando de fora os Sistemas Isolados que estão localizados basicamente na região Amazônica, com praticamente 100% de sua energia fornecida com base na geração a diesel. Uma exceção, fora da Amazônia, é Fernando de Noronha que já tem uma participação significativa da fonte solar.

Em outro *front* da energia solar fotovoltaica, a geração distribuída (GD), com a edição da REN 482/2012, pela ANEEL, inaugura-se um processo de mudanças regulatórias que buscam incentivar a expansão da GD pós medidor através de um sistema de compensação de energia (*net-metering*), até um limite de potência de 1 MW. Em 2015, com a REN 687/2015, revisa-se o marco da compensação, expandindo o prazo da compensação dos originais 36 meses para 60 meses, com a inclusão do autoconsumo remoto e da geração compar-

tilhada, além da expansão do limite de potência para 5 MW. Posteriormente foram dados incentivos fiscais e financeiros que vieram a viabilizar a massificação desse mecanismo que beneficia particularmente a energia solar fotovoltaica. Ainda que sem incentivos diretos, essa expansão, como foi mostrado acima foi explosiva e poderá ser ainda mais promissora, a depender de como será revista a Resolução 482, a partir do que vier a ser decidido no Congresso Nacional.

Finalmente, um outro segmento da energia solar fotovoltaica, que passou por um momento de grande expansão foi o dos Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes (SIGFI), regulamentado pela ANEEL em 2004, que chegou a atingir 21.000 sistemas na Bahia (COELBA, 2021), mas que foi sendo paulatinamente abandonado pela expansão da malha com o Programa Luz para Todos. No momento o conceito volta a ser considerado no âmbito do Programa Mais Luz para a Amazônia (MLA), com o prazo fatal de universalização do serviço de energia elétrica para 2022, para a Região Norte. O MLA, a depender de como seja implementado, poderá abrir espaço para ampliação da energia solar fotovoltaica em áreas remotas e não atendidas, ou precariamente atendidas com geradores à combustível fóssil, na Amazônia Legal, quer através de SIGFI ou Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI). Parte do desafio na Região Norte poderia passar pela consolidação do conceito de sistema isolado renovável (SIR) baseado em renováveis, particularmente solar com baterias, representando um salto tecnológico, na direção de uma transformação energética.

Os compromissos nacionais no âmbito do Acordo de Paris, que em muitos países são um dos princípios basilares para o incentivo das fontes renováveis, preveem para sua Contribuição Nacionalmente Determinadas (NDC, na sigla em inglês) promover uma redução das suas emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025 e uma subseqüente redução de 43% abaixo dos níveis de emissão de 2005, em 2030. Como parte desse compromisso entre as possibilidades listadas estaria, para o setor energético, que a parcela energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica para o caso do uso doméstico aumente para ao menos 23% até 2030, inclusive pelo aumento da participação de eólica, biomassa e solar. Diferentemente de vários países no mundo, a tendência nacional tem sido de reduzir os incentivos às fontes renováveis que até o momento ainda tinham algum tratamento diferenciado.

4.1 Retrocessos

Um avanço nesse sentido era proposto pela MP 998/2020, que no seu Artigo 4º estabelecia: “O Poder Executivo Federal definirá diretrizes para a implementação de mecanismos para a consideração dos benefícios ambientais relacionados à baixa emissão de gases de efeito estufa, para o setor elétrico”, todavia a Lei 14.120, fruto da conversão da MP em Lei, fez um grande retrocesso retirando a alusão aos gases de efeito estufa (GEE). No seu texto final, no Artigo 4, a Lei estabelece apenas que serão definidas diretrizes para implementação de mecanismos para consideração dos benefícios ambientais, em consonância com a garantia de suprimento e competitividade, o que já é um padrão do setor elétrico. Espera-se que na definição das diretrizes, volte-se a resgatar, como um benefício primordial a redução de emissões de gases de efeito estufa.

Um outro ponto da mesma Lei prevê a retirada dos descontos das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição (TUST e TUSD) para as fontes incentivadas, o que afeta diretamente a energia solar. Como parte do processo de transição, decidiu-se que os incentivos serão mantidos para os empreendimentos que solicitarem a outorga em até 12 meses, contados da publicação da lei (02/03/2021), e que iniciarem a operação total no prazo de até 48 meses, contado da data da outorga, portanto até 02 de março de 2025.

Numa outra frente, do ponto de vista dos leilões, eliminou-se a figura dos leilões específicos, com o País passando a um regime de leilões neutros em tecnologias, onde competem todas as formas de geração. Ainda que se tenha estabelecido um cronograma trienal (2019-2021) de realização dos leilões de energia nova e existente, com a disposição em se realizar ao menos um leilão de energia nova “A-4” e um “A-6” por ano (ressalvando-se que a demanda a ser contratada depende da declaração das distribuidoras), com a pandemia fez-se cancelar leilões em 2020, acumulando 25 meses sem acontecer leilões que a PV pudesse concorrer.

Já na supra-mencionada revisão da Resolução Normativa (REN) ANEEL 482/2012, editada pela REN ANEEL 687/2015, para ser realizada uma nova revisão em 2019, a proposta submetida pela ANEEL foi objeto de grandes controvérsias na medida que reduzia significativamente os incentivos aos usuários da geração distribuída. A decisão sobre revisões passou para a órbita do Poder Legislativo. O Projeto de Lei nº 5.829/2019 propõe um novo Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). Simultaneamente, a ANEEL apresentou uma nova proposta em fevereiro de 2021, que insiste com redução de incentivos que pode chegar a mais de 60% na energia injetada pelo usuário da GD, além de

penalizar os consumidores pioneiros que já têm seus sistemas em funcionamento. A proposta foi rechaçada pelas entidades setoriais ligadas às fontes renováveis. Espera-se aqui que o Marco em tramitação no Congresso Nacional mantenha incentivada a geração distribuída.

Apesar de fundamental para o País, a reforma tributária pode resultar na perda de alguns benefícios que a energia solar gozava, como o fim do Regime especial de incentivos para o desenvolvimento da infraestrutura – REIDI, que permite ao MME suspender a contribuição do PIS/PASEP e do Confins incidentes sobre projetos de infraestrutura de energia. Outro benefício que pode ser afetado é o ex-tarifário, mecanismo que permite a redução temporária do imposto de importação de bens de capital, que aliado a uma desvalorização do real, podem impactar demasiadamente a energia solar fotovoltaica.

5. SITUAÇÃO DOS PREÇOS DECLINANTES E INVESTIMENTOS REALIZADOS

Segundo o *Frankfurt School* - UNEP Centre/BNEF, o custo nivelado global de referência (LCOE) da energia solar fotovoltaica teria caído em 81%, desde 2009, ficando a solar fotovoltaica numa faixa de valor médio entre US\$ 0,05/kWh para a China e Índia, seis centavos para os Estados Unidos e dez centavos para a América do Sul. A Figura 8 apresenta essas faixas e valores médios para todas as regiões do planeta (REN21, 2020).

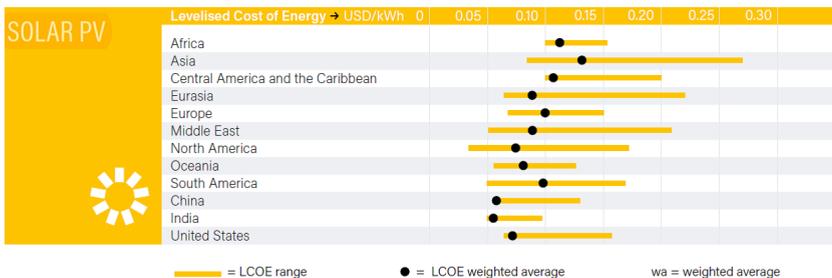


Figura 8 - Custo anualizado da energia solar fotovoltaica – LCOE (US\$/kWh)

Os leilões de energia nova e de reserva realizados no Brasil indicam a confirmação desta tendência com um declínio expressivo dos preços, e mesmo com aumento da instabilidade política e econômica,

os preços não tiveram variações expressivas. A Figura 9 (EPE, 2019) apresenta um resumo dos preços médios desses leilões, destaque para o preço atingido pela energia solar fotovoltaica no último leilão realizado no Brasil, o A-4 2019, R\$ 67,48/MWh (US\$ 17,62/MWh, para R\$ 3,83/US\$), o que se constitui num recorde para os leilões realizados no Brasil. Entretanto, apesar da grande concorrência, existe tendência de aumento do preço médio da fonte por conta da desvalorização cambial, que aumenta os custos de investimento, uma vez que a maioria dos equipamentos ainda é importada.

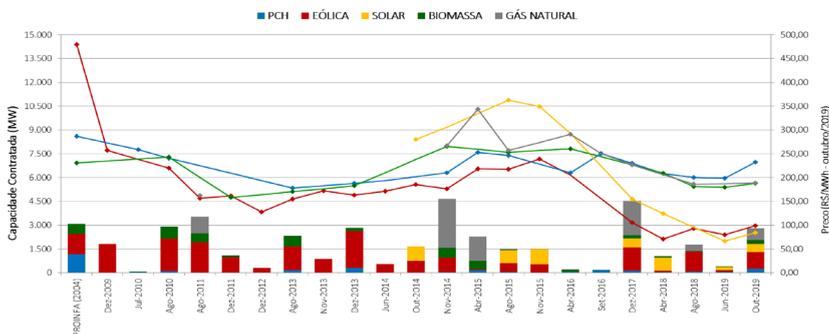


Figura 9 - Evolução dos preços das fontes renováveis de energia nos leilões

A tendência de se buscar maior realismo tarifário, quer temporal, já implementado com o PLD horário, quer locacional, contribui adicionalmente para a redução de custos. A regulamentação de parques híbridos solar e eólica é outro fator que pode tornar mais competitiva a energia solar. Outra regulamentação fundamental é a de precificar os atributos ambientais, particularmente na direção de se penalizar as emissões de carbono. A eletromobilidade fará expandir o mercado para painéis fotovoltaicos, com a possibilidade de uma contribuição do uso das baterias para o armazenamento da energia solar.

Espera-se ainda que novas reduções de preços venham a ocorrer nos próximos 20 anos e um aumento sensível de produtividade dos módulos fotovoltaicos com células bifaciais, meias-células e células de 210 mm também ocorra. Outros avanços potenciais incluem maior tempo de vida dos módulos, uso de inteligência artificial para previsão do recurso e uso de drones para operação, manutenção e limpeza de módulos. Prevê-se que o custo anualizado da energia solar fotovoltaica possa chegar a US\$ 23/MWh (US\$ 0,023/kWh) em 2040,

portanto um valor inferior à metade dos valores médios praticados atualmente.

6. CENÁRIOS FUTUROS, PERSPECTIVAS E DESAFIOS

Partindo de uma das mais importantes entidades do setor energético, a Agência Internacional Energia (IEA, 2020), propõe dois cenários, sempre para 2040. No de Novas Políticas, as fontes solar e eólica chegariam a 12% da oferta primária de energia e a 21% da produção de energia elétrica, enquanto no cenário de Desenvolvimento Sustentável estes números saltariam para 27% e 40%, respectivamente, sendo que 67% da eletricidade seria gerada do conjunto de todas as renováveis. A Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA, 2019b), como seria de se esperar, no seu cenário REmap, é ainda mais arrojada, prevendo que 50% da eletricidade seria oriunda das fontes solar e eólica, enquanto o conjunto das renováveis atingiria 75%, no horizonte 2040. Para 2050, a IRENA prevê 60% da eletricidade das FRIs e 86% do conjunto das renováveis.

Para o Brasil, a EPE propõe os cenários discutidos na seção 3, acima, em que se prevê que a energia solar responderia por mais de 13% da capacidade instalada do País, sendo que a parcela de centralizada ficaria com 3,7% e o restante com a geração distribuída, que poderia variar de 3,2% a 4,6% da carga total. No processo de tramitação da revisão da REN 482, conduzido pelo Congresso, dois cenários se configuram possíveis: (i) uma transição de 10 anos da regra atual para a em que ao final do período se pagará 100% da TUSD Fio B e (ii) um gatilho para o novo esquema quando a GD atingisse 10% do suprimento de energia elétrica em cada área de concessão. O cenário de referência do PDEE 2030, que trabalha com 24,5 GW, só atinge 4,6% a nível nacional, mas resultará em mais de 10% em alguns estados, ao passo que apenas 10 anos resultará em que muitos estados ainda não tenham sequer atingido patamares extremamente baixos. Esse embaite tem resultados imprevisíveis, mas a tendência da geração distribuída, ainda que sofra um desaquecimento devido ao retrocesso regulatório, é no sentido de voltar a crescer e retomar sua curva ascendente.

Alguns desafios estão colocados para uma maior penetração da fonte solar na matriz elétrica brasileira. A questão da redução dos incentivos tanto para a solar centralizada, como para a geração distribuída foi discutida na seção 5 acima. A crise provocada pela pandemia, seguida pela crise econômica do período 2015-16, resultou numa menor demanda de energia, deixando as empresas com uma sobrecontratação e, por conseguinte, reduzindo a necessidade de novos leilões, que por sua vez não têm aberto espaços para leilões específicos.

Se por um lado a significativa redução dos preços dos módulos, contribui para uma maior competitividade da energia solar com as demais fontes, pode-se acentuar o risco de investimentos na cadeia produtiva solar, particularmente de painéis, diante da redução de incentivos praticados nos países europeus e na China, que momentaneamente gerou redução do mercado e sobre oferta mundial de painéis em 2019-2020. Esta situação, no entanto, já se alterou em 2020-2021, com uma retomada intensa de projetos de grande porte (*utility-scale*) por todo o mundo e o conseqüente aumento dos preços dos módulos e inversores fotovoltaicos no mercado internacional. A resposta da indústria anda no sentido de aumentar a capacidade de produção e a ocupação do parque fabril, com expectativa de retomada da tendência de redução de preços. Estas flutuações e expectativas podem tornar a competição muito predatória entre projetos de energia solar, que atrelada à variação cambial pode gerar incertezas para alguns projetos.

No campo da geração distribuída a incerteza regulatória em função de como será revisada a REN 482, se num primeiro momento tem trazido uma explosão de novos projetos ante a possibilidade de mudança no curto prazo, num prazo maior haverá uma redução significativa de novos projetos, ainda que no médio prazo a situação tenda a achar um novo ponto de equilíbrio. Com o aumento da participação da energia solar distribuída, é possível se antever a possibilidade da participação desses prossumidores no mercado atacado, através de agregadores, e a regulação de tal situação poderá resultar de uma nova revisão da REN 482. Uma outra questão é que as dificuldades de financiamento, em particular para os projetos de pequeno porte, persistem, especialmente para prossumidores de mais baixo poder aquisitivo com dificuldades de demonstrar capacidade de pagamento ou que sejam percebidos como de alto risco de inadimplência pelos agentes financiadores. Neste contexto, o próprio setor tem se organizado para prover linhas de financiamento de curto e até médio prazo, com parcelas de abatimento do financiamento baseadas na redução resultante na conta de energia do cliente proporcionada pela adoção da geração fotovoltaica distribuída. Estes esquemas começam a se proliferar e tendem a ampliar o alcance desta tecnologia na medida em que a informação se dissemina. O efeito multiplicador da disseminação do fato de que a geração solar fotovoltaica tem um custo cada vez mais baixo do que as tarifas convencionais, especialmente na classe residencial alimentada em tensão secundária de distribuição, não podem ser desprezadas.

O PDE 2030 identifica algumas questões que precisam ser abordadas como curto prazo, como o aprimoramento da sistemática dos leilões com um foco maior no curto prazo, o que certamente poderia beneficiar a energia solar, em face da facilidade de implementação

de novos projetos. A necessidade de compra de outros atributos (leilão de potência), em particular no que diz respeito a benefícios ambientais e, especialmente, na redução de emissão de gases de efeito estufa. A comercialização de outros produtos além da energia, como o lastro de produção e lastro de capacidade abriria espaços para outras fontes mais despacháveis. Um mercado com maior penetração de energia solar terá necessidade de respostas rápidas e de *ramping* para responder a demandas como aquelas criadas pelo aumento ou redução de geração, com mostrado no caso da Figura 8. Finalmente, outro item que a EPE ressalta e que pode vir a beneficiar a energia solar é a possibilidade de participação de usinas híbridas nos leilões, principalmente com projetos eólicos e solares, o que poderia resultar em portfólios mais flexíveis e trazer mais benefícios ao sistema. O desafio nesse segmento a é necessidade de definições regulatórias, de forma a trazer maior segurança os empreendedores.

Uma das principais recomendações do PNE 2050 para a energia solar diz respeito ao desenvolvimento “de novas ferramentas, tecnologia e modelos de negócios para previsão da geração solar e gestão da operação do sistema elétrico” (BRASIL, 2020b). Avanços nessa área irão permitir minimizar um dos grandes desafios para as fontes intermitentes que é a previsão mais precisa e para intervalos de tempo cada vez maiores, provendo mais flexibilidade e reduzindo a incerteza na operação do sistema elétrico com maiores níveis de penetração das fontes intermitentes. A redução da incerteza da geração com a energia solar através da previsão avançada do tempo, necessitará de computação baseada em nuvem e de inteligência artificial, de forma a reduzir os níveis de erro da capacidade nominal, tanto para uma hora à frente como para um dia à frente, além da previsão para alguns minutos à frente.

O PNE 2050 ainda chama atenção para eventuais melhorias nos estudos socioambientais relativos à fonte solar; a integração das perspectivas de expansão da geração solar e o planejamento da expansão da transmissão. Em relação a esse ponto Madrigal e Porter (2013) enfatizam que a qualidade da assertividade da tarefa de previsão das reservas depende do tamanho das áreas de controle (submercados) e da capacidade de intercâmbio entre diferentes regiões, refletindo a robustez do sistema de transmissão e, finalmente, do equilíbrio entre oferta e demanda. Finalmente o PNE 2050 ressalta a questão da reciclagem dos componentes do sistema fotovoltaico.

A Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) tem advogado alguns pontos para uma maior difusão da energia solar no Brasil, destacando-se: (i) Considerar outros atributos na definição da matriz de menor custo global de atendimento, tais como: segurança no suprimento, despachabilidade, localização, nível de perdas,

tempo de implementação, impacto ambiental, dentre outros; (ii) Valoração dos benefícios determinados por fonte e pelo portfólio conjunto, (iii) Busca de uniformidade no licenciamento ambiental entre estados. A ABSOLAR prevê que a capacidade instalada poderá atingir 12,5 GW ao final de 2021, o que representaria um crescimento de 68% no ano. A GD saltaria de 4,4 GW para 8,3 GW, um crescimento de 90%, enquanto a produção centralizada atingiria 3,1 GW (VALOR ECONÔMICO, 2021), valor que pode ser considerado conservador em função das usinas atualmente em fase de implantação.

7. CONCLUSÃO

Procurou-se mostrar ao longo desse artigo, através da apresentação da situação atual e das oportunidades que se colocam para a fonte solar fotovoltaica que sua expansão é crescente e inexorável. O Brasil tem um potencial inesgotável, infinito, hipoteticamente capaz de atender toda sua demanda se existisse tecnologia de armazenamento. É a fonte mais barata no País, com tendências a reduzir ainda mais seus preços. O maior desafio é resolver sua variabilidade diária, que pode ser feito com um *mix* de fontes, armazenamento, inclusive a hibridização com a energia eólica e a previsão da disponibilidade do recurso. A variabilidade deixa de ser um problema maior quando se prevê a disponibilidade do recurso. Verificou-se que as previsões de crescimento da aplicação da fonte solar têm sistematicamente ficado aquém da realidade, embora a EPE tenha progredido muito com a elaboração de cenários alternativos e a metodologia *what-if*. Buscou-se demonstrar ainda que esse caminho não é linear, tanto em nível mundial como no Brasil. Particularmente relevante para a velocidade e trajetória de expansão da fonte solar fotovoltaica são os desafios tecnológicos, financeiros e regulatórios envolvidos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Tereza Mousinho Reis (CBEM), pela revisão e sugestões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR – Associação Brasileiro de Energia Solar Fotovoltaica. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil Infográfico ABSOLAR. 2020. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html>. Acesso em: 20 out. 2020.

_____. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil Infográfico ABSOLAR. 2021. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html>. Acesso em: 15 de mar. 2021.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 83. Brasília, 2004.

_____. Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. Brasília, 2004.

_____. Boletim Informação de Geração. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 5 nov. 2019.

_____. Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 20 out. 2020.

BRASIL. Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada para consecução do objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Disponível em: http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf. Acesso em: 30 set. 2019.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2022. Brasília: MME/EPE, 2013.

_____. Plano Decenal de Expansão de Energia 2023. Brasília: MME/EPE, 2014

_____. Plano Decenal de Expansão de Energia 2024. Brasília: MME/EPE, 2015.

_____. Plano Decenal de Expansão de Energia 2027. Brasília: MME/EPE, 2018

_____. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029. Brasília: MME/EPE, 2020a.

_____. Plano Nacional de Energia 2050. Brasília: MME/EPE, 2020b.

_____. Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. Brasília: MME/EPE, 2021.

CANAL ENERGIA. Fonte solar bate primeiro recorde de geração em 2021. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/>. Acesso em: 17 mar. 2021.

COELBA. Universalização Rural. Disponível em: <https://servicos.coelba.com.br/residencial-rural/Pages/Informa%C3%A7%C3%B5es/Luz-para-Todos.aspx>. Acesso em: 19 de mar. 2021.

COUTURE, T. D.; CORY, K.; KREYCIK, C.; WILLIAMS, E. A policymaker's guide to feed in tariff policy design. NREL, 2010.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Informe Leilões de Geração de Energia Elétrica. 2019. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-451/Informe%20Leil%C3%B5es%202019_v3.pdf. Acesso em: 27 set. 2019.

_____. Projetos fotovoltaicos nos leilões de energia - Características dos empreendimentos participantes nos leilões de 2013 a 2018. 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-110/topico-418/EPE-DEE-NT-091_2018-r0.pdf. Acesso em: 10 mar. 2020.

FRANKFURT SCHOOL-UNEP CENTRE/BNEF. Global Trends in Renewable Energy Investment 2019. Frankfurt am Main, 2019. Disponível em: <http://www.fs-unesp-centre.org>.

IEA - International Energy Agency. Achieving net-zero emissions by 2050, World Energy Outlook 2020. 2020a. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020/achieving-net-zero-emissions-by-2050>. Acesso em: 23 out. 2020.

_____. Energy Technology Perspectives 2020. IEA, 2020b.

IRENA – International Renewable Energy Agency. Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition). International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. 2019a. Disponível em: <http://www.irena.org/publications>. Acesso em: 15 out. 2019.

_____. A new world - The geopolitics of energy transformation. ISBN 978-92-9260-097-6. IRENA, 2019b.

MADRIGAL, M.; PORTER, K. Operating and Planning Electricity Grids with variable renewable generation. World Bank, 2013.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. Boletim Mensal de Geração Solar Fotovoltaica, Dezembro/2020. ONS, 2020.

_____. Boletim Mensal de Geração Solar Fotovoltaica, Janeiro/2021. ONS, 2021.

PVTECH. Up to 209GW of solar PV to be installed in 2021, BloombergNEF forecasts. 2021. Disponível em: <https://www.pv-tech.org/up-to-209gw-of-solar-pv-to-be-installed-in-2021-bloombergnef-forecasts/>. Acesso em: 15 mar. 2021.

REN21. Renewables 2020 Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat. ISBN 978-3-948393-00-7, 2020.

SOLAR POWER EUROPE. Global Market Outlook for Solar Power/2019-2023. 2019. Disponível em: <http://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/05/SolarPower-Europe-Global-Market-Outlook-2019-2023.pdf>. Acesso em: 14 set. 2019.

_____. Global Market Outlook for Solar Power 2020-2024. 2020. Disponível em: https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2020/07/31-SPE-GMO-report-hr-hyperlinks.pdf?cf_id=19015. Acesso em: 20 out. 2020.

WEF. The Speed of the Energy Transition Gradual or Rapid Change? Geneva: World Economic Forum, 2019.