

ENERGIA SOLAR: GERAÇÃO DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA - SUA IMPORTANCIA PARA O BRASIL

Data de submissão: 18/05/2023

Data de aceite: 03/07/2023

Milton Luis Filipe Muhongo

UNILAB - Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro Brasileira, Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Curso de Engenharia de Energias Redenção – Ceará
<http://lattes.cnpq.br/4496924048026451>

Joel João dos Santos Mazumbua

UNILAB - Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro Brasileira, Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Curso de Engenharia de Energias Redenção – Ceará
<http://lattes.cnpq.br/0410824702126799>

RESUMO: Este artigo aborda uma revisão simplificada referentes a geração de eletricidade por usinas hidrelétricas e suas principais preocupações, aborda também as questões mais relevantes e inerentes a geração distribuída (GD) e os seus impactos no funcionamento da rede elétrica. Discuti situações sociais afeta a geração distribuída e sua contribuição para a democratização do acesso a eletricidade e os respectivos serviços em países como Brasil e com geografia similar, tipos de tecnologias de GD, possíveis vantagens e

desvantagens, e algumas considerações a si ter são a posterior apresentadas no artigo.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar Fotovoltaica, Geração Distribuída, Rede Elétrica, Otimização.

SOLAR ENERGY: PHOTOVOLTAIC DISTRIBUTED GENERATION - ITS IMPORTANCE FOR BRAZIL

ABSTRACT: This article covers a simplified review regarding the generation of electricity by hydroelectric power plants and their main concerns, also addresses the most relevant and inherent issues of distributed generation (DG) and its impacts on the operation of the electricity grid. I discuss social situations affecting distributed generation and its contribution to the democratization of access to electricity and the respective services in countries like Brazil and with similar geography, types of DG technologies, possible advantages and disadvantages, and some considerations to be taken are later presented in the article.

KEYWORDS: Photovoltaic Solar Energy, Distributed Generation, Power Grid, Optimization.

1 | INTRODUÇÃO

Há algum tempo, várias nações do mundo vêm impulsionando o uso de energia através de fontes alternativas que não dependem dos combustíveis fósseis e que sejam de origem limpa.

A matriz elétrica brasileira apresenta-se como um modelo essencialmente hidrotérmico de alto potencial, com forte influência e predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários, composto pelas entidades de várias regiões do país como Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região do Norte (INPE, 2017).

Uma das desvantagens das fontes hidrelétricas, fora a questão dos impactos socioambientais resultado das grandes inundações, é a dependência de um regime de chuvas conforme foi constatado pelo apagão de 2001 (crise resultado de uma falha no planejamento elétrico brasileiro) (GAZOLI, 2011).

Embora esta permite uma alta expansão do potencial de geração a partir de duas formas: modernização e ampliação das usinas já existentes, instalação de geradores em represas onde não há geração, fora estes fatores a energia fornecida pelas hidrelétricas provém de um sistema intermitente que está sujeito ao regime de chuva da localidade em que se situa a usina, tornando-a uma fonte sem controlabilidade pelo homem (GAZOLI, 2011).

Fora que, acoplado a estas questões tem a demanda crescente por eletricidade que ao longo dos anos só vem crescendo resultado da globalização deste recurso. E também devido às características de suscetibilidade do recurso hídrico, acoplado a demanda por eletricidade, torna-se crucial o interesse por diversificar as fontes de energia que compõem a matriz elétrica brasileira, com foco nos recursos que transferem reduzidos impactos ao meio ambiente (VOVOS, *et al.*, 2005; INPE, 2017).

Sendo assim a opção pelo uso de outras fontes de geração de energias elétrica renováveis como a energia eólica e solar fotovoltaica, neste cenário surge como alternativa para ajudar a aumentar a capacidade de geração de energia no Brasil e em outras geográficas com características similares.

A utilização do recurso energético solar consiste na conversão da radiação emitida pelo sol em energia térmica ou diretamente em energia elétrica, este último é amplamente conhecido com processo fotovoltaico. Mundialmente o uso desta tecnologia de conversão vem crescendo em níveis elevados, e potencializa a geração distribuída (GD), discutido e detalhado mais para frente (INPE, 2017).

O aproveitamento da energia do sol dá-se por diversas formas: concentradores solares, iluminação natural, energia solar fotovoltaica e outras. A energia solar fotovoltaica citado no parágrafo anterior consiste na captação da radiação emitida pelo sol, através de painéis solares, cuja função básica é converterem essa radiação em eletricidade.

No que diz respeito à capacidade mundial de produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaico, nos períodos de 2010 a 2020, este cresceu cerca de 17,6 vezes, ou seja, saindo de 40,1 GW para 707,5 GW, como se poder verificar na Figura 1.1. Já no período de 2011 a 2021, este saiu de 72,2 GW para 843,1 GW, observando-se um expressivo crescimento ao longo dos anos, sendo a Ásia-Pacífica a região de maior expressão com 501,6 GW, e posterior a Europa com 191,1 GW, a América do Norte com 104,4 GW, a América do Sul e Central 22,8 GW, a África com 10,3 GW, Oriente Médio 8,0 GW (BP, 2021; BP, 2022).

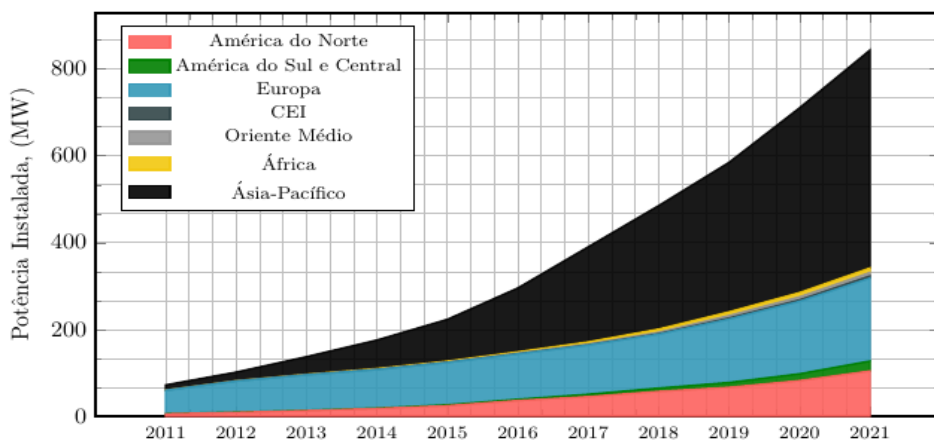


Figura 1.1- Crescimento Mundial da produção de energia elétrica através de sistemas solar fotovoltaica entres os períodos de 2011 a 2021.

Fonte: Adaptado de (BP, 2022).

Sendo que as expectativas são para uma maior expansão e crescimento, impulsionado pela redução de custos dos painéis fotovoltaico e dos incentivos governamentais (SANTOS, 2020).

De acordo com Coelho (2008), a ampliação da tecnologia fotovoltaica, que aumenta exponencialmente desde a década de 70, pode se dar em razão de três aspectos distintos como:

- Melhora significativa dos materiais empregados na fabricação de células fotovoltaica. Que vem permitindo o aperfeiçoamento, não só em termos de eficiência de conversão, mas também em flexibilidade, peso e custos.
- Busca incessante por fontes renováveis de energia que se adéquem às legislações vigentes, principalmente, nos tempos atuais, em que o apelo ecológico e as dificuldades na obtenção de licenças dos órgãos ambientais para construção de usinas de grande porte se fazem presente.
- Evolução da eletrônica de potência, que é aplicada como ferramenta de processamento da energia fotogerada. Esta tem o objetivo de processar os níveis de tensão e corrente de entrada e ajusta-os para alimentar uma carga específica.

O Brasil é um país geograficamente bem posicionado, e com disponibilidade de recurso solar na faixa de 1.550 a 2.350 kWh/m² por ano, com índices altos de radiação predominantes na região nordeste do país, segundo o atlas brasileiro de energia solar, diariamente incide uma irradiação global horizontal média entre 4.444 Wh/m² (Sul) a 5.483 Wh/m² (Nordeste) no país, mostrando que o país possui um alto potencial para geração de energia elétrica por intermédio de fonte solar (INPE, 2017).

Até fevereiro de 2011, o número de sistemas fotovoltaicos integrado com a rede elétrica em operação no Brasil apenas atingiu o valor de 51 unidades, dos quais, o maior número estava associado a projetos de P&D, com potência elétrica máxima instalada de 350kWp (GAZOLE, 2011).

Segundo a Aneel (2019), em 2019 o Brasil ultrapassou a marca de 1GW de potência instalada no que diz respeito aos sistemas de micro e minigeração distribuída de eletricidade, sendo o resultado alcançado bastante motivado pela sua resolução normativa (REN) 482/2012, de 17 de abril de 2012, atualizada pela revisão REN 687/2015, de 24 de novembro de 2015, que garantiu as bases legais para que consumidores pudessem gerar sua própria energia e disponibilizar à rede sobre regime específico, discutido no subcapítulo 3 deste trabalho sobre geração distribuída.

Segundo os dados da Aneel (2022), a geração distribuída (GD) introduziu cerca de 6,6 GW de potência no Brasil, considerando os meses de janeiro e dezembro de 2022, sendo 3,5 GW em 2021. O que demonstra uma aceleração exponencial no que diz respeito ao incremento deste tipo de sistemas não centralizado. Já considerando até o mês de março de 2023, de acordo com os dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), o Brasil alcançou o número de 18 GW em geração distribuída (GD) de potência instalada, alavancados por instalações residências.

Sendo assim à tecnologia de geração distribuída agrega benefícios, não só de diversificação da matriz energética, como também auxilia o Brasil a buscar atingir metas ambientais pré-estabelecidas no ProGD (Programa de desenvolvimento da geração distribuída), de redução de emissões de CO₂ na atmosfera terrestre, em 43% até 2030, isso em relação aos dados de 2005. E também de atingir 10% de eficiência energética no sistema elétrico.

2 | JUSTIFICATIVA

A principal justificativa para a elaboração deste trabalho consiste em auxiliar na promoção dos estudos e compreensão inerente a geração de energia solar fotovoltaico não centralizado, compreender à geração distribuída (GD) e sua importância para a matriz elétrica Brasileira, bem como para questões sociais e ambientais. Os benefícios e os desafios inerentes a esse no Brasil e em outras geografias similar.

3 | RESULTADOS E DISCUÇÕES

3.1 Geração Distribuída

A geração distribuída ou geração dispersa (GD), é um modelo de geração independente de energia perto da carga, conectado à rede elétrica ou não, que se difere do modelo convencional de geração centralizada, bastante usado no passado (que hoje compartilha com outro modelo), e que está associado a elevadas perdas de energia devido a necessidade de a energia produzida em um dado local ser transferida para outro local, distante onde se realiza o consumo desta (RAU e WAN, 1994; GEOGILAKIS e HATZIARGYRIOU, 2013; ANEEL, 2017).

Foras as vantagens ambientais, trazida pela GD, ela também contribui na implementação de políticas energéticas competitivas, na diversificação dos recursos energéticos, redução do custo operacional na ponta, adiamento de atualizações de rede, menores perdas e menores custos de transmissão e distribuição, etc. (GEOGILAKIS e HATZIARGYRIOU, 2013).

Porém, a instalação inadequada de GD pode impacta negativamente a operação da rede de distribuição, gerando uma série de problemas técnicos, isso porque inicialmente as redes não forma construídas para receber injeção de energia de GD. Esta conexão inadequada pode elevar as perdas do sistema e os custos operacionais e de capital da rede (CHIRADEJA e RAMAKUMAR, 2003; HARRISON e WALLACE, 2003; GEOGILAKIS e HATZIARGYRIOU, 2013).

Por outro lado, já uma instalação ótima de GD pode melhorar o desempenho da rede em termos de perfil de tensão, reduzir os fluxos e as perdas do sistema e melhorar a qualidade da energia e a confiabilidade do fornecimento (KIM et al., 1988; WILLIS, 2000, KHATOD; PANT e SHARMA, 2013).

As GDs incluem sistemas de geração de energia elétrica e unidades de cogeração com potências nominais que alternam em kW a dezenas de MW (DICORATO e TROVATO, 2008).

Os sistemas de geração distribuída fundamentado em módulos fotovoltaicos são muito apropriados para aplicação em regiões com incidência da luz solar, onde os módulos fotovoltaicos têm como função converter a energia proveniente da luz solar, em energia elétrica tornando assim um mecanismo direto de conversão da energia proveniente da radiação solar (OLIVEIRA, et al., 2011).

No Brasil, em 2003 a implantação do programa luz para todos através do ministério das minas e energias permitiu a implantação de um número significativo de sistemas fotovoltaicos que garantiu que comunidades pudessem consumir uma pequena quantidade de potência elétrica diária, suficiente para agregar um conforto mínimo, outra hora inexistente para aquelas populações (GAZOLI, 2011).

3.2 Legislação

No Brasil, a definição de geração distribuída (GD) surgiu com o artigo 14 do decreto lei nº 5.163, de 30 de julho de 2004 que define:

Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo art. 8o da Lei no 9.074, de 1995, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento.

A resolução normativa da ANEEL nº 482 de 17 de abril de 2012:

“Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.” (ANEEL, 2012).

Logo com a inserção e vigência da resolução normativa supracitada, deu-se a possibilidade para que os consumidores pudessem gerar a sua própria energia elétrica através de fontes renováveis e cogeração, e o excedente ser disponibilizado à rede elétrica da distribuição local (MUHONGO, 2021).

Este documento no seu Capítulo I, Art.1, relata as condições gerais de acesso à microgeração e minigeração distribuída, dentro daquilo que são os sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia (MUHONGO, 2021).

Segundo a Aneel (2017), a geração distribuída é o mecanismo de geração de energia elétrica que se diferencia do modelo de geração centralizada ou de usina de geração convencional, conforme exemplificado na Figura 1.2, este é instalado mais próximo da carga ou das unidades consumidoras, com a integração com a rede elétrica na forma de crédito, ou não integrado com à rede.

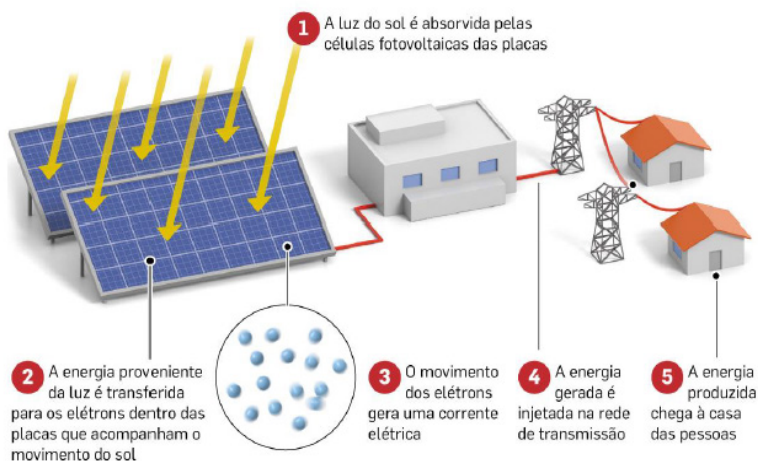


Figura 1.2- Diagrama de um Sistema Fotovoltaico de Geração Centralizada.

Fonte: Bastos (2017).

Na Figura 1.3 é possível observar a geração centralizada hoje, e a geração distribuída a que se pretende alcançar no futuro. Ou seja, no futuro será possível ocorrer o compartilhamento adequado e controlado entre geradores e consumidores.

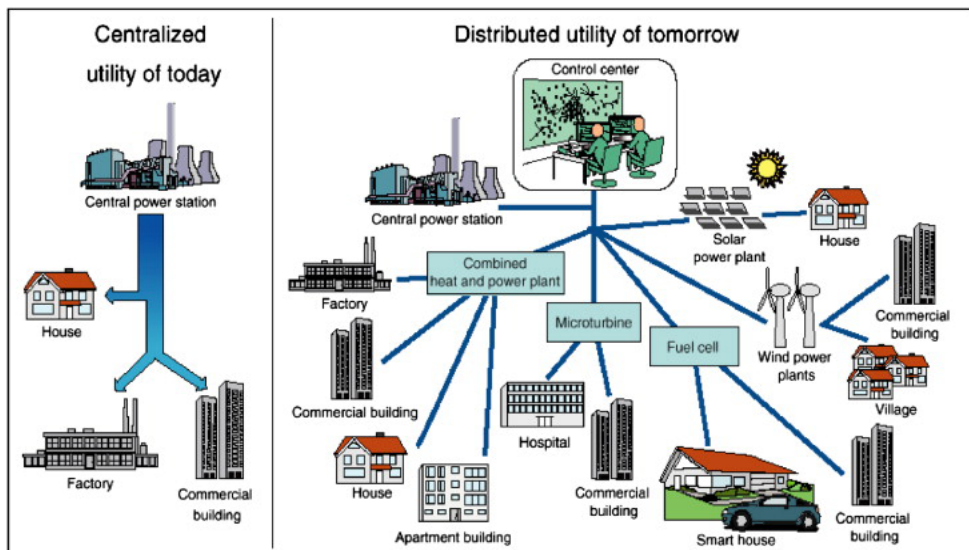


Figura 1.3 - Geração central de hoje, versus a geração distribuída que se pretende alcançar no futuro próximo.

Fonte: Adaptado de VIRAL e KHATOD (2012).

3.3 Vantagens e desvantagens

Na geração distribuída o uso de sistemas fotovoltaicos oferece inúmeros ganhos como redução das perdas e dos custos para transmissão de energia elétrica, proporciona uma atenuação ou alívio das redes de transmissão e distribuição (GAZOLI, *et al.*, 2013).

Contudo pode-se observar alguns benefícios que a geração descentralizada pode trazer, e alguns destes benefícios da geração distribuída para o Brasil são:

- Diversificação da matriz energética;
- Evita a existência de perda por transmissão e distribuição de energia;
- Equilíbrio de carga no sistema na rede de distribuição na fronteira com a rede básica;
- Matriz sustentável e atenuação dos impactos ambientais;
- Melhor aproveitamento dos recursos energéticos;
- Maior eficiência energética nos empreendimentos;

Os benefícios relacionados ao emprego de GD, podem ser divididos em três: benefícios ambientais, econômicos e técnicos (VIRAL e KHATHOD, 2012).

3.4 Geração distribuída X Geração centralizada

No cenário atual, a maior parte da energia elétrica produzida nos países com altos índices de desenvolvimento, ainda provem de grandes unidades geradoras de energia centralizadas. Contrariamente, a GD são tecnologias geração de energia eletricidade em proporções menores, através de diversos recursos energéticos, usado para oferecer alternativa ou aprimoramento aos sistemas de energia convencional (ACKERMANN; ANDERSSON; SODER, 2000; PEPERMANS *et al.*, 2005; RAJKUMAR e KHATOD, 2012; GEOGILAKIS e HATZIARGYRIOU, 2013).

Sendo que, as principais fontes destes recursos usados na geração centralizada (primeiro caso) se baseiam na queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás natural, etc.), sistemas energia nuclear e em energia hídrica através de centrais hidrelétricas. Já os principais recursos de energia utilizados na GD advêm de uma vasta gama de tecnologias, dos quais tem se dado maior ênfase nas fontes renováveis.

De entre as diferentes origens, a energia eólica, energia hídrica, energia solar, energia geotérmica, energia das ondas e marés, biomassa (combustão direta, combustíveis gasosos – biogás, álcool combustível – etanol, etc.), constituem as principais fontes de produção de energia (DICORATO e TROVATO, 2008).

Face a enorme necessidade de energia elétrica, a maior parte da produção de eletricidade processa-se em grandes unidades centralizadas visto se apresentarem mais favoráveis do ponto de vista de economia de escala e da transmissão de eletricidade por longas distâncias. Apesar dos benefícios deste modelo de grandes usinas centralizadas ser atrativo, a conscientização das comunidades globais sobre este sistema de geração, a respeito destas acarretarem também impactos negativos bastantes consideráveis ao meio ambiente vem crescendo, sendo que estas também, não conseguem proporcionar certos benefícios como os quais se pode alcançar com a implementação da geração distribuída (BAZMI e ZAHEDI, 2011; RAJKUMAR e KHATOD, 2012; KHATOD; PANT; SHARMA, 2013).

Logo justifica-se o interesse crescente por tecnologias de geração distribuída baseadas em recursos energéticos renováveis e cogeração (DICORATO; TROVATO, 2008).

3.5 Considerações e limitações da geração distribuída (GD)

Apesar de os sistemas de geração distribuída alocarem vários benefícios ao sistema de potência, ou seja, à rede elétrica é importante atentar-se para algumas questões intrínsecas à sua utilização. Questões estas que tem a ver com nível de penetração dos sistemas de GD, controlo, tipo de tecnologia empregada, a configuração da rede de distribuição, proteção e capacidade da rede, e fluxo de potência bidirecional (DICORATO; TROVATO, 2008; ATWA, Y.M.; *et al.*, 2010; RAJKUMAR e KHATOD, 2012; KIRTHIGA; DANIEL; GURUNATHAN, 2013).

Um dos desafios atuais lançados para a comunidade científica e demais profissionais atuantes do sector consiste na incorporação de sistemas de geração distribuída em ampla escala. Sendo assim, algumas das limitações encontradas apresentam-se descritas em seguida:

- Fluxo de potência inverso: a rede elétrica convencionalmente não foi projetada para operar com um fluxo de potência bidirecional. Assim, a conexão de GD à rede elétrica pode provocar o mau funcionamento dos circuitos de proteção, uma vez que não estão preparados para esta situação. Atualmente grandes esforços têm sido feitos na projeção de novos sistemas de proteção de rede, sendo ainda uma área com grande margem de progressão.
- Potência reativa: a maioria das instalações de GD usam motores assíncronos na geração de energia, não produzindo desta forma energia reativa para a rede. A produção deste tipo de energia só é possível através do controlo da excitação de geradores síncronos, que são geradores que têm ganho grande importância nas unidades de pequena geração.
- Frequência do sistema: os desequilíbrios entre a energia que é requerida e a que é produzida têm como efeito desvios na frequência nominal da rede. Embora a implementação de pequenas unidades de geração auxiliem a evitar estes desequilíbrios, um mais exigente e complexo controlo dos sistemas também é necessário. Face à enorme dificuldade das operações de controlo, inúmeros estudos têm sido feitos na tentativa de melhorar os atuais sistemas.

Por um lado, é de ênfase positivo aos efeitos bons da geração distribuída para os problemas de qualidade de energia. Como por exemplo, em regiões dos quais o suporte à tensão é deficitário, e a geração distribuída pode destacar um papel importante, na medida em que a conexão de geração distribuído geralmente leva a um aumento da tensão na rede. Além de servir de suporte na melhoria da tensão fornecida, também auxilia na correção do fator de potência. Por outro lado, a errada utilização de unidades de geração pode levar a situações como o excesso de tensão e a flutuações de tensão na rede elétrica (MATOS; CATALÃO, 2013).

3.6 Impasses da Geração distribuída (GD)

Como referido no tópico anterior, os sistemas de distribuição foram no passado dimensionados para um fluxo de energia elétrica unidirecional e não bidirecional, desde o sistema de energia até a carga. O aparecimento de flutuações ou de um fluxo de potência inverso na rede elétrica, resultado da inserção de sistemas de geração distribuída, pode influenciar o sistema de distribuição no que diz respeito a perdas de energia, perfil de tensão, fiabilidade, qualidade de energia ou proteção e segurança do sistema. (LOPES, J.A.P. *et al.*, 2007, BAZMI; ZAHEDI, 2011).

Estas flutuações de tensão podem ser sobretensões ou sobtensões, que podem interferir na tensão do ponto de consumo. Estas situações podem ser causadas por

sistemas de geração de energia que dependem de condições naturais, como é o caso da energia eólica ou geradores solares fotovoltaicos, que são fontes intermitentes de energia. Perante isto, as unidades de geração com base nestes recursos não funcionam isoladamente, tendo como apoio outras fontes de energia (ER, 2003; MATOS; CATALÃO, 2013; EBAD; GRADY, 2016).

Outra questão que vale ressaltar é a qualidade da energia, dependendo da circunstância o sistema GD pode aumentar ou diminuir a qualidade tensão absorvida por outros usuários da rede de distribuição. A qualidade da energia que se refere ao grau com que as características elétricas se alinham com uma tensão perfeitamente sinusoidal e a forma de onda de corrente, com a corrente e tensão em equilíbrio (LOPES, et al., 2007; MATOS; CATALÃO, 2013).

Uma situação notável a se destacar é que um único sistema de GD grande, como por exemplo, uma turbina eólica, introduzido em uma rede fraca pode levar a problemas de qualidade de energia, particularmente durante a partida e a parada (LOPES, et al., 2007).

Para proteger o sistema das distorções na qualidade de energia, é interessante e relevante um controle eficiente e pensado por parte dos operadores de rede, de forma a garantir uma acessibilidade constante à energia (MATOS; CATALÃO, 2013).

Outros impasses tem a ver com aspectos regulatório e normas que possam se adequar as necessidades do sector, bem como para os consumidores.

4 | CONCLUSÃO

Apesar das implicações e dos desafios técnicos, a geração distribuída pode ajudar a promover a democratização do acesso a eletricidade e os serviços inerentes a ele, para todos cidadãos do país. Ajudar a atenuar os custos com manutenção, levados a cabo em grandes sistemas de geração transmissão e distribuição de energia elétrica. Outro ponto tem a ver com a ausência de um regime de chuva em determinados locais, e que são capazes de causar a redução significativa dos níveis dos reservatórios das hidrelétricas, a ponto de conduzir a ativação de sistemas termoeletricos, que resultam em uma energia mais cara. Sendo assim a GD ajuda o Brasil a oferecer uma alternativa socialmente mais aceitável para garantir o acesso a eletricidade limpa e sustentável, evitando a construção de novos sistemas transmissão (onde GD pode dar uma resposta efetiva) e de grandes usinas geradoras.

Diversificação das fontes de energia para aumentar a segurança energética do país, isso porque em tempos modernos a energia representa desenvolvimento, e sua interrupção no fornecimento pode resultar em terríveis consequências, econômicas, sociais e políticas.

Colabora com interesse da comunidade global por tecnologias e processos de geração de energia elétrica, mais sustentáveis e ambientalmente mais aceitáveis. E o Brasil sendo um país com uma ampla disponibilidade de recursos energéticos renováveis a

se explorar, investir mais em sistemas desta natureza resultaria em inúmeros ganhos não só técnicos e financeiros, bem como ambientais e sociais.

As GDs permitem uma minimização das perdas do sistema elétrico, melhoria do perfil de tensão e na fiabilidade do sistema de distribuição, ajudam a dar visibilidade e importância nos estudos referentes a sistemas de energia renováveis dentro do contexto elétrico.

REFERÊNCIAS

ACKERMANN, T; ANDERSON, G.; SODER, L. “Distributed generation: a definition”, **Electric Power System Research**, 57, pp. 195-204, 2001.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Brasil ultrapassa marca de 1GW em geração distribuída**. Brasil, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3iRkzwQ>. Acesso em: 10/05/2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, Microgeração e da Minigeração Distribuídas de Energia Elétrica – MMGD e do Sistema de Compensação de Energia Elétrica – SCEE- **Resolução Normativa nº 482/2012**, Brasília, DF, Brasil, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST- **Resolução Normativa nº 687/ 2015**, Brasília, DF, Brasil, 2015.

ATWA, Y.M.; et al., “Optimal Renewable Resources Mix for Distribution System Energy Loss Minimization”, **IEEE Trans. on Power Systems**, vol. 25 (1), 2010.

BASTOS.W.S. **Estudo de Caso de um Projeto Fotovoltaico Integrado à Edificação**. Monográfica, Universidade Federal da Paraíba Centro de Energias Alternativas e Renováveis Departamento de Engenharia Elétrica. 2017. Paraíba-PB.

BAZMI, A. A.; ZAHEDI, G. “Sustainable energy systems: Role of optimization modeling techniques in power generation and supply — A review”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews** vol.15, no. 8, p. 3480-3500, 2011.

BRITISH PETROLEUM. Londres, UK, 2021. Disponível em: <<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>>. Acesso em: 10/05/2023.

BRITISH PETROLEUM. Londres, UK, 2022. Disponível em: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>. Acesso em: 10/05/2023.

CHIRADEJA, P; RAMAKUMAR, R “Voltage profile improvement with distributed wind turbine generation—a case study”, **Proc. 2003 IEEE PES General Meeting**, vol. 4, pp. 2331-2336.

DICORATO, M.G.F.; TROVATO, M. “Environmental-constrained energy planning using energy-efficiency and distributed-generation facilities”, **Renewable Energy**, Vol. 33 (6), p. 1297–1313, 2008.

ER, **Recommendations for the connection of small-scale embedded generators (up to 16 A Per Phase) in parallel with public low-voltage distribution networks** ER G83/1, The Electricity Association, Millbank, London, UK, 2003.

GAZOLI, J.R. **Micro inversor monofásico para sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica**. 2011. 204 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, SP, 2011.

GEORGILAKIS, P.S.; HATZIARGYRIOU, N. D., "Optimal Distributed Generation Placement in Power Distribution Networks: Models, Methods, and Future Research," in **IEEE Transactions on Power Systems**, vol. 28, no. 3, pp. 3420-3428, Aug. 2013.

HARRISON, G.P.; WALLACE, A.R. "Maximising distributed generation capacity in deregulated markets," **2003 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition** (IEEE Cat. No.03CH37495), Dallas, TX, USA, 2003, pp. 527-530 vol.2, doi: 10.1109/TDC.2003.1335329.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISA ESPACIAL (Brasil) (INPE). **Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2º Edição**, São Jose dos Campos-São Paulo. 2017.

KIM, J.; NAM, S.; PARK, S.; SINGH, C. Dispersed generation planning using improved Hereford ranch algorithm", **Elect. Power Syst. Res.**, vol. 47, no. 1, pp. 47-55, Oct. 1998.

KIRTHIGA, M.V.; DANIEL, S.A.; GURUNATHAN, S.; "A Methodology for Transforming an Existing Distribution Network Into a Sustainable Autonomous Micro-Grid", **IEEE Transactions on Sustainable Energy**, Vol. 4 (1), 2013.

KHATOD, D.K.; PANT, V.; SHARMA, J. "Evolutionary programming based optimal placement of renewable distributed generators," in **IEEE Transactions on Power Systems**, vol. 28, no. 2, pp. 683-695, May 2013, doi: 10.1109/TPWRS.2012.2211044.

MATOS, D.M.B; CATALÃO, J.P.S. "Geração Distribuída e seus impactos no funcionamento da Rede elétrica: Parte". **International Conference on engineering UBI2013 - 27-29**– University of Beira Interior – Covilhã, Portugal, Nov. 2013.

MUHONGO, M.L.F. **Simulação de um microinversor aplicado em microgeração distribuída fotovoltaica**, Monografia (Graduação) - Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Curso Engenharia de Energia, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira. Redenção-CE, p.76. 2021.

PEPERMANNNS, G *et al.* "Distributed generation: definition, benefits and issues", **energy policy** vol .33, no. 6, p. 787-798, 2005.

RAU, N. S.; WAN, Y.H. "Optimum location of resources in distributed planning," in **IEEE Transactions on Power Systems**, vol. 9, no. 4, pp. 2014-2020, Nov. 1994, doi: 10.1109/59.331463.

VOVOS, P.N. *et al.* "Optimal power flow as a tool for fault level-constrained network capacity analysis," in **IEEE Transactions on Power Systems**, vol. 20, no. 2, pp. 734-741, May 2005, doi: 10.1109/TPWRS.2005.846070.

WILLIS, H.L. "Analytical methods and rules of thumb for modeling DG-distribution interaction," **2000 Power Engineering Society Summer Meeting** (Cat. No.00CH37134), Seattle, WA, USA, 2000, pp. 1643-1644 vol. 3, doi: 10.1109/PESS.2000.868774.

LOPES, J.A.P. *et al.* "Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities", **Electric Power Systems Research**, Vol. 77 (9), p. 1189–1203, 2007.