



ANÁLISE DO POTENCIAL DE ENERGIA SOLAR NO ESTADO DA BAHIA USANDO UMA MODELAGEM COMPUTACIONAL

Palmira Maria Acioli Dias¹; Georgynio Yossimar Rosales Aylas ²; Flávio Santos Conterato ³; José Vicente Cardoso Santos ⁴; Carolina Sacramento Vieira ⁵; Erick Giovani Sperandio Nascimento ⁶; Davidson Martins Moreira ⁷

¹Centro Universitário SENAI-CIMATEC; Salvador/BA; palmira.engmec@gmail.com

²Centro Universitário SENAI-CIMATEC; Salvador/BA

Resumo: Na atualidade verifica-se uma crise energética mundial e crescente, de forma que pesquisas sobre fontes alternativas de energia têm sido fomentadas, em especial a energia solar, que tem se apresentado como uma das alternativas promissoras, pois além de ser uma fonte de energia renovável, encontrasse em grande abundância na superfície, em especial no Brasil. Neste cenário esta pesquisa tem como objetivo geral a avaliação do potencial solar no Estado Bahia no mês de janeiro de 2018 através do modelo WRF (*Weather Research and Forecast*) e como objetivos específicos o registro das variações estatísticas deste potencial bem como a validação do modelo com os resultados encontrados em confronto com os dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Palavras-Chave: Energia solar; modelagem computacional; radiação solar incidente; *WRF*; Estado da Bahia.

ANALYSIS OF SOLAR ENERGY POTENTIAL IN BAHIA STATE USING COMPUTER MODELING

Abstract: Nowadays there is a worldwide and growing energy crisis, so that research on alternative energy sources has been fomented, especially solar energy, which has been presented as one of the promising alternatives, besides being a renewable energy source, found in great abundance on the surface, especially in Brazil. In this scenario this research has as its general objective the evaluation of solar potential in the State of Bahia in January 2018 through the WRF (*Weather Research and Forecast*) model and as specific objectives the recording of the statistical variations of this potential as well as the validation of the model with the results found in comparison with data from INMET (National Institute of Meteorology).

Keywords: Solar energy; computational modeling; incident solar radiation; *WRF*; State of Bahia.



1. INTRODUÇÃO

Como consequência do crescimento populacional e tecnológico, vem surgindo cada vez mais a necessidade de uma ampla disponibilidade de energia elétrica. No Brasil, com o aumento do custo da energia elétrica devido à escassez de chuvas para abastecer os reservatórios das usinas hidrelétricas, a energia solar tem se apresentado como uma alternativa válida e sustentável de geração de eletricidade [1].

A quantidade de radiação solar que atinge o planeta anualmente equivale a 7.500 vezes o consumo de energia primária de sua população. A incidência de radiação varia conforme a posição geográfica [2]. A previsão de radiação solar incidente é de vital importância na operação de sistemas híbridos de geração de eletricidade, permitindo um gerenciamento mais eficiente das fontes de energia e o emprego otimizado de energia solar fotovoltaica, em prol da economia de outros recursos. Em virtude disso, surgir a necessidade de estudos que buscam aumentar o conhecimento da disponibilidade e captação de irradiação solar [3].

Na literatura existem alguns modelos capazes de simular a incidência de irradiação, tais como: modelos de decomposição [4], modelo polinomial [5], modelo função logística [6], modelo de transferência radiativa; este último, por sua vez, tem como base um modelo que usa a aproximação de “dois-fluxos” na solução da equação de transferência radiativa, e faz uso de dados de elevação da superfície. O Atlas Brasileiro de Energia Solar, que foi desenvolvido através do projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*), utilizou o modelo de transferência radiativa [5].

O modelo WRF (*Weather Research and Forecast*) é um modelo de previsão numérico orientado para a pesquisa dos fenômenos atmosféricos e a previsão do tempo em mesoescala [6]. O seu desenvolvimento contínuo é fruto da colaboração entre vários centros de investigação e agências governamentais dos EUA. Concebido para ser uma ferramenta flexível, portátil e eficiente em diversas plataformas de computação [7]. O modelo possui um código-fonte simples, o que facilita o seu entendimento e aplicação.

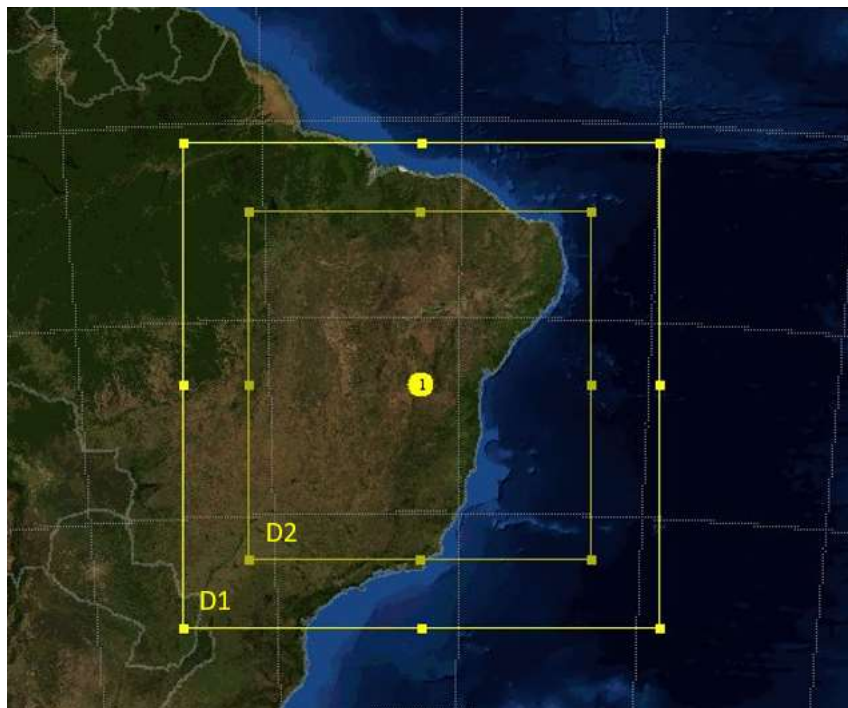
O presente estudo tem como objetivo avaliar o potencial solar no estado da Bahia para o mês de janeiro de 2018, utilizando o modelo WRF como ferramenta principal para a modelagem computacional.

2. METODOLOGIA

Para obter-se o potencial solar no Estado da Bahia no mês de janeiro de 2018, utilizou-se o modelo WRF, versão 3.9, com o sistema de projeção Lambert integrado em uma grade com espaçamento horizontal de 9 km x 9 km (domínio externo, D1) e 3 km x 3 km (domínios aninhados, D2), conforme Figura 1.



Figura 1. Domínios para a área de estudo.



A escolha da parametrização utilizada nesta modelagem foi realizada através de simulações empregando diferentes conjuntos de parametrizações, verificando o seu desempenho através de estimativas fornecida por meio de comparações com dados observados das estações do INMET. As parametrizações usadas estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Parametrizações usadas no modelo WRF

Parametrizações modelo WRF	Tipo
Camada Limite Superficial	<i>Unified Noah Land Surface Model</i>
Camada Limite Atmosférica	<i>Bougeault–Lacarrere Scheme (BouLac)</i>
Superfície do solo	<i>Eta Similarity Scheme</i>
Microfísica	<i>Purdue LinScheme</i>
Radiação de onda longa	<i>RRTMG Shortwave and Longwave Schemes</i>
Radiação de onda curta	<i>RRTMG Shortwave and Longwave Schemes</i>
Cúmulos	<i>Betts–Miller–Janjic Scheme</i>

As saídas do modelo WRF foram comparadas com dados observados de 40 estações do INMET, sendo esta base de dados constituída por valores médios horários de irradiação solar global, que estão distribuídos no estado da Bahia, na qual



são dotadas de suas coordenadas geográficas, latitude, longitude e altitude do local, para um período de 8 dias do mês de janeiro de 2018.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 a seguir mostram-se os resultados estatísticos do confronto do modelo WRF com as estações meteorológicas do INMET utilizando médias horárias. Os melhores resultados são para erro quadrático médio normalizado (NMSE), Fractional bias (FB) e desvio padrão fracional (FS) próximos a zero e fator de correlação (COR) e fator de 2 (FAT2) iguais a 1.

Tabela 2: Índices estatísticos dos resultados do modelo

Estações do INMET	NMSE	FAT2	COR	FB	FS
Amargosa	0,361	0,465	0,650	0,022	0,020
Barra	0,200	0,596	0,774	-0,058	-0,109
Barreiras	0,451	0,416	0,683	-0,227	-0,149
Belmonte	0,536	0,412	0,568	-0,107	-0,120
Bom Jesus da Lapa	0,614	0,429	0,548	-0,279	-0,107
Brumado	0,572	0,402	0,523	0,152	-0,126
Buritirama	0,659	0,354	0,532	-0,219	-0,144
Caravelas	0,493	0,523	0,593	-0,098	0,013
Conde	0,365	0,511	0,657	-0,168	-0,090
Correntina	0,370	0,455	0,653	0,091	-0,080
Cruz das Almas	0,286	0,519	0,652	0,073	-0,116
Delfino	0,591	0,468	0,588	-0,221	-0,095
Euclides da Cunha	0,485	0,411	0,579	0,086	-0,111
Feira de Santana	0,383	0,523	0,646	-0,202	-0,087
Guanambi	0,433	0,538	0,584	0,394	-0,490
Ibotirama	0,399	0,473	0,633	-0,044	-0,080
Ilhéus	0,740	0,376	0,441	0,186	0,133
Ipiaú	0,616	0,434	0,520	-0,200	-0,496
Irecê	0,338	0,505	0,651	0,001	-0,116
Itaberaba	0,358	0,558	0,652	-0,042	-0,131
Itapetinga	0,430	0,496	0,725	-0,180	-0,222
Itiruçu	0,391	0,500	0,648	0,028	-0,036
Jacobina	0,739	0,364	0,372	-0,068	0,050
Lençóis	0,241	0,561	0,779	-0,138	-0,112
Luiz Eduardo Magalhães	0,344	0,557	0,793	-0,277	-0,215
Macajuba	0,641	0,473	0,583	-0,372	-0,156

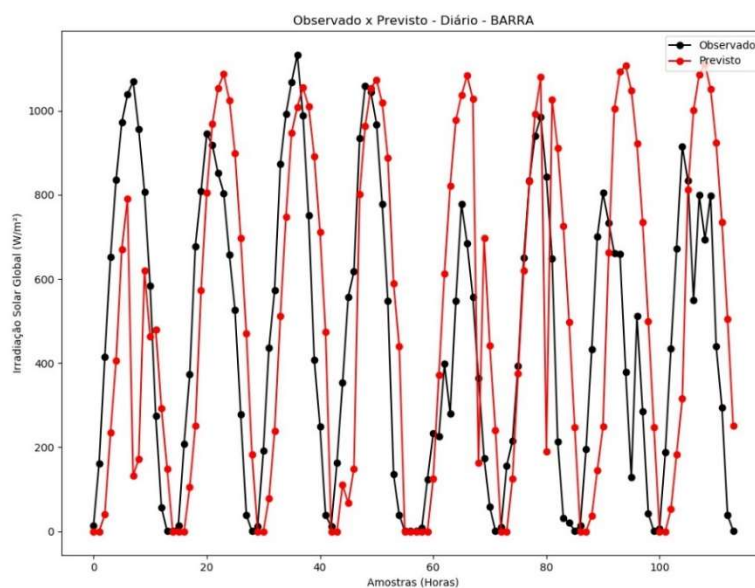


Estações do INMET	NMSE	FAT2	COR	FB	FS
Marau	0,379	0,519	0,739	-0,242	-0,278
Piatã	0,369	0,472	0,593	0,107	-0,059
Porto seguro	0,619	0,434	0,555	-0,096	-0,150
Queimadas	0,473	0,468	0,563	0,040	-0,162
Remanso	0,306	0,478	0,654	-0,084	-0,154
Salvador	0,256	0,606	0,750	-0,113	0,033
Santa Rita de Cássia	0,402	0,486	0,624	0,033	-0,042
Senhor do Bonfim	0,453	0,473	0,641	-0,202	-0,081
Serrinha	0,463	0,529	0,714	-0,367	-0,408
Uauá	0,382	0,490	0,594	0,041	-0,030
Uma	0,351	0,514	0,618	-0,050	-0,055
Valença	0,376	0,500	0,619	0,029	-0,145

A Tabela 2 indica índices estatísticos satisfatórios, tendo em vista as dificuldades de simular a interação superfície-atmosfera.

Na Figura 2, observa-se a média horária da irradiação solar incidente (W/m^2) observada pela estação do INMET de Iboritima (latitude de $-12,192^\circ$, longitude $-43,212^\circ$ e altitude de 430 metros) e predita pelo modelo, para o período de 8 dias (do dia 01 a 08, totalizando 192 horas de análise) do mês de janeiro de 2018.

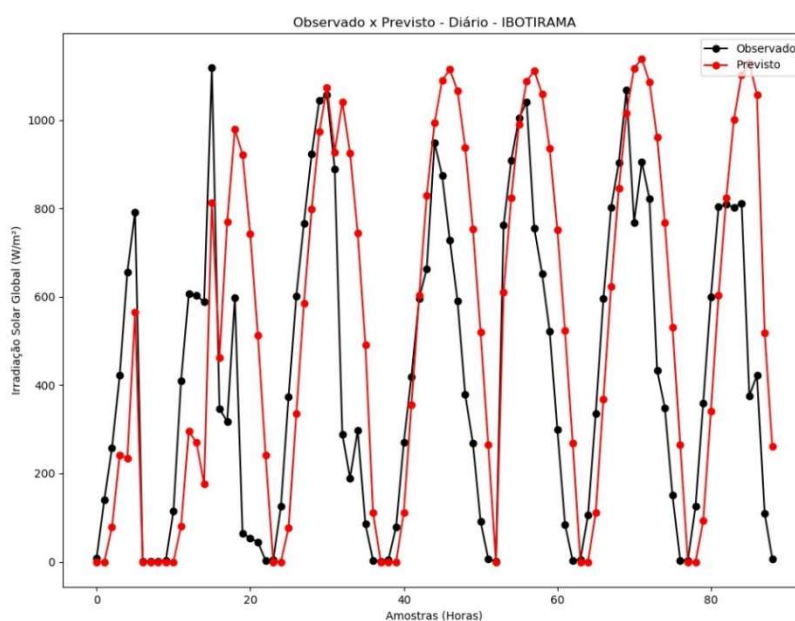
Figura 2. Médias horárias da irradiação solar incidente observadas pela estação do INMET de Iboritima e preditas pelo modelo.





Na Figura 3, observa-se a média horária da irradiação solar incidente (W/m^2) observadas pela estação do INMET da Barra (latitude de $-11,084^\circ$, longitude $-43,139^\circ$ e altitude de 407,5 metros) e previstas pelo modelo, para o mesmo período.

Figura 3. Médias horárias da irradiação solar incidente observadas pela estação do INMET da Barra e previstas pelo modelo.

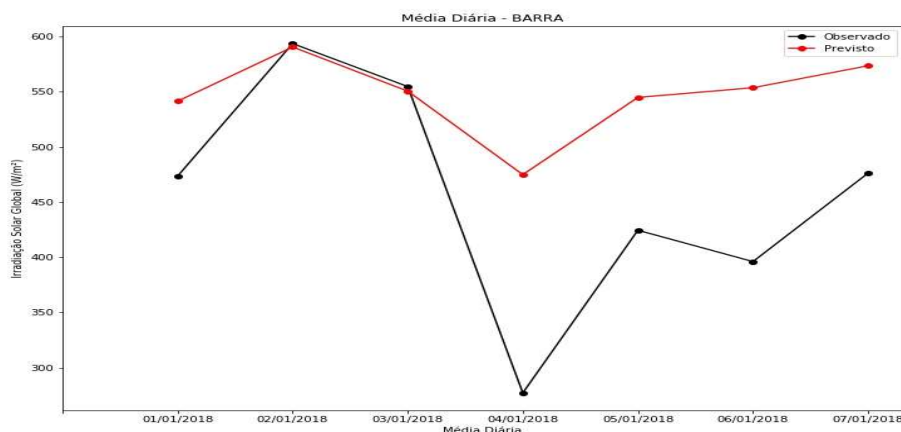


As Figuras 3 e 4 apresentam a variação temporal da irradiação solar, indicando um comportamento similar durante o período de análise.

Na Figura 4, observa-se a média diária da irradiação solar incidente (W/m^2) observadas pela estação do INMET da Barra e previstas pelo modelo.



Figura 4. Médias diárias da irradiação solar incidente observadas pela estação do INMET da Barra e previstas pelo modelo.



Conforme a Figura 4, observa-se uma tendência do modelo em superestimar a irradiação solar média diária.

4. CONCLUSÃO

Esta pesquisa considera as preocupações e prioridades externadas com a crise energética mundial e o viés alternativo para a mesma as pesquisas e aumento de eficácia e eficiência dos processos com as fontes alternativas de energia com a matriz solar por ter-se apresentado como alternativa renovável e promissora o tempo em que se evidencia o uso de ferramenta, de software e hardware, específicos para a simulação, com fins de avaliação, do potencial solar no Estado Bahia no mês de janeiro de 2018 através do modelo WRF (*Weather Research and Forecast*) com resultados comparativos promissores e devidamente validados com confronto dos resultados com os dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Apresentou-se um comparativo do potencial de incidência solar no Estado da Bahia, para uma semana no mês de janeiro de 2018, entre dados reais e simulados através do modelo de previsão do tempo e com valores superavitários nos dados simulados com o WRF, indicando as suas tendências e flutuações de longo prazo.

Observou-se também que, em virtude do cenário exposto, através dos índices estatísticos, pode-se afirmar que as simulações apresentam resultados satisfatórios, não obstante, para a melhorar a acurácia do modelo, as metas de trabalhos futuros desta pesquisa remetem ao uso de domínios com malhas de 1 km, escolha de diferentes conjuntos de parametrização do modelo, incluindo períodos de tempo maiores, com intuito de uma melhor análise de estimativa de potencial solar em longo prazo, desta maneira trabalhos futuros podem ser recomendados com fins de aprimoramento e corroboração dos atuais resultados em registro.



Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro da FAPESB, SENAI CIMATEC e o INMET pelo apoio e parceria.

5. REFERÊNCIAS

- ¹ SILVA, R.M. **Energia solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**. Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, Brasília, fev. 2015.
- ² STUHLMANN, R.; RIELAND, M.; PASCHKE, E. An improvement of the IGMK model to derive total and diffuse solar radiation at the surface from satellite data. **Journal of Applied Meteorology**, v. 29, n. 7, p. 586-603, 1990.
- ³ SKAMAROCK, W.C.; KLEMP, J.B.; DUDHIA, J.; GILL, D.O.; BARKER, D.M.; DUDA, M.G.; HUANG, X.; WANG, W.; POWERS, J.G. **A Description of the Advanced Research WRF Version 3**. National Center for Atmospheric Research, Boulder, 2008.
- ⁴ LANINI, F. **Division of global radiation into direct radiation and diffuse radiation**. University of Bern, 2010.
- ⁵ SKAMAROCK, W.C.; KLEMP, J.B.; DUDHIA, J.; GILL, D.O.; BARKER, D.M.; DUDA, M.G.; HUANG, X.; WANG, W.; POWERS, J.G. **A Description of the Advanced Research WRF Version 3**. National Center for Atmospheric Research, Boulder, 2008.
- ⁶ SKARTVEIT, A.; OLSETH, J. A. **A model for the diffuse fraction of hourly global radiation**. Solar energy, v. 38, n. 4, p. 271-274, 1987.
- ⁸ SKAMAROCK, W.C.; KLEMP, J.B.; DUDHIA, J.; GILL, D.O.; BARKER, D.M.; DUDA, M.G.; HUANG, X.; WANG, W.; POWERS, J.G. **A Description of the Advanced Research WRF Version 3**. National Center for Atmospheric Research, Boulder, 2008.