



SAZONALIDADE DA IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL MÉDIA MENSAL E DA TRANSMISSIVIDADE ATMOSFÉRICA EM MATA GRANDE/AL, BRASIL

CÍCERO M. SANTOS¹; ERICO T. TERAMOTO²; LUDMILA A. FUKUNAGA³; LUCAS C. LENZ⁴.

1 Licenciado em Física, Doutorando em Agronomia, Depto. de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu – SP, Fone: (0 xx14) 3880 7162, ciceromanoel2007@gmail.com.

2 Eng. Agrícola, Doutorando em Agronomia, Depto. de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu – SP.

3 Agrônoma, Mestranda em Agronomia, Depto. de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu - SP.

4 Graduando em Agronomia, Depto. de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu - SP.

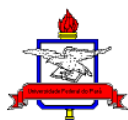
Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 06 de Setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos Benedito Silva Nunes, Universidade Federal do Para, Belém, PA.

RESUMO - O conhecimento da variação sazonal da irradiância solar global (R_g) é fundamental para diversas áreas de estudos: agricultura, estudos climáticos e energia renovável. Este trabalho objetivou caracterizar a variabilidade sazonal da irradiação solar global média mensal (H_g^m) e da transmissividade atmosférica diária (k_t^d) em Mata Grande/AL. Os dados utilizados foram diários, no período de 2007 a 2010. A elaboração dos gráficos foi por intermédio de programas estatísticos Origin 6.0[®]. Como resultado, a estação seca mostrou maior incidência de H_g^m , pois é o período com menor formação de nuvens convectivas e menor declinação solar. A estação chuvosa mostrou menor incidência de H_g^m , onde a redução está associada à maior concentração de vapor d'água na atmosfera e maior declinação solar. As condições de céu parcialmente nublado e parcialmente nublado tendendo ao limpo apresentaram as maiores frequências diárias. Os gráficos temáticos obtidos possibilitaram a visualização da variabilidade sazonal da H_g^m e k_t^d .

PALAVRAS – CHAVE: Sertão de Alagoas, Radiação solar, condições de céu.

SEASONALITY OF THE AVERAGES MONTHLY GLOBAL SOLAR IRRADIATION AND OF THE ATMOSPHERIC TRANSMISSIVITY IN MATA GRANDE/AL, BRAZIL

RESUMO - Knowledge of the seasonal variation of global solar irradiance (R_g) is fundamental to many areas of study: agriculture, renewable energy and climate studies. This study aimed to characterize the seasonal variability of monthly average global solar irradiation (H_g^m) and daily atmospheric transmissivity (k_t^d) in Mata Grande/AL. The used data were daily values, measured in the period of 2007-2010. The preparation of the graphs was by the statistical program Origin 6.0[®]. As a result, the dry season showed a higher incidence of H_g^m , because it is the period with less formation of convective clouds and lower solar declination. The rainy season showed lower incidence of H_g^m , where the reduction is





associated with a higher concentration of water vapor in the atmosphere and increased solar declination. The sky conditions partly cloudy and partly cloudy tending to clean had the highest daily frequencies. The themed graphics obtained enabled the visualization of the seasonal variability of the H_g^m and k_t^d .

KEYWORDS: Hinterland of Alagoas, Solar radiation, sky conditions.

INTRODUÇÃO

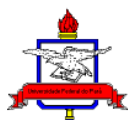
O conhecimento da irradiância solar global (R_g) nas condições de céu com nuvens e sem nuvens é de grande interesse para aplicações em inúmeras áreas de estudo: na agricultura, mudanças climáticas e, principalmente, energia renovável (POLO et al, 2009). Além de sua importância nos processos fotossintéticos e evapotranspiração das culturas, a R_g é variável essencial nos modelos computacionais que simulam o crescimento e a produtividade potencial dos cultivos agrícolas (JONES et al., 1986; HENG et. al., 2009). Nos estudos climáticos, a R_g é a principal variável na forçante do clima na terra. O estudo da R_g sob um céu sem nuvens é muito importante na utilização em sistemas solares que utilizam concentradores, painel fotovoltaico ou aquecedores (CHAÂBANE, 2008). Outra variável importante em estudos referente à R_g é a transmissividade atmosférica (k_t), que indica o grau de cobertura de nuvens do céu (condições de céu nublado, parcialmente nublado ou limpo). Segundo Iqbal (1983) na condição de céu limpo, as amplitudes da R_g sobre a superfície ocorrem devido à atenuação na atmosfera e na condição de céu nublado, as nuvens são os fatores responsáveis pela redução. Ricieri (1998) definiu metodologias para obtenção do tipo de transmissividade atmosférica diária (k_t^d) para Botucatu – SP e Cascavel-PR. Souza et al., (2012), propuseram 5 intervalos de cobertura de céu para classificar k_t^d em locais do Estado de Alagoas. Sendo assim, este trabalho visa demonstrar a variação sazonal da irradiância solar global média mensal (H_g^m) e da transmissividade atmosférica diária (k_t^d), no período de 2007 a 2010 em Mata Grande (9,0°7,0'15,6"S e 37,0°44,0'9,6"W) localizada no Sertão do Estado de Alagoas, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de irradiância solar global (R_g), foram medidos no período de janeiro de 2007 a dezembro de 2010 numa estação meteorológica convencional instalada na região de Mata Grande (9,0°7,0'15,6"S e 37,0°44,0'9,6"W), situada no Sertão do Estado de Alagoas – Brasil. A região possui clima semiárido e megatérmico, com altitude e precipitação média de 620 mm e 1131,5 mm, respectivamente. Os dados foram medidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e fornecidos pelo Grupo de Radiação Solar e Terrestre da DSA/CPTEC/INPE. Os dados foram fornecidos em R_g e posteriormente integrados para irradiância solar global diária (H_g^d). Dados duvidosos, falhas relacionadas com o período de calibração e mau funcionamento dos sensores foram removidos. A integração da irradiância solar global diária (H_g^d) [Eq.1] e a irradiância solar global média mensal (H_g^m) [Eq.2], foram obtidos a partir de:

$$H_g^d = \int_{t_0}^{t_f} R_g \quad (1)$$

$$H_g^m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_g^d \quad (2)$$





em que N é o número de dias do mês, t_0 corresponde ao período da manhã (início de registro de R_g) e t_f período da tarde (último registro). A irradiação solar global diária que chega ao topo da atmosfera (H_o^d) foi obtida de acordo com Iqbal (1983). A transmissividade atmosférica diária (k_t^d), Eq. (3), foi obtida através da razão entre a irradiação solar global diária (H_g^d) e a irradiação solar global diária no topo da atmosfera (H_o^d):

$$k_t^d = \frac{H_g^d}{H_o^d} \quad (3)$$

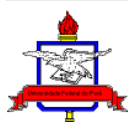
Na caracterização das condições atmosféricas adotou-se a metodologia descrita por (SOUZA et al., 2012), dias nublados com ($k_t^d \leq 0,30$), dias nublados tendendo a parcialmente nublados ($0,30 < k_t^d \leq 0,40$), dias parcialmente nublados ($0,40 < k_t^d \leq 0,60$), dias parcialmente nublados tendendo a limpos ($0,60 < k_t^d \leq 0,69$) e dias limpos com o intervalo de ($0,69 > k_t^d$). Segundo os autores, a classificação resultou de análise climática e dinâmica da atmosfera local. As curvas de (H_g^m) e (k_t^d) foram geradas por intermédio de programas estatísticos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sazonalidade da irradiação solar global média mensal

A variação da irradiação solar global média mensal (H_g^m), para os anos de 2007, 2008, 2009 e 2010, em Mata Grande é mostrada nas Figuras 1a, 1b, 1c e 1d, respectivamente. Observou-se uma variação sazonal com máximos valores na estação seca (janeiro, fevereiro, março, setembro, outubro, novembro e dezembro) e mínimos no período chuvoso (abril, maio, junho, julho e agosto). Obviamente, isto coincide com a estação chuvosa e com a maior declinação solar, mostrando dependência sazonal. O aumento de nuvens na atmosfera tende a refletir mais radiação para a atmosfera [aumentando a incidência da irradiação solar difusa (H_d) e reduzindo a direta (H_p)].

Obteve-se para o ano de 2007 (Figura 1a) valor máximo de ($H_g^m = 24,01 \pm 3,24 \text{ MJm}^{-2}$) em novembro, mínimo ($H_g^m = 14,38 \pm 3,86 \text{ MJm}^{-2}$) em junho, com média de $15,88 \pm 4,12 \text{ MJm}^{-2}$ e $21,51 \pm 4,08 \text{ MJm}^{-2}$ nas estações chuvosa e seca, respectivamente. Na Figura 1b ocorre menor incidência de H_g^m em Junho ($13,56 \pm 5,30 \text{ MJm}^{-2}$), máximo de ($24,85 \pm 2,50 \text{ MJm}^{-2}$) em novembro, com média de $15,90 \pm 4,87 \text{ MJm}^{-2}$ na estação chuvosa. Estes resultados estão condicionados a dinâmica da atmosfera local e a astronomia solar. O diferencial energético entre as irradiações de 2007 e 2008 indica que ocorreu aumento em H_g^m nos meses de fevereiro ($2,07 \pm 0,10 \text{ MJm}^{-2}$), abril ($0,43 \pm 0,89 \text{ MJm}^{-2}$), agosto ($1,62 \pm 0,41 \text{ MJm}^{-2}$), setembro ($0,96 \pm 0,21 \text{ MJm}^{-2}$), novembro ($0,83 \pm 0,74 \text{ MJm}^{-2}$) e dezembro ($0,71 \pm 0,09 \text{ MJm}^{-2}$). Enquanto nos demais meses houve redução na incidência de H_g^m quando compara-se 2007 e 2008.



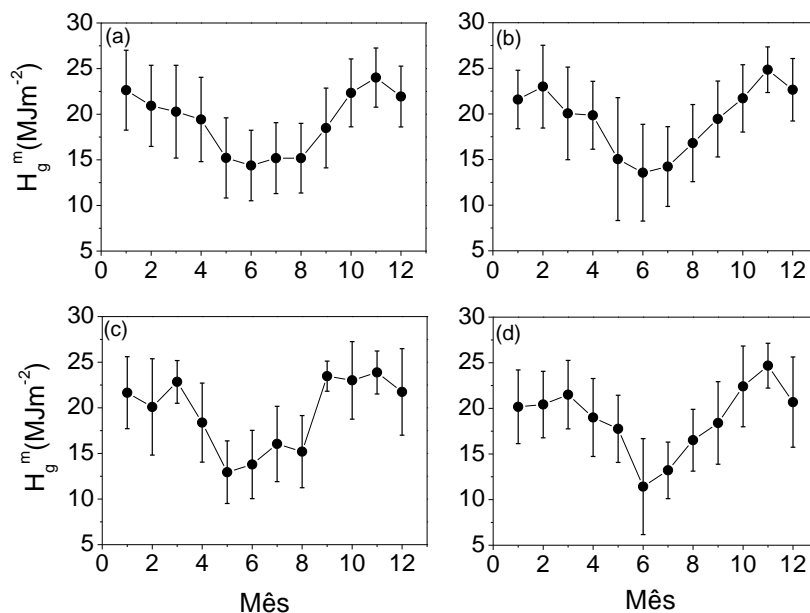


Figura 1 - Distribuição da irradiação solar global média mensal (H_g^m) e seus desvios em Mata Grande/AL, para os anos: a) 2007; b) 2008; c) 2009 e d) 2010.

Nota-se em 2009 (Figura 1c) amplitude de $10,97 \pm 1,08 \text{ MJm}^{-2}$, diferença entre o máximo ($H_g^m = 23,87 \pm 2,35 \text{ MJm}^{-2}$) ocorrido em novembro e mínimo ($H_g^m = 12,94 \pm 3,43 \text{ MJm}^{-2}$) em maio. O decaimento mais acentuado de H_g^m no mês de fevereiro em 2009 (Figura 1c), foi ocasionado pela ocorrência de bastante precipitação (muitos dias nublados) em todo Estado de Alagoas, associada pela persistência do fenômeno climático de La Niña sobre o pacífico equatorial. Neste período teve a atuação dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), que favoreceu a ocorrência de chuvas acima da média histórica (Climanálise, 2009).

No ano de 2010 (Figura 1d) encontrou-se flutuação anual de $(13,25 \pm 2,79 \text{ MJm}^{-2})$, com máxima $(24,68 \pm 2,46 \text{ MJm}^{-2})$ em novembro, mínima $(11,42 \pm 5,25 \text{ MJm}^{-2})$ em junho e média anual $(18,85 \pm 3,95 \text{ MJm}^{-2})$. A diferença mensal entre os dados observados em 2009 e 2010 mostra que ocorreu aumento de H_g^m nos meses de fevereiro $(0,33 \pm 1,63 \text{ MJm}^{-2})$, abril $(0,63 \pm 0,06 \text{ MJm}^{-2})$, maio $(4,80 \pm 0,24 \text{ MJm}^{-2})$, agosto $(1,32 \pm 0,56 \text{ MJm}^{-2})$ e novembro $(0,80 \pm 0,10 \text{ MJm}^{-2})$. Enquanto houve redução nos demais meses. Em suma, os anos com maior incidência de H_g acumulado foram, em ordem crescente, 2009, 2008, 2007 e 2010, respectivamente.

Frequência da transmissividade atmosférica diária

A Figura 2 mostra o histograma de frequência média da transmissividade atmosférica diária (K_t^d) em Mata Grande, nos anos de 2007, 2008, 2009 e 2010, respectivamente. Os dias classificados como nublados apresentaram incidência de irradiação solar global média por dia de $8,12 \pm 1,38 \text{ MJm}^{-2}$, os dias nublados tendendo a parcialmente nublados mostraram valor diário médio de $11,93 \pm 1,22 \text{ MJm}^{-2}$, os dias parcialmente nublados geraram irradiação solar global diária média de $19,81 \pm 2,28 \text{ MJm}^{-2}$, os dias parcialmente nublados tendendo a limpos apresentam valor médio de $23,92 \pm 1,18 \text{ MJm}^{-2}$ e dias limpos indicam média de $27,18 \pm 2,23$

MJm⁻², concordando com Souza et al., (2012). Isto mostra forte homogeneidade do clima entre os locais estudados.

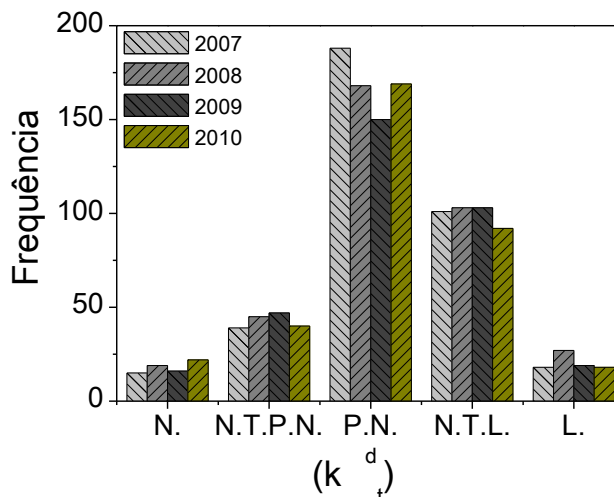


Figura 2 - Frequência da transmissividade atmosférica diária (k_t^d) em Mata Grande. Em que, N. = Nublado; N.T.P.N. = Nublado Tendendo a Parcialmente Nublado; P.N. = Parcialmente Nublado; P.N.T.L. = Parcialmente Nublado Tendendo a Limpo; L. = Limpo.

Encontraram-se as maiores frequências da transmissividade atmosférica para dias parcialmente nublados e parcialmente nublados tendendo a limpo. O período correspondente à estação chuvosa mostrou os menores valores K_t^d , enquanto os maiores valores foram observados na estação seca. Utilizando a classificação de cobertura do céu (nebulosidade), observa-se para o ano de 2007 um valor médio de 15 dias N. ($k_t^d \leq 0,30$), 39 dias N. T. P. N. ($0,30 < k_t^d \leq 0,40$), 188 dias P. N. ($0,40 < k_t^d \leq 0,60$), 101 dias P. N. T. L. ($0,60 < k_t^d \leq 0,69$) e 18 dias L. ($k_t^d > 0,69$), totalizando 361 dias. O ano de 2008 apresentou 19 dias para condições N. ($k_t^d \leq 0,30$), 45 dias N. T. P. N. ($0,30 < k_t^d \leq 0,40$), 168 dias P. N. ($0,40 < k_t^d \leq 0,60$), 103 dias P. N. T. L. ($0,60 < k_t^d \leq 0,69$) e 27 dias de céu L. ($0,69 > k_t^d$), com um total de 362 dias. Para o ano de 2009 foram verificados dados 335 dias, dos quais 16 correspondem aos dias N., 47 dias N. T. P. N., 150 dias P. N., 103 dias P. N. T. L. e 19 dias L. Entre os anos em análise, 2010 foi o que indicou maiores frequências de dias N. (22 dias) e menores frequências de dias classificados como P. N. T. L. (92 dias).

A Tabela 1 mostra a transmissividade atmosférica média mensal (k_t^m) para os anos em análise. Os meses entre maio a agosto ocorrem à redução de k_t^m , que corresponde ao período de maior nebulosidade (estação chuvosa). A k_t^m é cíclica ao longo do ano, máxima no período seco e mínima na estação chuvosa. Os valores máximos coincidem com a declinação solar mínima e vice-versa.

Tabela 1 - Transmissividade atmosférica média mensal.

Transmissividade atmosférica média mensal (k_t^m)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2007	0,59	0,54	0,54	0,55	0,47	0,47	0,48	0,44	0,50	0,58	0,63	0,58
2008	0,56	0,59	0,53	0,57	0,47	0,44	0,46	0,49	0,53	0,57	0,65	0,60
2009	0,57	0,52	0,61	0,52	0,40	0,45	0,51	0,44	0,65	0,60	0,63	0,57



2010 0,53 0,52 0,57 0,54 0,55 0,38 0,41 0,48 0,51 0,59 0,64 0,54

CONCLUSÕES

A evolução sazonal dos valores integrados mensalmente indica que os maiores valores médios ocorrem em novembro $736,37 \pm 13,97 \text{ MJm}^{-2}$ e os menores nos meses pertencentes a estação chuvosa. A maior incidência de H_g^m ocorreu no período seco e a menor no período chuvoso, o que já era esperado. O ano de 2010 resultou mais frequências de dias nublados e menores de dias P.N.T.L. As maiores frequências da k_t^d foram para dias parcialmente nublados e parcialmente nublados tendendo a limpos. A k_t^m é cíclica com menores valores época chuvosa e os maiores na época seca, diretamente influenciada pela nebulosidade. Estes resultados comprovam o potencial de energia solar incidente na região de Mata Grande, uma vez que estamos apresentando dados com medidas pontuais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro provido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Também ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e ao Grupo de Radiação Solar e Terrestre da DSA/CPTEC/INPE, pelos dados fornecidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHAÂBANE, M. Analysis of the atmospheric turbidity levels at two Tunisian sites. Atmospheric Research, v.87, p.136–146, 2008.
- CLIMANÁLISE. Boletim de monitoramento e análise climática, Cachoeira Paulista, SP – Brasil, INPE/CPTEC, v. 24, n.2, p. 1-47, 2009. Acesso em: 03 de julho de 2013. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~reclimanl/boletim/>.
- HENG, L. K.; STEDUTO, P.; ROJAS – LARA, B.; RAES, D.; FERERES, E. AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. Agronomy Journal, v. 101, p.448-459, 2009.
- JONES, C. A.; KINIRY, J. R. CERES – Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas A & M Uni. Press, College Station, TX. 1986.
- POLO, J.; ZARZALEJO, L. F.; L. MARTÍN, L.; NAVARRO, A. A.; MARCHANTE, R. Estimation of daily Linke turbidity factor by using global irradiance measurements at solar noon. Solar Energy, v.83, p.1177–1185, 2009.
- RICIERI, R. P., 1998. Modelos de Estimativas e Avaliação dos Métodos e Medidas de Radiação Solar Difusa, Tese Doutorado, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, campus Botucatu, São Paulo.
- SOUZA, J. L.; SANTOS, C. M.; CHAGAS, M. V. S.; BASTOS LYRA, G.; TIBA, C.; MELO, R. O. Irradiação solar global média mensal (H_g^m) e transmitância atmosférica diária (k_t^d) no Sertão de Alagoas – Brasil. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-Americana da ISES – São Paulo, 18 a 21 de setembro de 2012.

