



Panorama da utilização de sistemas fotovoltaicos no Brasil e no mundo

André Luiz Damásio Marques¹, Igor Laguna Vieira², Osvaldo Luiz Gonçalves Quelhas³

¹ Universidade Federal Fluminense, Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão
(marquesald781@gmail.com)

² Comissão Nacional de Energia Nuclear (igor_laguna@hotmail.com)

³ Universidade Federal Fluminense, Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão
(osvaldoquelhas@id.uff.br)

Resumo

Considerando os impactos gerados pelo uso de fontes energéticas poluentes e não renováveis, e a grande incidência solar diária na Terra, objetiva-se apresentar um panorama da utilização de sistemas fotovoltaicos como fonte alternativa de energia no Brasil e no mundo, por meio de revisão da literatura. Desse modo, constatou-se que o uso de tal tipo de energia vem crescendo ao redor do mundo, mas ainda é incipiente no Brasil, apesar das condições bastante favoráveis que o país detém para o seu uso. Conclui-se que geração de energia elétrica por meio da energia solar mostra-se viável, com grande potencial de expansão no futuro, possuindo, no Brasil, importância estratégica.

Palavras-chave: Energia Solar. Fotovoltaico. Fontes Alternativas Renováveis. Desenvolvimento Sustentável.

Área Temática: Energia e energias renováveis

Overview on the use of photovoltaic systems in Brazil and worldwide

Abstract

Considering the impacts generated by the use of polluting and non-renewable energy sources and the high incidence of daily solar on Earth, the objective is to present an overview on the use of photovoltaic systems as an alternative source of energy in Brazil and worldwide, through a literature review. It was verified that the use of this type of energy is growing around the world, but it is still incipient in Brazil, despite the highly favorable conditions that the country holds for its use. It is concluded that the generation of electric energy through solar energy is feasible, with great potential for expansion in the future holding a strategic importance in Brazil.

Key words: Photovoltaic Solar Energy. Renewable Alternative Sources. Sustainable development.

Theme Area: Energy and renewable energies



1 Introdução

A limitação na disponibilização dos combustíveis fósseis e os preços que poderão vigorar para sua disponibilização, assim como os efeitos ambientais consequentes pela sua utilização, motivaram o aumento da utilização de fontes renováveis para geração de energia em todo o mundo (GHAFOOR; MUNIR, 2015). Ashourian et al. (2013), além de também citarem a possibilidade da escassez dos combustíveis fósseis, destacam os aspectos negativos decorrentes de uma priorização na utilização dessa fonte energética, tais como: poluição do ar e da água, o desmatamento e a perda de biodiversidade. Assim, pelos impactos gerados, as fontes renováveis de energia têm sido consideradas ambientalmente mais adequadas, reduzindo a utilização da queima de combustíveis fósseis e consequentemente a emissão de CO₂, que é a principal causa do aquecimento global (ROHANI et al., 2010). As fontes renováveis, inicialmente mais caras, tornam-se competitivas na medida em que há aumento no seu uso, devido ao ganho de escala e dos avanços tecnológicos (NASCIMENTO, 2017).

Diariamente há maior incidência sobre a superfície da Terra de energia vinda do Sol do que a demanda total anual de todos os habitantes do planeta, o que é motivante para o aproveitamento desse tipo de energia. Devido a sua localização geográfica, o Brasil é privilegiado nesse sentido, dispondo de níveis de irradiação solar superiores à maioria dos países desenvolvidos (RÜTHER; SALAMONI, 2011).

Uma das formas de se aproveitar a energia solar é por meio de células chamadas fotovoltaicas, construídas utilizando-se materiais semicondutores (como o silício), em que a irradiação solar é transformada em energia elétrica sem passar pela fase de energia térmica (BOMFIM et al., 2017).

Apesar das excelentes condições do Brasil para a utilização de tal fonte, seu uso não apresenta a mesma relevância que possui em outros países, e nem mesmo de outras fontes renováveis, como é o caso da eólica, que já representa 7,61% da geração de energia elétrica no Brasil, ao passo que o sistema fotovoltaico representa apenas 0,27% (ANEEL, 2017).

Essas condições e implicações motivam a realização de pesquisas sobre a utilização de fontes renováveis para a geração de energia elétrica, especialmente da energia solar fotovoltaica. Diante do exposto, qual a atual situação do uso de sistemas solares fotovoltaicos para fornecimento de energia elétrica?

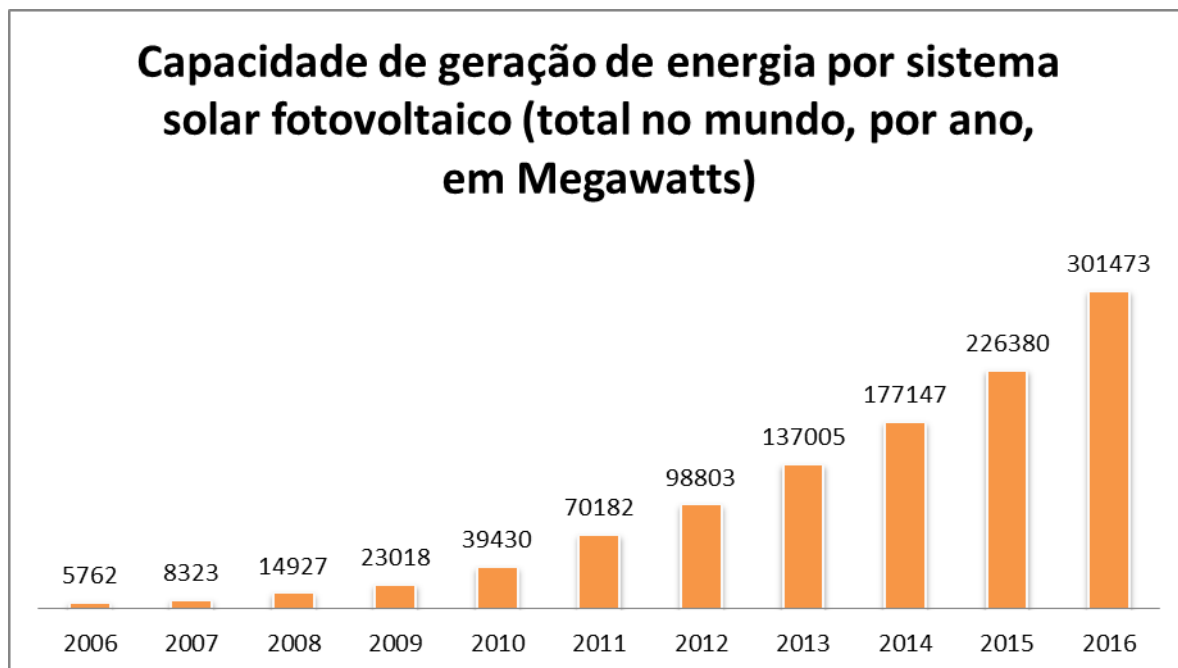
O objetivo da pesquisa é apresentar um panorama da utilização de sistemas solares fotovoltaicos como fonte alternativa de energia no Brasil e no mundo. Para atingir tal objetivo é realizada uma revisão da literatura, reunindo materiais já publicados sobre o tema.

2 Geração de energia elétrica por sistema fotovoltaico

O avanço da utilização do sistema fotovoltaico na geração de energia elétrica no mundo, em um período de 11 anos entre 2006 e 2016, pode ser observado na Figura 1, com a representação gráfica obtida no relatório “Análise estatística de energia do mundo BP” (BP, 2017), demonstrando o incremento da capacidade de geração de 5,8GW em 2006 para 301,5GW em 2016.



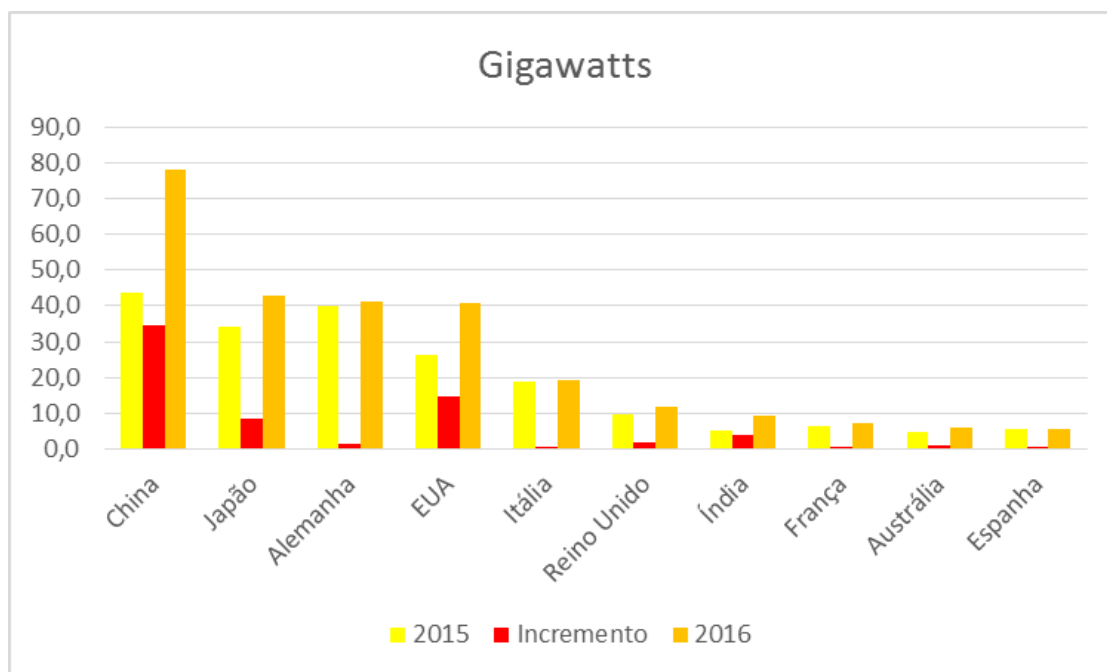
Figura 1 - Capacidade de geração de energia por sistema solar fotovoltaico



Fonte: adaptado de BP (2017)

O Relatório do Estado Global de Energias Renováveis (REN21, 2017) apresentou a capacidade de potência elétrica gerada por sistema solar fotovoltaico em 2016, nos 10 (dez) principais países que utilizam essa fonte de geração, como também o crescimento na capacidade de geração entre 2015 e 2016. Essas informações estão representadas na Figura 2.

Figura 2 - Capacidade da potência gerada por sistema solar fotovoltaico nos 10 (dez) principais países, com o crescimento de geração entre 2015 e 2016



Fonte: adaptado de REN21 (2017)



Constata-se na Figura 2 que a China foi o país que mais incrementou na geração de potência pelo sistema fotovoltaico, consolidando ainda mais a sua liderança mundial. A Índia e os Estados Unidos da América tiveram um incremento em 2016 bem significativos, como também se observou que o Japão ultrapassou a Alemanha na capacidade de geração em 2016.

3 Situação sobre sistema fotovoltaico no Brasil

O Brasil, segundo dados do MME (2017), possuía, ao final de 2016, 81 MWp de energia solar fotovoltaica instalados, ou seja cerca de apenas 0,05% da capacidade instalada total no país. Os baixos números em relação aos principais usuários de tal fonte energética no mundo chamam ainda mais atenção quando verificamos as condições que o Brasil detém para o seu uso (NASCIMENTO, 2017).

O Brasil está posicionado em uma região com incidência mais vertical dos raios solares. Esta condição permite altos índices de irradiação em quase todo o território do país. Outro fator favorável para a utilização de sistema fotovoltaico no Brasil é a proximidade com a linha do equador, ocasionando pouca variação na incidência solar durante o ano, o que propicia bons níveis de irradiação mesmo no inverno. Essas condições oferecem um maior aproveitamento energético do recurso solar (EPE, 2016).

Mesmo com o início do desenvolvimento de módulos fotovoltaicos no Brasil na década de 50, e o incentivo da crise internacional do petróleo na década de 70 para desenvolvimento dessa tecnologia, nos anos 90 é que ocorreram pesquisas efetivas para a confecção de células fotovoltaicas, utilizando o silício cristalino e outros materiais.

Em 1994, o MME criou o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM), visando a promover a eletrificação rural, principalmente com sistemas fotovoltaicos.

No início do século XXI, através de programas de incentivo na utilização e de pesquisa, como também regulamentação para instalação e conexões, surgiram as caracterizações de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes (SIGFIs) e de Microssistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDIs), como também o Programa Luz para Todos (LpT), aumentando a utilização de sistemas fotovoltaicos para atender áreas isoladas ao Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN).

A conexão dos sistemas fotovoltaicos à rede de distribuição foi regulamentada em 2012 pela Aneel, por meio da Resolução Normativa nº 482/2012 (ANEEL, 2012), revisada pela Resolução Normativa nº 687/2015 (ANEEL, 2015), tratando da micro e mini geração distribuída, correspondendo, respectivamente, a potências iguais ou inferiores a 100kWp, e superiores a 100kWp até 1MWp.

Dentre as instalações de sistemas fotovoltaicos no Brasil, podem ser citadas algumas características dos locais em que esses sistemas atendem no suprimento de energia (PINHO, 2014):

- Eletrificação rural, em povoados isolados;
- Sistemas fotovoltaicos para abastecimento comunitário de água, nos estados da Bahia, do Ceará e de Alagoas;
- Sistemas fotovoltaicos para eletrificação de prédios comunitários, como escolas, postos de saúde, igrejas e centros comunitários;
- Minirredes com geração fotovoltaica ou híbrida fotovoltaico-eólico-diesel;
- Sistemas fotovoltaicos para eletrificação individual, em regiões rurais e remotas;
- Sistemas conectados à rede.



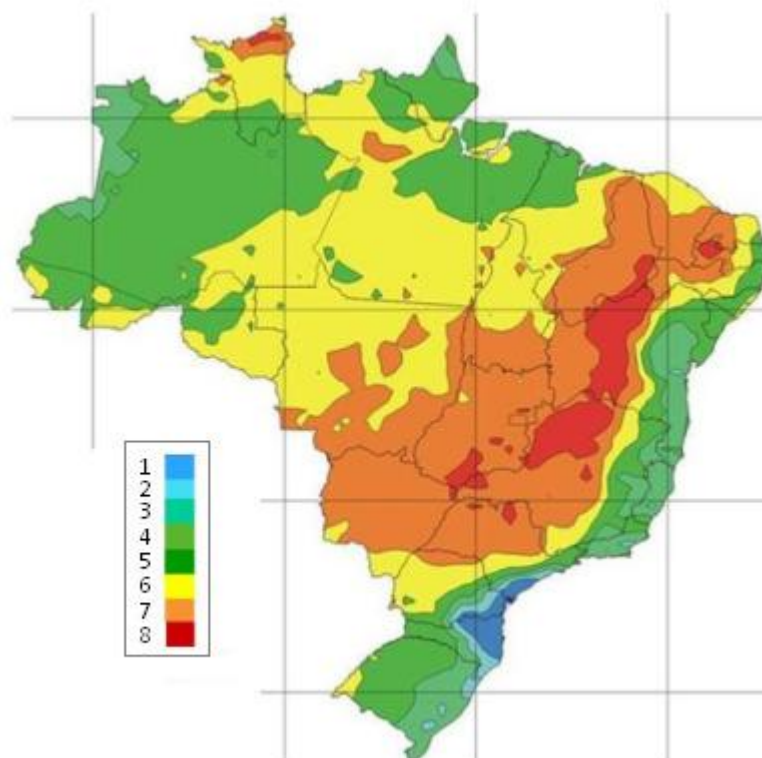
O fato que marcou a efetiva entrada da energia fotovoltaica no Brasil foi o Leilão de Energia de Reserva em 2014, promovido pelo MME, com certame exclusivo para sistema fotovoltaico, ocasionando a contratação de 890MW. Em 2015 foram realizados outros dois certames, sendo contratados conjuntamente 1.763MW (EPE, 2016).

A Nota Técnica da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2012) cita que o Brasil possui os seguintes pontos fortes para o estabelecimento de uma indústria fotovoltaica: o fato de deter uma das maiores reservas mundiais de quartzo de qualidade, mineral de onde o silício é extraído; já possuir indústrias estabelecidas de beneficiamento do silício; deter tecnologia para a fabricação de células e módulos fotovoltaicos, embora ainda em escala piloto.

Cita também que de uma forma geral a irradiação global é relativamente bem distribuída pelas regiões do país. Porém, de forma geral, 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.

Em 2006 foi publicado o Atlas Brasileiro de Energia Solar, produzido no âmbito do projeto SWERA – *Solar and Wind Energy Resource Assessment*, sob coordenação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Para estimativa do potencial de energia solar no Brasil, o Atlas Brasileiro de Energia Solar pode ser considerado como referência. A Figura 3 apresenta o mapa de irradiação global para o plano inclinado igual à latitude do local, elaborado a partir do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2006) e no qual são identificados por cores oito diferentes níveis de irradiação.

Figura 3 – Irradiação solar do Brasil para o plano inclinado



Fonte: EPE (2012)

De acordo com o mapa considerado, as áreas de maior irradiação solar são as áreas 5 a 8, nas quais a produtividade média varia entre 1.260 e 1.420Wh/Wp/ano, o que significa um fator de capacidade médio entre 14,4 e 16,2%, conforme indicado na Tabela 12.



Tabela 1 - Produtividade média específica da geração fotovoltaica em áreas selecionadas do território brasileiro

Área	Produtividade Média (Wh/Wp/ano)	Fator de Capacidade Médio(*)
#5	1.260	14,4%
#6	1.320	15,1%
#7	1.370	15,6%
#8	1.420	16,2%

*Tomando como referência 8.760 horas por ano

Fonte: EPE (2012)

O Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2006) menciona ainda a região Amazônica como um grande potencial para a utilização do sistema fotovoltaico para a geração de energia elétrica local, tendo em vista a região não estar conectada ao sistema interligado de distribuição de eletricidade do Brasil e atendida com centrais de geração a diesel, como também o grande potencial de uso do sistema fotovoltaico, em função do elevado fluxo de radiação solar na região, com baixa variabilidade intersazonal.

Outro fator importante no aumento da adoção do sistema fotovoltaico na matriz energética do país é sobre a sustentabilidade. Kalogirou (2004) cita que uma das definições mais aceitas de desenvolvimento sustentável seria o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades. Considera também que dentre os fatores que podem ajudar a alcançar o desenvolvimento sustentável, a geração de energia seria um dos principais fatores que devem ser considerados nas discussões sobre sustentabilidade. Por isso que existe uma ligação estreita entre as fontes renováveis de energia e o desenvolvimento sustentável.

Tsoutsos, Frantzeskaki e Gekas (2005) consideram que tecnologias de energia solar oferecem vantagens ambientais evidentes em comparação com as que utilizam fontes convencionais, contribuindo assim para o desenvolvimento sustentável das atividades humanas. Citam também a utilização de fonte inesgotável, assim como na contribuição da redução de emissão de CO₂ e de outros resíduos durante sua operação.

Tolmasquim (2016) apresenta benefícios nos aspectos socioambientais relevantes na utilização do sistema fotovoltaico em edificações, entre eles o baixo impacto na geração de energia, o não uso do solo, aproveitando as instalações existentes como a cobertura, telhados e fachadas. Sob o ponto de vista socioeconômico, as regiões do Brasil que dispõem de maior potencial de geração solar são majoritariamente as menos desenvolvidas economicamente, podendo assim associar o uso de uma fonte renovável com geração de novos empregos e de renda nessas regiões.

O autor amplia no âmbito nacional, considerando a cadeia completa de produção da indústria fotovoltaica, os benefícios socioeconômicos com a geração de empregos qualificados, o desenvolvimento do parque industrial e a criação de uma cadeia de serviços de comercialização, instalação e manutenção dos sistemas.

4 Conclusão e sugestão de novas pesquisas

A geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos mostra-se viável ao redor do mundo, podendo ser vista como uma fonte de energia alternativa com potencial de expansão no futuro, levando-se em conta que o uso de fontes energéticas não poluentes é uma questão primordial para o prosseguimento da humanidade. A ausência de poluição para seu funcionamento (seja ela sonora, sólida ou gasosa) é uma das principais vantagens desse tipo de sistema.

É possível perceber que, em 2016, houve um crescimento considerável da utilização



da energia solar fotovoltaica no mundo, especialmente em países como China, Japão e EUA, demonstrando alto investimento, ao contrário do Brasil, onde a tecnologia ainda representa apenas 0,27% da capacidade total instalada no país. Constata-se que, em números absolutos de capacidade de geração de energia fotovoltaica, o Brasil fica bem atrás de países menores e mais frios, como é o caso de alguns europeus.

O domínio da tecnologia envolvida na geração de energia elétrica a partir do Sol possui importância estratégica para o Brasil, que apresenta regiões extremamente favoráveis ao aproveitamento da energia solar ao mesmo tempo em que depende ainda de fontes poluentes e não renováveis.

Além de apresentar um panorama da utilização de sistemas solares fotovoltaicos como fonte alternativa de energia no mundo e no Brasil, este trabalho também tem como objetivo difundir informações a respeito desse tipo de energia, para que o maior número de interessados possível tome conhecimento de seu valor.

A crescente demanda da sociedade por energia e a importância do impacto ambiental das políticas energéticas demandam a necessidade de opção por fontes energéticas que possam ser chamadas sustentáveis. A energia solar pode representar uma solução para parte desses problemas, pois uma fonte de energia limpa, abundante e renovável.

Uma proposta de novas pesquisas constitui-se na possibilidade de realização de estudo de viabilidade técnica e econômica de aplicação da solução de geração de energia com origem fotovoltaica, através de um estudo de caso.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. **Banco de Informações de Geração** – **BIG**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em: 27 nov. 2017

_____. **Resolução Normativa Nº 482, de 17 de Abril de 2012**. Brasília, 2012.

_____. **Resolução Normativa Nº 687, de 24 de Novembro de 2015**. Brasília, 2015.

ASHOURIAN, M. H. et al. **Optimal green energy management for island resorts in Malaysia**. Renewable Energy, [s.l.], v. 51, p.36-45, mar. 2013.

BOMFIM, Hiago Vieira et al. **Utilização de conceitos de cálculo para verificação da eficiência de uma placa solar**. Ciências Exatas e Tecnológicas, Aracaju, v. 4, n. 1, p.29-34, mar. 2017.

BP. **Statistical Review of World Energy**: June 2017. [s. l.]: BP, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

_____. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

GHAFOOR, Abdul; MUNIR, Anjum. Design and economics analysis of an off-grid PV system for household electrification. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 42, p.496-502, fev. 2015.



KALOGIROU, Soteris A. **Environmental benefits of domestic solar energy systems.** Energy Conversion and Management 45, 3075–3092., 2004.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Boletim mensal de monitoramento do setor elétrico:** dezembro de 2016. Brasília: MME, 2017

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **Energia solar no Brasil:** situação e perspectivas. Brasília: Câmara dos Deputados, 2017.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** São José dos Campos: INPE, 2006.

PINHO, João Tavares de; GALDINO, Marco Antônio (Org.). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: CEPTEL, 2014.

ROHANI, Ahmad; MAZLUMI, Kazem; KORD, Hossein. **Modeling of a hybrid power system for economic analysis and environmental impact in HOMER.** 2010 18th Iranian Conference On Electrical Engineering, [s.l.], p.1-5, maio 2010.

RÜTHER, Ricardo; SALAMONI, Isabel. **O potencial dos setores urbanos brasileiros para a geração de energia solar fotovoltaica de forma integrada às edificações.** Fórum Patrimônio, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p.84-94, jan./jun. 2011.

TOLMASQUIM, Maurício Tiomno. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica.** – Empresa de Pesquisa Energética (EPE): Rio de Janeiro, 2016.

TSOUTSOS, Theocharis; FRANTZESKAKI, Niki; GEKAS, Vassilis. **Environmental impacts from the solar energy technologies.** Energy Policy 33, 289–296, 2005.