



CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA



21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E A PRODUÇÃO DE ENERGIA CONVENCIONAL: UM ESTUDO DE CASO EM FORTALEZA-CE

Luana Sousa Silva, luusousa17@gmail.com¹

João de Sousa Bomfim Neto, joaodesousa1@gmail.com¹

Antônio Fernandes Bandeira Neto, afbn.afbn@gmail.com¹

Francisco de Assis Leandro Filho, leandrofilho@unifor.br¹

Bruno Aragão Martins de Araújo, brunoaragao84@hotmail.com¹

Rodrigo Alves Patrício, rodrigo.patricio@unifor.br¹

Francisco dos Santos Cavalcante Junior, juniornum@gmail.com¹

¹Universidade de Fortaleza - UNIFOR, leandrofilho@unifor.br

Resumo: Atualmente existe uma crescente preocupação no mundo com o uso racional da energia. Essa preocupação ocorre devido ao aumento do consumo de energia e a dificuldade no crescimento do potencial de geração de energia necessária para suportar a demanda. O presente trabalho propõe-se a analisar a importância da energia solar como um sistema complementar em nosso país, mais especificamente na cidade de Fortaleza-CE, levando em consideração, o potencial energético dos sistemas fotovoltaicos, seus custos ao longo dos anos e a perspectiva de preço futuro, área de ocupação necessária para suprir determinada demanda, e comparações com a energia hidrelétrica, que atualmente é a mais usada no Brasil, quanto à área ocupada, potência, porcentagem de ocupação da matriz energética brasileira, vantagens e desvantagens. Os painéis fotovoltaicos são uma excelente alternativa de sistemas de energias complementares desde sua aplicação em casas até em usinas solares. Como principal resultado será mostrado que a implantação do mesmo pode causar um grande impacto na energia nacional e também uma drástica redução em impactos ambientais. Por isso o mesmo deve ser visto como uma alternativa para a substituição ou complementação na matriz energética brasileira. Os dados a serem utilizados neste trabalho foram fornecidos por uma das estações do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) localizada em Fortaleza.

Palavras-chave: Energia Solar, INMET, Fortaleza.

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais se torna necessário o desenvolvimento de fontes de energia limpa e sustentável. A energia solar é uma das alternativas mais bem sucedidas nestes quesitos.

Nos últimos anos a energia fotovoltaica tem sido vista internacionalmente como uma tecnologia bastante promissora. Experiências internacionais apresentam importantes contribuições para análise sobre expansão do mercado, ganhos na escala de produção e redução de custos para os investidores. Do ponto de vista estratégico, o Brasil possui uma série de características naturais favoráveis, tais como, altos níveis de insolação e grandes reservas de quartzo de qualidade, que podem gerar importante vantagem competitiva para a produção de silício com alto grau de pureza, células e módulos solares, produtos estes de alto valor agregado. Tais fatores potencializam a atração de investidores e o desenvolvimento de um mercado interno, permitindo que se vislumbre um papel importante na matriz elétrica para este tipo de tecnologia (BRASIL, 2012).

Com altos índices de irradiação em todo o Brasil, o país possui grande potencial de uso da energia solar. Índices estes, claramente superiores aos de países líderes no setor fotovoltaico, como Alemanha e Itália. Cabe salientar que países como a Alemanha, onde têm-se a maior capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, a sua região de maior incidência de radiação solar é aproximadamente 40% menor que a pior região no Brasil (Tiepolo *et al.*, 2013).

Atualmente existe uma crescente preocupação no mundo com o uso racional da energia. Essa preocupação ocorre devido ao aumento do consumo de energia e a dificuldade no crescimento do potencial de geração de energia necessária para suportar a demanda. Cada vez mais se torna necessário o desenvolvimento de fontes de energia limpa e sustentável.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A energia solar é uma das alternativas mais bem sucedidas nestes quesitos e com grande potencial no Brasil. De uma forma geral, a irradiação solar é relativamente bem distribuída pelas regiões do país. Mas todo o litoral leste, do Rio Grande do Sul ao recôncavo baiano, área mais densamente povoada, apresenta os menores índices de irradiação verificados no país. A região Nordeste apresenta os maiores valores de irradiação solar global, com a maior média e a menor variabilidade anual entre as regiões geográficas. A irradiação média anual varia entre 1.200 e 2.400 kWh/m²/ano, valores que são significativamente superiores à maioria dos países europeus, cujas estatísticas indicam intervalos entre 900 e 1.250 kWh/m²/ano na Alemanha, entre 900 e 1.650 kWh/m²/ano na França e entre 1.200 e 1.850 kWh/m²/ano na Espanha (BRASIL, 2012).

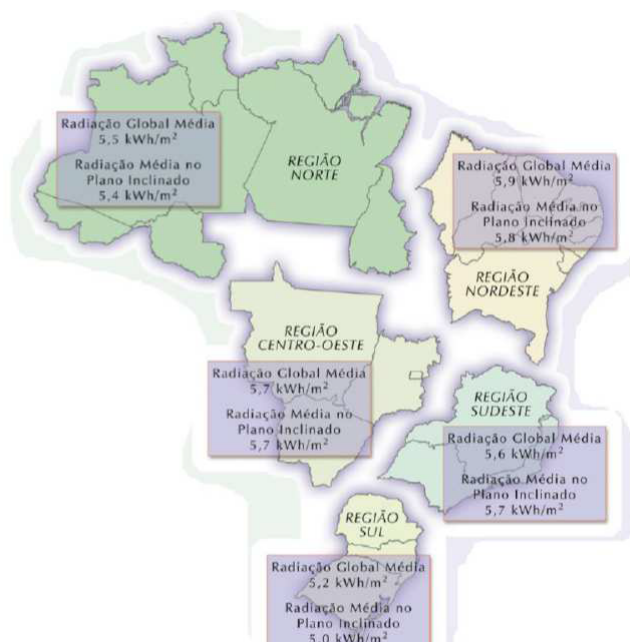


Figura 1: Potencial anual médio de energia solar para cada região do Brasil. (Pereira *et al.*, 2006)

O cenário internacional da energia solar fotovoltaica apresentou significativa alteração nos últimos anos. Até recentemente a tecnologia era usualmente associada a desafios tecnológicos que incluíam limitações de desempenho do BOS (Balance of System), falta de escala na indústria, dúvidas sobre a adequação dos materiais de fornecimento, além de problemas de ordem econômica associados aos altos custos do negócio, como pode ser observado na "Tab 1". No entanto, este cenário foi alterado rapidamente de forma positiva sobre as perspectivas de competitividade da energia fotovoltaica. Dentre os fatores que contribuíram para essas mudanças está a rápida redução de custos, mudanças estruturais na indústria de energia que resultaram em maior preocupação a cerca de segurança energética, dada à abundância desta fonte, e preocupações a cerca das mudanças climáticas (BRASIL, 2014).

Tabela 1: **Trajetória de redução de custos.** (BRASIL, 2014)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Residencial (R\$/Wp)	7,7	7,2	6,7	6,3	5,9	5,5	5,1	4,8	4,5	4,4	4,2	4,1
Comercial (R\$/Wp)	6,9	6,5	6,1	5,7	5,4	5,1	4,8	4,5	4,2	4,1	3,9	3,8

Embora a capacidade instalada ainda seja pequena, em relação à toda matriz energética, observa-se um forte crescimento da fonte, especialmente na Europa até 2012, e na China em 2013. De acordo com a Associação Europeia da Indústria Fotovoltaica (EPIA, sigla em inglês), a capacidade instalada mundial da energia fotovoltaica atingiu valores próximos a 139 GWp em 2013, dos quais 38 GWp foram instalados nesse ano. Este crescimento rápido também é revertido em redução de custos gerando retroalimentação que estimula o crescimento da capacidade instalada (EPIA, 2014).

Se tratando de perspectivas mundiais, a Agência Internacional de Energia (IEA, sigla em inglês) prevê que a capacidade instalada de energia fotovoltaica passe de 27 GWp em 2010, para cerca de 280 GW em 2020, o que representa expansão média anual de expressivos 26% ao ano neste período. A Figura 2 ilustra o cenário de expansão (IEA, 2012).

A hidrelétrica é a principal fonte de energia no Brasil, mas esse tipo de produção de energia provoca grandes alagamentos, que ocorrem no período de construção das usinas, a "Tab. 2" mostra a área inundada de algumas usinas brasileiras. Comparando estes dados com o resultado obtido no cálculo, nota-se que neste, para cada 1 km² do cálculo, tem-se aproximadamente 140 MWp de potência fotovoltaica instalada, enquanto que para a usina de Itaipu esta relação é de 1 km² para 10,4 MW (Itaipu-Binacional). Nota-se também que a usina de Tucuruí tem uma área de inundação parecida com a

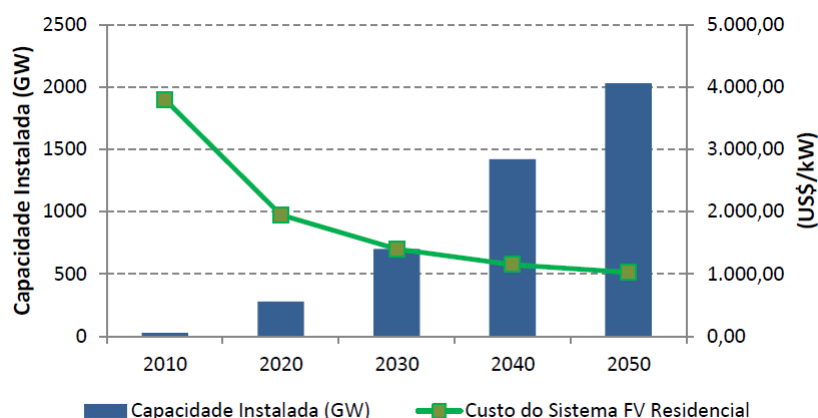


Figura 2: Projeção do crescimento da capacidade instalada e custos até 2050. (BRASIL, 2014)

área necessária de painéis do cálculo apresentado, mas comparando a capacidade instalada a energia solar fotovoltaica ultrapassaria os 329,8 GWp necessários para gerar os atuais 498,4 TWh/ano de energia elétrica.

Tabela 2: Área inundada e capacidade instalada de algumas usinas brasileiras. Itaipu-Binacional

Usina	Área inundada (km ²)	Fator de Capacidade	Capacidade instalada (MW)
Itaipu (PR)	1.350	83%	14.000
Tucuruí (PA)	2.430	49%	8.370
Porto Primavera (SP)	2.250	66%	1.540
Sobradinho (BA)	4.214	51%	1.050

Como uma comparação de tempo temos a usina de Tucuruí que levou 9 anos para ser construída (1975-1984). Já o tempo de implantação de sistemas geradores de energia elétrica a partir de sistemas fotovoltaicos é bastante curto. A ativação do sistema depende basicamente da instalação dos painéis, da cabeção e do inversor junto à carga e a necessidade de manutenção é baixa, assim como seu custo de manutenção. As vantagens da geração distribuída em relação às opções de geração centralizada são várias, entre elas a integração às edificações não necessitando área adicional para sua implementação, pode ser utilizada no meio urbano junto ao ponto de consumo com a eliminação/diminuição das perdas por não necessidade de ampliar ou repotencializar as linhas de transmissão e distribuição (Nakabayashi, 2014).

3. METODOLOGIA

Elaboramos nossos estudos e conclusões fazendo uma revisão bibliográfica mais atualizada e os compomos em três partes. A primeira consiste em informações da irradiação sobre o território brasileiro, assim como a diferença de potencial de energia em suas regiões e uma breve comparação com outros países. A segunda etapa aborda os custos e a projeção de preços futuros na obtenção da energia solar, assim como a perspectiva do aumento dessas na sociedade. A terceira e última etapa faz uma comparação entre os tipos de energia existentes no Brasil e suas vantagens e desvantagens frente à energia solar. O cálculo abaixo foi utilizado por Suzuki e Rezende (2015), para verificar qual seria a área de painéis fotovoltaicos necessária para suprir o consumo de energia elétrica de 2012, que era de 498,4 TWh/ano, ou 1,3655 TWh/dia.

$$P_{FV} = \frac{E \cdot G}{H_{tot} \cdot PR} \quad (1)$$

$$A = \frac{P_{FV}}{E_{FF}} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde P_{FV} é a potência fotovoltaica instalada (Wp), E é a energia gerada pelo sistema fotovoltaico (Wh), G é a irradiação nas condições padrão para ensaio (1.000 W/m^2), H_{tot} é a irradiação diária (Wh/m^2), PR é a performance ratio ou taxa de desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede (0,7 a 0,8), A é a área útil do painel (m^2) e E_{ff} é a eficiência da tecnologia do módulo.

Sendo a irradiação diária (H_{tot}) de $5,52 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$ e $E = 1.365.500.000 \text{ kWh/dia}$, obtemos a potência total instalada $329.830.917,9 \text{ kWp}$. Para suprir a demanda atual de energia elétrica seria necessária uma potência fotovoltaica instalada de $329,8 \text{ GWp}$ e uma área de $2.355,9 \text{ km}^2$ de painéis fotovoltaicos. Isso equivale a 5,42 cidades de Curitiba (Suzuki e Rezende, 2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo de Caso em Fortaleza

Para a cidade de Fortaleza, o cálculo do potencial de geração solar foi realizado com base nos dados colhidos de irradiação incidente em uma das estações do INMET. O perfil anual de irradiação para o mês de janeiro de 2015 é apresentado na "Fig. 3".

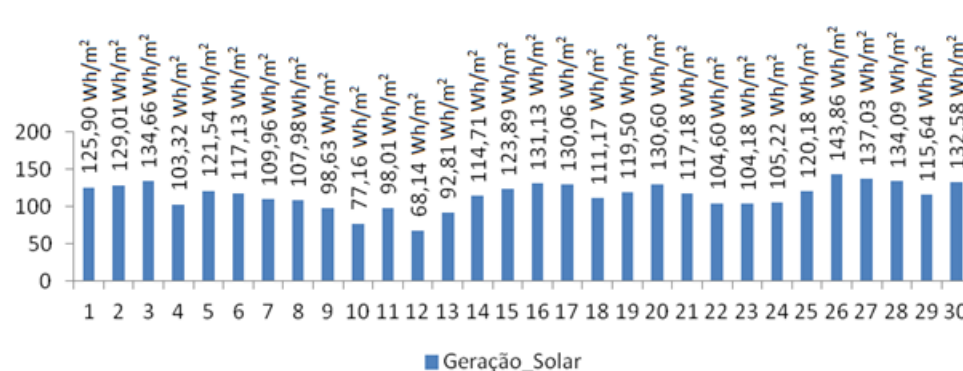


Figura 3: Valores de geração solar em Wh/m² para o mês de Janeiro de 2015

A curva de carga diária da residência monofásica é representada pela "Fig. 4", obtida através da estimativa de utilização da carga da residência para evidenciar os quantitativos de consumo de energia elétrica que serão necessários gerar para manter o abastecimento da referida carga, sem prejudicar a qualidade do fornecimento de energia e também a confiabilidade do sistema híbrido para não deixar a carga sem abastecimento.

Seguindo o referido comportamento ao fim do mês, em média, a residência terá consumido um total de aproximadamente 180kWh de energia.



Figura 4: Consumo médio diário de uma residência em Wh

A análise de viabilidade do projeto foi elaborado utilizando o software RETScreen. Forneceu-se as informações sobre a localização referente à carga, em seguida foi feito o preenchimento dos dados que indicam as informações da carga, onde são listados os consumos descritos por hora que a carga possui e a sua natureza. Segue-se com o preenchimento dos dados das fontes de energias renováveis, que para esse trabalho é a energia solar. Foram informados os dados das placas solares que serão empregadas no projeto. Por fim, preenchem-se os dados de irradiação, para que o RETScreen possa realizar os cálculos das probabilidades e indicar quais as melhores formas de utilizar o sistema híbrido para obter o melhor custo benefício.

Os custo para a implementação e para a manutenção do sistema híbrido proposto no presente trabalho seguem descritos na "Tab. 3", de forma a se perceber qual a magnitude do investimento financeiro necessário para ter um sistema para eletrificação utilizado energia fotovoltaica.

Tabela 3: Estimativa do Tempo de Retorno do Investimento

Componentes do Sistema Fotovoltaico	Custo em R\$
Painél Fotovoltaico (YGE 48 CELL 44 mm SERIES) - Aquisição (1 Unidade)	R\$ 1.300,00
Manutenção (R\$/Ano)	R\$ 100,00
Inversor (System Concenter) - Aquisição	R\$ 4.800,00
Manutenção (R\$/Ano)	-
Grupo de Geradores (10 kW Genset)	R\$ 6.000,00
Manutenção (R\$/Ano)	R\$ 300,00

O retorno do investimento para a implementação do sistema fotovoltaico apresentado é de aproximadamente 9 anos e 3 meses, conforme indicado na "Tab. 4". O tempo de retorno está estimado com base na tarifa de energia estabelecida

pela resolução ANEEL nº 1882 de 14/04/2015, sem aplicar os impostos que juntamente com o valor de kWh compõem a conta de energia elétrica no Ceará.

Tabela 4: Estimativa do Tempo de Retorno do Investimento

Estimativa do Tempo de Retorno do Investimento	
Investimento Inicial em R\$	R\$ 12.500,00
Energia Consumida Mensalmente em kWh	182 kWh
Valor da Tarifa de Energia Elétrica em R\$/kWh	0,61891 R\$/kWh
Valor em R\$ do Consumo de Energia Elétrica da Residência	R\$ 112,81
Período de Retorno Simples	110,8
Tempo de Retorno Simples	9 anos e 3 meses

5. CONCLUSÃO

Os painéis fotovoltaicos são uma excelente alternativa de sistemas de energias complementares desde sua aplicação em casas até em usinas solares. Foi mostrado através de cálculos que a implantação do mesmo pode causar um grande impacto na energia nacional e também uma drástica redução em impactos ambientais. Apesar do custo relativamente alto da placa, os dados mostram que o preço já diminuiu bastante graças a incentivos, e a perspectiva é que esse ritmo de redução continue. Mesmo tendo um preço relativamente alto, por conta de sua longa vida útil e pouca necessidade de manutenção esse tipo de energia já se torna economicamente viável em longo prazo. Por isso o mesmo deve ser visto como uma alternativa para a substituição ou complementação na matriz energética brasileira.

O sistema de eletrificação através do sistema fotovoltaico proposto no estudo de caso apresenta um tempo de retorno do investimento de 9 anos e 3 meses, tempo menor que a durabilidade dos painéis fotovoltaicos, fato que contribui para que seja possível a implantação do sistema, uma vez que o mesmo é capaz de se pagar antes da necessidade de substituição dos equipamentos utilizados.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade de Fortaleza (UNIFOR) e aos organizadores do evento pela oportunidade de participação no CONEM 2016.

7. REFERÊNCIAS

- BRASIL, 2012. “Nota técnica epe – análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira”. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, Brazil, p. 58 p.
- BRASIL, 2014. “Nota técnica dea 19/14 – inserção da geração fotovoltaica distribuída no Brasil – condicionantes e impactos”. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, Brazil, p. 60 p.
- EPIA, 2014. “Global market outlook for photovoltaics 2014 – 2018”. Technical report, EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION.
- IEA, 2012. “Energy technology perspectives 2012”. Technical report, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Organization for Economic Cooperation & Development, Paris.
- Itaipu-Binacional, 2013. “Energia hidráulica”. URL <http://www.itaipu.gov.br/>. Acesso em 18 ago. 2015.
- Nakabayashi, R.K., 2014. *Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras*. Dissertação (mestrado em ciências) – programa de pós graduação em energia, instituto de energia e ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Pereira, E.B., Martins, F.R., Abreu, S.d. e Rüther, R., 2006. *Atlas brasileiro de energia solar*, Vol. 1. INPE.
- Suzuki, E.V. e Rezende, F.D., 2015. “Estudo da utilização da geração fotovoltaica para auxiliar a suprir a demanda crescente de energia elétrica no Brasil”.
- Tiepolo, G., Urbanetz Jr, J. e Canciglieri Jr, O., 2013. “Inserção da energia fotovoltaica na matriz elétrica do estado do Paraná: Análise do potencial produtivo”. In XXX International Sodebras Congress. Revista SODEBRAS.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

COMPARATIVE STUDY BETWEEN THE PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY AND CONVENTIONAL ENERGY PRODUCTION: A CASE STUDY IN FORTALEZA-CE

Luana Sousa Silva, luusousa17@gmail.com¹

João de Sousa Bomfim Neto, joaodesousa1@gmail.com¹

Antônio Fernandes Bandeira Neto, afbn.afbn@gmail.com¹

Francisco de Assis Leandro Filho, leandrofilho@unifor.br¹

Bruno Aragão Martins de Araújo, brunoaragao84@hotmail.com¹

Rodrigo Alves Patrício, rodrigo.patricio@unifor.br¹

Francisco dos Santos Cavalcante Junior, juniornum@gmail.com¹

¹Universidade de Fortaleza - UNIFOR, leandrofilho@unifor.br

Resumo: Currently there is a growing concern in the world with the rational use of energy. This concern is due to increased energy consumption and the difficulty in the growth potential of power generation necessary to support the demand. This study proposes to analyze the importance of solar energy as a complementary system in our country, specifically in the city of Fortaleza, taking into account the energy potential of photovoltaic systems, their costs over the years and the prospect future price, footprint required to meet certain demands, and comparisons with hydropower, which is currently the most widely used in Brazil, as the occupied space, power, percentage of occupation of the Brazilian energy matrix, advantages and disadvantages. The photovoltaic panels are an excellent alternative complementary energy systems since its application in homes up to solar power plants. The main result will be shown that the implementation of it can cause a major impact on national energy and also a drastic reduction in environmental impacts. So it should be seen as an alternative to replacing or complementing the Brazilian energy matrix. The data to be used in this study were provided by one of the stations INMET (National Meteorological Institute) located in Fortaleza.

Palavras-chave: Solar Energy, INMET, Fortaleza.