

CARACTERIZAÇÃO DAS COMPONENTES DE RADIAÇÃO DE ONDA CURTA EM SALVADOR

Bruno Severino Mascarenhas (UFBA) - brunomasck@hotmail.com.br

Edson Pereira Marques Filho (UFBA) - edson.marques@ufba.br

Iuri Muniz Pepe (Instituição - a informar) - mpepe@ufba.br

Leonardo Rafael Teixeira Cotrim Gomes (UFBA) - cotrim.leo@gmail.com

Amauri P. Oliveira (Instituição - a informar) - apdoliv@usp.br

Jose Ricardo de Almeida França (UFRJ) - jricardo@igeo.ufrj.br

Resumo:

Para garantir a eficiência dos dispositivos de energia solar é imprescindível determinar o comportamento da radiação incidente em superfícies inclinadas, sendo necessário o conhecimento dos componentes de radiação solar global e difusa incidentes em uma superfície horizontal. O objetivo principal deste trabalho é caracterizar a evolução mensal e horária das componentes do balanço de radiação de onda curta na cidade de Salvador-Ba. As medidas coletadas pela Plataforma de Monitoramento Ambiental do Laboratório de Micrometeorologia e Modelagem, após um robusto controle de qualidade, apresentam um ciclo diurno bem definido e com amplitudes de radiação global de $30 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ no verão, no inverno a radiação global decai em média 36%. A radiação difusa apresenta amplitudes máximas de $14 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ no mês de novembro, 54% da radiação global, indicando o notável potencial de energia disponível.

Palavras-chave: *Energia Solar, Balanço de Radiação, Monitoramento ambiental*

Área temática: *Radiação Solar*

Subárea temática: *Recursos Solares e Meteorologia da Radiação Solar*

CARACTERIZAÇÃO DAS COMPONENTES DE RADIAÇÃO DE ONDA CURTA EM SALVADOR

Bruno Severino Mascarenhas – bruno.severino@ufba.br

Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica

Edson Pereira Marques Filho – edson.marques@ufba.br

Iuri Muniz Pepe – mpepe@ufba.br

Universidade Federal da Bahia, Centro Interdisciplinar em Energia e Ambiente

Leonardo Rafael Teixeira Cotrim Gomes – cotrim@ufrb.br

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas

Amauri P. Oliveira – apdoliv@usp.br

Universidade de São Paulo, Departamento de Ciências Atmosféricas

José Ricardo de Almeida França – jricardo@igeo.ufrj.br

Universidade Federal do Rio de Janeiro – Departamento de Meteorologia

1.1 Recursos Solares e Meteorologia da Radiação Solar

Resumo. Para garantir a eficiência dos dispositivos de energia solar é imprescindível determinar o comportamento da radiação incidente em superfícies inclinadas, sendo necessário o conhecimento dos componentes de radiação solar global e difusa incidentes em uma superfície horizontal. O objetivo principal deste trabalho é caracterizar a evolução mensal e horária das componentes do balanço de radiação de onda curta na cidade de Salvador-BA. As medidas coletadas pela Plataforma de Monitoramento Ambiental do Laboratório de Micrometeorologia e Modelagem, após um robusto controle de qualidade, apresentam um ciclo diurno bem definido e com amplitudes de radiação global de $30 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ no verão, no inverno a radiação global decai em média 36%. A radiação difusa apresenta amplitudes máximas de $14 \text{ MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ no mês de novembro, 54% da radiação global, indicando o notável potencial de energia disponível.

Palavras-chave: Energia Solar, Balanço de Radiação, Monitoramento ambiental

1. INTRODUÇÃO

Um dos desafios da sociedade contemporânea é suprir as demandas de água e energia, decorrentes do desenvolvimento econômico, crescimento da populacional, processos de degradação ambiental e das mudanças climáticas em curso (Holf, 2011). As regiões urbanas utilizam 70% da energia global e necessitam de uma grande quantidade de água para o consumo humano e geração de energia (Chen e Chen, 2016). Nos moldes atuais, a crescente demanda e a exploração intensa de combustíveis fósseis tornam a produção de energia insustentável (De Oliveira e Trindade, 2018).

O Brasil possui uma matriz energética composta predominantemente por hidrelétricas (62,5% do total) e embora considerada uma matriz renovável, causam impactos ambientais relacionados a construção e manutenção de grandes reservatórios que afetam a biodiversidade e o clima local. Fontes renováveis de energias, como solar e eólica, representam respectivamente apenas 3,9% e 1% da geração total (Jong et al., 2015). A maior parte do nordeste brasileiro (NEB) está incluída e uma região semiárida, mais vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas. Essas mudanças impactarão os recursos hídricos potáveis e aumentarão a evaporação da superfície, diminuindo os níveis das barragens e a capacidade de geração hidrelétrica de energia (Marengo et al., 2017).

A Região Metropolitana de Salvador (RMS) ocupa uma área equivalente a 4.354 km^2 , engloba 13 municípios, com população total estimada de 4,0 milhões de habitantes (IBGE, 2018). Por estar localizada na região tropical, possui um grande potencial para geração de energia solar (Martins et al., 2012). Porém, para garantir a eficiência dos dispositivos de energia solar é imprescindível determinar o comportamento horário e sazonal da radiação solar incidente na superfície, tanto global quanto difusa. No entanto, estas informações ainda são escassas.

Este trabalho tem por objetivo caracterizar os ciclos diurno e sazonal das componentes do balanço de radiação solar em superfície, com base em medidas coletadas na Plataforma de Monitoramento Ambiental do Laboratório de Micrometeorologia e Modelagem (PMAmb-LabMiM) do Centro Interdisciplinar de Energia e Ambiente (CIEnAm-UFBA).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A PMAmb-LabMiM está instalada sobre o edifício do CIENAM (13°00'00.9"S 38°30'26.2"W), com altura de aproximada de 14 metros acima da superfície e localizado no campus Ondina da UFBA. A PMAmb-LabMiM está em operação desde setembro de 2016 e seu conjunto instrumental é apresentado na Fig. 1.

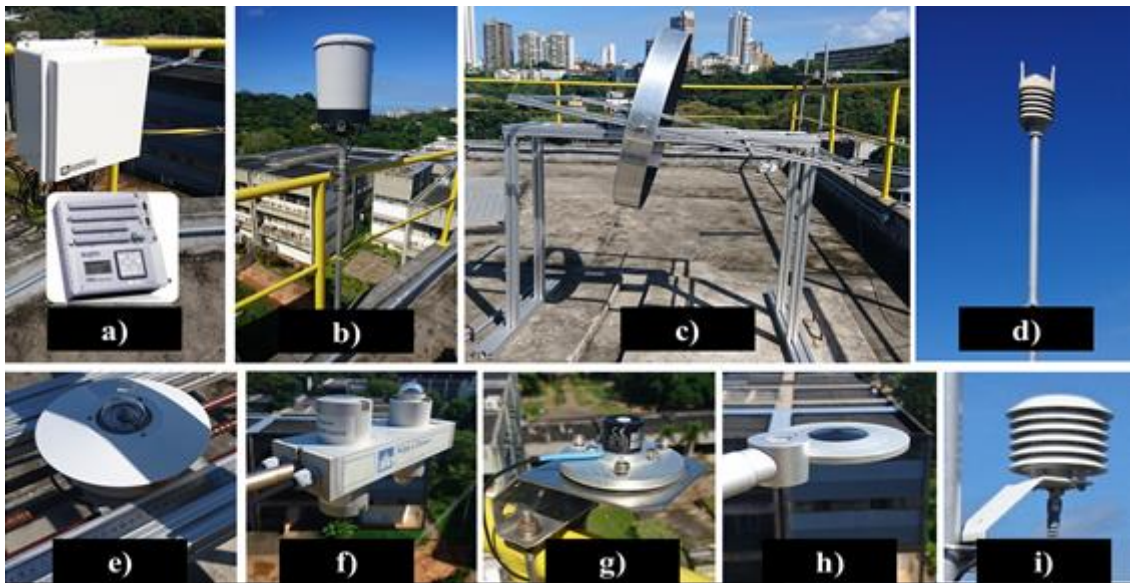


Figura 1 – Conjunto instrumental da PMAmb-LabMiM: (a) datalogger CR5000 (sistema de aquisição de dados); (b) pluviômetro (precipitação); (c) mesa anel de sombreamento (radiação solar difusa); (d) mini-estação meteorológica (temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, pressão atmosférica e precipitação); (e) piranômetro (radiação solar incidente); (f) saldo radiômetro (componentes incidentes e refletidas das radiações solar e terrestre); (g) radiômetro PAR (radiação fotossinteticamente ativa); (h) saldo radiômetro (balanço de radiação de ondas curtas e ondas longas incidentes e refletidas por uma superfície); (i) psicrômetro (temperatura e umidade relativa do ar).

As medidas ambientais são amostradas com frequência de 0,5 Hz e armazenadas a cada 05 minutos em um computador pessoal do LabMiM. Atividades de manutenção/limpeza do conjunto instrumental são executadas periodicamente, para identificar problemas operacionais dos sensores, nivelção incorreta e sombreamento artificial indesejado.

Para caracterizar as condições meteorológicas médias de uma localidade é necessário obter séries temporais das variáveis de interesse por um longo período de tempo, para que os parâmetros estatísticos estimados sejam representativos. Diferentes critérios são adotados para assegurar a qualidade das medidas. Primeiramente, as séries temporais coletadas passam por um controle de valores absolutos, distintos para cada variável, como forma de assegurar a consistência física das medidas. Posteriormente, as médias horárias são determinadas quando há no mínimo 06 medidas no intervalo de uma hora. Valores horários superiores/inferiores aos quantis de 95% e 5% também são removidos.

Adicionalmente, os seguintes critérios de controle de qualidade sugeridos por Younes et al. (2005) e Journée et al. (2011) são aplicados as medidas das componentes de radiação solar global (SW_{dw}) e difusa (SW_{dif}):

$$\alpha > 2^\circ \quad (1)$$

$$\frac{SW_{dw}}{SW_{top}} < 1 \quad (2)$$

$$\frac{SW_{dif}}{SW_{top}} < 0,8 \quad (3)$$

$$\frac{SW_{dif}}{SW_{dw}} < 1,1 \quad (4)$$

onde α é o ângulo de elevação solar e SW_{top} é a radiação solar extraterrestre sobre uma superfície horizontal (Iqbal, 1983), considerando a constante solar de 1.366 Wm^{-2} .

O percentual de medidas horárias removidas pela aplicação de cada um dos critérios adotados é apresentado na Tabela 1. O maior percentual de remoção da Eq. (1) está relacionado às medidas coletadas em horários noturnos e de transição.

Tabela 1 – Percentual de dados removidos por cada critério.

Critério	Percentual dos dados removidos (%)
Eq. (1)	29,22
Eq. (2)	7,85
Eq. (3)	9,21
Eq. (4)	5,33

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evolução sazonal dos valores médios diários das componentes da radiação solar em superfície é mostrado na Fig. 3. A média mensal da SW_{dw} segue o padrão de variação da SW_{top} , com máximo em torno de $25 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ em janeiro (verão) e mínimo de $15 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ em junho (inverno/chuvoso). Entre os meses de outubro e fevereiro, SW_{dw} varia pouco, com médias superiores a $20 \text{ MJ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$. Este resultado demonstra o potencial de uso da energia solar na cidade Salvador, pois a maior demanda de energia no Brasil ocorre no período de verão (Martins et al., 2012). Nos últimos anos, o pico de demanda em áreas urbanas ocorreu nas horas de máxima temperatura, entre às 13h e 15h, devido ao uso intenso de condicionadores de ar. No período chuvoso (AMJ) os valores de SW_{dw} são 65% menores que o observado no verão. A componente SW_{dif} apresentou uma pequena variabilidade entre os meses de janeiro e maio, com média em torno de $6 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$. No verão, a razão entre SW_{dif} e SW_{dw} é igual 15%, enquanto que no período chuvoso este valor é superior a 35%, como esperado.

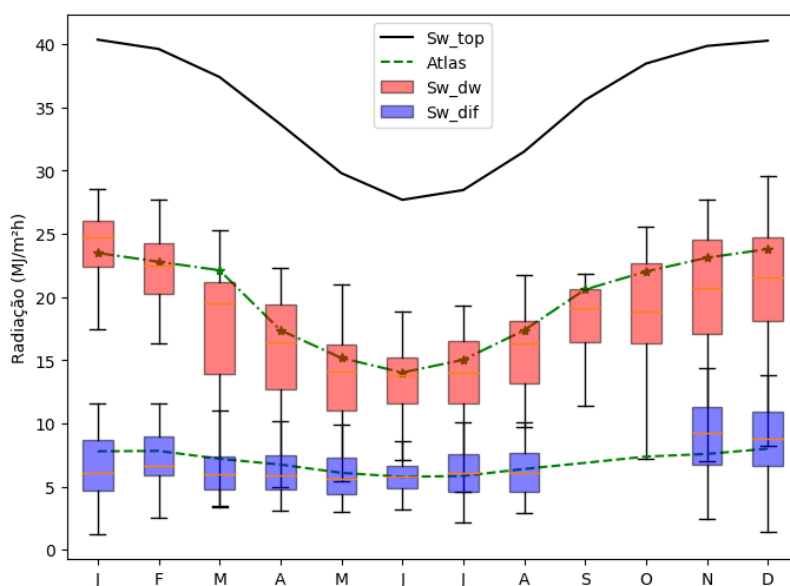


Figura 2 – Evolução mensal das componentes do balanço de radiação de onda curta e curva modelada do modelo BRASIL-SR.

As estimativas de SW_{dif} e SW_{dw} do modelo BRASIL-SR (Pereira et al, 2017), modelo físico para obtenção de estimativas da radiação solar, para a latitude e longitude mais próximas da PMAmb foram confrontadas, o modelo superestima os valores de SW_{dw} , enquanto o comportamento da SW_{dif} é bem representado.

A evolução diurna de SW_{dw} em janeiro (verão) segue o padrão da SW_{top} , em decorrência da combinação de fatores astronômicos e das condições atmosféricas observadas, uma vez que esta é a estação mais seca do ano (Fig. 4). Entre 10h e 14h, os valores de SW_{dw} são superiores a $3 \text{ MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$, com máximo de $3,8 \text{ MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ ao meio dia. O espalhamento das medidas na parte da manhã está relacionado a maior ocorrência de nuvens, ocasionadas pelo aquecimento da superfície e a convergência de umidade proveniente do oceano (brisa marítima) (Molion e Bernardo, 2002). Este comportamento reflete os valores quase constantes da SW_{dif} neste período.

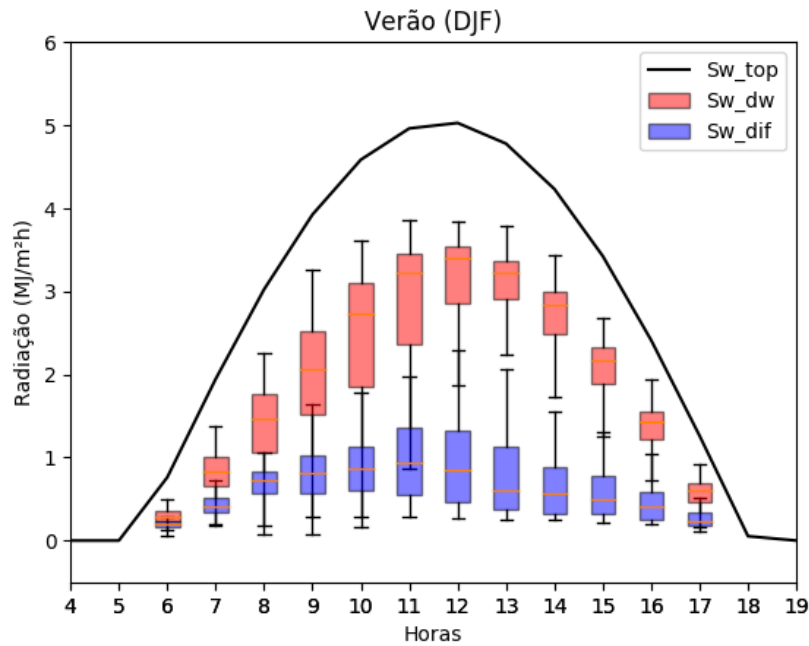


Figura 3 - Evolução horária das componentes do balanço de radiação de onda curta para os meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro (verão).

No inverno SW_{top} tem um máximo de $MJm^{-2}h^{-1}$, decréscimo de 20% em relação ao verão. A notável atenuação dos máximos de SW_{dw} e o grande espalhamento das medidas no inverno está relacionado ao período de chuvas em Salvador.

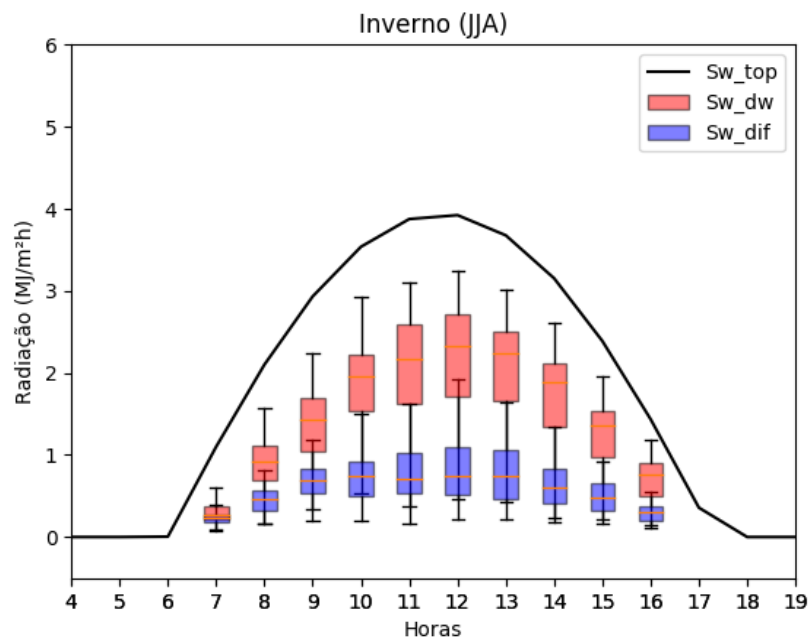


Figura 4 - Evolução horária das componentes do balanço de radiação de onda curta para os meses de Junho, Julho e Agosto (inverno).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentada a caracterização dos dados das componentes de radiação de onda curta na Região Metropolitana de Salvador e os rigorosos critérios aplicados às medidas, necessários para assegurar a qualidade do banco de dados.

A evolução sazonal e diurna foram realizadas através das médias horárias resultantes do controle de qualidade. O efeito da brisa marítima terrestre é bem representado com o maior espalhamento das medidas durante o período da manhã e o espalhamento durante as tardes de inverno é ocasionado pelo período chuvoso na RMS.

No verão a evolução diurna apresenta amplitude máxima de SW_{dw} de $3.45 \pm 0.1 \text{ MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ às 12h. No inverno a amplitude máxima da evolução diurna é de $2.99 \pm 0.1 \text{ MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ às 12h, sendo 13% menor que o verão. A SW_{dif} apresenta amplitude máxima de $1.2 \text{ MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ durante o verão, durante o inverno a amplitude máxima observada é 25% menor com $0.89 \text{ MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$.

Agradecimentos

Os autores são gratos a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro e a UFBA pelo apoio dado para a realização do trabalho.

REFERÊNCIAS

- Chen, S., & Chen, B. (2016). Urban energy–water nexus: a network perspective. *Applied Energy*, 184, 905-914.
- de Jong, P., Kiperstok, A., & Torres, E. A. (2015). Economic and environmental analysis of electricity generation technologies in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 725-739.
- de Oliveira, J. F. G., & Trindade, T. C. G. (2018). Sustainability performance evaluation of renewable energy sources: The case of Brazil. Springer International Publishing.
- Hoff, H. (2011). Understanding the nexus: Background paper for the Bonn2011 Conference.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Portal Cidades, 2018. http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang¼_EN.
- Iqbal, M. An introduction to solar irradiation. Toronto: Academic Press; 1983, 390p.
- Journée, M., & Bertrand, C. (2011). Quality control of solar radiation data within the RMIB solar measurements network. *Solar Energy*, 85(1), 72-86.
- Marengo, J. A., Torres, R. R., & Alves, L. M. (2017). Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, 129(3-4), 1189-1200.
- Martins, F. R., Abreu, S. L., & Pereira, E. B. (2012). Scenarios for solar thermal energy applications in Brazil. *Energy Policy*, 48, 640-649.
- Molion, L.C.B., Bernardo, S.O., (2002). Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 17, 1-10.
- Moradi, I., (2009). Quality control of global solar radiation using sunshine duration hours. *Energy* 34, 1–6.
- Mulder, F. M. (2014). Implications of diurnal and seasonal variations in renewable energy generation for large scale energy storage. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 6(3), 033105.
- Pereira, E. B. et al. Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos: INPE; 2017, 80p.
- Younes, S., Claywell, R., & Muneer, T. (2005). Quality control of solar radiation data: Present status and proposed new approaches. *Energy*, 30(9), 1533-1549.

CHARACTERIZATION OF THE SHORT WAVE RADIATION COMPONENTS IN SALVADOR

Abstract. *In order to ensure the efficiency of solar energy devices it is essential to determine the behavior of incident radiation on inclined surfaces, requiring knowledge of the global and diffuse solar radiation components incident on a horizontal surface. The main objective of this work is to characterize the monthly and hourly evolution of the shortwave radiation balance components in the city of Salvador-Ba. The measurements collected by the Micrometeorology and Modeling Laboratory Environmental Monitoring Platform, after a robust quality control, show a well-defined day cycle and global radiation amplitudes of $30 \text{ MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$ in summer, in winter global radiation decays. on average 36%. Diffused radiation has maximum amplitudes of $14 \text{ MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ in November, 54% of global radiation, indicating the exceptional energy potential available.*

Key words: *Solar Energy, Radiation Balance, Environmental Monitoring*