

# RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL EM SUPERFÍCIES VERTICAIS: SÉRIE TEMPORAL

**Camila Piacitelli Tieghi** – camilapiacitelli@yahoo.com.br

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu,  
Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia

**Alexandre Dal Pai** – adalpai@fca.unesp.br

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu,  
Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia

**Resumo.** A radiação solar, além de ser fonte vital de energia de todos os processos atmosféricos e de processos físicos, químicos e biológicos ocasionados no planeta Terra, é uma fonte sustentável e renovável de energia. Sendo possível fazer seu aproveitamento para realizar conversão energética, controle de temperatura de água e conforto térmico. Para qualquer que seja seu uso, se faz necessário conhecer a variação da disponibilidade energética local durante o ano, visto que os níveis quantitativos energéticos variam dependendo da região a ser estudada. É necessário ter o conhecimento das variações energéticas diurnas, mensais e anuais da região em que se pretende fazer o uso da radiação solar. Além disso, o ângulo de inclinação da superfície e sua direção alteram os níveis quantitativos energéticos recebidos. Estações meteorológicas costumam medir apenas a radiação solar global em plano horizontal, pelo fato de que a aquisição de equipamentos de medida é onerosa. Por este motivo, existem poucos estudos da radiação solar em plano vertical, deixando de lado o potencial energético e térmico da radiação solar no plano vertical. Este estudo visou avaliar os dados medidos da radiação global em superfície vertical orientada para o Norte durante o ano de 2010 na estação de radiometria da UNESP de Botucatu, situado no Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas. Foi apresentada uma série temporal da radiação global em superfície vertical e horizontal e calculada a irradiação solar extraterrestre horizontal e inclinada na vertical orientada para o Norte, afim de comparar os valores medidos e calculados, para obter padrões quantitativos de irradiação solar ao longo do ano para a região de Botucatu –SP. Os valores médios da irradiação solar global horizontal foram de 17,12 MJ/m<sup>2</sup> e 10,88 MJ/m<sup>2</sup> para irradiação solar global vertical.

**Palavras-chave:** Irradiação Solar Global, Irradiação Solar Extraterrestre, Vertical.

## 1. INTRODUÇÃO

A radiação solar é uma fonte de energia limpa e renovável, muito importante para os seres vivos, sem a qual não existiria vida na Terra. É fonte primária de todos os fenômenos atmosféricos e de processos físicos, químicos e biológicos. Além disso, a radiação solar pode ser aproveitada para conversão energética, aquecimento e resfriamento de água e conforto térmico. Para qualquer que seja o uso da energia solar, é necessário um estudo da variação da disponibilidade energética durante o ano, pois para cada região o ângulo de incidência e a irradiância solar recebida é única. É necessário um conhecimento mais detalhado para saber a variação energética diurna, mensal e anual da região a ser estudada (CUCUMO et al, 2006 ; DAL PAI, 2005; HALAWA; VAN HOOF; SOEBARTO, 2014 ; MOHAMMADI et al., 2015 ; SCOLAR, 2003).

A radiação solar incidente em determinado local varia ao longo do ano. Os movimentos de rotação e translação da Terra são responsáveis por esta variação, que modificam a declinação solar, o ângulo horário diário e fotoperíodo, e consequentemente alteram os níveis de radiação Extraterrestre incidente (I<sub>0</sub>) (VAREJÃO SILVA, 2006). No caso de superfícies inclinadas, a quantidade de radiação solar é diferente se comparado com a horizontal (IQBAL, 1983; SOUZA, 2012). No Hemisfério Sul, devido à geometria solar, a inclinação de uma superfície ao Norte em uma determinada latitude simula a incidência solar em uma latitude diferente, a qual é calculada mediante a soma da latitude local com o ângulo de inclinação. Neste sentido, como a incidência solar apresenta variação sazonal, os níveis quantitativos de energia incidentes nas superfícies horizontal e inclinada apresentam diferenças entre si no decorrer do ano.

No hemisfério Sul, existem poucos estudos relacionados a radiação solar no plano vertical, visto que a aquisição dos equipamentos de medida é onerosa. A grande maioria possui medidas apenas do plano horizontal, deixando de lado o potencial solar do plano vertical. A estação de radiometria da UNESP de Botucatu possui medidas da radiação solar em superfície horizontal e em superfícies inclinadas com relação ao norte, sendo uma inclinada com ângulo igual a latitude local e outra inclinada na vertical. Este estudo visa avaliar os dados medidos durante o ano de 2010, afim de propor uma série temporal da radiação solar global em superfície vertical para a região de Botucatu-SP.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo é baseado em medidas da irradiação global em planos horizontal e vertical orientado ao Norte geográfico do Laboratório de Radiometria Solar de Botucatu, situado no Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas/UNESP/SP (latitude 22° 54' S, longitude 48° 27' O e altitude 716 m). Foram utilizados os dados medidos no ano de 2010. A cidade de Botucatu tem cerca de 130.000 habitantes e é rodeada por uma formação de relevo assimétrico denominada Cuesta de Botucatu e pelas bacias hidrográficas do Tietê e do Paranapanema. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima local é o Cwa (clima subtropical úmido), com verão quente, úmido e chuvoso e inverno seco e de temperaturas amenas. Os valores de temperatura e umidade relativa seguem as variações astronômicas, com valores máximos de temperatura e umidade relativa em fevereiro (23,12 °C e 78,25% respectivamente) e valores mínimos de temperatura em julho (17,10 °C) e umidade relativa em agosto (63,97%). A estação chuvosa ocorre no verão e primavera, acompanhada de elevada nebulosidade. Cerca de 80% da precipitação anual ocorre nesse período, com máxima no mês de janeiro (246,2 mm). Nas estações do inverno e outono, a precipitação média é inferior a 100 mm mensais, com mínima em agosto (36,1 mm) (CODATO et. al., 2008).

Os valores das irradiâncias solares foram monitorados por um sistema de aquisição de dados automático modelo Datalogger 23X da empresa Campbell Scientific Inc com frequência de varredura de 0,2Hz. Foram calculados os valores médios a cada 5 minutos e armazenados no formato W/m<sup>2</sup>.

A irradiância solar global no plano horizontal e inclinado foram medidas com piranômetro Eppley-PSP. Para medir a irradiância global na superfície vertical, o piranômetro foi posicionado sobre plano inclinado à 90° com a face voltada para o Norte.

O procedimento de cálculo das irradiações solares Extraterrestres na partição de tempo diária nos planos horizontal ( $I_0$ ) e inclinado ( $I_{090}$ ) estão descritos a seguir (Iqbal, 1983):

Para superfície horizontal, foi calculada irradiação solar Extraterrestre ( $I_0$ ), dada pela seguinte equação:

$$I_0 = \left(\frac{24}{\pi}\right) H_{SC} E_0 \sin\phi \sin\delta \left[\left(\frac{\pi}{180}\right) w_H - \tan w_H\right] \quad (1)$$

Onde  $\phi$  é a latitude,  $\delta$  é a declinação solar,  $H_{SC} = 4,921 MJ/m^2$  é a constante solar integrada na hora e  $E_0$  é a excentricidade da órbita terrestre.

Para a superfície inclinada, os cálculos foram realizados levando em consideração a latitude simulada, ou seja, por meio da soma entre a latitude local com o ângulo de inclinação da superfície. Neste sentido, ajustes devem ser realizados para não se comprometer fisicamente a consistência dos valores da incidência solar nesta superfície. Assim, o ângulo horário para superfície vertical ( $w_v$ ) será escolhido pelo valor mínimo entre os ângulos horários diários da superfície horizontal ( $w_H$ ) e da latitude simulada ( $w_s$ ) (IQBAL, 1983). A equação 2 apresenta o cálculo do ângulo horário diário para latitude simulada enquanto a equação 3 apresenta a escolha do menor valor entre os ângulos horários diários.

$$w_s = \text{arc. cos}[-\tan \delta \tan(\phi - \beta)] \quad (2)$$

$$w_v = \min\{w_H, w_s\} \quad (3)$$

Onde:  $\beta$ : Ângulo de inclinação da superfície inclinada.

Já a equação 4 apresenta o cálculo da radiação solar extraterrestre para superfície vertical (90°).

$$I_{0\beta} = \left(\frac{24}{\pi}\right) I_{SC} E_0 \left[\frac{\pi}{180} w_s \sin\delta \sin(\phi - \beta) + \cos\delta \cos(\phi - \beta) \sin w_v\right] \quad (4)$$

Já os valores das irradiâncias solares global nas superfícies horizontal e vertical foram integrados para as partições energéticas de tempo horaria e diária, transformando-se em irradiações ao converter W/m<sup>2</sup> para MJ/m<sup>2</sup>.

Os dados passaram por uma análise de consistência e os valores discrepantes provenientes de erros de leitura dos sensores foram removidos.

Para obtenção da evolução temporal das irradiações solares, foram adotadas medidas estatísticas de posição (Média ( $\mu$ )) e de dispersão em torno da média (Desvio-padrão ( $\sigma$ )), dadas pelas equações (5) e (6).

$$\mu = (\Sigma X) / N \quad (5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - \mu)^2}{N}} \quad (6)$$

Onde: X representa cada um dos dados à serem somados e N é quantidade total de dos dados obtidos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Evolução temporal das medidas da radiação solar em superfície vertical e horizontal

O conhecimento dos níveis de irradiação solar em superfícies verticais é importante para áreas estratégicas como conforto térmico, arquitetura, engenharia civil e elétrica. O ganho energético, devido à incidência solar vertical nas paredes das construções, permite otimizar o dimensionamento de aberturas de ambientes, além de orientar a fixação de painéis fotovoltaicos (DAL PAI, 2005; GONZÁLEZ-PARDO et al., 2013; TAKEBAYASHI et al., 2015). A seguir, serão apresentadas as evoluções temporais das irradiações solares extraterrestre e global nas superfícies horizontal e vertical orientada para o Norte. Como o estudo foi realizado no hemisfério sul, orienta-se as superfícies para o norte no sentido de se maximizar a incidência energética devido à declinação solar em meses do inverno.

A Figura 1 mostra os valores da irradiação solar diária extraterrestre nas superfícies horizontal e vertical ao longo do ano. As curvas obtidas apresentam comportamento periódico, porém opostos entre si. Os valores de máximo de uma superfície coincidem com os valores de mínimo da outra superfície.

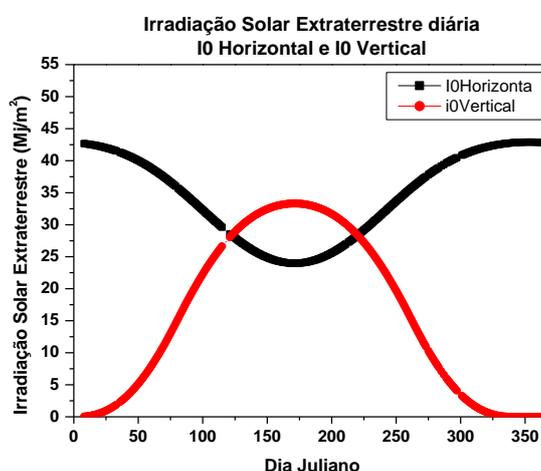


Figura 1: Irradiações solares extraterrestre horizontal e vertical em relação aos dias do ano para partição diária.

A Tabela 1 mostra os valores de mínimo, de máximo, o intervalo de variação e os valores médios das irradiações solares extraterrestres horizontal e vertical para Botucatu.

Tabela 1: Valores de mínimo, de máximo, o intervalo de variação e os valores médios das irradiações solares extraterrestres horizontal e vertical para Botucatu.

Irradiação Solar	Mínimo (MJ/m <sup>2</sup> )	Máximo (MJ/m <sup>2</sup> )	$\Delta$ (MJ/m <sup>2</sup> )	Média (MJ/m <sup>2</sup> )
$I_{0H}$	23,97	42,90	18,93	34,45
$I_{0V}$	0	33,31	33,31	15,99

A superfície horizontal tem seu valor de mínimo de 23,97 MJ/m<sup>2</sup> ocorrendo no dia 20/06, coincidindo com o solstício de inverno. Já a superfície vertical apresenta valor mínimo de 0 MJ/m<sup>2</sup>, o qual ocorre entre os dias 04/12 a 31/12, coincidindo com o começo do verão. Já para os valores de máximo, a superfície horizontal apresenta valor de 42,90 MJ/m<sup>2</sup> no dia 20/12 (início do verão) e a superfície vertical o valor de 33,91 MJ/m<sup>2</sup> para o dia 20/06 (início do inverno). Em relação ao intervalo de variação das irradiações extraterrestres, a superfície horizontal tem uma variação de 18,93 MJ/m<sup>2</sup>, enquanto que a superfície vertical tem variação de 33,31 MJ/m<sup>2</sup>. Portanto, a amplitude energética da irradiação solar extraterrestre na superfície vertical é maior que a amplitude energética da irradiação solar extraterrestre na superfície horizontal. Ao inclinar a superfície em 90°, simula-se uma localidade de latitude elevada (67,4° N), com grande variação no fotoperíodo e, conseqüentemente, nos valores energéticos ao longo do ano. Tal localidade encontra-se no hemisfério

Norte, o que justifica a coincidência de um valor mínimo de uma superfície com o valor máximo da outra. Já para os valores médios, incide 34,45 MJ/m<sup>2</sup> para a superfície horizontal, enquanto que para a superfície vertical, esse valor cai para 15,99 MJ/m<sup>2</sup>.

A figura 2 mostra os valores medidos da irradiação solar diária global na horizontal e vertical (90°) ao Norte, em relação aos dias do ano. O comportamento periódico acompanha o mesmo comportamento observado para as irradiações extraterrestres, tanto para as medidas horizontal e vertical. No entanto, observa-se também uma grande oscilação dos valores ao longo do ano, principalmente devido a dinâmica atmosférica das nuvens, que tem sua distribuição e concentração diferentes ao longo do ano (TERAMOTO ;ESCOBEDO, 2015).

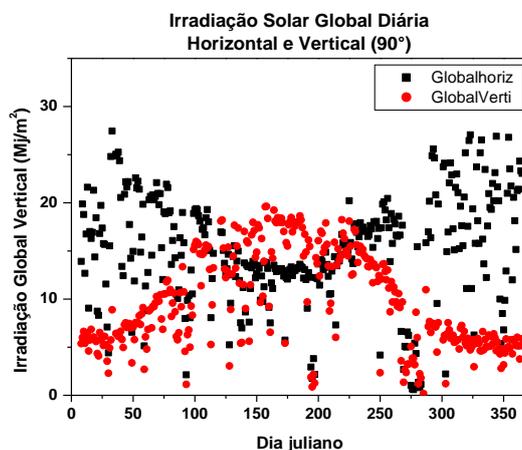


Figura 2: Valores medidos da irradiação solar diária global na horizontal e vertical (90°) ao Norte, em relação aos dias do ano.

A Tabela 2 mostra os valores de mínimo, de máximo, o intervalo de variação e os valores médios das irradiações solares globais horizontal e vertical para Botucatu.

Tabela 2: Valores de mínimo, de máximo, o intervalo de variação e os valores médios das irradiações solares globais horizontal e vertical para Botucatu.

<b>Irradiação Solar</b>	<b>Mínimo (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Máximo (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Δ (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Média (MJ/m<sup>2</sup>)</b>
<b>IGH</b>	1,93	30,41	28,49	17,12
<b>IGV</b>	0,95	21,36	20,41	10,88

A irradiação global horizontal tem seu valor de mínimo de 1,93 MJ/m<sup>2</sup> para o dia 14/07. A irradiação solar global vertical apresenta valor mínimo de 0,95 MJ/m<sup>2</sup>, também para o mesmo dia 14/07. Já para os valores de máximo, a superfície horizontal apresenta valor de 30,41 MJ/m<sup>2</sup> no dia 02/02 e a superfície vertical valor de 21,36 MJ/m<sup>2</sup> no dia 07/06. Em função da geometria solar, a irradiação solar global horizontal tem seus maiores valores ocorrendo nos meses do verão, enquanto que a irradiação solar global vertical os maiores valores ocorrem no inverno devido à inclinação da superfície. Já a variabilidade observada para os pontos deve-se à dinâmica atmosférica, que é diferente para cada época do ano. Verão, com maior nebulosidade, apresenta maior dispersão dos pontos. Porém, para a irradiação solar global vertical, a maior dispersão dos pontos ocorreu no inverno. Apesar do verão apresentar condições atmosféricas mais complexas devido à nebulosidade, o sensor posicionado na superfície vertical tem dificuldade de captar a incidência direta da radiação. Neste período, os raios solares incidentes na superfície horizontal são mais perpendiculares por causa da declinação solar, o que compromete o ângulo de visão do sensor posicionado em uma superfície vertical. Portanto, a irradiação medida na superfície vertical é composta basicamente das parcelas difusa e refletida, as quais são mais uniformes, justificando a menor variabilidade para esta época do ano. Em relação ao intervalo de variação das irradiações globais, a superfície horizontal tem uma variação de 28,49 MJ/m<sup>2</sup>, enquanto que a superfície vertical tem variação de 20,41 MJ/m<sup>2</sup> (SOUZA,2012; CHAIYAPINUNT et al., 2016; RAPTIS et al., 2017 ; TURNER; PARISI; TURNBULL, 2008). Já para os valores médios, incide 17,12 MJ/m<sup>2</sup> para a superfície horizontal, enquanto que para a superfície vertical, esse valor cai para 10,88 MJ/m<sup>2</sup>.

Para aplicações que demandam partição de tempo maiores, os dados diários das irradiações solares nas superfícies horizontal e vertical foram convertidos para valores médio-mensais. A figura 3 mostra os valores médio-mensais e seus respectivos desvio-padrões das irradiações solares extraterrestre das superfícies horizontal e vertical, enquanto que a Figura 4 mostra os valores médio-mensais e seus respectivos desvio-padrões das irradiações solares global das superfícies horizontal e vertical.

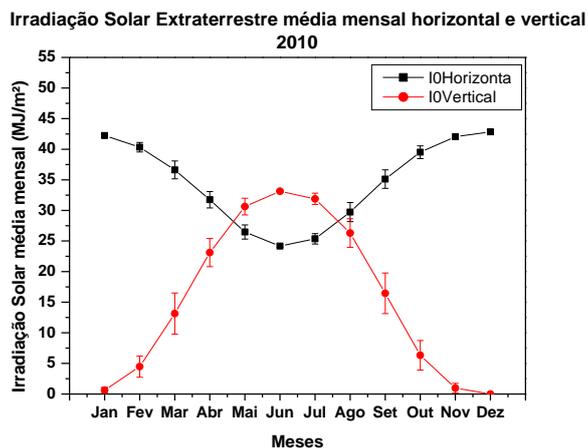


Figura 3: Irradiação Solar Extraterrestre média mensal em superfície horizontal e vertical orientada ao Norte.

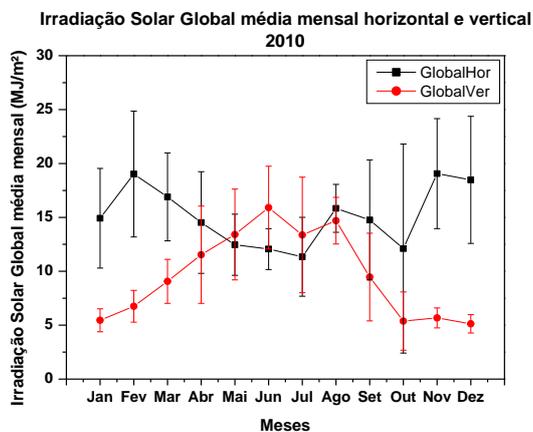


Figura 4: Irradiação Solar Global média mensal em superfície horizontal e vertical orientada ao Norte em 2010.

Tanto para as irradiações solares extraterrestre e global quanto para os valores das superfícies horizontal e vertical, as curvas apresentaram comportamento periódico, acompanhando as variações astronômicas do sol. Para superfície horizontal, maiores valores ocorrendo no verão e menores valores no inverno, enquanto que para superfície vertical, simulando uma latitude do hemisfério norte, maiores valores ocorrendo no inverno e menores no verão. Para as irradiações solares global, a dispersão dos valores é maior em função da interferência da atmosfera, com seus gases, aerossóis, vapor d'água e nuvens, que são fatores que causam a atenuação dos níveis de irradiação solar na superfície terrestre, promovendo maior variabilidade (INÁCIO, 2009; DAL PAI, 2010). A tabela 3 mostra os valores médios mensais e desvio padrão das irradiações solares extraterrestre e global em superfície horizontal e vertical orientada para o Norte em Botucatu-SP no ano de 2010.

Tabela 3: Valores médios mensais em MJ/m<sup>2</sup> e desvio padrão (DP) da irradiação solar Extraterrestre e Global na horizontal e vertical orientada para o Norte para Botucatu no ano de 2010.

Mês	I <sub>oh</sub>	I <sub>ov</sub>	I <sub>GH</sub>	I <sub>Gv</sub>
	Média (± DP)	Média (± DP)	Média (± DP)	Média (± DP)
<b>Jan</b>	42,22 (0,31)	0,62 (0,49)	14,91 (4,62)	5,45 (1,06)
<b>Fev</b>	40,32 (0,77)	4,47 (1,73)	19,02 (5,83)	6,74 (1,47)
<b>Mar</b>	36,62 (1,45)	13,14 (3,36)	16,90 (4,07)	9,06 (2,04)
<b>Abr</b>	31,74 (1,33)	23,10 (2,29)	14,52 (4,71)	11,53 (4,51)
<b>Mai</b>	26,47 (1,16)	30,62 (1,35)	12,46 (2,83)	13,41 (4,20)
<b>Jun</b>	24,16 (0,21)	33,12 (0,20)	12,06 (1,89)	15,90 (3,84)
<b>Jul</b>	25,35 (0,85)	31,89 (0,91)	11,34 (3,66)	13,37 (5,36)
<b>Ago</b>	29,72 (1,56)	26,29 (2,33)	15,83 (2,22)	14,69 (2,16)
<b>Set</b>	35,11 (1,51)	16,45 (3,31)	14,76 (5,56)	9,46 (4,06)
<b>Out</b>	39,51 (1,04)	6,33 (2,40)	12,10 (9,70)	5,37 (2,70)
<b>Nov</b>	42,03 (0,44)	0,96 (0,77)	19,06 (5,10)	5,67 (0,92)
<b>Dez</b>	42,84 (0,06)	0,01 (0,00)	18,48 (5,89)	5,12 (0,84)

Para a irradiação solar extraterrestre, o maior valor para superfície horizontal (42,84 MJ/m<sup>2</sup>) e o menor valor para superfície vertical (0,01 MJ/m<sup>2</sup>) ocorreram para o mês de dezembro. Para o mês de junho, os valores foram inversos: menor valor para superfície horizontal (24,16 MJ/m<sup>2</sup>) e maior valor para superfície vertical (33,12 MJ/m<sup>2</sup>). Os desvio-padrão foram baixos visto que os valores são estimados e a variação deve-se apenas às variações astronômicas dentro do mês. Sendo assim, os desvio-padrão da superfície vertical foram ligeiramente maiores que os da superfície horizontal, principalmente nos meses de transição entre as estações verão e inverno.

Para a irradiação solar global, os maiores valores para superfície horizontal ocorreram no mês de novembro (19,06 MJ/m<sup>2</sup>) e para superfície vertical em junho (15,90 MJ/m<sup>2</sup>). Já os menores valores, para superfície horizontal, ocorreram em julho (11,34 MJ/m<sup>2</sup>) e, para superfície vertical, em dezembro (5,12 MJ/m<sup>2</sup>). Tanto para superfície horizontal quanto para vertical. Os desvio-padrão são mais elevados em função da complexidade dos processos físicos de atenuação da atmosfera, promovendo a grande variabilidade nos valores medidos.

## CONCLUSÃO

A partir desse estudo, obtivemos as seguintes conclusões:

- ✓ 1: Para a irradiação solar extraterrestre, comparando os resultados entre horizontal e vertical, observa-se uma coincidência entre valores mínimos de uma superfície com o valor máximo da outra.
- ✓ 2: Para a irradiação solar extraterrestre e global vertical, os valores máximos são observados nos meses de inverno, e os valores de mínimo são encontrados nos meses de verão, devido à latitude simulada do hemisfério norte.
- ✓ 3: Para o aproveitamento da irradiação solar durante o ano, nos meses de inverno, a melhor inclinação da superfície é na vertical, enquanto que para os meses de verão, a melhor inclinação da superfície é a horizontal.
- ✓ 4: Nos meses de verão, a irradiação medida na superfície vertical é composta basicamente das parcelas difusa e refletida.

## REFERÊNCIAS

CHAIYAPINUNT, Somsak et al. A shadow-ring device for measuring diffuse solar radiation on a vertical surface in a tropical zone. **Solar Energy**, [s.l.], v. 136, p.629-638, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.07.044>.

CODATO, G.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J.; ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; DAL PAI, A. Global and diffuse solar irradiances in urban and rural áreas in Southeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v.93, p.57-73, 2008.

CUCUMO, M. et al. Experimental testing of models for the estimation of hourly solar radiation on vertical surfaces at Arcavacata di Rende. *Solar Energy*, v. 81, n. 5, p. 692-695, 2007.

DAL PAI, Alexandre. Anisotropia da irradiância solar difusa medida pelo método de sombreamento Melo-Escobedo: fatores de correção anisotrópicos e modelos de estimativa. Botucatu- SP, 2005. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdades de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

DAL PAI, A.; DALL'ANTONIA JUNIOR, L. C.; RODRIGUES, D.; ESCOBEDO, J. F. Análise da atenuação das radiações solares global, direta horizontal e difusa horária em função da massa ótica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 3., 2010, Belém. Anais. Belém, PA: ABENS, 2010. 1 CD-ROM.

GONZÁLEZ-PARDO, Aurelio et al. Optical performance of vertical heliostat fields integrated in building façades for concentrating solar energy uses. *Solar Energy*, [s.l.], v. 97, p.447-459, nov. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2013.09.009>.

HALAWA, Edward; VAN HOOFF, Joost; SOEBARTO, Veronica. The impacts of the thermal radiation field on thermal comfort, energy consumption and control—A critical overview. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, [s.l.], v. 37, p.907-918, set. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.040>.

INÁCIO, T. Potencial solar das radiações global, difusa e direta em Botucatu. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu. 2009.

IQBAL, M. An Introduction To Solar Radiation. 1. ed. Toronto: Academic Press, 1983.

MOHAMMADI, K.; KHORASANIZADEH, H. A review of solar radiation on vertically mounted solar surfaces and proper azimuth angles in six Iranian major cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 47, p. 504-518, 2015.

RAPTIS, P.i. et al. Measurements and model simulations of solar radiation at tilted planes, towards the maximization of energy capture. *Energy*, [s.l.], v. 130, p.570-580, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.122>.

SCOLAR, J. Estimativa da irradiação total sobre uma superfície inclinada a partir da irradiação global na horizontal. Tese de Doutorado em Agronomia. Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, 2003.

SOUZA, A. P. Radiação solar difusa horária incidente em superfícies inclinadas: Fatores de correção, evolução diurna e modelos de estimativa. Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem). Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, 2012.

TAKEBAYASHI, Hideki et al. Study to examine the potential for solar energy utilization based on the relationship between urban morphology and solar radiation gain on building rooftops and wall surfaces. *Solar Energy*, [s.l.], v. 119, p.362-369, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.05.039>.

TERAMOTO, Érico T. e ESCOBEDO, João F.. Análise da frequência anual das condições de céu em Botucatu, São Paulo. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* [online]. 2012, vol.16, n.9, pp.985-992. ISSN 1415-4366. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000900009>.

TURNER, J.; PARISI, A.v.; TURNBULL, D.j.. Reflected solar radiation from horizontal, vertical and inclined surfaces: Ultraviolet and visible spectral and broadband behaviour due to solar zenith angle, orientation and surface type. *Journal Of Photochemistry And Photobiology B: Biology*, [s.l.], v. 92, n. 1, p.29-37, jul. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2008.03.006>.

VAREJÃO SILVA, M.A. Meteorologia e Climatologia. Recife: Versão Digital, 2006. 181 p.

## GLOBAL SOLAR RADIATION ON VERTICAL SURFACES: TIME SERIES

**Abstract.** *Solar radiation, besides being a vital source of energy for all atmospheric processes and physical, chemical and biological processes on Earth, is a sustainable and renewable source of energy. Being possible to make its use to realize energy conversion, water temperature control and thermal comfort. For any use, it is necessary to know the variation of the local energy availability during the year, since the quantitative levels of energy vary depending on the region to be studied. It is necessary to have the knowledge of the diurnal, monthly and annual energy variations of the region in which the solar radiation is to be used. In addition, the angle of inclination of the surface and its direction*

*change the energetic quantitative levels received. Meteorological stations usually measure only global solar radiation in the horizontal plane, because the acquisition of measurement equipment is costly. For this reason, there are few studies of solar radiation in vertical plane, leaving aside the energy and thermal potential of solar radiation in the vertical full. This study aims to evaluate the measured data of global radiation on vertical surface oriented to the North during the year 2010 at the UNESP radiometry station of Botucatu, located in the Department of Rural Engineering of the Faculty of Agronomic Sciences. A time series of global radiation on vertical and horizontal surfaces was calculated and the horizontal and vertical solar inclination irradiated towards the North was calculated, in order to compare the measured and calculated values, to obtain quantitative standers of solar irradiation throughout the year for the region of Botucatu-SP. The mean values of horizontal global solar irradiation were 17.12 MJ / m<sup>2</sup> and 10.88 MJ / m<sup>2</sup> for vertical global solar irradiation.*

**Keywords:** *Global Solar Irradiation, Extraterrestrial Solar radiation, Vertical.*