

ENERGIA SOLAR NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: LEVANTAMENTO DO POTENCIAL E APLICAÇÕES

Gustavo Furtado Pereira; José Felix da Silva Neto; Kelly Cristiane Gomes; Sandro Marden
Torres; Marçal Rosas Florentino Lima Filho

Universidade Federal da Paraíba, furtado.gustavo@cear.ufpb.br

Resumo: Atualmente, o desenvolvimento é pautado na geração e consumo de energia, nas mais variadas formas. Para alcançar etapas mais avançadas e os meios de crescimento baseados em práticas sustentáveis que têm, com frequência cada vez maior, sua busca em muitos países e regiões pelo planeta. Nesse cenário, a utilização do uso de fontes alternativas de energia, como as energias renováveis, sendo o Sol um destes recursos energéticos, apresenta inúmeros benefícios para a sociedade em diversos aspectos, como por exemplo, a exploração equilibrada e ponderada dos bens naturais. Neste trabalho é realizada uma explanação teórica sobre os conceitos e propriedades da radiação solar, onde a energia solar é a fonte de energia renovável mais abundante e limpa disponível, e o potencial do Brasil que se apresenta como um dos países mais ricos do mundo em recursos solares, principalmente na região do semiárido. A tecnologia moderna pode aproveitar esta energia para uma variedade de usos, incluindo a geração de eletricidade, proporcionando ambiente interior confortável, e água de aquecimento para uso doméstico, comercial ou industrial. Na pesquisa, é realizada, ainda, um levantamento sobre a radiação solar no território brasileiro e em especial na região do semiárido utilizando-se dados e mapas solarimétricos. Na continuação são apresentadas algumas formas de utilização da energia solar, através de suas formas de conversão da energia do sol em energia térmica ou energia elétrica que podem ser aplicadas em diversas localidades, inclusive em comunidades isoladas, propiciando melhorias na qualidade de vida das pessoas com a inclusão de novos dispositivos nas moradias urbanas e rurais, equipamentos públicos e centros comunitários, bem como, também, beneficiar ao meio ambiente por trazer sustentabilidade ao crescimento humano com mínimos impactos ambientais.

Palavras-chave: Energia Solar, Radiação Solar, Dados Ambientais, Mapas Solarimétricos, Semiárido.

Introdução

O desenvolvimento da sociedade moderna apresenta como uma de suas características o consumo exagerado de recursos energéticos para sustentar-se e progredir segundo a demanda de crescimento mundial. Atualmente, as principais fontes desses recursos estão alicerçadas nos combustíveis fósseis, os quais encontram reservas limitadas (BP, 2016). Além disso, esses são poluentes e podem gerar prejuízos irreversíveis ao meio ambiente (JUNIOR, 2017). Dessa forma, as energias renováveis, por serem inesgotáveis e limpas, são uma alternativa de aproveitamento na geração de energia à humanidade (TWIDELL; WEIR, 2015).

A matriz energética de um país apresenta, de maneira quantitativa, as principais fontes de energia utilizadas (renováveis e não renováveis). A Matriz Energética Brasileira (MEB) mostra que a Oferta Interna de Energia (OIE), em 2016, atingiu 288,3 Mtep (milhões de toneladas equivalentes de petróleo) sendo que a parcela de participação das fontes renováveis permaneceu entre as mais elevadas no mundo, conforme comparativo entre a MEB e Matriz Energética Mundial (EPE, 2017). Dentre as fontes renováveis (energia solar, eólica, recursos hídricos, biomassa, etanol, etc.) houve uma variação na OIE da fonte solar de 5100 tep, em 2015, para 7380 tep, em 2016, gerando um aumento de 44,7% na oferta dessa fonte (EPE, 2017).

No cenário global, em 2016, a adição à Matriz Energética Mundial na capacidade de geração de energia dos painéis fotovoltaicos foi de aproximadamente 75GW. Além disso, existe grande potencial de crescimento no uso das energias de aquecimento, como a solar térmica, da qual é esperado que seu consumo possa ser triplicado até 2025. Esse aumento implicará em uma oferta na geração atual duas vezes maior (IEA, 2017).

Diante do cenário apresentado, este trabalho tem como objetivo apresentar conceitos básicos sobre a energia solar, realizar levantamento dos índices de irradiação solar no Brasil, visando demonstrar o potencial existente dessa fonte de energia incluindo a região semiárida. Em seguida, fazer exemplificações de possíveis aplicações para dar suporte ao desenvolvimento local sustentável, permitindo maior equilíbrio ao meio ambiente.

Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho consistiu em um levantamento e exposição teóricos, realizados através de uma revisão bibliográfica nos bancos de dados nacionais e internacionais (*Web of Knowledge*) através de palavras-chaves e descritores relacionados aos conceitos e propriedades da radiação solar. Em seguida, através de dados (INMET- Instituto Nacional de Meteorologia), mapas solarimétricos e o Software Analysis SOL-AR, desenvolve-se um levantamento qualitativo e quantitativo sobre a radiação solar no território brasileiro, especialmente na região do semiárido (PEREIRA et al., 2006; 2017). Por fim, são apresentadas possíveis aplicações da energia solar visando sua utilização em diversas regiões, em especial no Semiárido da Paraíba.

Resultados e Discussão

Conceitos básicos sobre o Sol e a Radiação solar

O Sol é uma estrela que emite luz e calor; dentro do sistema solar temos a presença do Sol como sendo a única estrela e em sua volta os demais planetas, inclusive a Terra. Ela possui uma massa em torno de 332 mil vezes e um volume 1,3 milhões de vezes maiores que os da Terra. Essa massa incandescente de plasma possui a temperatura de 15 milhões de graus Celsius em seu interior, enquanto, para efeitos comparativos, na Terra são 5000°C; e 6000°C em sua superfície e na Terra em média são 10-20°C (VICENTE, 2009).

Reações nucleares são produzidas devido às altas temperaturas e elevadas pressões existentes no Sol. Os prótons do núcleo do hidrogênio, que representa 92,1% da composição do Sol, são liberados juntando-se posteriormente em grupos de quatro para formar as partículas α (alfa). Estas possuem menos massa que os quatro nêutrons do mesmo elemento, resultando que a massa restante transforma-se em uma grande quantidade de energia. Essa energia alcança a superfície através de convecção onde é liberada em forma de calor e luz, Figura 1, chegando ao planeta Terra (VICENTE, 2009).

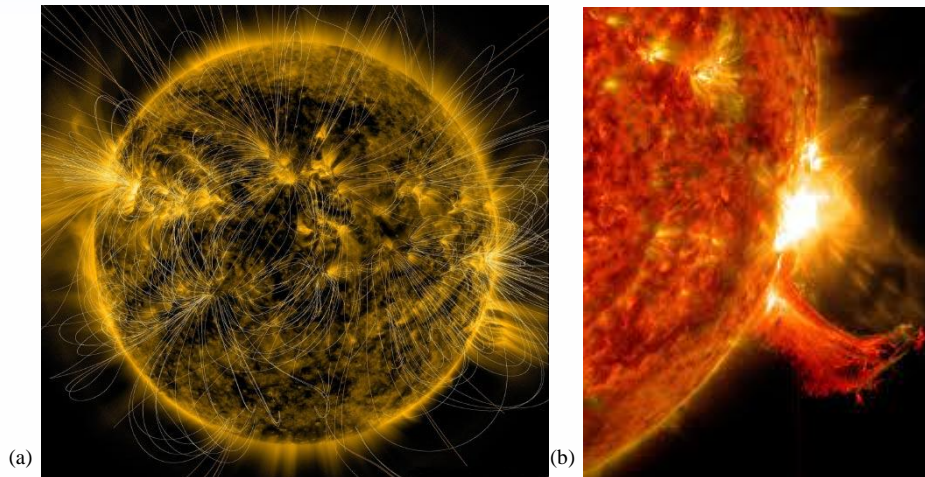


Figura 1: (a) Atividade luz ultravioleta na coroa solar. (b) Labareda solar. Fonte: (NASA, 2017).

De acordo com Liou (2002), baseado em dados obtidos por satélites, o sistema Terra/atmosfera reflete em torno de 30% da radiação solar que chega ao topo da atmosfera e absorve a parcela remanescente. Essa ampla parcela da radiação solar que entra na atmosfera é absorvida pela superfície terrestre, a qual consiste em aproximadamente 70% de oceano e 30% de terra. Em um período climatológico de um ano, por exemplo, a temperatura de equilíbrio global permanece constante, logo a energia radiante emitida pelo Sol que é absorvida pela Terra deve ser reemitida ao espaço para que o estado de equilíbrio de energia seja mantido.

Segundo Iqbal (1983), o valor da constante solar (fluxo de radiação do Sol) é de aproximadamente 1367 W/m^2 e varia moderadamente dependendo da emitância do Sol. Essa constante solar é definida como sendo a densidade do fluxo de radiação solar que incide perpendicularmente em uma superfície, desconsiderando-se os efeitos atenuadores da atmosfera. O resultado da relação entre radiação e atmosfera ao exercer interação com seus elementos naturais e artificiais, como gases, poeira, aerossóis e vapores de água, constitui-se pela radiação solar direta e difusa.

Conforme Pereira *et al.* (2002), a radiação solar direta equivale à fração da radiação que incide na extremidade superior da atmosfera; sua trajetória não é desviada, chegando de modo direto à superfície terrestre. Suas medições nas estações são baseadas em método da diferença, meios indiretos ou modelos de estimativas, por causa do custo elevado dos equipamentos. O efeito de espalhamento é o responsável pela radiação solar difusa que é captada de forma mais fácil em dias com teor alto de poeira e céu nublado, pois dificultam que a superfície receba diretamente a radiação (ANDRADE, 2016). Nesse caso, um aparelho

chamado piranômetro, com anel de sombreamento, realiza as medições.

O somatório da radiação solar direta e da radiação solar difusa gera como resultado a radiação solar global, a qual é a totalidade de energia irradiada pelo Sol que chega à superfície terrestre (DOS SANTOS, 2016). Por isso, é indispensável realizar a medição da quantidade de radiação solar global disponível em um local e período de tempo definidos. O piranômetro é utilizado na mensuração.

Os valores das radiações global, direta e difusa são demonstrados por várias ferramentas, sendo uma delas os mapas solarimétricos que utilizam desenvolvimento através de modelos físicos ou modelos computacionais. Estes modelos foram comparados, por exemplo, quanto à distância entre os radiômetros das estações por Perez *et al.* (1997).

Levantamento de Índices de Radiação

O Atlas Brasileiro de Energia Solar utiliza o modelo BRASIL-SR e dados coletados pelos satélites da série GOES para a geração dos mapas solarimétricos no período de 1995-2005 (PEREIRA *et al.*, 2006). Após ter realizado melhorias em parametrizações, análises quanto aos níveis de confiança dos dados, dentre outros avanços, o mapa teve sua segunda edição lançada em 2017, a qual abrange dados de 1999-2016.

Os mapas, relativos às duas edições do Atlas Brasileiro de Energia Solar, na Figura 2 (PEREIRA *et al.*, 2006; 2017) mostram a radiação solar global horizontal média anual. Pode ser observado pelo gradiente de cores que a região do semiárido brasileiro apresenta bons índices no que diz respeito a irradiação global horizontal.

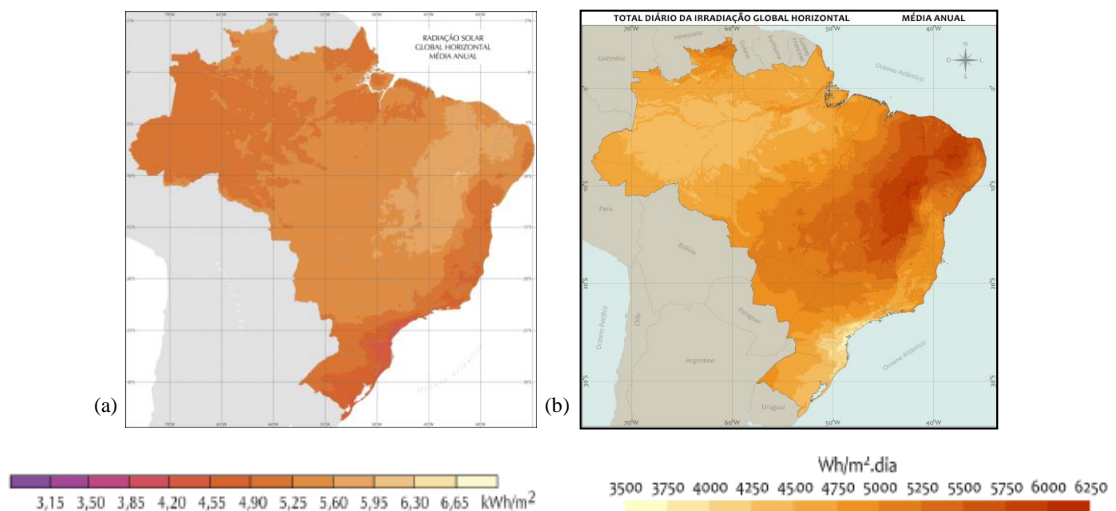


Figura 2: Radiação solar global média anual Atlas 2006 (a) e Atlas 2017 (b). Fonte: (PEREIRA *et al.*, 2006; 2017).

A Figura 3 apresenta os mapas de radiação solar no plano inclinado média anual.

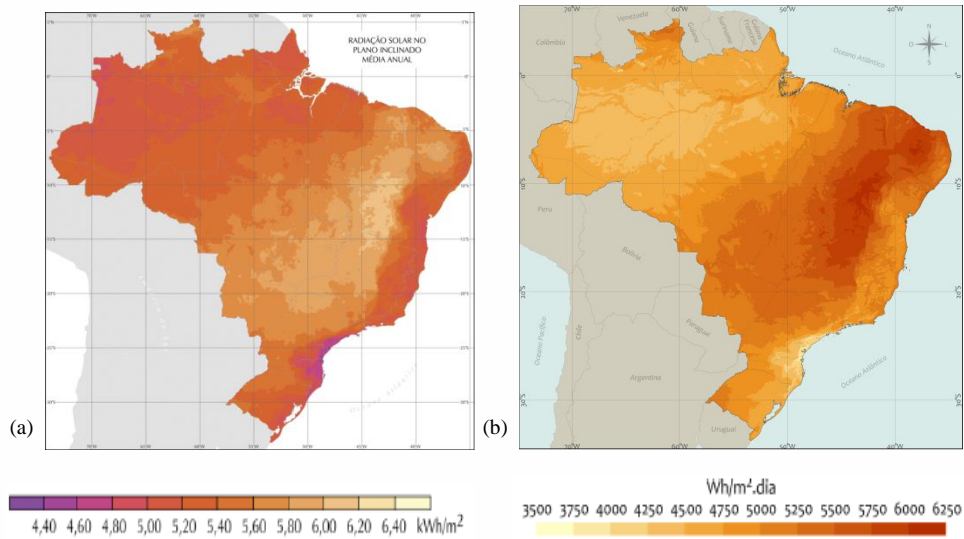


Figura 3: Radiação solar no plano inclinado média anual Atlas 2006 (a) e Atlas 2017 (b). Fonte: (PEREIRA *et al.*, 2006; 2017).

O território brasileiro por situar-se entre os trópicos possui uma incidência de irradiação solar considerável, variando na sua média anual em grande parte do Brasil de 4 kWh/m² à aproximadamente 5 kWh/m². O potencial solar mais elevado encontra-se na região Nordeste, com valor médio de irradiação global horizontal de 5,49 kWh/m², incluindo a região do semiárido brasileiro ilustrado na Figura 4.

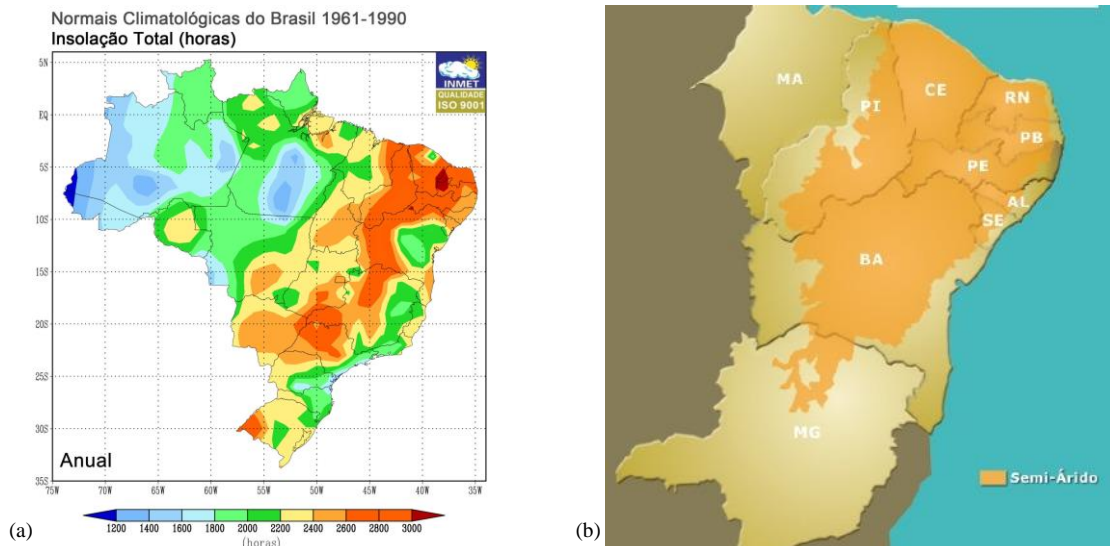


Figura 4: (a) Insolação total anual. Fonte: (INMET) (b) Semiárido brasileiro. Fonte: (<http://sosriosdobrasil.blogspot.com.br/2011/06/o-que-e-e-onde-fica-o-semiarido.html>).

A Figura 5 traz os valores de radiação direta normal nas latitudes de Recife e Salvador relacionando os valores de radiação potencial para o semiárido brasileiro.

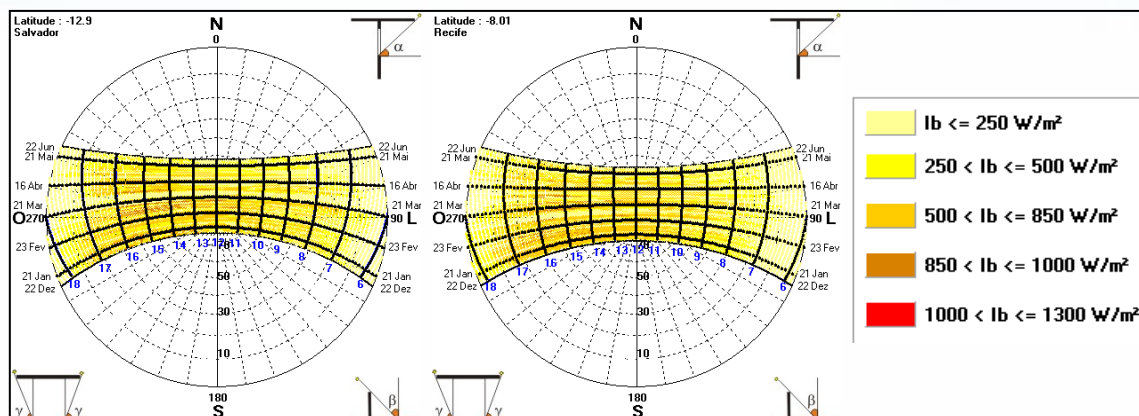


Figura 5: Radiação Direta Normal nas latitudes centrais do Semiárido Brasileiro através da Carta Solarimétrica (Salvador e Recife). Fonte: (Analysis SOL-AR).

As regiões Centro-Oeste e Sudeste apontam os totais diários aproximados para a irradiação global horizontal em torno de $5,07 \text{ kWh/m}^2$ e para a região Sul o valor foi de $4,53 \text{ kWh/m}^2$. A região Norte, apesar de apresentar valores da irradiação global média no plano horizontal e no plano inclinado próximo ao da região Sul, indica os menores valores apresentados para a irradiação direta normal, em média $3,26 \text{ kWh/m}^2$, devido ao clima da região possuir constante nebulosidade, diminuindo, assim, a irradiância na superfície (PEREIRA *et al.*, 2017).

Aplicações

Diversas aplicações da energia solar podem ser empregadas para seu aproveitamento sustentável sejam industriais, comerciais, residenciais, etc. Dentre elas estão as formas de captação da energia do Sol como instalações solares térmicas, fotovoltaicas e termoelétricas.

As instalações solares térmicas propiciam a captação da energia do Sol para o aquecimento de residências e edificações, assim como o aquecimento de água para suprir as necessidades de uso não residencial e residencial como em banheiros, por exemplo. O aquecimento de água em uma residência participa em média 24% do consumo da energia elétrica (ELETROBRAS, 2007).

Usinas termoelétricas

A geração de energia heliotérmica ou energia solar térmica concentrada, conhecida mundialmente como CSP's, é composta de conjuntos de espelhos ou lentes que concentram uma vasta área

de luz solar incidente em uma pequena área, como uma torre de energia solar. A energia térmica é transformada em energia elétrica através de turbinas a vapor (TURCHI *et al.*, 2017), Figura 6.



Figura 6: Usina de geração de Energia Solar Térmica Concentrada (CSP). Fonte: (<http://www.solarreserve.com/en/newsroom/photos>).

Aplicação térmica

A energia térmica tem potencial de acrescentar tecnologias em processos e outras aplicações como na agropecuária para aquecimento do ambiente de confinamento dos animais, desinfecção de materiais e produtos e secagem, substituindo o uso de combustíveis fósseis na geração de calor. Pode, ainda, ser usada em processo de dessalinização da água e no preparo de alimentos, principalmente em regiões afastadas e semiáridas como o sertão do Nordeste e no semiárido brasileiro, Figura 7 exemplifica essa forma de utilização.

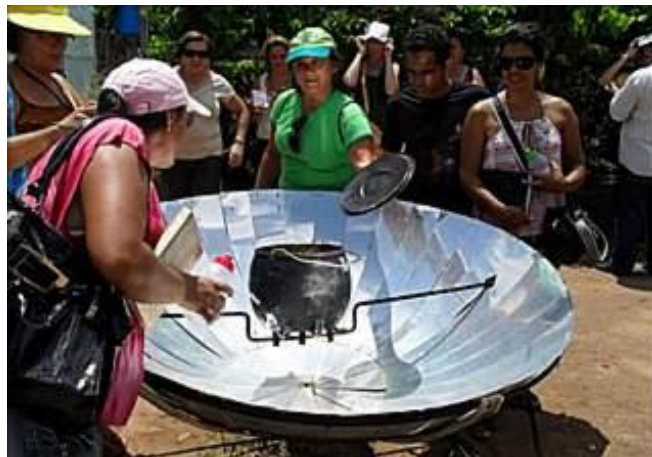


Figura 7: Fogão solar em substituição ao uso de carvão em Arapiraca/AL. Fonte: (<http://www.universidadedosol.org.br>).

Aplicação fotovoltaica

A energia fotovoltaica funciona à base de painéis solares que captam as radiações luminosas do Sol e as transformam em corrente elétrica. Estes painéis especiais são compostos por células fotovoltaicas onde a energia luminosa ou os fótons são transformados em eletricidade, ou seja, elétrons em movimento. O efeito fotoelétrico é o fundamento deste sistema energético (ARCHER; GREEN, 2014).

Para locais afastados da rede de distribuição elétrica, pode-se utilizar os sistemas fotovoltaicos isolados da rede, que se configuram como sistemas autônomos que podem armazenar energia com o uso de bancos de baterias. Além desse uso, existe outra forma de utilização como o sistema distribuído, que consiste no sistema fotovoltaico estar conectado à rede elétrica de distribuição e poder fornecer à rede a energia excedente, gerando créditos para o consumidor nesse caso de fornecimento de energia (BRASIL, 2015).

A Figura 8 apresenta painéis fotovoltaicos.



Figura 8: Microusina de energia elétrica em Juazeiro/BA. Fonte: (<https://www.brasil.gov.br>).

Conclusões

A energia solar influencia fortemente todas as formas de vidas na Terra. Além disso, é a base de quase todos os tipos de energias renováveis que são demandadas e geradas. Conforme os conceitos e definições apresentados, a radiação solar representa importante função na geração de energia pelo seu potencial.

Os levantamentos realizados através dos dados do INMET, mapas solarimétricos e do Software SOL-AR demonstram que o semiárido brasileiro apresenta elevado potencial de utilização da energia solar com valor médio de irradiação global horizontal de 5,49 kWh/m². Populações e comunidades no semiárido brasileiro podem ter acesso a diversas aplicações para sua subsistência e desenvolvimento sustentável.

Aplicações baseadas em energia solar como instalações solares térmicas, fotovoltaicas e termoelétricas se apresentam como alternativas de aproveitamento da energia solar que é uma fonte energética limpa e renovável, propiciando o desenvolvimento das populações no semiárido brasileiro.

Referências

ANDRADE, Ricardo Cezar de. *Estudo do efeito lente produzido por nuvens na irradiação solar global medido no Nordeste do Brasil*. 2016.

ARCHER, Mary D.; GREEN, Martin A. (Ed.). *Clean electricity from photovoltaics*. World Scientific, 2014.

BP *Statistical Review of World Energy, June 2016*. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>>. Acesso em: 14 de agosto de 2017.

BP *Statistical Review of World Energy, June 2016*. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>>. Acesso em: 29 de agosto de 2017.

BRASIL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução Normativa N° 687 de Novembro de 2015*. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 30 de agosto de 2017.

DOS SANTOS, C. M. et al. *Estimativa da irradiação solar global horária a partir da temperatura do ar para o semiárido de Alagoas, Brasil*. *Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA)*, v. 32, 2016.

ELETROBRAS/PROCEL. *Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso – Ano base 2005 – Classe Residencial – Relatório Brasil*. 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Balanço Energético Nacional 2017: ano base 2016*. Rio de Janeiro, EPE, 2017.

IEA - International Energy Agency. *Tracking Clean Energy Progress 2017*. França, 2017.

IQBAL, M. *An introduction to solar radiation*. New York: Academic Press, 1983. 390p.

JUNIOR, Alexandre Pereira Salgado et al. *O IMPACTO NAS VARIAÇÕES DAS MATRIZES ENERGÉTICAS E USO DA TERRA: ESTUDO SOBRE A EFICIÊNCIA AMBIENTAL DO G20*. REAd-Revista Eletrônica de Administração, v. 23, n. 2, p. 306-332, 2017.

LIU, KN. *An Introduction to Atmospheric Radiation*. 2.ed. San Diego: Academic Press, 2002. 583p.

NASA *Why NASA Studies the Ultraviolet Sun*. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/content/goddard/why-nasa-studies-the-ultraviolet-sun>>. Acesso em: 29 de agosto de 2017.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, Enicio Bueno et al. *Atlas brasileiro de energia solar*. INPE, 2006.

PEREIRA, Enicio Bueno et al. *Atlas brasileiro de energia solar-2ª Edição*. INPE, 2017.

PEREZ, R., SEALS, R., ZELENKA, A. *Comparing Satellite Remote Sensing and Ground Network Measurements for the Production of Site/Time Specific Irradiance Data*. Solar Energy, Phoenix, v.60, n.2, p. 89–96, 1997.

TURCHI, Craig S.; STEKLI, J.; BUENO, P. C. *Concentrating solar power*. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO (United States), 2017.

TWIDELL, John; WEIR, Tony. *Renewable energy resources*. Routledge, 2015.

VICENTE, A. M. *Curso de energía solar. Fotovoltaica, térmica y termoeléctrica*. Ediciones Mundi-Prensa; A. Madrid Vicente Ediciones, Espanha, 2009.