

## SENSORIAMENTO REMOTO NO PLANEJAMENTO DE PROJETOS DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO ESTADO DO MARANHÃO

**Francisco Emenson Carpegiane Silva Feitosa** – emenson.eng@gmail.com

**Frabrício Brito Silva** – fabricioagro@gmail.com

**Ramisa Cristina Rodrigues Belo** – ramisa.rodrigues@hotmail.com

**Jessflan Rafael Nascimento Santos** – jessflan@ymail.com

**Mayara Lucyanne Santos de Araújo** – mayara.araujo.eng@gmail.com

**Juliana Sales dos Santos** – julianasales.engenharia@gmail.com

Universidade Ceuma, Departamento de Engenharia Ambiental.

**Resumo.** *O uso do sensoriamento remoto e geoprocessamento têm sido utilizados para detecção de áreas com potencial de geração de energia renovável. O objetivo deste estudo foi desenvolver uma metodologia para utilização de dados provenientes de sensoriamento remoto para o planejamento de projetos de energia fotovoltaica no Estado do Maranhão. Foram utilizados dados de radiação obtidos na base global GLDAS e precipitação proveniente do satélite TRMM, no período de 2001 a 2014. Os dados de radiação foram processados através da técnica de análise de séries temporais denominada Análise de Componentes Principais (ACP). O potencial de produção de energia fotovoltaica foi simulado considerando um sistema de 20 módulos fotovoltaicos, cada um com potencial nominal de 45Wp. Uma análise de regressão linear foi realizada para avaliar a correlação entre radiação e precipitação. Por último, o teste de Mann Kendall foi executado para avaliar as tendências nos dados de radiação e precipitação. Através da ACP foram identificadas duas zonas homogêneas em relação à radiação, uma menor na região do extremo noroeste (bioma amazônico) e a maior na região norte-centroeste-sul do Estado, correspondendo ao bioma cerrado. A precipitação respondeu por 21,3% na variação anual da radiação na região da Amazônia e 31,2% na região correspondente ao cerrado. A região de cerrado apresentou os maiores valores de radiação solar, e os menores valores foram registrados na região da Amazônia. Pelo teste de Mann Kendall, a partir de 2001, houve uma tendência linear de aumento na média mensal de radiação solar incidente na região amazônica e cerrado, tanto no período seco quanto no chuvoso. As análises mostraram um cenário favorável para produção de energia solar no Estado do Maranhão, com reduzido risco climático devido à tendência no aumento da radiação, porém um aumento na precipitação pode ocasionar uma significativa queda na produção de energia.*

**Palavras-chave:** Energias Renováveis, Planejamento Energético, Mudanças Climáticas.

### 1. INTRODUÇÃO

Sensoriamento remoto e geoprocessamento (GIS) podem ser utilizados para avaliar o potencial de várias alternativas renováveis de energia, incluindo aspectos, tais como, a localização geográfica (Wang and Koch, 2010), a tecnologia utilizada para o aproveitamento de energias renováveis, a viabilidade econômica (De Vries et al, 2007), entre outros. A importância do GIS nesse tipo de avaliação tem sido destacada. Vários estudos concentraram-se em energia solar (Trieb, 2009), eólica (Hossain et al, 2011), a biomassa (Field et al, 2008) e a integração de várias outras fontes de energia renováveis (Resch et al, 2008), com a intenção de estimar o potencial de energia renovável em escala global e regional. Uma abordagem analítica tem sido usada por Grassi et al. (2012) utilizando GIS para identificar os locais adequados para projetos de energia eólica. Além disso, o sensoriamento remoto e GIS também têm sido utilizados para determinar o potencial de energia solar e identificar os locais ideais para implementação da tecnologia fotovoltaica e assim melhorar a eficiência dos projetos (Wang and Koch, 2010). Uma das principais contribuições das geotecnologias se deve ao fato de compensar a falta de instrumentos de medida em superfície em locais remotos como na Amazônia. Em comparação com as medições de outras variáveis meteorológicas, a medição da radiação solar apresenta o maior grau de incerteza (Moradi, 2009).

A energia solar fotovoltaica (PV), tecnologia usada para converter a radiação solar em eletricidade, tornou-se uma tecnologia viável e ganhou popularidade em todo o mundo na última década. A concorrência internacional, juntamente com anos de aperfeiçoamento na fabricação, pesquisa e desenvolvimento, resultou em melhoria da eficiência dos módulos fotovoltaicos, redução de custos e aumento de produtividade (Gong X, 2005). Em 2010, uma organização com sede em Bruxelas prevê que a capacidade fotovoltaica instalada acumulada global irá crescer pelo menos 40%, enquanto o crescimento anual deverá aumentar em mais de 15% (Mints, 2009). Em particular, a energia solar é vista como a fonte de energia renovável mais promissora devido aos benefícios que ela oferece (Weinrub, 2011) e da produção de energia proveniente do Sol que vem aumentando desde 1850 (Foukal, 1990; Francis e Hengeveld, 1998).

Em 2014, devido a um aumento de 7,171 MW, a capacidade instalada de geração de eletricidade do Brasil atingiu 133,914 MW, os quais parques eólicos e solares foram responsáveis por 37,6% desse aumento (EPE, 2015). A

capacidade instalada de energia elétrica a partir do Sol irá representar cerca de 4% da produção total do Brasil em 2024. Atualmente, PV representa 0,02% da energia elétrica do país (MME, 2015).

A radiação solar global é determinada pelos fatores astronômicos (por exemplo, declinação solar, comprimento do dia), por propriedades atmosféricas (incluindo nebulosidade, vapor de água e aerossol) e em menor medida pelas condições da superfície. A partir destes fatores nebulosidade é o componente mais ativo do fluxo de radiação solar do sistema Terra-Atmosfera (Salby, 1996), refletindo cerca de 30% da radiação solar incidente para o espaço, reduzindo assim o balanço de energia da superfície. As nuvens são o maior modulador de fluxo solar radiativo que atinge a superfície da Terra causado por sua variabilidade espacial e temporal (Dubayah e Loechel, 1997).

A energia fotovoltaica contribui na redução da emissão de gases de efeito estufa, no entanto, possui riscos econômicos ligados às variações climáticas. A natureza e as atividades humanas liberam emissões atmosféricas que mudam a sua composição perturbando o equilíbrio entre a energia radiante de entrada e saída, produzindo assim, uma mudança climática significativa (Karl et al, 1997; Liepert, 2002; Liepert e Tegen, 2002).

As alterações climáticas têm consequências diretas, como alterações na frequência e na distribuição das chuvas, aumentando as ocorrências de eventos climáticos extremos (Karl et al., 1996). Mudanças na precipitação média em um mundo mais quente irão apresentar variação espacial substancial, algumas regiões irão experimentar aumentos, outras regiões irão experimentar quedas e outros ainda não irão sentir mudanças significativas (IPCC, 2013). Um estudo da variabilidade do clima ao longo do tempo no Brasil mostra que, dependendo da região analisada, alterações contínuas podem ocorrer ou ciclos bem demarcados a partir de elementos meteorológicos, tais como temperatura e precipitação (Pinto et al., 2003). Em conclusão, a precipitação representa um componente negativo no balanço de radiação incidente no planeta (Harison et al., 1990).

Portanto, o foco do presente estudo é estimar os valores de radiação solar incidente e verificar o quanto os valores de precipitação interferem na radiação solar incidente no estado do Maranhão.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de radiação solar incidente na superfície e precipitação utilizados neste estudo foram obtidos a partir da base de dados Global Land Data Assimilation System - GLDAS e Tropical Rainfall Measuring Mission - TRMM, respectivamente. As séries temporais foram analisadas anualmente e sazonalmente - dezembro a maio (período chuvoso) e junho a novembro (período seco) - os dados utilizados neste trabalho são as médias mensais diárias da radiação solar ( $\text{Wh.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ ) e as médias mensais de precipitação ( $\text{mm.h}^{-1}$ ) do estado do Maranhão, com uma série temporal de 14 anos entre 2001 e 2014.

Com o objetivo de reduzir a dimensionalidade dos dados, para representar a variabilidade espacial máxima e identificar áreas homogêneas, os dados de radiação foram processados através da técnica de análise de séries temporais chamado Análise de Componentes Principais (ACP). Através da técnica de ACP foram identificadas duas zonas homogêneas em relação à radiação, localizada na região noroeste do estado (bioma Amazônia, Zona 1) e na região Norte-Centro-Oeste-Sul do Estado, correspondente ao bioma Cerrado (Zona 2). Em seguida, as médias mensais de radiação e precipitação foram estimados a partir das zonas identificadas.

A análise de regressão linear foi utilizada para caracterizar as relações entre a radiação solar incidente e a precipitação. Para a verificação de tendências lineares nas séries temporais, o teste de Mann-Kendall foi usado com um nível de confiança de 10%, teste de Mann Kendall's (Kendall, 1955).

No dimensionamento de um sistema fotovoltaico deve ser considerado a condição da potência nominal necessário ou desejado. Outro fator importante é o cálculo do número de módulos fotovoltaicos  $N$  necessários para atender a potência nominal do gerador calculado anteriormente ou estipulado. O cálculo leva em conta o poder nominal total da instalação fotovoltaica  $P_t$  em  $W_p$  (Watt pico), e a potência nominal de cada painel  $P_p$ , também em  $W_p$  (Eq. 1).

$$N = P_t / P_p \quad (1)$$

Através do somatório dos valores diários mensais da radiação incidente, foi determinado o número total de horas de Sol pleno ( $H$ ), isto é, o número de horas que a radiação solar deve permanecer constante a  $1000 \text{ W.m}^{-2}$  de energia solar irradiada (Eq. 2) (Gtes, 1999).

$$H = R_t / 1000 \quad (2)$$

Onde  $R_t$  é a radiação solar diária incidente ( $\text{kWh.m}^{-2}$ ).

A energia produzida pelo arranjo de módulos fotovoltaicos é calculada usando a seguinte equação:

$$E_p = P_t \cdot H \cdot \eta T \quad (3)$$

Onde  $E_p$  representa a energia produzida (em kW),  $\eta T$  é fator de eficiência do conversor. Considerou-se que o inversor possui um fator de eficiência de 93%. Neste trabalho foi utilizada como exemplo o módulo fotovoltaico com uma potência nominal de modelo 45W<sub>p</sub> KC-50T produzida pela fabricante Kyocera, resultando na necessidade de se usar um arranjo de 20 módulos com uma potência nominal total de 900 W<sub>p</sub>.

Neste estudo não serão incluídos os preços de componentes e materiais, devido à viabilidade econômica não ser o objetivo deste artigo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A radiação solar média mensal ao longo dos anos de 2001 a 2014 foi estimado para cada zona como resultados da ACP (Fig. 1). Na zona 1 (bioma Amazônia) a radiação solar média mensal mínima estimada foi de  $5,0 \text{ kWh.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  em janeiro, fevereiro e abril e  $5,2 \text{ kWh.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  para a zona 2 (bioma cerrado) em janeiro e fevereiro. A máxima na zona 1 foi registrado em agosto e setembro (período seco) com  $6,1$  e  $6,2 \text{ kWh.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ , respectivamente, e na zona 2 foram registrados  $6,4 \text{ kWh.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  em agosto e  $6,7 \text{ kWh.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  em setembro.

De acordo com o resultado, os valores máximos de radiação solar incidente foram observados na estação seca e os valores mínimos no período chuvoso nas regiões da Amazônia e Cerrado. Uma maior variação diária da nebulosidade pode explicar essa variação (Filho et al, 2006). Na estação seca ocorre um menor número de nebulosidade, na estação chuvosa, em áreas de densa floresta amazônica, a cobertura de nuvens é considerada um fator significativo para diminuir a incidência da radiação (Rocha et al., 2004).

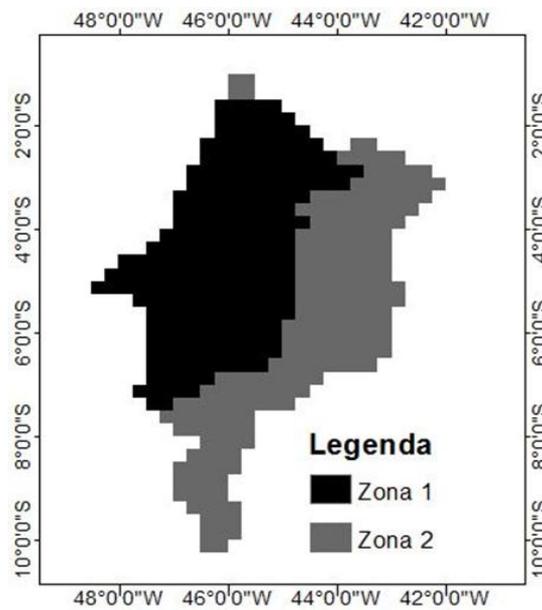


Figure 1 - Mapa de zoneamento da radiação mensal no estado do Maranhão.

A partir do arranjo de módulos fotovoltaicos utilizados para estimar a energia gerada em cada zona ( $900 \text{ Wp}$ ), no que diz respeito às análises anuais (Fig. 2), mostram que para todos os anos, a produção total de energia foi maior no bioma cerrado (zona 2) do que no bioma Amazônia, correspondente a zona 1. Em 2001, foi observado a maior produção de energia elétrica, cerca de  $1,9 \text{ MWh.ano}^{-1}$  na zona 2 e  $1,86 \text{ MWh.ano}^{-1}$  na zona 1, os menores valores foram registrados em 2003, na zona 1 foi observada cerca de  $1,53 \text{ MWh.ano}^{-1}$  e  $1,64 \text{ MWh.ano}^{-1}$  para a zona 2. Em 2014 pode ser observado excelentes valores da produção de eletricidade, acima de  $1,7 \text{ MWh.ano}^{-1}$  para a zona 1 e zona 2.

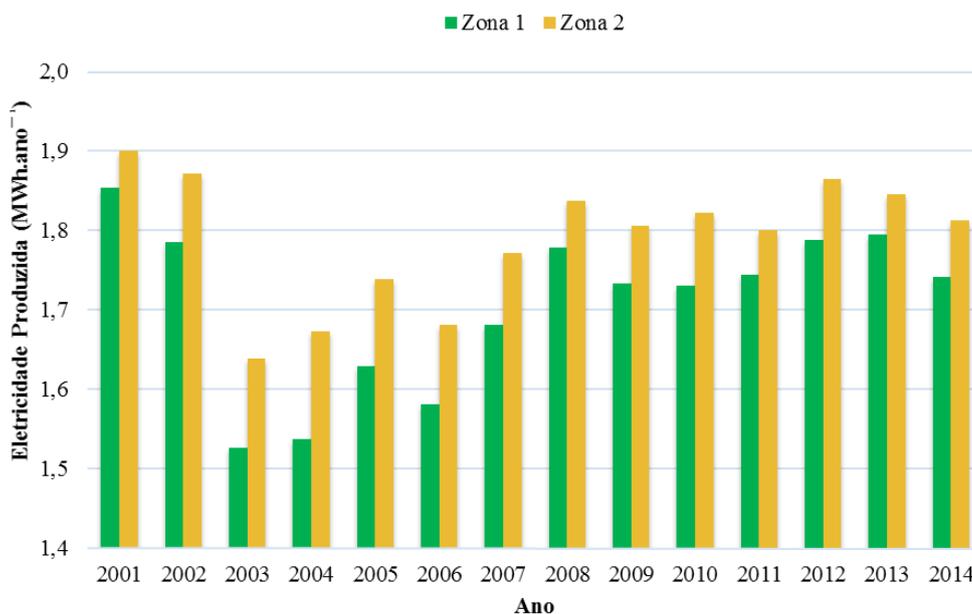


Figure 2 - Geração de energia solar (2001 a 2014).

Em relação a produção média mensal de eletricidade em 2014, os resultados mostraram que a eletricidade produzida em cada zona pode fornecer o consumo médio mensal típico de uma residência no estado do Maranhão durante todo o ano. Com isso a diferença entre a demanda de eletricidade e de energia gerada é um total de 368 kWh na zona 2 e 297 kWh correspondente a zona 1 (Fig. 3).

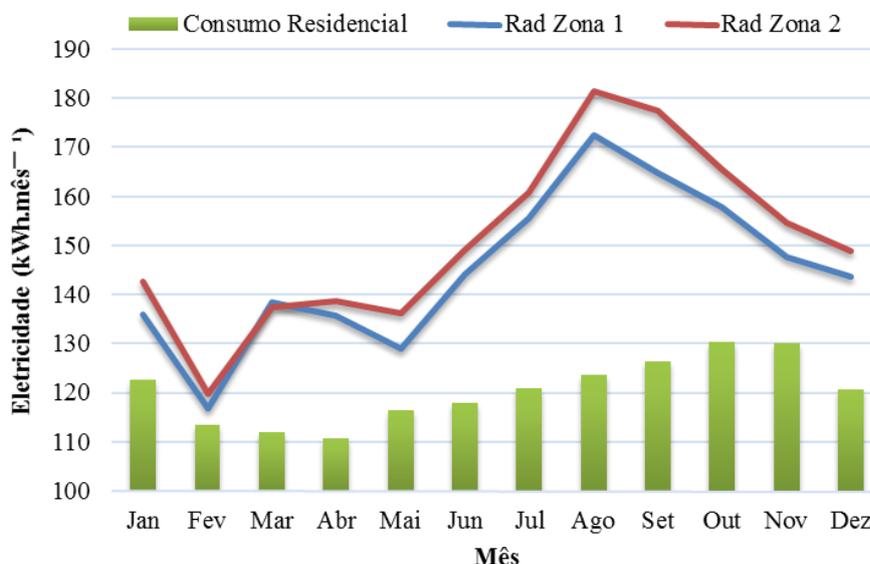


Figure 3 - Comparação entre a energia gerada e o consumo médio residencial no estado do Maranhão no ano de 2014.

A figura 4 apresenta os valores médios mensais de radiação solar incidente ( $\text{Wh.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ) e precipitação ( $\text{mm.h}^{-1}$ ) estimados ao longo do ano. Os maiores valores de precipitação ocorrem entre janeiro e abril (período chuvoso), nestes meses foram medidos os menores valores de radiação solar. Após este período, é observado aumento nos valores de radiação. Em agosto e setembro, verificam-se os máximos valores de radiação solar, consequentemente, nestes meses ocorrem os valores mínimos de precipitação (período seco), ou seja, os maiores valores de radiação solar ocorrem quando os valores de precipitação são os mais baixos e o contraste é observado, esse fator é devido às nuvens que são os maiores modificadores da radiação solar na superfície (Liepert, 2002; Stanhill e Cohen, 2005; Wild et al., 2005).

Na zona 2 foram estimados as maiores quantidades de radiação solar e os menores valores de precipitação durante todo o ano, em comparação com a zona 1, pois no bioma amazônico ocorre menor pressão atmosférica, portanto essa região tende a possuir maior incidência de precipitação.

Para os meses de fevereiro e março, houve um aumento gradual no incidente radiante energia solar de um mês em relação ao outro, com uma diminuição significativa em abril. Essas diferenças estão relacionadas a mudanças na declinação do Sol durante todo o ano, o que está associado a um conjunto de fatores astronômicos como o movimento de translação e a inclinação do eixo da Terra (Varejão-Silva, 2006).

O grande aumento dos valores de radiação entre os meses de maio e setembro, observadas em ambas as regiões, deve-se à transição entre a estação chuvosa e a estação seca, e que indica possibilidade de céu com poucas nuvens e temperaturas elevadas. A partir do mês de outubro esses valores decrescem até atingirem seus valores mínimos em janeiro e fevereiro.

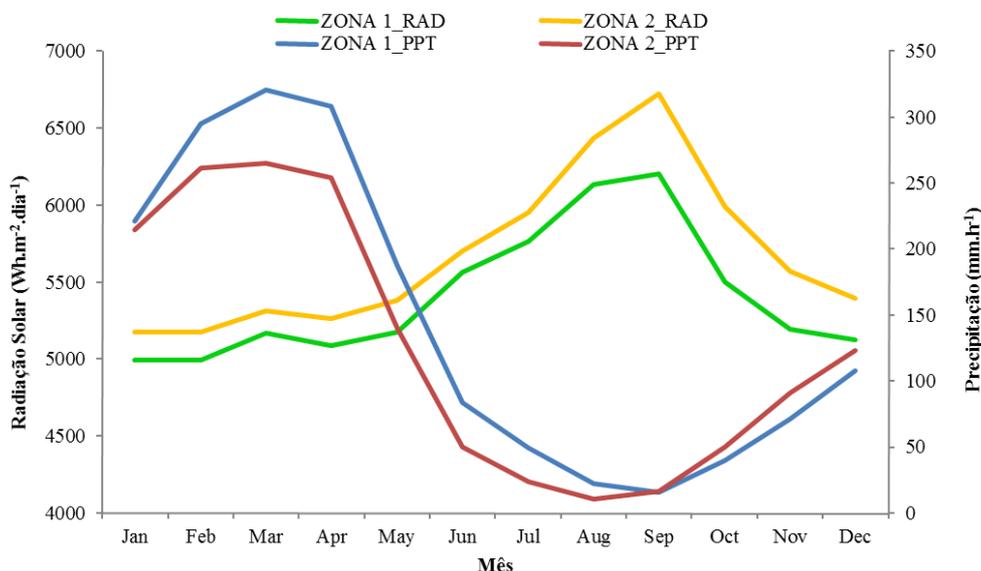


Figure 4 - Variação das médias mensais de radiação incidente e precipitação.

Considerando a correlação entre a precipitação e a radiação solar incidente, os valores de radiação diminuem com o aumento dos valores de precipitação. De acordo com análise anual, a precipitação representou 21,3% de variação nos dados de radiação na zona 1 (bioma Amazônia) ( $r^2 = 0,2128$ ), 14,4% no período seco ( $r^2 = 0,1438$ ) e em relação à estação chuvosa apenas 2,53% ( $r^2 = 0,0253$ ) de correlação com a radiação solar (Fig. 5). Em relação a série anual a cada aumento de 10 mm nos dados de precipitação/mês correspondeu a uma diminuição de  $18,9 \text{ W.m}^{-2}$ , produzindo  $11,8 \text{ kWh.m}^{-1}$  a menos na geração de energia na Amazônia. Na estação seca, se a precipitação excede 10 mm por mês, a quantidade de radiação reduzirá  $3,80 \text{ W.m}^{-2}$ , resultando em  $2,4 \text{ kWh.m}^{-1}$  a menos de energia produzida e  $0,40 \text{ W.m}^{-2}$  na estação chuvosa, estimando-se  $0,25 \text{ kWh.m}^{-1}$  a menos de energia gerada.

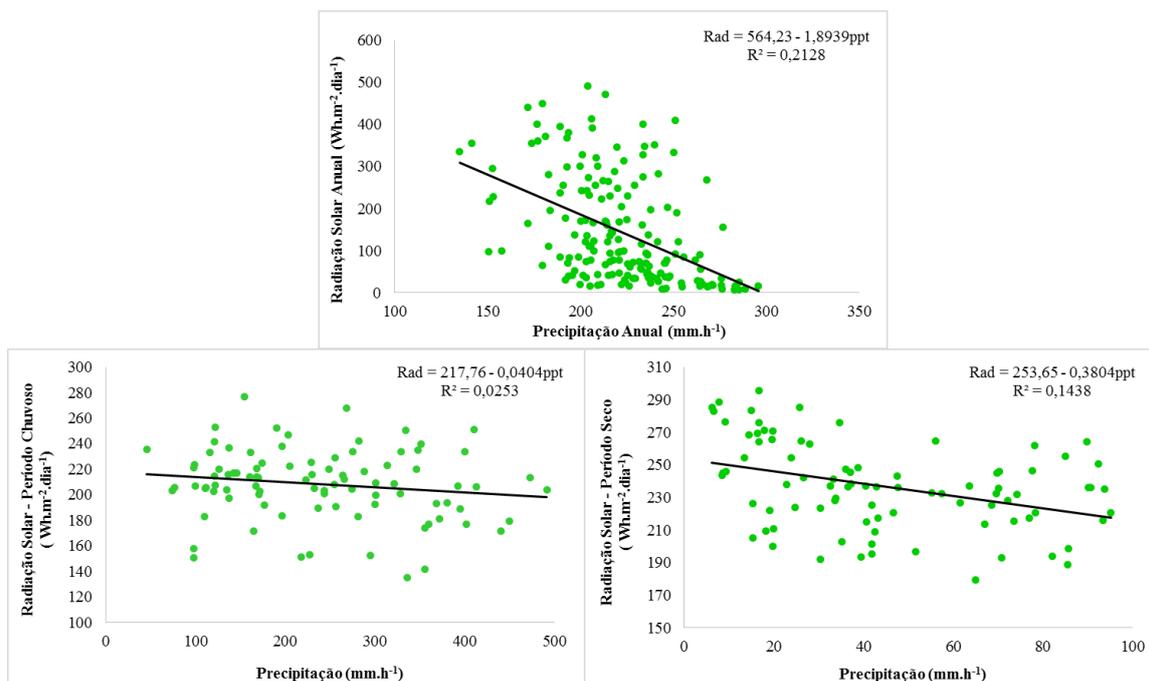


Figure 5 - Correlação da radiação solar com a precipitação na zona 1.

No bioma cerrado, no período anual analisado a precipitação correspondeu por 31,2% ( $r^2 = 0,3122$ ) da variação dos valores da radiação incidente, 34,2% ( $r^2 = 0,3418$ ) no período seco e 10,2% em relação ao período chuvoso. Analisando estas correlações, na região do cerrado, a cada 10 mm de aumento na precipitação/mês foi estimado uma queda de  $19,9 \text{ W.m}^{-2}$ , produzindo  $12,4 \text{ kWh.h}^{-1}$  a menos na geração de energia, na estação seca foi identificado um decréscimo de  $6,29 \text{ W.m}^{-2}$ , gerando  $3,91 \text{ kWh.h}^{-1}$  a menos de energia produzida e na estação chuvosa foi medido uma diminuição de  $0,92 \text{ W.m}^{-2}$ , produzindo  $0,57 \text{ kWh.h}^{-1}$  a menos na energia produzida (Fig. 6). A correlação entre a radiação e a precipitação foi mais alta na zona 2, devido à chuva nesta região ter uma menor variabilidade climática do que na zona 1, contudo outros fatores (cobertura de nuvens, vapor de água, aerossóis, etc) também podem explicar essa diferença.

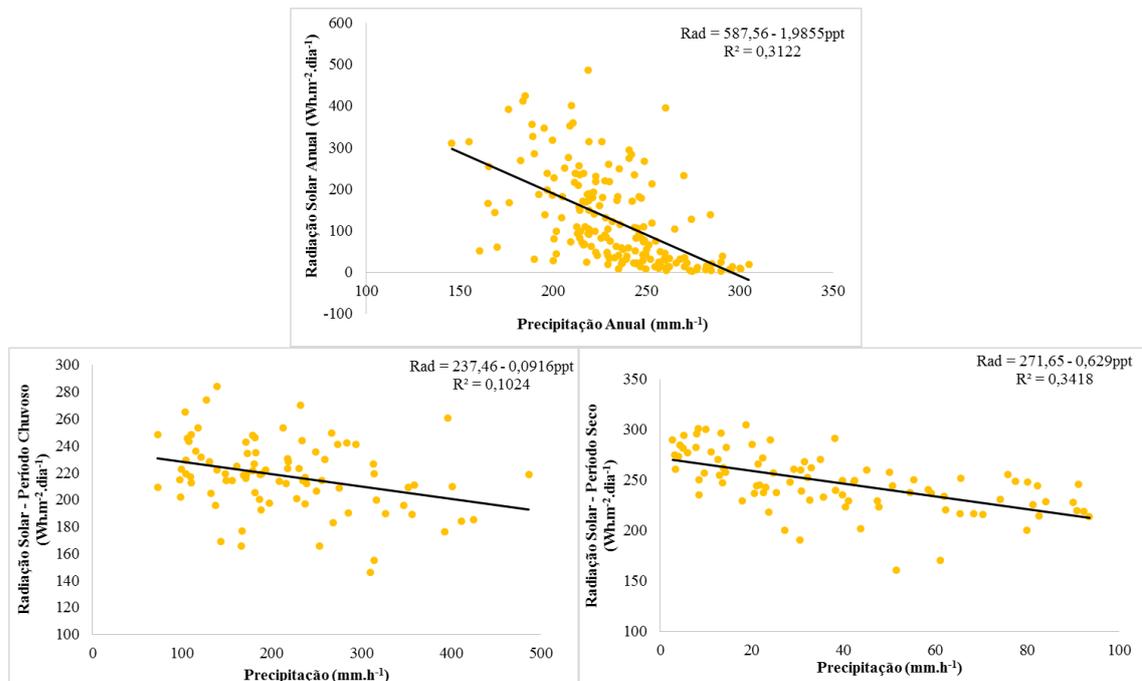


Figure 6 - Correlação da radiação solar com a precipitação na zona 2.

Usando o método de Mann Kendall, os dados de radiação solar e precipitação foram analisados anualmente e sazonalmente, na zona 1 e 2. Para a precipitação, as tendências da precipitação média mensal em relação aos meses mostraram-se negativas, porém com tendência linear pequena e não significativa ( $p > 0,1$ ). Hastenrath & Greischar (1993) e Silva et al. (1998) também não identificaram tendências significativas na precipitação na região nordeste do Brasil para estações úmidas ou secas. No entanto, a precipitação nesta região é bastante sensível à valores extremos de temperatura da superfície do mar no Pacífico Equatorial associado com ENOS, como as anomalias na temperatura da superfície do oceano Atlântico relacionada com as anomalias na temperatura dipolo da superfície do oceano Atlântico (Moura & Shukla 1981).

No que diz respeito a radiação solar anual e sazonal em relação aos meses (tabela 1), as tendências mostraram-se positivas (com uma direção comum) e significativas ( $p < 0,1$ ). Para a análise de radiação solar anual na zona 1, o teste mostrou um desvio padrão de 29,9%, o valor mínimo foi de  $135,0 \text{ W.m}^{-2}$  e o máximo de  $295,7 \text{ W.m}^{-2}$ . Para a zona 2, ocorreu um desvio padrão de 30,6%,  $146,0 \text{ W.m}^{-2}$  o valor mínimo e  $305,0 \text{ W.m}^{-2}$ , o valor máximo.

Tabela 1 - Tendências lineares e significância para cada zona e período da radiação solar incidente na superfície utilizando o teste de Mann Kendall.

Zona	Duração		Anual		Período Chuvoso		Período Seco	
	Íncio	Fim	Tendência Linear	Kendall's tau	Tendência Linear	Kendall's tau	Tendência Linear	Kendall's tau
1	2001	2014	0,0057	0,2173	0,0058	0,3154	0,0046	0,1836
2	2001	2014	0,0051	0,1651	0,0046	0,2847	0,0046	0,2227

#### 4. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados, houve uma tendência linear de aumento nos dados de radiação solar. Sobre a variação dos valores de radiação solar ao longo do ano, sugerimos que as principais causas são o aumento da

nebulosidade e vapor de água na estação chuvosa. Os valores mais elevados de radiação observados na zona 2 podem gerar subsídios na formulação de planejamentos para a instalação de usinas solares na região. No entanto, esta zona possui uma maior porcentagem de variação em relação a precipitação. Além disso, mais pesquisas são necessárias, bem como melhores medidas experimentais para avaliação da radiação solar incidente na superfície e precipitação (como pluviômetro padrão), pois essas variáveis reagem de maneira diferentes às condições astronômicas e climáticas.

## REFERÊNCIAS

- De Vries BJM, Van Vuuren DP, Hoogwijk MM. Renewable Energy Sources: their global potential for the first-half of the 21st century at a global level: an integrated approach. *Energy Policy* 2007;35(4):2590-610.
- Dubayah, R., Loechel, S., 1997. Modeling topographic solar radiation using GOES data. *J. Appl. Meteorol.* 36, 141–154.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética), 2015. Balanço Energético Nacional, ano base 2014. Ministério de Minas de Energia, Brasília, 2015.
- Field CB, Campbell JE, Lobell DB. Biomass energy: the scale of the potential resource. *Trends Ecol Evol* 2008;23(2):65-72.
- Filho, J. D. C. S.; Ribeiro, A.; Costa, M. H.; Cohen, J. C. P.; Rocha, E. J. P. Variação sazonal do balanço de radiação em uma floresta tropical no nordeste da Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3b, 318-330, 2006.
- Foukal, P., Lean, L., 1990. An empirical model of total irradiance variation between 1874 and 1988. *Science* 247, 556–558.
- Francis, D., Hengeveld, H., 1998. Climate change digest: extreme weather and climate change. Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario, Canada. Cat. No. En57-27/1998-01E.
- Grassi S, Ndaona C, Abhari RS. Large scale technical and economical assessment of wind energy potential with a GIS tool: case study Iowa. *Energy Policy* 2012; 45:73-85.
- Grupo De Trabalho De Energia Solar. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. [Rio de Janeiro: GTES, 1999.
- Gong X, Kulkarni M. Design optimization of a large scale rooftop photovoltaic system. *Solar Energy* 2005;78(3):362e74.
- Harison, E.F., Minnis, P., Barkstrom, B.R., Ramanathan, V., Cess, R.D., Gibson, G.G., 1990. Seasonal variation of cloud radiative forcing derived from the earth radiation budget experiment. *J. Geophys. Res.* 95, 18687–18703.
- Hastenrath, S., Greischar, L. Further work of Northeast Brazil rainfall anomalies. *J. Climate*, n. 6, p. 743-758, 1993.
- Hossain J, Sinha V, Kishore WN. A GIS based assessment of potential for windfarms in India. *Renew Energy* 2011;36(12):3257-67.
- IPCC. (2013). In T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P. M. Midgley (Eds.), *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (pp. 1535). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Karl, T. R.; Knight, R. W.; Easterling, D. R.; Quayle, R. G. Indices of climate change for the United States. *American Meteorological Society Bulletin*, Boston, v. 77, n. 2, p. 279-292, 1996.
- Karl, T.R., Nicholls, N., Gregory, J., 1997. The coming climate. *Sci. Am.* 276, 78–83.
- Kendall, M. G. (1955), *Rank Correlation Methods*, 2nd ed., Charles Griffin, London.
- Li, Z., Barker, H. W., & Moreau, L. (1995). The variable effect of clouds on atmospheric absorption of solar radiation. *Nature*, 376(10), 486–490.
- Liepert, B.G., 2002. Observed reductions of surface solar radiation at sites in the United States and worldwide from 1961 to 1990. *Geophys. Res. Lett.* 29 (10), 1421, doi:10.1029/2002GL014910.
- Liepert, B.G., Tegen, I., 2002. Multidecadal solar radiation trends in the United States and Germany and direct tropospheric aerosol forcing. *J. Geophys. Res.* 107, 4153, doi:10.1029/2001JD000760.
- Mints P. EPIA: market installed 7.2 GW of PV in 2009. *Renewable Energy Focus* 2010; 11:14e7.
- MME (Ministério de Minas e Energia), 2015. Plano Decenal de Energia Elétrica 2024. BRASIL/MME, Brasília, 2015.
- Moradi, I., 2009. Quality control of global solar radiation using sunshine duration hours. *Energy* 34, 1–6.
- Moura, A.D., Shukla, J. On the dynamics of the droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *J. Atmos. Sci.*, n.38 12), p.2653-2673, 1981.
- Pinto, S.A. et al. Variabilidade climática. In: Hamada, E. (Ed.). *Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003.
- Resch G, Held A, Faber T, Panzer C, Toro F, Haas R. Potentials and prospects for renewable energies at global scale. *Energy Policy* 2008;36(11):4048-56.
- Rocha, H. R.; Golden, M. L.; Miller, S. D.; Menton, M. C.; Pinto, L. D.V. O.; Freitas, H.C.; Figueira, A. M. S. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical Forest in eastern Amazônia. *Ecological Applications*. v. 14, p. S22-S32, 2004.
- Salby, L.M., 1996. In: *Fundamentals of Atmospheric Physics*. International Geophysics Series, 61. Academic Press, San Diego.
- Silva, V. P. R.; Correia, A. A.; Coelho, M. S. Análise de tendência das séries de precipitação pluvial do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.2, n.1, p.111-114, 1998.

- Stanhill, G., Cohen, S., 2001. Global dimming: a review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences. *Agric. Forest Meteorol.* 107, 255–278.
- Trieb F, Schllings e, O'Sullivan M, PreggerT, Hoyer-Klick e. Global potential of concentrating solar power. Berlin: SolarPaces Conference; 2009.
- VAREJÃO - SILVA, M.A. Meteorologia e Climatologia. Versão digital 2. Recife, PB, março, 463p. 2006.
- Wang S, Koch B. Determining profits for solar energy with remote sensing data. *Energy* 2010;35(7):2934-8.
- Weinrub, A. 2011. "Community Power: Decentralized Renewable Energy in California". Local Clean Energy Alliance. Available at: [http://www.localcleanenergy.org/files/Community\\_Power\\_Publication\\_Online-3.pdf](http://www.localcleanenergy.org/files/Community_Power_Publication_Online-3.pdf).
- Wild, M., Gilgen, H., Roesch, A., Ohmura, A., Long, C.N., Dutton, E.G., Forgan, B., Kallis, A., Russak, V., Tsvetkov, A., 2005. From dimming to brightening: decadal changes in solar radiation at earth's surface. *Science* 308, 847–850.

## REMOTE SENSING IN PLANNING RENEWABLE ENERGY PROJECTS IN THE MARANHÃO STATE

**Abstract.** *The use of remote sensing and GIS have been used to detect areas of potential renewable energy generation. The objective of this study was to develop a methodology for use of data from remote sensing in planning photovoltaic energy projects in the State of Maranhão. Solar radiation data was obtained from global basis GLDAS and rainfall from the TRMM satellite, from 2001 to 2014. The radiation data were processed through the time series analysis technique called Principal Component Analysis (PCA). The photovoltaic power generation potential was simulated considering 20 photovoltaic module system, each one with a nominal power of 45Wp. A regression analysis was performed to evaluate the correlation between radiation and precipitation. Finally, the Mann Kendall's test was performed to evaluate trends in radiation and precipitation data. By PCA were identified two homogeneous zones in relation to radiation, lower in the far northwest region (Amazon biome) and the largest in North midwest-south region of the state, corresponding to the Savanna. Rainfall represented 21.3% in the annual variation of radiation in the Amazon region and 31.2% in the region corresponding to Savanna. The Savanna region showed the highest solar radiation values and the lowest values were recorded in the Amazon region. By Mann Kendall test, starting in 2001, there was a positive linear trend of increase in the monthly average incident solar radiation in the Amazon region (Kendall's tau = 0.2173,  $p < 0.0001$ ) and in the Savanna region (Kendall's tau = 0.1651,  $p = 0.0011$ ). Analyses showed a favorable scenario for the production of solar energy in the state of Maranhao, with a low climate risk due to the trend in increased radiation, but an increase in rainfall can cause a significant drop in energy production.*

**Key words:** *Renewable Energy, Energy Planning, Climate Change.*