



Estudo do potencial fotovoltaico da região do Baixo Jaguaribe no Estado do Ceará, Brasil

Luan Carlos dos Santos Mazza¹, Solerne Caminha Costa², Fábio Rodrigo Freitas Mendes³, Fábio José Lima Freire⁴, Deivid Matias de Freitas⁵, Unildon Andrade Honorato⁶

¹Instituto Federal do Ceará - IFCE. e-mail: luanmazza@hotmail.com

²Instituto Federal do Ceará - IFCE. e-mail: solerne@ifce.edu.br

³Instituto Federal do Ceará - IFCE. e-mail: fabimfreitas@yahoo.com

⁴Instituto Federal do Ceará - IFCE. e-mail: fabioifce@yahoo.com.br

⁵Instituto Centro de Ensino Tecnológico - CENTEC. e-mail: deivid_ce@hotmail.com

⁶Instituto Federal do Ceará - IFCE. e-mail: unildonhonorato@hotmail.com

Resumo: Este trabalho realizou uma análise dos dados de irradiação solar em cidades localizadas no Baixo Jaguaribe, Ceará. Foi demonstrado o potencial quanto à produção de energia fotovoltaica. Para obtenção dos dados utilizou-se como sistema de aquisição de dados a estação de dados meteorológicos em Limoeiro do Norte, e nas outras cidades foram utilizados dados do SINDA/INPE. Os resultados obtidos demonstram que a cidade de Limoeiro do Norte no ano de 2011 apresentou média anual de irradiação solar global de 16,11 MJ/m².dia. Já os municípios de Jaguaruana, Morada Nova e Quixeré obtiveram os seguintes valores como média anual de irradiação solar global, 19,5 MJ/m².dia, 9,9 MJ/m².dia, 12,3 MJ/m².dia, respectivamente. Tendo em vista que em algumas regiões da Espanha a média de radiação solar é em torno de 18 MJ/m².dia, os valores apresentados em Limoeiro do Norte e Jaguaruana reafirmam a relevância de tal estudo. Portanto o trabalho conclui que essa região é viável para a instalação de sistemas fotovoltaicos se tornando uma importante fonte alternativa de energia elétrica para as residências, urbanas e rurais, locais e/ou remotas da rede de distribuição das cidades em questão.

Palavras-chave: baixo Jaguaribe, dados meteorológicos, energia fotovoltaica, radiação solar, sistema de aquisição de dados

1. INTRODUÇÃO

O vasto crescimento dos processos industriais, meios de transportes, ou mesmo, a grande expansão da agricultura e a renovada exploração da vida urbana, no âmbito da busca por moradia, instalações indústrias e comércio, vem causando acréscimos na demanda energética em todo o mundo (ORDÓÑEZ et al, 2010).

No Brasil não é diferente, cada vez mais se necessita de energia para suprir a demanda energética do país. Logo, o Brasil necessita de energia elétrica, tanto por conta do crescimento da população, quanto pelos investimentos previstos para todo o País nos próximos anos. Sendo eles em grandes obras de infraestrutura, instalação de fábricas e aumento da produção interna. Como resultado, o consumo interno de energia irá triplicar em 20 anos, chegando a 3,388 x 10¹² MJ, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2011).

A necessidade extrema da população em utilizar energia elétrica, a escassez de fontes convencionais, aliado a inexistência de políticas públicas para desenvolver, planejar e implantar projetos para elaboração de métodos alternativos para auxiliar os processos convencionais na geração de energia elétrica, vem dificultando sobremaneira o acesso à energia elétrica em diversas regiões (MEDIAVILLA et al, 2011).

Para tanto, uma alternativa para minimizar o problema relativo a demanda de energia seria a aplicação de tecnologias de geração de energia renováveis que é considerada um dos vetores de desenvolvimento econômico e social das comunidades isoladas das regiões brasileiras. Essa iniciativa promove a sustentabilidade do desenvolvimento e a democratização do acesso à energia (ANEEL, 2012).

Avaliar o sistema energético da região do Baixo Jaguaribe se torna importante quando para suprir a demanda energética da região e se faz necessário descobrir novos métodos para criar, desenvolver e implementar formas alternativas na geração de energia elétrica. Demonstrar o potencial



da região no tocante à produção de energia fotovoltaica é fundamental para conscientizar a população e os investidores sobre o uso eficiente da energia fotovoltaica e, assim gerar estímulos e incentivos para inserir as fontes de energia alternativas (FEA) na matriz energética na região do Baixo Jaguaribe.

A energia fotovoltaica é a fonte de energia proveniente do sol e possui seu princípio baseado na transformação da radiação solar em energia elétrica. O Sol é uma fonte de energia e calor inesgotável, logo a maioria da luz solar que chega a Terra (radiação solar direta, difusa e albedo) poderá ser convertida pelas centrais de energia solar fotovoltaico em energia elétrica. Sendo assim, uma fonte de energia renovável, alternativa e ilimitada (CRESESB, 1999).

Nos últimos 10 anos, a tecnologia fotovoltaica tem mostrado potencial para tornar-se uma das fontes de eletricidade predominantes no mundo com um crescimento elevado e contínuo mesmo em tempos de crise financeira e econômica (ABINEE, 2012).

Pelas suas características individuais contendo tempo de vida em torno de 20 anos com pequenas manutenções, a produção de energia elétrica através da tecnologia fotovoltaica é sem dúvida, uma área de vasto crescimento no mundo, com destaque para países como Alemanha, Itália e Espanha, que estão bastante direcionados aos investimentos em energias renováveis (MEDIIVILLA et al., 2011).

Este tipo de geração de energia tem potencial de produzir energia elétrica sem poluir o meio ambiente. O mais interessante é a possibilidade da energia fotovoltaica competir em produtividade e rentabilidade, com outras formas de energias tradicionais, no mercado de energia. Diante do desenvolvimento tecnológico de sistemas fotovoltaicos de elevado custo em relação a outras fontes de energia, no atual contexto mercadológico de energias, espera-se que em breve, seja possível se conseguir com sistemas fotovoltaicos, uma maior autonomia, melhor desempenho e menores custos da energia gerada incluindo equipamentos, operações e manutenção. Ao longo do tempo, a substituição total ou parcial dos métodos convencionais, alguns já demasiadamente saturados e ultrapassados, pelas fontes de energia alternativas será visível em todas as localidades.

Isto se torna relevante considerando que o Brasil é privilegiado em termos de radiação solar, pois dispõe de um grande potencial, capaz de ser aproveitado de forma energética. Estima-se que o potencial de radiação solar no Brasil varia de 5911,2 a 8028 MJ/m²/ano, conforme Figura 1 (ROCHA, 2010; ANEEL, 2008).

Em termos de produção de energia, devido ao seu potencial de radiação solar, o Brasil poderá produzir $5,4 \times 10^{16}$ MJ, que corresponde a 50 vezes o consumo nacional de eletricidade. (PEREIRA; MARTINS et al, 2006).

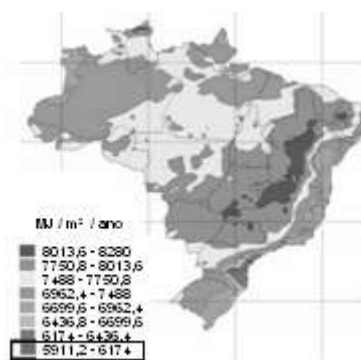


Figura 1 - Média anual da radiação global incidente no plano horizontal. (Fonte: Adaptado de Atlas Solarimétrico do Brasil (2010))

A característica básica da região cearense é o índice de radiação solar média em torno de 8 horas diárias nos 365 dias do ano, como pode ser visto na Figura 2, sendo que no Nordeste atinge três mil a quatro mil horas de sol por ano, o que favorece um potencial de energia solar na região (SOUZA apud Nascimento, 1997).



Figura 2 - Potencial da radiação solar diária em número de horas no Ceará. (Fonte: Adaptado de Atlas Solarimétrico do Brasil (2010)).

Segundo a Secretaria de Infra-estrutura do Estado do Ceará (SEINFRA), o interior cearense apresenta uma condição favorável como céu claro com níveis de radiação solar com mais de 3.000 horas de sol e ventos abundantes na ordem de 7 m/s a 9 m/s.

O Ceará apresenta um dos melhores índices de radiação solar do Brasil, tendo seu potencial estimado em 6570 a 8028 MJ/m²/ano (ROCHA, 2010; ANEEL, 2008).

Devido a sua localização territorial, abaixo da linha do equador, visto na Tabela 1, o Baixo Jaguaribe, tal como o nordeste brasileiro possui enorme potencial em termos de radiação solar com incidência de radiação média de 18 MJ/m²/dia.

Tabela 1 - Posição geográfica das quatro cidades do baixo Jaguaribe envolvidas na pesquisa.

Cidade	Latitude	Longitude	Altitude
Jaguaruana	4° 49' 51,33'' S	37° 46' 53,79'' O	20 m
Limoeiro do Norte	5° 8' 56'' S	38° 5' 51,57'' O	70 m
Morada Nova	5° 06' 20,25'' S	38° 22' 1,61'' O	89 m
Quixeré	5° 04' 40,06'' S	37° 59' 7,43'' O	30 m

O = oeste; S = sul; m = metro

O estudo do potencial da irradiação solar no Baixo Jaguaribe tem a finalidade de mensurar o quantitativo mensal da produção de irradiação solar na região, para assim, conscientizar os investidores e a população sobre as vantagens e possibilidades da aplicação da energia fotovoltaica como fonte geradora de energia para suprir as demandas energéticas dos moradores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia desenvolvida para a análise da pesquisa foi baseado no estudo de dados obtidos através de um sistema de aquisição de dados meteorológicos extraídos na região do Vale do Jaguaribe.

Para obtenção dos dados relativos ao potencial de irradiação em Limoeiro do Norte – CE usou-se a estação meteorológica pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) Campus Limoeiro do Norte - CE. Nas outras cinco cidades usaram-se os dados do Sistema Nacional de Dados Ambientais/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (SINDA/INPE).

O estudo mostra as características de irradiação solar médio, bem como os valores estatísticos de irradiação solar obtidos nas cidades de Jaguaruana, Limoeiro do Norte, Morada Nova e Quixeré.



Os fatores aqui estudados servirão de parâmetros para fundamentar as posteriores análises e estudos relativos à capacidade de geração e implantação dos painéis fotovoltaicos na região no Baixo Jaguaribe, assim como no estado do Ceará.

O presente estudo é, portanto, capaz de mostrar o potencial de irradiação solar médio nas quatro cidades relatadas com base em dados extraídos por centrais meteorológicas instaladas nas referidas cidades. Terá efeito significativo para posteriormente analisar estatisticamente e, assim quantificar a energia fotovoltaica produzida na região do Baixo Jaguaribe, conforme Figura 3. Além de elaborar um comparativo do potencial técnico de irradiação solar entre as cidades de Jaguaruana, Limoeiro do Norte, Morada Nova e Quixeré, localizadas no baixo Jaguaribe no estado do Ceará.

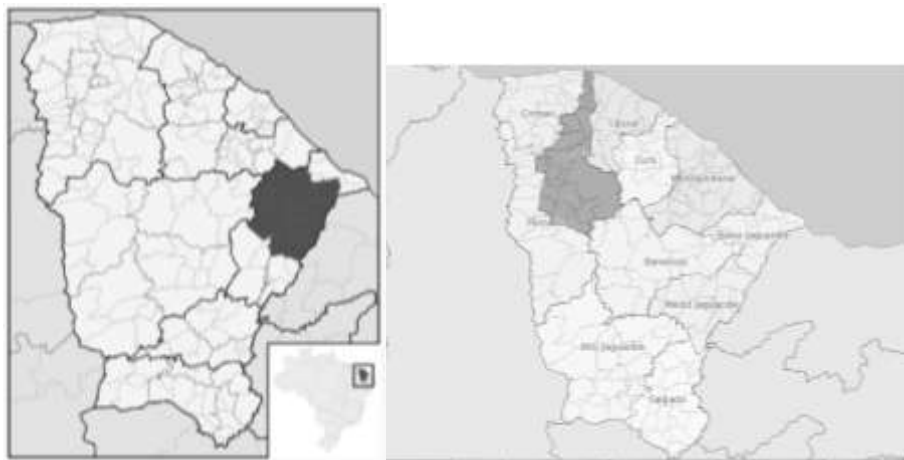


Figura 3 - Localização da microrregião do baixo Jaguaribe no mapa do Ceará (Fonte: <http://atlas.srh.ce.gov.br/>).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição mensal e o montante total de energia solar são determinados por fatores climáticos e meteorológicos, que dependem dos locais e das épocas. Para tanto esses fatores não foram problematizados no presente estudo ficando como prioridade os valores mostrados pelas estações meteorológicas escolhidas para a pesquisa. Vale salientar que as diferenças no tempo sobre a Terra são devido às mudanças de posição do Sol e da duração da luz do dia durante o ano, que por sua vez são causadas pela inclinação do eixo em relação à órbita da terra em torno do sol (CRESESB, 1999).

Para se estimar o pontencial de irradiação solar do Baixo Jaguaribe foi feito um levantamento detalhado dos dados coletados pelas estações meteorológicas diariamente, resultando numa análise anual e, posteriormente na média anual através de cálculos estatísticos. Dessa forma, foram detalhados, os valores diários e posteriormente realizado a média diária para obtenção do valor mensal para ser plotado.

A Figura 4 apresenta a irradiação solar global média no município de Limoeiro do Norte. Os valores demonstram que dos meses de janeiro de 2011 a agosto de 2011 a radiação solar global média é bastante elevada e sempre próximo ou acima da média anual, que é de 16,11 MJ/m².dia. Entre os meses de setembro de 2011 e dezembro de 2011, a radiação diminui para valores abaixo da média anual, mas ainda assim com valores razoáveis de radiação e sempre acima de 10 MJ/m².dia.

Isso demonstra os excelentes índices de radiação solar em várias regiões do território brasileiro, devido sua localização geográfica privilegiada em relação aos outros países (SALAMONI; RÜTHER, 2007).

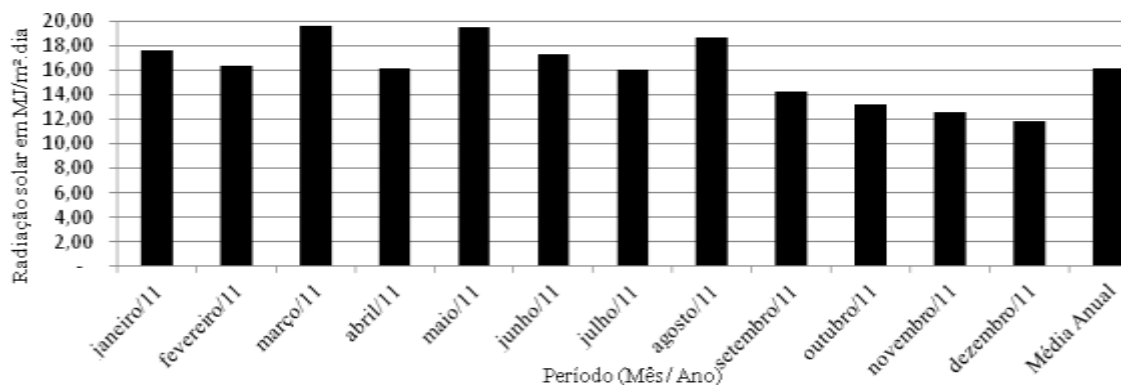


Figura 4 - irradiação solar global média no município de Limoeiro do Norte.

A Figura 5 apresenta a irradiação solar global média no município de Jaguaruana. Trata-se de dados que demonstram no 1º semestre de 2011, observando apenas um mês está com o valor de irradiação acima da média anual, isso pode ser explicado devido esse período ser chuvoso em alguns municípios da região do Baixo Jaguaribe. Já no 2º semestre tem-se diversos meses que obtiveram uma radiação solar superior a média anual. O município de Jaguaruana é bastante recomendável para se investir em sistema de aproveitamento solar, tendo o sistema fotovoltaico como promissor para essa área altamente irradiada.

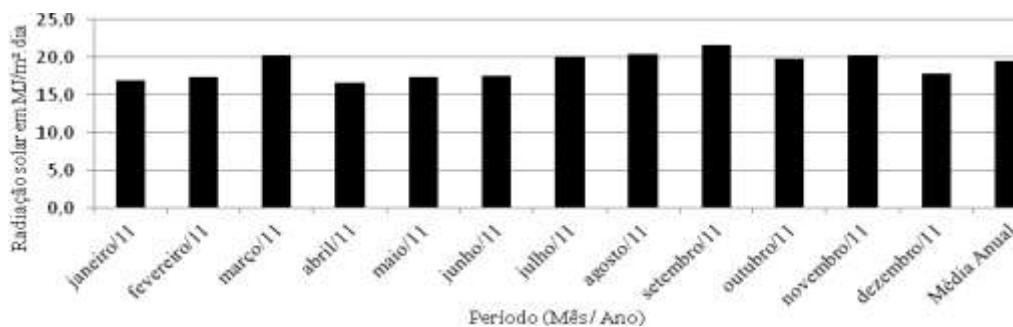


Figura 5 - Irradiação solar média no município de Jaguaruana.

A Figura 6 demonstra a irradiação solar global média no município de Morada Nova. O mês de agosto de 2011 não possuía dados de irradiação solar, portanto está excluído do estudo da média anual. A média anual desse município está abaixo dos valores referentes a Limoeiro do Norte e Jaguaruana. No entanto ainda é bastante satisfatório devido possuir bons índices de irradiação nos outros meses do ano.

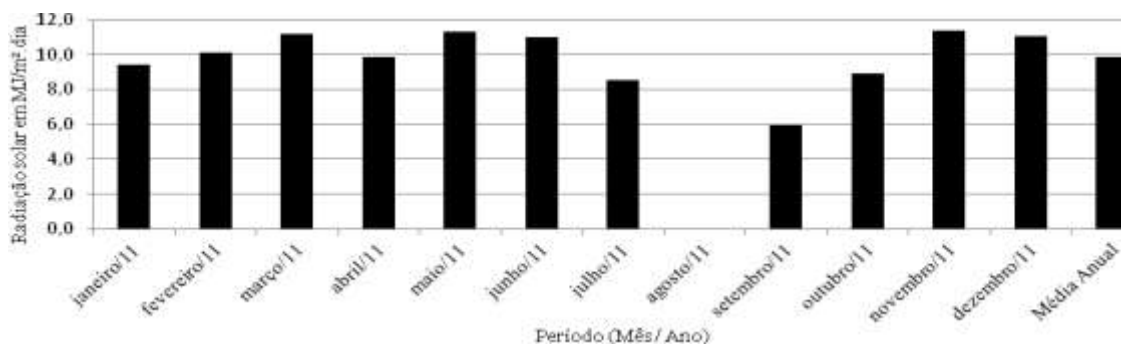


Figura 6 - Irradiação solar no município de Morada Nova.



Conforme pode ser visto na Figura 7, onde demonstra a irradiação solar global média no município de Quixeré. Tem-se que, os meses de agosto, setembro e dezembro de 2011 não possuem dados de irradiação solar, portanto estão excluídos do estudo da média anual. A média anual desse município está acima da média do município de Morada Nova e abaixo dos valores referentes à Limoeiro do Norte e Jaguaruana.

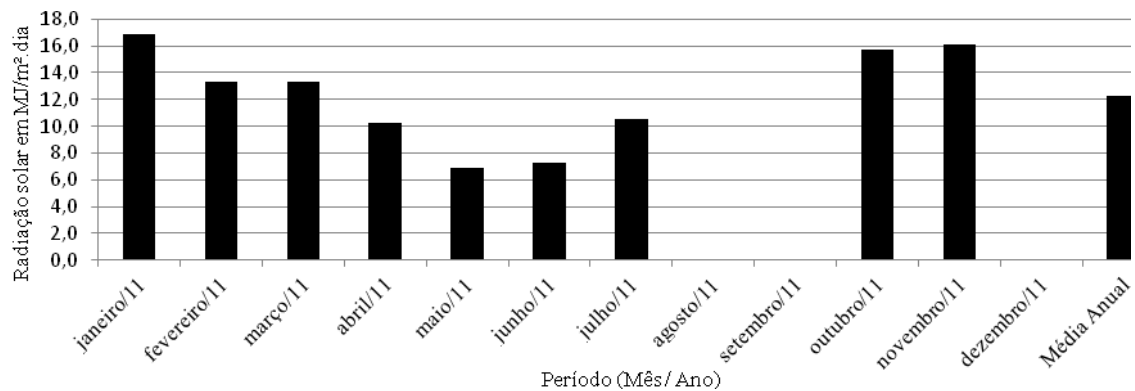


Figura 7 - Irradiação solar no município de Quixeré.

Como pode ser visualizado na Tabela 2, as cidades que apresentam melhores índices de irradiação solar global são Jaguaruana e Limoeiro do Norte. Tendo sempre valores de médias acima de 15 MJ/m².dia, e podendo se aproximar a 22 MJ/m².dia, dependendo da época do ano.

Tabela 2 – Cidades com melhores médias mensais de irradiação solar global durante o ano de 2011.

Mês	Média (MJ/m².dia)	Cidade
Janeiro	17,58	Limoeiro do Norte
Fevereiro	17,50	Jaguaruana
Março	20,40	Jaguaruana
Abril	16,60	Jaguaruana
Mai	19,53	Limoeiro do Norte
Junho	17,50	Jaguaruana
Julho	20,20	Jaguaruana
Agosto	20,50	Jaguaruana
Setembro	21,60	Jaguaruana
Outubro	19,80	Jaguaruana
Novembro	20,30	Jaguaruana
Dezembro	17,80	Jaguaruana
Total (Acumulado)	229,31	

Os valores de irradiação solar apresentados por alguns municípios comprovam a relevância do estudo, visto que em algumas regiões da Espanha a média de irradiação solar é em torno de 18 MJ/m².dia (GÓMEZ-LÓPEZ et al, 2010). Esse comparativo se deve a Espanha ser um dos países que mais investiu em energias renováveis, além de diversos outros países da Europa também terem feito o



mesmo. (DÍEZ-MEDIAVILLA et al, 2010; DUSONCHET et al, 2010; HERAS-SAZARBITORIA et al, 2011).

4. CONCLUSÕES

O Baixo Jaguaribe possui ótimos índices de radiação solar ampliando a crescente preocupação com a disponibilidade de fontes de energia quanto ao desperdício de energia proveniente pelo sol. Baseado no estudo a energia solar fotovoltaico poderá se tornar uma grande possibilidade e importante fonte alternativa de energia elétrica para as residências, urbanas e rurais, locais e/ou remotas da rede de distribuição das cidades de Jaguaruana, Limoeiro do Norte, Morada Nova e Quixeré. Através dos dados extraídos de irradiação solar é viável a implantação de sistemas fotovoltaicos para suprir a demanda energética dos moradores da região Jaguaribana localizada no interior do estado do Ceará.

REFERÊNCIAS

ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira. 2012. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>. Acesso em: julho de 2012.

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. Estabelecimento das quotas de custeio e de energia elétrica referentes ao Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica PROINFA) para o ano de 2012. Brasília: Nota técnica n° 0321/2011 - SRE/ANEEL, 9 de dezembro de 2011. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/nreh20111244.pdf>>. Acesso em: julho de 2012.

BRITO, Sérgio. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro, CRESESB, 1999.

DÍEZ-MEDIAVILLA, M.; ALONSO-TRISTÁN, C.; RODRÍGUEZ-AMIGO, M.C.; GARCÍA-CALDERÓN, T. Implementation of PV plants in Spain: A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, p. 1342-1346, 2010.

DUSONCHET, L.; TELARETTI, E. Economic analysis of different supporting policies for the production of electrical energy by solar photovoltaics in western European Union countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 38, p. 3297-3308, 2010.

ELETOBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A./ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica. "Instruções para Estudos de Viabilidade de Aproveitamentos Hidrelétricos". Rio de Janeiro, 1997.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Balanço Energético Nacional – 2011 (ano base 2010). Rio de Janeiro: EPE, 2011. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2011.pdf>. Acesso em: julho de 2012.

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME. Disponível em: www.funceme.br. Acessado em Julho de 2012.

GÓMEZ-LÓPEZ, M.D.; GARCÍA-CASCALES, M.S., RUIZ-DELGADO, E. Situations and problems of renewable energy in the Region of Murcia, Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, p. 1253-1262, 2010.

HERAS-SAZARBITORIA, I.; CILLERUELO, E.; ZAMANILLO, I. Public acceptance of renewables and the media: an analysis of the Spanish PV solar experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, p. 4685-4696, 2011.



LIMA, Danielle. Dissertação de mestrado: Estudo da viabilidade de uma usina solar térmica, associada a queima de resíduos sólidos urbanos na cidade de Sobral – CE. Universidade Estadual do Ceará: Fortaleza, 2010. 90 p.

MEDIAVILLA, M. Díez; C; TRISTÁN, Alonso, RODRÍGUEZ, M.C; CALDERÓN, T. García; VELASCO, M.I. Dieste. Performance analysis of PV plants: Optimization for improving profitability. Energy Conversion and Management, 2011.

ORDÓÑEZ, J.; JADRAQUE, E.; ALEGRE, J.; MARTÍNEZ, G. Analysis of the photovoltaic solar energy capacity of residential rooftops in Andalusia (Spain). Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 14,p. 2122 – 2130, 2010.

PEREIRA, E.; MARTINS, F; ABREU, S.; RÜTHER, R. (2006) Atlas Brasileiro de Energia Solar. INPE, São José dos Campos.

ROCHA, José Stênio. Análise do potencial de aplicação de sistemas híbridos como alternativa para eletrificação do meio rural: estudo de caso para Pentecoste-CE, p. 59, 61, 82. Dissertação de mestrado, MACFA/UECE, 2010.

SALAMONI, I.T.; RÜTHER, R. O potencial brasileiro da geração solar fotovoltaica conectada à rede elétrica: análise de paridade de rede. In: IX ENCONTRO NACIONAL E V LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2007, Ouro Preto. p. 1659.

Sistema Nacional de Dados Ambientais - SINDA. Disponível em: <http://sinda.crn2.inpe.br/pcda>. Acessado em Julho de 2012.

SOUSA, S. H., COSTA, Suzany S., SENA, Suzelle F. Análise do Processo de Evolução das Comunidades onde foi Implantado o Projeto SBF: Projeto de Bombeamento de Água a Energia Solar. GTZ/COELCE/Grupo de Assessoria Social (GAS). Período: Março/1991 a Fevereiro/1994. Fortaleza: Março de 1994, 180 p.