

ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO MERCADO DA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA EM PROPRIEDADES RURAIS NO BRASIL

Lucian Machado Toledo – lucianrs@gmail.com

Artur Bozza Dutra – a.dutra@edu.pucrs.br

Izete Zanesco – izete@pucrs.br

Adriano Moehlecke – moehleck@pucrs.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Escola Politécnica,
Núcleo de Tecnologia em Energia Solar (NT-Solar)

Resumo. No Brasil, em 2020, 8 % da energia elétrica foi usada no setor da agropecuária e há tendência de aumento nos próximos anos. Com base neste fato, o objetivo deste artigo é quantificar e comparar a potência instalada em sistemas fotovoltaicos de geração distribuída (GD) no meio rural nas diferentes regiões do Brasil, desde a regulamentação do setor com a resolução normativa n° 482. Utilizou-se a base de dados da ANEEL e quantificou-se a potência total e no meio rural de sistema fotovoltaicos em cada estado brasileiro e no Brasil por ano. Determinou-se também o percentual por ano da potência no meio rural em relação ao valor total instalado com esta tecnologia. Comparando os três estados com a maior potência instalada, observou-se um crescimento anual da participação do meio rural. Em 2020, em Minas Gerais, Rio Grande do Sul e São Paulo a participação do meio rural no mercado da tecnologia fotovoltaica foi de 22,6 %, 16,8 % e 9,3%, respectivamente, totalizando uma potência instalada nestes três estados de 194,3 MWp. O maior mercado no meio rural foi nas regiões sudeste, sul e centro-oeste com potência instalada de 152,2 MWp, 98,1 MWp e 92,5 MWp, respectivamente. Na região nordeste, no meio rural, está instalada aproximadamente a metade da potência instalada na região centro-oeste enquanto que na região norte somente foram instalados 9,1 MWp. A maior participação do meio rural no mercado da tecnologia fotovoltaica foi na região sul, com 20 %, seguida da região centro-oeste com 18,9 % e região sudeste com 14,5 %. No Brasil, a potência total instalada no meio rural foi de 397,3 MWp, até 2020, correspondendo a 14 % do total instalado no país. Com esta análise, pode-se prever que a tendência de aumento do mercado é maior no meio rural do que em outros setores.

Palavras-chave: Tecnologia fotovoltaica, mercado, meio rural

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Estudos indicam que, até 2050, ocorrerá a transição da matriz energética atual, com predominância do setor de transportes e produção de calor, para uma matriz baseada em energia elétrica. O estudo “*Global Energy System Based on 100% Renewable Energy*” (Ram *et al.*, 2019) prevê que, em 2050, 90% da matriz energética mundial corresponderá ao setor de energia elétrica, produzida por fontes renováveis.

No Brasil a produção de energia elétrica está centrada em fontes renováveis, sendo apenas da ordem de 16 % a participação de fontes não renováveis. Aproximadamente 60 % da energia elétrica é produzida por centrais hidrelétricas (EPE, 2021). A contribuição das fontes renováveis e alternativas, como a energia solar e eólica, está crescendo desde a última década. Em 2020, a produção de energia elétrica por meio de centrais fotovoltaicas foi de aproximadamente 2 % na matriz de energia elétrica brasileira. Com base na tendência mundial, prevê-se o aumento do uso de energia elétrica em todos os setores, inclusive na agropecuária. Como apresenta a Fig. 1, em 2020, no Brasil, 8 % da energia elétrica foi usada neste setor e pode-se prever um aumento nos próximos anos no setor agropecuário (EPE, 2021), com base nos resultados dos anos anteriores mostrados na Fig. 2.

De 2019 a 2020, no Brasil, ocorreu um aumento da potência instalada em centrais fotovoltaicas maior que 30% (EPE, 2021). No entanto, segundo a Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR), o maior crescimento está ocorrendo com sistemas fotovoltaicos (FV) de geração distribuída (GD), com projeção de um aumento de até 90% em 2021 em relação ao ano anterior (ABSOLAR, 2021). Portanto, espera-se um crescimento do mercado de sistemas fotovoltaicos de GD no setor da agropecuária, pois estudos demonstraram a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos em comunidades rurais no Brasil (De Carli *et al.*, 2018).

Em vários países esta tendência está sendo observada. Por exemplo, na Polônia, foi realizado um estudo para identificar os fatores que influenciam a tomada de decisão para a instalação de sistemas fotovoltaicos por famílias em domicílios localizados nas áreas rurais. O principal resultado foi que a inovação tecnológica e a redução do custo da conta de energia elétrica têm o maior impacto na tomada de decisão para a aquisição do sistema FV. A preocupação com o meio ambiente não é considerada pelos consumidores (Angowski *et al.*, 2021).

Outro tema de estudo tem sido o uso da terra para a produção de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos e para a agricultura. Esta área é denominada de agrofotovoltaica e pode contribuir para que os produtores rurais se tornem mais competitivos sob o ponto de vista econômico, considerando as mudanças climáticas e o aumento da competitividade.

Resultados demonstraram que a agrofotovoltaica pode aumentar a receita líquida anual em relação ao uso da terra somente para a agricultura e melhorar a estabilidade financeira dos produtores rurais (Cuppari *et al.*, 2021). Portanto, a agrofotovoltaica amplia o número de oportunidades para alcançar uma solução sustentável com a combinação de produção de energia e alimentos e pode ser combinada com cultivos resistentes à sombra em regiões climáticas áridas (Jain *et al.*, 2021).

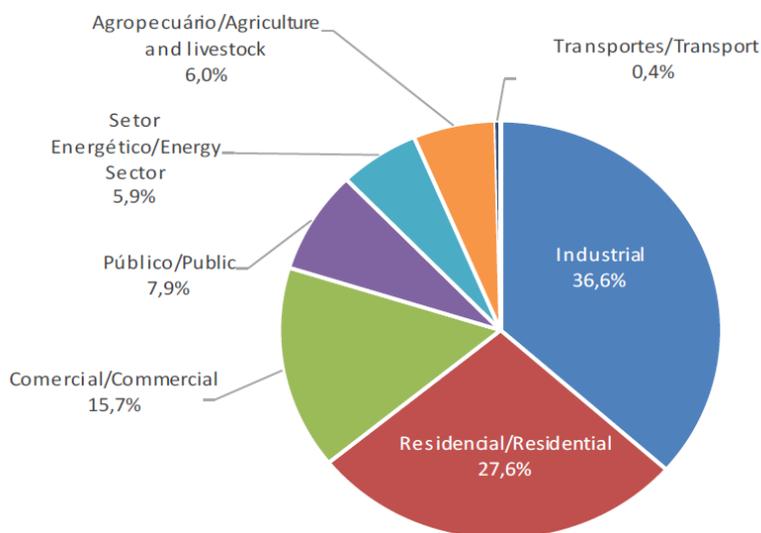


Figura 1 - Participação dos setores no consumo de energia elétrica no Brasil em 2020 (EPE, 2021).

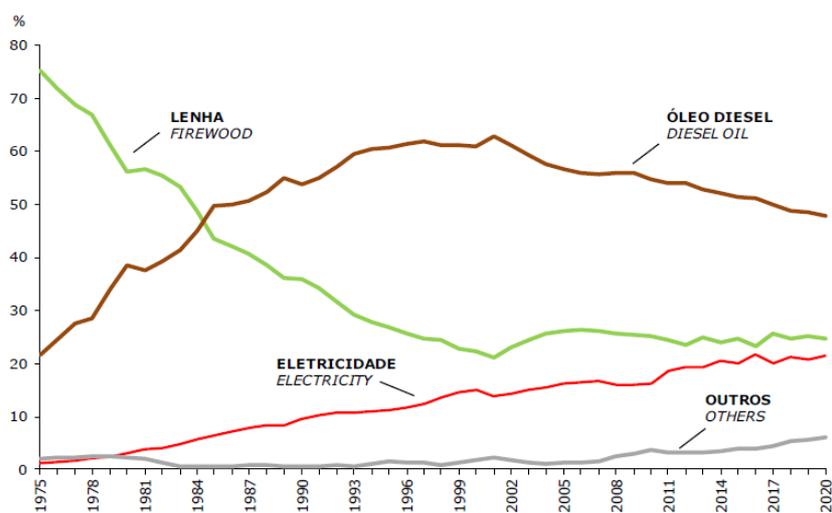


Figura 2 - Evolução do uso de energia no setor agropecuário (EPE, 2021).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é quantificar e comparar a potência em sistemas fotovoltaicos de geração distribuída no meio rural nos três estados com a maior potência instalada e em cada região brasileira, desde a regulamentação do setor com a resolução normativa n° 482 de 2012.

2. METODOLOGIA

Utilizou-se a base de dados disponibilizada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e quantificou-se a potência total e no meio rural de sistema FVs em cada estado brasileiro por ano, desde 2012, quando entrou em vigor a RN 482. Determinou-se também o percentual em cada ano da potência de sistemas fotovoltaicos instalados no meio rural em relação a potência total instalada com esta tecnologia em cada estado brasileiro.

Primeiramente, realizou-se a comparação dos resultados para os três estados com a maior potência total instalada em sistemas FVs: Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul. A potência em sistemas fotovoltaicos também foi determinada em cada região brasileira e analisada a evolução percentual em cada ano da participação das instalações no meio rural. Por fim, a análise foi apresentada para o Brasil, a partir dos resultados de cada região.

3. RESULTADOS E ANÁLISES

3.1 Comparação do mercado nos três estados brasileiros com maior número de instalações

Na Tab. 1 apresenta-se a potência instalada total e no meio rural em sistemas FVs de GD nos três estados brasileiros com o maior mercado da tecnologia fotovoltaica bem como o percentual da potência no meio rural em relação a total instalada em cada estado. Consta-se que, em 2020, a potência instalada em sistemas FVs de GD no meio rural em Minas Gerais, Rio Grande do Sul e São Paulo foi de 112,2 MWp, 51,1 MWp e 31,1 MWp, respectivamente, enquanto que a potência total instalada nestes estados foi de 495,3 MWp, 303,6 MWp e 334,0 MWp. Como mostra a Fig. 3, desde 2012, a potência instalada nestes estados no meio rural tem crescido ao longo dos anos.

Tabela 1 - Potência total instalada em sistemas fotovoltaicos de geração distribuída em Minas Gerais, Rio Grande do Sul e São Paulo em 2020, potência total instalada no meio rural e percentual da participação do meio rural em relação a potência total instalada.

Estado	Potência total (MWp)	Potência no meio rural (MWp)	Percentual no meio rural
Minas Gerais	495,3	112,1	22,6 %
Rio Grande do Sul	303,6	51,1	16,8 %
São Paulo	334,0	31,1	9,3 %

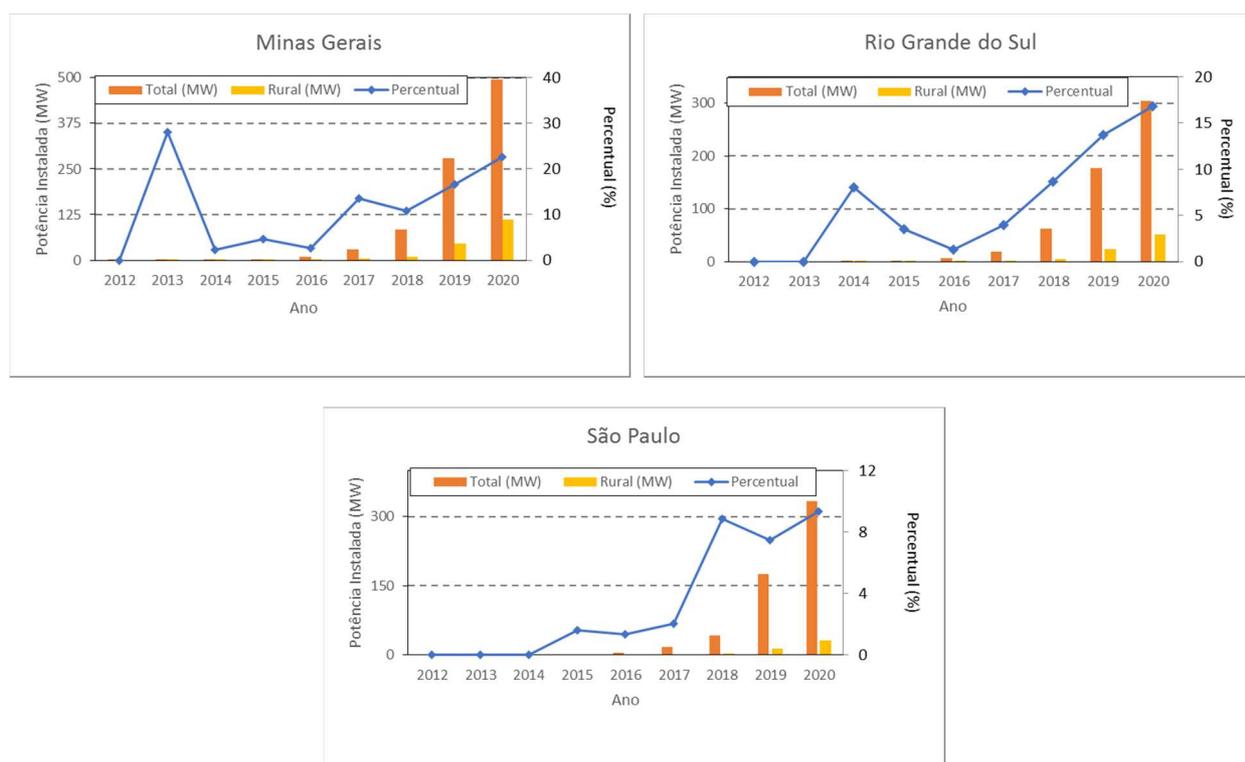


Figura 3 - Evolução da potência elétrica total e no meio rural instalada em sistema fotovoltaicos de geração distribuída e percentual da potência no meio rural nos três estados brasileiros com maior número de instalações.

A partir da Fig. 3 nota-se que nos três estados está ocorrendo um aumento no percentual de instalações no meio rural. Especificamente, nos estados do Rio Grande do Sul e Minas Gerais ocorreu um pico no percentual de instalações no meio rural, nos anos de 2014 e 2013, respectivamente. Este resultado indica que o mercado no meio rural cresceu rapidamente com a entrada em vigor da resolução normativa nº 482, em apenas um ou dois anos, sendo o percentual de instalações no meio rural de importância quando comparado com o mercado nestes dois estados. Embora, o percentual da potência instalada no meio rural tenha alcançado quase 30% no estado de Minas Gerais em 2013, a potência total instalada, tanto no meio urbano quanto no meio rural ainda era baixa, de 96,4 kWp e no meio rural havia somente 27,0 kWp em sistemas fotovoltaicos.

A partir de 2014 – 2016 observa-se o crescimento da potência instalada em sistemas FVs no meio rural e do percentual em relação ao valor total, indicando que as instalações no meio rural estão crescendo mais que em outros setores. Em Minas Gerais, no ano de 2015, a participação das instalações no meio rural foi de somente 4,6 %. No entanto, a potência instalada aumentou de 27,0 kW_P (2013) para 67,4 kW_P (2015). Em 2020, a participação do meio rural no mercado da tecnologia fotovoltaica foi de 22,6 %, representando uma potência instalada de 112,1 MW_P. No estado do Rio Grande do Sul, embora a participação do meio rural tenha sido de 8,1% do total em 2014, a potência instalada no meio rural aumentou de 7,0 kW_P para 51,10 MW_P em 2020, dobrando o percentual (16,8%) da participação do meio rural. Já no estado de São Paulo, a participação das instalações no meio rural foi insignificante em 2014, quando o total da potência instalada era de 290,7 kW_P. Porém, em 2020, a participação do meio rural foi de 9,3%, representando uma potência instalada de 31,1 MW_P. A soma da potência instalada no meio rural destes três estados, no ano de 2020, foi de 194,3 MW_P. Este resultado indica que há espaço para o crescimento do mercado no meio rural e interesse por parte dos proprietários em sistemas fotovoltaicos de GD.

3.2 Avaliação do crescimento do mercado em propriedades rurais por região brasileira

Na Tab. 2 mostram-se os valores da potência total instalada em sistemas FVs de geração distribuída em cada região do Brasil em 2020 para comparar com a potência instalada no meio rural. No ano passado, o maior mercado no meio rural foi nas regiões sudeste, sul e centro-oeste com potência instalada de 152,2 MW_P, 98,1 MW_P e 92,5 MW_P, respectivamente. Na região nordeste, no meio rural, está instalada aproximadamente a metade da potência instalada na região centro-oeste enquanto que na região norte somente foram instalados 9,1 MW_P.

Tabela 2 - Potência total instalada em sistemas fotovoltaicos de geração distribuída em cada região do Brasil em 2020, potência total instalada no meio rural e percentual da participação do meio rural.

Região	Potência total (MW _P)	Potência no meio rural (MW _P)	Percentual no meio rural
Sudeste	1050,9	152,2	14,5 %
Nordeste	527,0	45,4	8,6 %
Sul	490,5	98,1	20,0 %
Centro-oeste	489,2	92,5	18,9 %
Norte	166,9	9,1	5,5 %

No entanto, como mostra a Fig. 4 há um aumento do mercado no meio rural em todas as regiões brasileiras. Também se nota que o maior crescimento das instalações no meio rural iniciou em 2016. Nas três regiões com o maior mercado no meio rural nota-se que ocorreu um pico entre os anos de 2013 e 2014. Em geral, em todas as cinco regiões, observa-se um aumento no percentual da potência instalada no meio rural ao longo dos anos.

Na região sul está ocorrendo a maior participação do meio rural no mercado da tecnologia fotovoltaica, sendo 20 % da potência instalada até o ano de 2020 no meio rural, seguida da região centro-oeste com 18,9 %. Nas regiões norte e nordeste constatou-se a menor inserção de sistemas FVs no meio rural. Na região sudeste, na qual há a maior potência instalada de 152,2 MW_P, a participação do meio rural é de 14,5 %.

A região nordeste teve um decréscimo da participação do meio rural no ano de 2019, caindo de 6,8 % no ano anterior para 4,9 %, devido ao avanço das instalações considerando todos os setores. No entanto, a potência instalada em 2018 foi de 6,3 MW_P, enquanto que em 2019, chegou a 22,4 MW_P, com um crescimento de 355%. No final de 2020, a potência instalada na região, conforme mostra a Tab. 2, representava 8,6 % do valor total, com uma potência instalada de 527,0 MW_P.

Na região norte, em 2020, a potência instalada no meio rural chegou a 9,1 MW_P, sendo que no ano anterior, o valor era de 1,9 MW_P, representando um crescimento de 482 %. Considerando o período de 2017 a 2020, a participação do meio rural na região passou de 0,43% para 5,45%. Portanto, com base na tendência apresentada na Fig. 4, pode-se prever um aumento da participação no meio rural na produção de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos de geração distribuída em todas as regiões brasileiras.

3.3 Análise da evolução do mercado em propriedades rurais no Brasil

Na Fig. 5 mostra-se o crescimento da potência instalada no meio rural com sistemas FVs de GD desde 2012, comparando os valores com o total instalado no Brasil. Até 2020, a potência total instalada no meio rural foi de 397,3 MW_P, correspondente a 14 % do total instalado no país. Nota-se que na região sudeste, na maioria do período analisado, está instalada a maior potência em sistemas fotovoltaicos no meio rural. Também se constata que a participação do meio rural apresentou um crescimento significativo a partir de 2016, ou seja, quatro anos após a resolução normativa nº 482. Com esta análise, pode prever a tendência do aumento da participação do meio rural no mercado brasileiro de sistemas FVs conectados à rede elétrica, indicando que neste setor o aumento do mercado é maior que em outros setores.

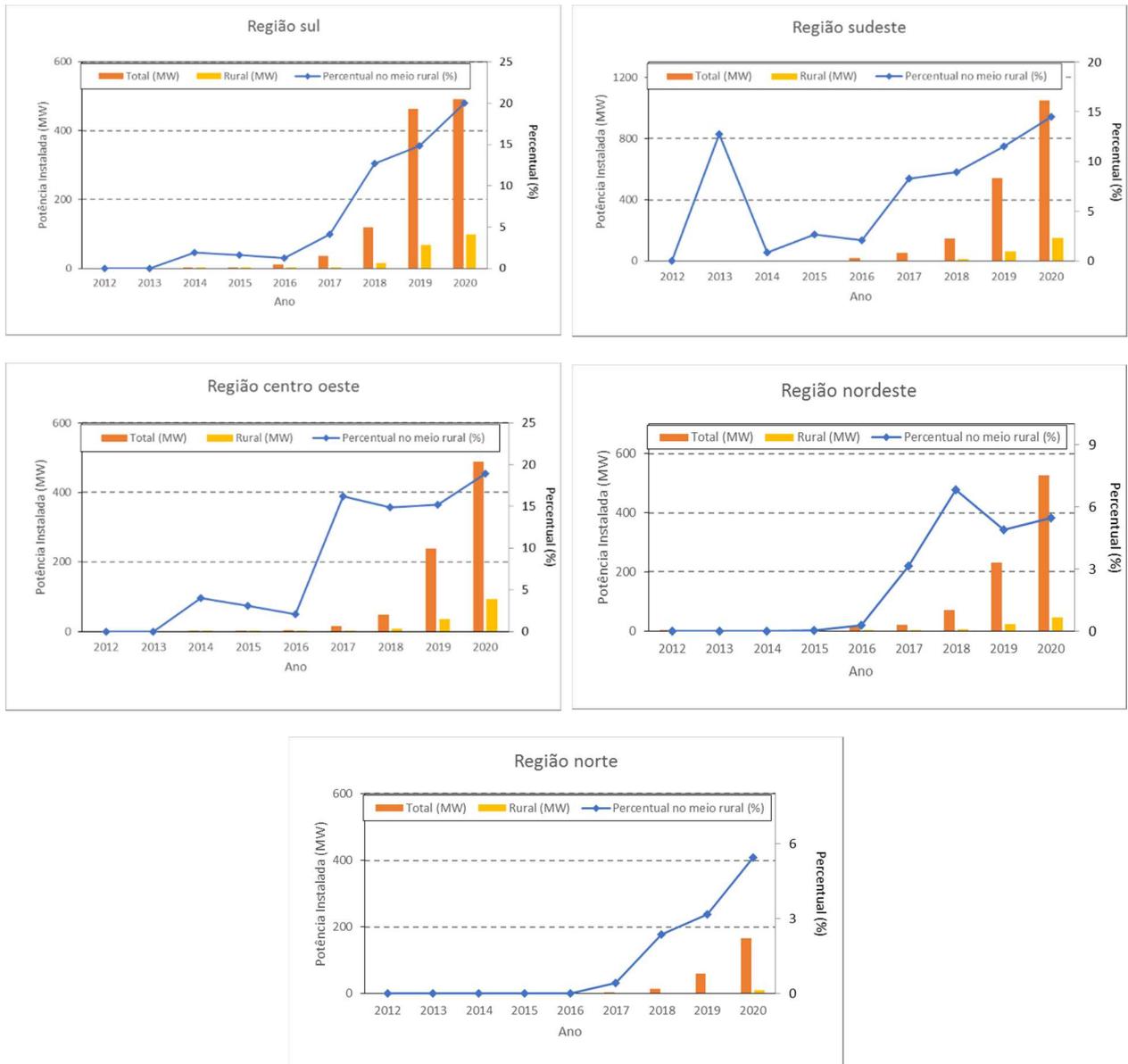


Figura 4 - Potência elétrica total e no meio rural instalada em sistemas fotovoltaicos de geração distribuída e percentual da potência no meio rural em cada região brasileira desde 2012.

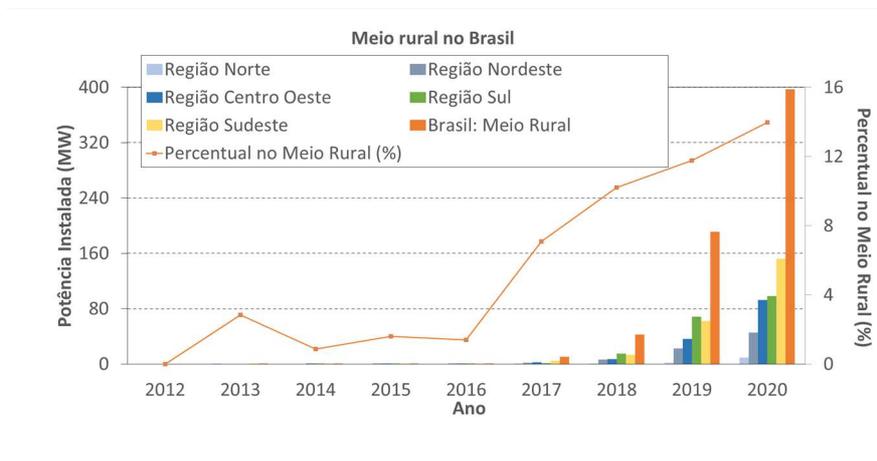


Figura 5 – Evolução do percentual e da potência elétrica instalada em sistema fotovoltaicos de geração distribuída no meio rural no Brasil e em cada região desde 2012.

4. CONCLUSÕES

O mercado da tecnologia fotovoltaica no meio rural brasileiro tem avançado ao longo dos anos desde a regulamentação da geração distribuída. Embora tenha uma participação de 14 % em 2020, ainda é um mercado com grande potencial de crescimento, considerando a importância da agricultura e da pecuária na economia do país.

O meio rural pode ser um importante vetor da transição energética, bem como tornar-se cada vez mais sustentável por meio da utilização de sistemas FVs para produção de energia elétrica. O Brasil, apesar de ter um parque industrial desenvolvido, tem no meio rural a base da economia e, com isso, torna-se imprescindível a adoção de práticas que tornem tanto o agronegócio quanto a pequena propriedade rural mais sustentáveis, fazendo com que haja uma melhor utilização da terra, dos espaços e dos recursos naturais. Os estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul e São Paulo, apesar de serem os estados com maior potência instalada, ainda têm muito a explorar. No entanto, o avanço da tecnologia no meio rural destes estados pode ser usado como modelo para outros estados com grande potencial, mas ainda pouco explorado.

Dos três estados com maior potência instalada em sistemas fotovoltaicos, São Paulo apresenta o menor percentual de participação do meio rural, identificando um grande potencial a ser explorado neste estado que, apesar de ser o mais industrializado do país, também tem no meio rural uma importante contribuição para a economia.

O maior mercado de sistemas FVs de GD no meio rural ocorreu nas regiões sudeste, sul e centro-oeste. Na região nordeste, no meio rural, está instalada aproximadamente a metade da potência instalada na região centro-oeste enquanto que na região norte o valor é da ordem de 10 %. A maior participação do meio rural no mercado da tecnologia fotovoltaica ocorreu na região sul, com 20 %, seguida da região centro-oeste e região sudeste. No Brasil, a potência total instalada no meio rural foi de 397,3 MWp, até 2020, correspondendo a 14 % do total instalado no país. Com esta análise, pode prever que o crescimento da potência instalada no meio rural é maior do que em outros setores, indicando que a tecnologia fotovoltaica está atraindo cada vez mais investimentos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à ITAIPU BINACIONAL, LAR, C.VALE, COPACOL, SEBRAE/PR e OCEPAR pela subvenção do projeto de P&D intitulado “Implantação de Unidades de Geração Distribuída de Energia Elétrica a Partir de Sistemas Fotovoltaicos em Propriedades Rurais”, Convênio nº 4500040746, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) e à Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS

- Angowski, M., Kijek, T., Lipowski, M., & Bondos, I., 2021. Factors Affecting the Adoption of Photovoltaic Systems in Rural Areas of Poland. *Energies*, vol. 14, n. 17, e-5272, pp. 1-14.
- Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR), 2021. Energia solar distribuída pode gerar 118 mil vagas de trabalho em 2021. Em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-distribuida-pode-gerar-118-mil-vagas-de-trabalho-em-2021/>.
- Bloomberg New Energy Finance (BNEF), 2018. O Brasil deve dobrar sua capacidade atual de energia renovável instalada para 316 GW em 2040. Disponível em: <https://www.bloomberg.com.br/blog/o-brasil-deve-dobrar-sua-capacidade-atual-de-energia-renovavel-instalada-para-316-gw-em-2040/>.
- Cuppari, R. I., Higgins, C. W., & Characklis, G. W., 2021. Agrivoltaics and weather risk: A diversification strategy for landowners. *Applied Energy*, vol. 291, e-116809, pp. 1-16.
- De Carli, R. L., Santos, R. F., Siqueira, J. A. C., Nogueira, C. E. C., Zago, E. A., & Tokura, L. K., 2018. Economic viability of photovoltaic systems in a rural community in Brazil. *Journal of Agricultural Science (Toronto)*, vol. 10, n. 7, pp. 303-316.
- Empresa de Pesquisa Energética Brasil (EPE), 2021. Balanço energético nacional 2021: ano base 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>.
- Jain, P., Raina, G., Sinha, S., Malik, P., & Mathur, S., 2021. Agrovoltaics: Step towards sustainable energy-food combination. *Bioresource Technology Reports*, vol. 15, e-100766, pp. 1-9.
- Ram, M., Bogdanov, D., Aghahosseini, A., Gulagi, A., Oyewo, A. S., Child, M., ... & Breyer, C., 2019. Global energy system based on 100% renewable energy—power, heat, transport and desalination sectors. Study by Lappeenranta University of Technology and Energy Watch Group, Lappeenranta, Berlin.

ANALYSIS OF THE EVOLUTION OF THE PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY MARKET IN RURAL PROPERTIES IN BRAZIL

Abstract. *In Brazil, in 2020, 8 % of the electrical energy was used in the agriculture and livestock sectors and there is a tendency to increase in the coming years. Based on this fact, the goal of this paper is to quantify and compare the electrical*

power of photovoltaic systems used in distributed generation in rural areas in different regions of Brazil, since the regulation of the sector with the normative resolution n° 482 of ANEEL. The electrical power in rural properties and the total power of photovoltaic systems in each Brazilian state and in Brazil were obtained in each year. The ratio of the electrical power in rural areas to the total value of photovoltaic systems was also determined per year. Comparing the three Brazilian states with the highest installed capacity, an annual growth of the participation of the rural properties was observed. In 2020, in Minas Gerais, Rio Grande do Sul and São Paulo the participation of the rural area in the photovoltaic technology market rose to 22.6%, 16.8% and 9.3%, respectively, totaling an installed capacity in these three states of 194.3 MWp. The largest market in rural areas was in the southeast, south and central-west Brazilian regions, with the installed capacity of 152.2 MWp, 98.1 MWp and 92.5 MWp, respectively. In the northeast region, in rural areas, about half of the capacity of the central-west region were installed, while in the north region only 9.1 MWp were installed. The largest share of rural areas in the photovoltaic technology market was in the south region, with 20%, followed by the central-west region with 18.9% and the southeast region with 14.5%. In Brazil, the total installed electrical power in rural areas was 397.3 MWp, until 2020, corresponding to 14% of the total capacity in the country. With this analysis, we can conclude that the trend of the market increasing share is greater in rural areas than in other sectors.

Key words: *Photovoltaic technology, market, rural sector.*