



A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NO BRASIL: UMA ANÁLISE REGIONAL SOB A ÓTICA DA NOVA GEOGRAFIA ECONÔMICA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.4922

Autores: EDVALDO PEREIRA SANTOS JUNIOR

Resumo: A energia solar fotovoltaica é uma alternativa para atingir o 7 ODS por ser uma fonte renovável limpa, confiável e promissora. Este artigo analisou a GD fotovoltaica no Brasil por meio dos localização e concentração da sob a ótica nova geografia econômica, de 2008 a 2021. Foi utilizada a potência instalada dos estados brasileiros, em quilowatts (kW), disponibilizada pela Agência Nacional de Energia Elétrica. Utilizou-se a economia espacial, que foca em analisar o processo e desenvolvimento econômico no espaço, com a utilização dos índices de Hoover e de dessemelhança de Krugman. Comparou-se a potência instalada com mil habitantes no recorte regional e foi utilizada a Taxa de Crescimento Geométrico para verificar a evolução da tecnologia. Os principais resultados mostraram que a potência instalada no Brasil tem taxa positiva em todos os intervalos para micro e minigeração, refletindo crescimento tecnológico. O índice de Hoover tem valor médio maior na análise estadual do que regional, pois na análise estadual mostrou o valor concentrado e, na regional, é a junção de vários estados. Os valores do índice para a potência instalada por mil habitantes foram menores, pois apresentaram menor concentração da tecnologia. A maior distribuição da tecnologia, na microgeração, esteve presente em 2014, enquanto a maior concentração foi em 2012, no estado de Minas Gerais e na região Sudeste. Na minigeração, a maior concentração da potência instalada foi em 2012, no estado da Bahia e na região Nordeste. O índice de Krugman mostrou que a Região Sudeste e Estado de Minas Gerais são referências mais comuns. Em 2016, a região Nordeste destacou-se por diferir da referência, por ser a única região com instalação de minigeração. Os resultados apresentados podem auxiliar a aplicação de políticas públicas, por mostrar a atual distribuição espacial e disponibilidade da tecnologia.

Palavras-chave: Energia limpa; Economia de energia; Estudo de mercado.

A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NO BRASIL: UMA ANÁLISE REGIONAL SOB A ÓTICA DA NOVA GEOGRAFIA ECONÔMICA

1 INTRODUÇÃO

A energia solar é considerada uma variável importante para atingir os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas que almejam a sustentabilidade em 2030 (ONU, 2015). O ODS-7 dedica-se em garantir que todos tenham acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderna. A energia renovável aparece como caminho para alcançar este objetivo (GEBARA; LAURENT, 2023). As fontes alternativas são importantes para conservação da qualidade ambiental, pois a utilização das fontes tradicionais encadeiam problemas econômicos e ambientais (SHRESTHA et al., 2022). Estes tipos de fontes são mostradas frequentemente em temas associadas à política, na academia e no mundo corporativo, por aliviarem os problemas climáticos (GHAZOUANI, 2022).

A energia solar fotovoltaica aparece como alternativa para atingir o sétimo objetivo por ser considerada a fonte energética mais crucial e promissora de energia renovável (ALDOUSARI et al., 2019). Esta fonte tem recebido grande foco dentro das energias renováveis por ser limpa, segura e com facilidade de acesso (KAN et al., 2021). Esta tecnologia soluciona o problema do mercado energético, pelas vantagens de converter energia solar em energia elétrica, com pouca manutenção e favorável ao meio ambiente. (AGRAWAL; KAPOOR; GUPTA, 2022). A energia solar fotovoltaica tem a maior utilização dentre as fontes renováveis, além de ser responsável por aproximadamente 26% da energia gerada por fontes limpas. (GIELEN et al., 2019).

A International Energy Agency (IEA) (2022) mostrou que em 2021 a capacidade instalada mundial foi de 885,5 GW, com geração de 1.002,9 TWh. Prevê em 2030 que esta capacidade seja de quase 5 TW com geração de 7.415,9 TWh. Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (2022) apresentou que, em 2021, a energia solar no Brasil tinha 4,5 GW de capacidade instalada e geração de 33 GWh. Este alto valor de potência instalada pode refletir na redução do valor de mercado dos equipamentos elétricos, incentivando a GD. A Geração Distribuída (GD) começou a ser incentivada em 2012 com Resolução Normativa 482 da ANEEL e 2015 com a Resolução Normativa 687 (COSTA et al., 2022). A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2022) mostra que em 2021 aproximadamente 5430 cidades tinham 8 GW de capacidade instalada de GD fotovoltaica distribuídos em estimados 803.760 sistemas de geração.

A economia espacial é um ramo bem-sucedido que foca em analisar o processo e desenvolvimentos econômico no espaço, além de fornecer uma visão definida e ampla dos desequilíbrios espaciais (GASPAR, 2021). O incentivo de localização representa como agem as forças que aglomeram e dispersam uma variável. (TAKAHASHI, 2022). Esta linha da economia tem como finalidade determinar a localização e organização geográfica de uma atividade econômica (FLORIDA; ADLER, 2020; MALECKI, 2015). A concentração da uma atividade é relevante para formulação de políticas regulatórias e setoriais, no setor energético. (BUSU, 2020). Alguns estudos analisaram os indicadores para entender a distribuição de determinada atividade econômica, considerando as premissas da geografia econômica. Santos Júnior et al. (2022) analisaram a localização e concentração da bioeletricidade florestal no Brasil com o auxílio do Quociente Locacional, Razão de Concentração, Índice de Herfindahl-Hirschman, Índice de Hoover e Coeficiente de Gini.

Steeves, Petterini e Moura (2015) investigaram a interiorização da violência brasileira, policiamento e crescimento econômico utilizando a distribuição espacial, com o auxílio do índice de Hoover. Hossain e Meng (2020) utilizaram o Quociente Locacional para mapear e entender os potenciais perigos e riscos urbanos proporcionados pelas inundações.

Diante do exposto, este artigo tem como objetivo apresentar métodos para a análise da distribuição e concentração da capacidade instalada da GD fotovoltaica no Brasil, de 2008 a 2021, sob a ótica da economia espacial. Este trabalho embasará o entendimento do desenvolvimento da tecnologia no Brasil, além da compreensão da dinâmica regional e de mercado. Os resultados irão contribuir para dar suporte às novas políticas e investimentos públicos e privados no setor energético, além de avaliar a diversidade da matriz elétrica em outras regiões do globo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Objeto de estudo

Os dados das unidades geradoras em potência instalada, em quilowatt - kW, são fornecidos pela Superintendência de Concessões e Autorizações de Geração (SCG/ANEEL) e disponíveis pelo Sistema de Informações da ANEEL (SIGA), de 2008 a 2021. Estas informações foram agrupadas os recortes regionais: unidades da federação (estados) e regiões brasileiras.

A Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL determina cenários para o acesso da microgeração e minigeração distribuída. A microgeração é para qualquer central geradora com uma potência instalada menor ou igual a 75 kW, que disponha de cogeração qualificada nos sistemas de distribuição de energia elétrica. Já a minigeração é de potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW, de cogeração qualificada.

2.2 Medidas locacionais e de concentração da economia espacial

Para investigar como a potência instalada acompanha o crescimento populacional calculou-se a potência instalada da GD fotovoltaica por mil habitantes (GD_{hab}). Esta relação foi analisada de 2008 a 2021 que são os anos com dados disponíveis pelo Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). A Equação 1 mostra a base matemática para esta análise.

$$GD_{hab} = \frac{P_i}{Pop_t} \cdot 1000 \quad (1)$$

Onde: P_i é a Potência Instalada e Pop_t é a população total.

Utilizou-se a taxa de crescimento geométrico (TCG) para estimar o aumento da GD fotovoltaica no Brasil, segundo a Equação 2.

$$TCG = \left[\sqrt[\Delta t]{\frac{P_f}{P_0}} - 1 \right] \cdot 100 \quad (2)$$

Onde: P_f = potência instalada (kW) da GD fotovoltaica no ano final; P_0 = potência instalada (kW) da GD fotovoltaica no ano inicial; Δt = variação do tempo em anos.

As medidas locacionais utilizadas foram: índice de Hoover (H) e índice de dessemelhança de Krugman (SI). O índice de Hoover investiga a predisposição de concentração de uma distribuição populacional em progresso em uma região, assim como mensura a

desigualdade para identificar a evolução da distribuição (ADAMIAK et al., 2019). Este índice, definido na Equação 3, foi usado para medir a concentração da GD fotovoltaica nos recortes regionais.

$$H = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N |p_i - a_i| \quad (3)$$

Onde: p_{it} é a participação da potência instalada de GD fotovoltaica no Brasil, i é a região observada, a_i é a proporção dos participantes. O índice de Hoover varia de 0 a 1, sendo 0 baixa concentração com distribuição uniforme e 1, alta concentração com monopólio (LONG; NUCCI, 1997).

O índice de dessemelhança de Krugman (SI), definido na Equação 4, relaciona a mesma variável em duas regiões diferentes de mesma ordem, em que uma é referência com recorte regional de maior potência instalada. O índice foi calculado ano a ano, posteriormente elaborado mapas com o auxílio do software QGIS.

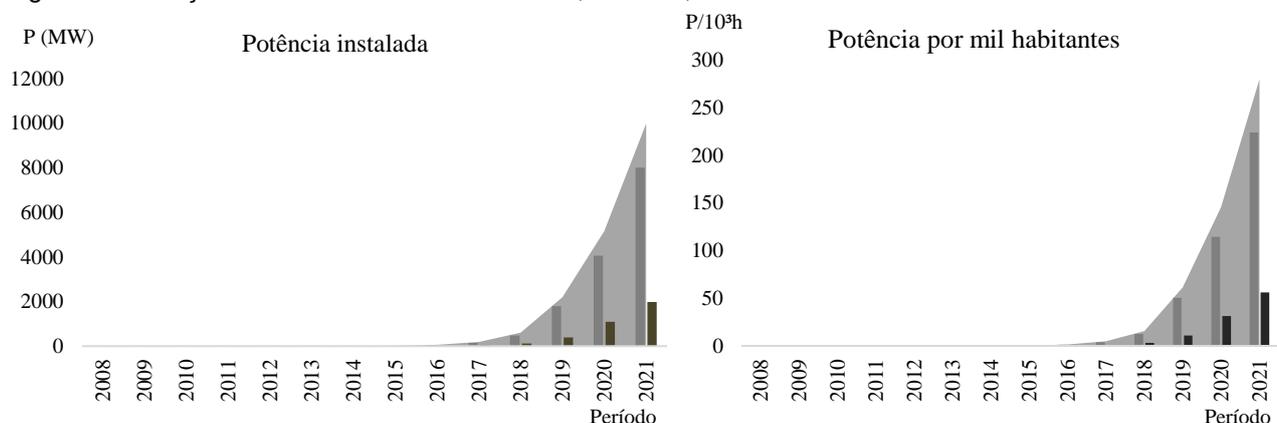
$$SI_{ij} = \sum_k \left| \frac{E_{ki}}{E_i} - \frac{E_{kj}}{E_j} \right| \quad (4)$$

Onde: E_{ki} é a capacidade instalada, em kW, no setor k no local de análise i ; E_i é a capacidade instalada total no local de análise i ; E_{kj} é a capacidade instalada no setor k de referência j ; E_j é a capacidade instalada total no local de referência j ; e k são os grupos de tensão. O índice pode variar entre 0 e 2. Sendo $0 \leq SI < 0,5$ regiões semelhantes a referência, $0,5 \leq SI < 1$ regiões que são intermediárias, $1 \leq SI < 1,5$ regiões diferem da referência, $1,5 \leq SI \leq 2$ regiões que diferem muito da referência.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 apresenta-se a evolução da GD da fotovoltaica no Brasil no período de 2008 a 2021 para a potência instalada e a potência por mil habitantes. Os gráficos apresentaram comportamento exponencial e a potência instalada cresceu com mais de 40% todos os anos. O maior percentual ocorreu em 2016 que teve 78,14% quando comparado ao ano anterior, seguido de 2019 que aumentou de 72% comparando com 2018.

Figura 1: Evolução da GD Fotovoltaica no Brasil, em MW, de 2008 a 2021.



Fonte: ANEEL (2022), IBGE (2023).

O menor aumento, em relação ao ano anterior foi em 2009 quando a potência instalada era de 25 kW e passou a ser 48,2 kW, representando um aumento de 48,13%. Em 2012, houve o primeiro grande salto positivo na porcentagem de aproximadamente 70%, nos anos anteriores não ultrapassava 52%. Em razão da Resolução Normativa 482 da ANEEL que foi lançada em 2012. De acordo com a ANEEL (2022), a função era incentivar a GD de qualquer fonte renovável para adiar a expansão do sistema de transmissão e distribuição de eletricidade com baixo impacto ambiental, minimização das perdas e diversificação da matriz energética brasileira.

A tecnologia teve um grande aumento de 2020 para 2021, em que a potência instalada chegou a quase 10 GW. Isto pode ser atribuído à adoção da bandeira de escassez hídrica que foi implementada como consequência de uma crise hídrica e possibilidade de apagão. Então, começou a cobrar R\$ 14,20 extra por cada 100 kWh consumido. A minigeração distribuída teve maior evolução e potência instalada, pois foi regulamentada em 2012 com Resolução Normativa 482. Na potência instalada por mil habitantes nota-se um comportamento exponencial da variável. Embora a população regional tenha crescido, a potência instalada da GD fotovoltaica cresceu com maior velocidade.

Na Tabela 1, mostra-se a potência instalada de GD Fotovoltaica, em MW, para sistemas de microgeração e minigeração das regiões e estados brasileiros de 2008 a 2021. A microgeração, de 2008 a 2011, teve taxa de crescimento de 344%, no Centro Oeste, 32,05% no Sudeste, 13,81% no Norte, no Nordeste não teve aumento e a Sul não tinha instalações. Entre 2012 e 2015, a região Nordeste aumentou 300%, seguida da região Sul com 285%, Sudeste com 143% e Norte e Centro-Oeste com 81% e 59%, respectivamente.

De 2016 a 2019, a região com maior taxa foi a região Centro-Oeste com 201%, seguida da região Norte com 194% de aumento, Sul com 161%, Sudeste com 128% e Nordeste com 125%. Na análise mais recente conta com os anos de 2020 e 2021 que teve destaque para região Norte com uma taxa positiva de 52%, em seguida Nordeste com 50% e Centro-Oeste, Sudeste e Sul com 38,79%, 37,63% e 36,68%, respectivamente. Então, pode-se ver que a taxa de crescimento foi alta e positiva na GD em todo país em decorrência de diversos fatores como incentivos públicos, mercado aquecido e alta taxa de energia elétrica pela concessionária.

De 2008 a 2011, o Estado do Mato Grosso do Sul teve maior taxa de crescimento com 344%, os estados do Piauí e Rondônia não tiveram crescimento. De 2012 a 2015, Acre, Alagoas e Amazonas tiveram taxa de crescimento nula e o Rio Grande do Sul teve 471% de taxa de crescimento. Entre 2016 e 2019, todos os estados tiveram taxa positiva variando de 87%, com Piauí, até 241% com o Pará. Nos últimos dois anos, 2020 e 2021, todos os estados mantiveram-se positivos, sendo o Acre com maior crescimento, 68%, e o Distrito Federal com menor crescimento e taxa de 29%.

Na minigeração distribuída, teve-se destaque para a região Nordeste e Estado da Bahia, por ter sido o primeiro Estado com este tipo de instalação. De 2012 a 2015, a região Nordeste teve taxa de crescimento de 66%, seguida da região Centro-Oeste e Sudeste com 51% e 45%, respectivamente. De 2016 a 2019, o maior aumento é da região Sudeste, enquanto o menor aumento fica com a região Nordeste com quase 75%. De 2020 a 2021, a maior taxa esteve presente na região Norte com 49%, seguida do Sul com 45%. Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste com 34%, 29% e 27%, respectivamente. Nos sistemas de minigeração, a taxa de crescimento teve valores positivos em todas as análises, provando que há crescimento em todos os períodos analisados, embora tenha crescimento inferior aos sistemas de microgeração.

Na Tabela 2, mostra a potência instalada por mil habitantes da GD fotovoltaica, em kW por 1000 habitantes, para sistemas de microgeração e minigeração das regiões e estados brasileiros, nas Unidades Geradoras, de 2008 a 2021.

Tabela 1: Potência instalada de GD Fotovoltaica, em MW, para sistemas de microgeração e minigeração no Brasil, de 2008 a 2021.

	2008		2012		2016		2021	
	Min	Mic	Min	Mic	Min	Mic	Min	Mic
Sudeste		0,025		0,12	2,662	22,956	764,392	2627,73
Espírito Santo					0,1	0,828	29,439	67,903
Minas Gerais		0,025		0,044	1,504	8,715	452,817	479,561
Rio de Janeiro					0,524	3,431	85,771	166,331
São Paulo					0,534	5,759	196,365	526,68
Sul					1,702	12,773	335,154	2227,335
Paraná					0,227	3,371	118,22	328,788
Rio Grande do Sul					0,882	5,145	136,034	448,79
Santa Catarina					0,594	1,806	82,678	259,782
Nordeste			0,403	0,009	7,66	10,402	356,92	1513,8
Alagoas						0,167	15,135	35,805
Bahia			0,403		0,403	0,79	38,32	191,156
Ceará					3,663	2,064	73,32	125,5
Maranhão					0,333	1,036	33,836	107,654
Paraíba					0,15	0,373	40,474	62,417
Pernambuco					1,955	0,984	74,796	121,171
Piauí				0,003	0,249	1,986	32,348	81,992
Rio Grande do Norte					0,907	0,578	41,031	95,36
Sergipe						0,119	7,669	20,029
Norte				0,034		0,928	114,189	491,314
Acre						0,002	4,309	14,172
Amazonas						0,028	15,717	21,157
Amapá						0	4,607	5,693
Pará						0,191	0	123,42
Rondônia						0,188	28,647	52,908
Roraima						0,003	12,212	4,415
Tocantins						0,148	17,403	57,834
Centro-Oeste				0,079	1,409	2,99	403,859	1153,431
Distrito Federal					0,559	0,619	59,91	23,176
Goiás					0,549	0,66	111,202	155,295
Mato Grosso					0,225	0,215	175,017	143,104
Mato Grosso do Sul					0,076	0,988	57,731	233,087
Brasil	0	0,025	0,403	0,242	13,433	50,049	1.974,51	8.013,61

Fonte: ANEEL (2022).

Em 2021, o Estado do Mato Grosso teve índice alto de 171,86 de potência por mil habitantes que ocorre, pois, a população era relativamente baixa, com pouco mais de 3,5 milhões de habitantes. A potência instalada neste Estado, em 2021, era relativamente alta, quando comparada com estados com baixa população.

Tabela 2: Potência instalada por mil habitantes para sistemas de microgeração e minigeração das regiões e estados brasileiros, nas unidades geradoras, de 2008 a 2021.

	2008		2012		2016		2021	
	Min	Mic	Min	Mic	Min	Mic	Min	Mic
Sudeste		0,001		0,001	0,031	0,266	8,528	29,317
Espírito Santo					0,023	0,239	0,014	31,719
Minas Gerais		0,001		0,005	0,003	0,507	0,032	53,907
Rio de Janeiro				0,001	0,019	0,272	0,021	18,431
São Paulo					0,03	0,153	0,023	21,893
Sul					0,058	0,434	11,024	73,261
Paraná					0,026	0,363	0,004	66,146
Rio Grande do Sul					0,007	0,543	0,002	84,171
Santa Catarina					0,012	0,371	0	67,853
Nordeste			0,007	0	0,135	0,183	6,189	26,25
Alagoas						0,077	0,022	19,011
Bahia			0,963		0,022	0,079	0,029	22,183
Ceará					0,194	0,313	0,011	25,499
Maranhão					0,01	0,176	0,021	25,255
Paraíba					0,016	0,102	0,004	31,816
Pernambuco					0,081	0,15	0,012	21,487
Piauí				0,003	0,007	0,643	0,005	46,94
Rio Grande do Norte						0,111	0,259	0,001
Sergipe						0,052	0,026	20,968
Norte				0,002		0,052	6,04	25,986
Acre						0,05	0,021	24,135
Amazonas						0,014	0,025	8,963
Amapá							0,02	10,232
Pará						0,027		24,579
Rondônia				0,015		0,173	0,015	47,582
Roraima						0,006	0,024	11,788
Tocantins				0,008		0,193	0,001	69,913
Centro-Oeste				0,005	0,09	0,191	24,173	69,037
Distrito Federal					0,069	0,269	0,027	18,635
Goiás					0,009	0,111	0,014	46,432
Mato Grosso					0,01	0,423	0,165	171,869
Mato Grosso do Sul				0,025	0,024	0,093	0,016	76,581
Brasil	0	0,001	0,007	0,008	0,314	1,126	55,95	223,85

Fonte: ANEEL (2022), IBGE (2023).

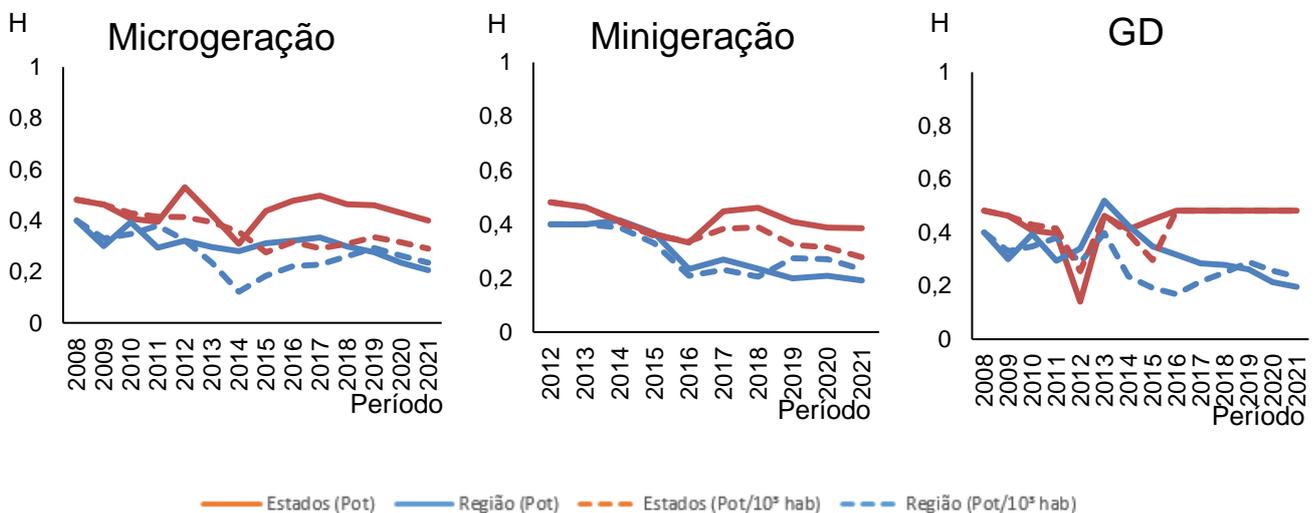
O estado com menor potência instalada por mil habitantes era o Amazonas e isso ocorre pela baixa capacidade instalada no Estado. Minas Gerais apresentava grande aumento no valor do índice, quando comparava-se a taxa de 2008 com 2021, passando da casa decimal para de dezena. Isto ocorre pelo estado ter evoluído e se tornado o estado com maior capacidade instalada de sistemas de GD fotovoltaica.

O grande aumento na potência instalada da geração distribuída por mil habitantes, foi em decorrência do aumento significativo da potência por fatores como as Resoluções da

ANEEL de 2012 e 2015 que incentivaram esta tecnologia. Em 2021, foi possível ver que índice tinha valor menor onde a tecnologia é mais concentrada e maior onde a potência instalada é menor e isto ocorre pelo baixo valor da população na região Sul e Centro-Oeste.

Na Figura 2, apresenta-se a evolução do índice de Hoover no Brasil na microgeração, minigeração e a geração distribuída total, de 2008 a 2021. A curva estadual da microgeração mostra o valor médio inferior à curva das regiões. Isto ocorre pois, na análise regional, os sistemas apresentam-se de forma menos concentrada e mais bem distribuída nas cinco regiões brasileiras. O menor índice das regiões dos sistemas de microgeração era o de 2021 com valor de 0,2058, que possui menor concentração, o maior índice está presente em 2008, 0,4 que era o valor mais próximo de 1 e assemelha-se à um monopólio por existir apenas na região Sudeste.

Figura 2: Evolução do índice de Hoover para a GD fotovoltaica no Brasil, para os anos de 2008 a 2021, com a mini, microgeração e geração total.



Fonte: Os Autores (2022).

Quando se trata da análise estadual dos sistemas de microgeração, os valores eram superiores, aproximando da unidade e mostrando uma maior tendência à concentração, por existirem mais estados e a divisão entre eles ser mais heterogênea que as regiões. O ano com menor concentração é 2014 com índice igual a 0,3088 e o ano com maior concentração era 2012 com 0,5303 em decorrência da alta concentração de potência no estado de Minas Gerais, em comparação aos demais. O índice da potência instalada por mil habitantes tem comportamento similar ao H da potência instalada. A curva estadual teve valor médio maior que a curva regional, em decorrência da concentração. No entanto, as curvas da potência por mil habitantes estavam abaixo das curvas da potência instalada, isto mostrou que quando se considera a potência pela população, ela era mais bem distribuída e menos monopolizada.

A análise de minigeração mostrou que a curva referente aos estados e regiões apresentaram comportamento similar à microgeração. A GD fotovoltaica foi ganhando maiores proporções ao longo dos anos e adquirindo maior relevância no país, especialmente na minigeração que iniciou apenas em 2012. Na curva das regiões, o menor valor foi em 2021, 0,1916, ano com menor concentração. O maior valor do índice de Hoover foi em 2014 com valor de 0,4146 que reflete a grande concentração de sistemas de minigeração na região Nordeste do país.

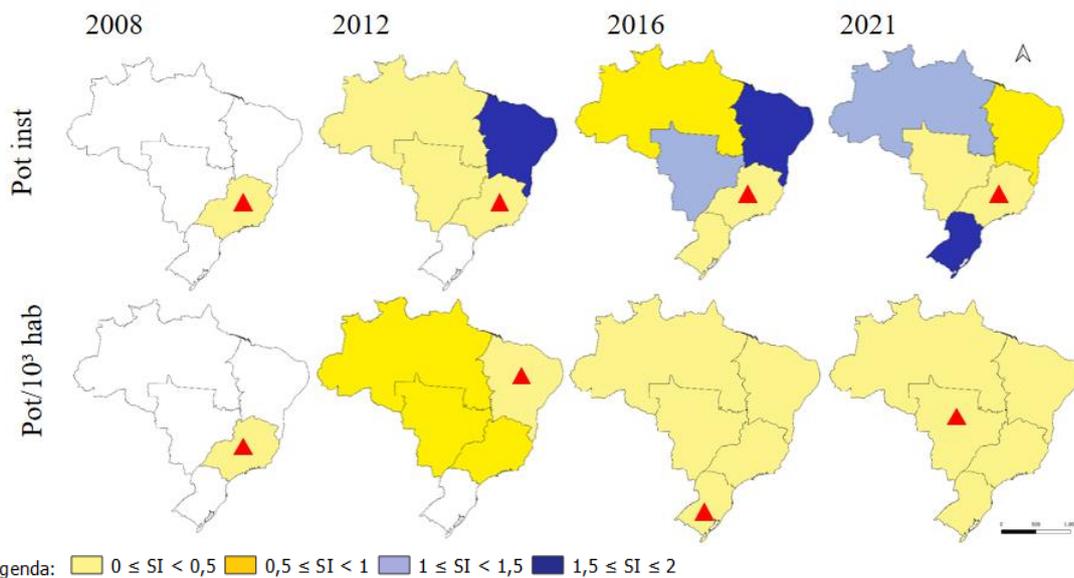
Na ótica estadual, os valores do índice foram superiores aos valores regionais, como já é esperado. O maior índice que mostrou a maior concentração da potência instalada é

em 2012 que teve índice de 0,4814 e chegou mais próximo do monopólio por estar presente apenas na Bahia. O ano com menor índice que refletiu maior distribuição foi 2016. No estudo da potência por mil habitantes, viu-se que as curvas tiveram comportamentos similares.

A visão das instalações totais mostrou curvas com comportamentos similares. Destacou na análise estadual, em 2012, por ter regulamentado a tecnologia e ela tornar-se mais distribuída entre os estados. Já na análise regional, foi visto um alto valor em 2013 em decorrência da alta concentração de potência da região Nordeste.

Na Figura 3, foi mostrado o índice de dessemelhança de Krugman nas regiões brasileiras, em que quanto mais baixo o índice, mais se assemelha com a região de referência. Para o desenvolvimento do índice é necessário selecionar as regiões de referência, para isso, foram escolhidas as regiões com maior potência instalada e potência por mil habitantes. As regiões selecionadas foram identificadas no mapa com um triângulo vermelho.

Figura 3: Evolução do índice de dessemelhança de Krugman (SI) nas regiões brasileiras potência da GD Fotovoltaica para o período de 2008 a 2021.



Legenda: $0 \leq SI < 0,5$ $0,5 \leq SI < 1$ $1 \leq SI < 1,5$ $1,5 \leq SI \leq 2$
Fonte: Os Autores (2022).

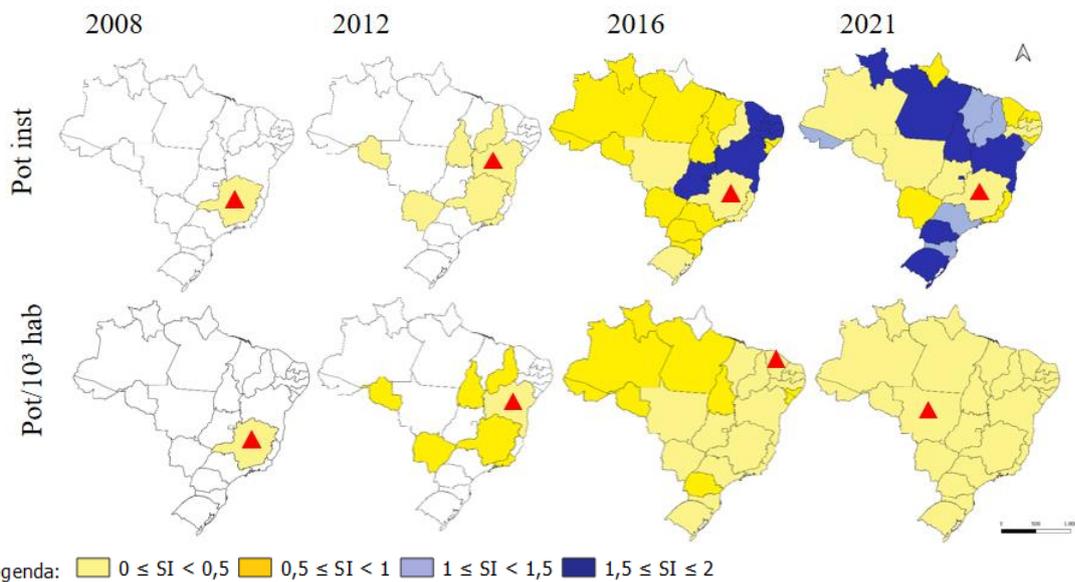
Em 2008, a região Sudeste era a única que possuía GD fotovoltaica por isso é a referência e única região analisada. No ano de 2012, a região Sudeste continuou sendo referência e as regiões Norte e Centro-Oeste se assemelharam a ela, mas região Nordeste apareceu como dessemelhante da referência por ter instalações de minigeração, ao contrário das demais regiões. Embora em alguns anos como 2013 a 2015, a região Nordeste tenha sido referência, na Figura 3 mostra apenas o Sudeste como referência. Em 2021, a região Sul apareceu com alto nível no índice de Krugman, o que mostra que a região Sul difere muito da região Sudeste, isso ocorre pela baixa potência da região Sul e a alta potência na região Sudeste. Nos 6 últimos anos a região que mais diferiu da região Sudeste foi a região Nordeste em 2016 com índice de 0,3201, por ser a única região do país com minigeração e foi a mesma região que mais se assemelhou em 2020 com índice de 0,0103. Na análise do SI para a potência instalada por mil habitantes, nota-se maior uniformização no mapa. Isto ocorre, pois foi possível equiparar a potência instalada quando

consideramos per capita. Nota-se também a mudança das regiões de referências para regiões em que não tem potência tão alta, o índice era alto pela quantidade de habitantes.

Na Figura 4 é mostrada a evolução do índice de dessemelhança de Krugman para os estados. Em 2008 ocorreu algo análogo às regiões em que tinha apenas o estado de Minas Gerais. Minas Gerais foi o estado de referência até 2011 e os índices de todos os estados são nulos, o que mostra que se assemelham à potência instalada em Minas Gerais. Em 2012, os índices seguiram nulos, mas a região de referência é a Bahia. No ano de 2013, 2014 e 2015, Pernambuco foi o estado de referência.

Nos anos de 2016 a 2021, Minas Gerais foi o estado de referência. Em 2016, o estado que mais diferiu da referência foi Pernambuco com índice de 0,457, isso ocorreu pela baixa potência de Pernambuco nas instalações de microgeração. Em 2017, 2018 e 2019 o estado que mais diferiu da referência foi Amapá com índice igual a 0,7, 0,46 e 0,244, respectivamente. No ano de 2020 e 2021, o estado que mais diferiu da referência foi Roraima com índice de 0,48 e 0,33, respectivamente. Os Estados do Amapá e Roraima diferem a região de referência por sua baixa potência instalada. Com o passar dos anos é possível observar o mapa com a mistura de cores, em consequência à popularização e desigualdade da quantidade de potência instalada da tecnologia em todos os estados brasileiros. Quando se trata do índice referente à potência instalada por mil habitantes, o SI age de forma análoga à análise regional, por realizar uma espécie de espacialização, considerando a população. Além disso, as regiões assemelham-se mais à referência.

Figura 4: Evolução do índice de dessemelhança de Krugman (SI) da GD fotovoltaica nos estados brasileiros potência da para o período de 2008 a 2021.



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho analisou a localização e concentração da potência instalada da GD fotovoltaica no Brasil, de 2008 a 2021, para incentivar o cumprimento do sétimo objetivo da ODS. As regiões brasileiras, assim como os estados brasileiros apresentaram taxa geométrica de crescimento positiva em todos os intervalos analisados nos sistemas de minigeração e microgeração, que mostrou que o crescimento estava presente em todas as análises consideradas.

Na potência instalada da GD fotovoltaica por mil habitantes foi possível enxergar um aumento considerável, em decorrência da disseminação da tecnologia. Além disso, quando se trata do índice no ano de 2021, notou-se que as regiões e/ou estados com maior índice, foram os que, geralmente, possuem baixa potência, isso ocorre pelo baixo valor de sua população.

O índice de Hoover foi maior na análise estadual por ser mais específico e na análise regional, o índice tornou-se mais diluído por ter a junção de vários estados. O H, na microgeração, teve menor valor em 2014, mostrando maior distribuição e a maior concentração foi em 2012 no estado de Minas Gerais e região Sudeste. Na minigeração, a maior concentração foi em 2012, no estado da Bahia e região Nordeste. Pode-se ver que o índice para a potência por mil habitantes teve curva similar ao H da potência instalada, no entanto, possui valores menores, por mostrar-se mais bem distribuído.

Na análise de Krugman, foi possível perceber o destaque da região Sudeste e o estado de Minas Gerais como referência. Em 2016 foi visto que a região Nordeste diferiu da referência, por ser a única com instalações de minigeração. Nos últimos anos, percebeu-se que a região Sul diferiu da referência que é o Sudeste e isso ocorreu por sua potência ser a mais baixa instalada. No SI da potência por mil habitantes, notou-se uma proximidade maior da referência, por estar especializando as variáveis.

Assim, notou-se que as regiões Sudeste e Nordeste tiveram a tecnologia mais bem desenvolvida, por terem sido pioneiras no país. As demais regiões precisam de incentivo da tecnologia, principalmente nos estados de Roraima e Acre, do Norte do Brasil. O trabalho serviu para mostrar a situação da GD no país, mostrando sua disponibilidade, distribuição espacial e organização. Os resultados proporcionaram a aplicação de políticas públicas por identificar onde a tecnologia ainda não é desenvolvida e onde o incentivo governamental deve ser feito. Além disso, para as empresas privadas, o atual estudo é importante por mostrar onde são as regiões em que a tecnologia é mais difundida e o mercado mais aquecido.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a concessão de bolsa de mestrado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e o apoio financeiro da Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba – FAPESQ pelo Edital nº 09/2021 Demanda Universal ao projeto “Avaliação sistêmica da energia solar fotovoltaica no estado da Paraíba”.

REFERÊNCIAS

- ADAMIAK, C., SZYDA, B., DUBOWNIK, A., & GARCÍA-ÁLVAREZ, D. Airbnb Offer in Spain—Spatial Analysis of the Pattern and Determinants of Its Distribution. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 8, n. 3, p. 155, mar. 2019.
- AGRAWAL, N.; KAPOOR, A.; GUPTA, M. Monthly energy yield assessment of solar photovoltaic system under uniform irradiance and partial shaded condition. **Materials Today: Proceedings**, 22 jun. 2022.
- AL-DOUSARI, A., AL-NASSAR, W., AL-HEMOUD, A., ALSALEH, A., RAMADAN, A., AL-DOUSARI, N., & AHMED, M. Solar and wind energy: Challenges and solutions in desert regions. **Energy**, v. 176, p. 184-194, 2019.
- BUSU, M. A market concentration analysis of the biomass sector in Romania. **Resources**, v. 9, n. 6, 2020.

- COSTA, E., TEIXEIRA, A. C. R., COSTA, S. C. S., & CONSONI, F. L. Influence of public policies on the diffusion of wind and solar PV sources in Brazil and the possible effects of COVID-19. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 162, p. 112449, 1 jul. 2022. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt>>. Acesso em: 25 out. 2022.
- FLORIDA, R.; ADLER, P. Economic Geography. Em: KOBAYASHI, A. (Ed.). **International Encyclopedia of Human Geography (Second Edition)**. Oxford: Elsevier, 2020. p. 25–28.
- GASPAR, José M. New economic geography: history and debate. **The European Journal of the History of Economic Thought**, v. 28, n. 1, p. 46-82, 2021. Geração Distribuída. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>>. Acesso em: 31 out. 2022.
- GHAZOUANI, T. Dynamic impact of globalization on renewable energy consumption: Non-parametric modelling evidence. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 185, p. 122115, 1 dez. 2022.
- GEBARA, C. H.; LAURENT, A. National SDG-7 performance assessment to support achieving sustainable energy for all within planetary limits. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 173, p. 112934, 2023.
- GIELEN, D., BOSHELL, F., SAYGIN, D., BAZILIAN, M. D., WAGNER, N., & GORINI, R. The role of renewable energy in the global energy transformation. **Energy Strategy Reviews**, v. 24, p. 38–50, 1 abr. 2019.
- GOSCHIN, Z., CONSTANTIN, D. L., ROMAN, M., & ILEANU, B. Specialisation and Concentration **Patterns in the Romanian Economy**. MPRA Paper. Disponível em: <<https://mpa.ub.uni-muenchen.de/88832/>>. Acesso em: 31 out. 2022.
- HOSSAIN, M. K.; MENG, Q. A thematic mapping method to assess and analyze potential urban hazards and risks caused by flooding. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 79, p. 101417, 1 jan. 2020.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Data and statistics. 2021. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/solar-pv>>. Acesso em: 26 jan. 2023.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Data and statistics. 2021. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/renewable-power-generation-by-technology-in-the-net-zero-scenario-2010-2030>>. Acesso em: 26 jan. 2023.
- KAN, A., ZENG, Y., MENG, X., WANG, D., XINA, J., YANG, X., & TESREN, L. The linkage between renewable energy potential and sustainable development: Understanding solar energy variability and photovoltaic power potential in Tibet, China. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 48, p. 101551, 1 dez. 2021.
- LONG, L; NUCCI, A. The Hoover index of population concentration: A correction and update. **The Professional Geographer**, v. 49, n. 4, p. 431-440, 1997.
- MALECKI, E. J. Economic Geography. Em: WRIGHT, J. D. (Ed.). **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition)**. Oxford: Elsevier, 2015. p. 33–37.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Dados e estatística. 2022. Disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/capacidade_instalada.aspx>. Acesso em: 25 jan. 2023;
- Relação de empreendimentos de Geração Distribuída - Dados Abertos - Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/pt_BR/dataset/relacao-de-empreendimentos-de-geracao-distribuida>. Acesso em: 28 out. 2022.
- SANTOS JÚNIOR, E. P., SILVA, M. V. B., SIMIONI, F. J., ROTELLA JUNIOR, P., MENEZES, R. S. C., & COELHO JUNIOR, L. M. Location and concentration of the forest

bioelectricity supply in Brazil: A space-time analysis. *Renewable Energy*, v. 199, p. 710–719, 1 nov. 2022.

SHRESTHA, A., MUSTAFA, A. A., HTIKE, M. M., YOU, V., & KAKINAKA, M. Evolution of energy mix in emerging countries: Modern renewable energy, traditional renewable energy, and non-renewable energy. *Renewable Energy*, v. 199, p. 419–432, 1 nov. 2022.

STEEVES, G. M.; PETTERINI, F. C.; MOURA, G. V. The interiorization of Brazilian violence, policing, and economic growth. *Economia*, v. 16, n. 3, p. 359–375, 1 set. 2015.

TAKAHASHI, T. On the economic geography of an aging society. *Regional Science and Urban Economics*, v. 95, p. 103798, 1 jul. 2022.

UN [United Nations] General Assembly. 2015. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development.

A/RES/70/1. http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E. Acesso em: 01 mar. 2023.

