



PREVISÃO DA IRRADIAÇÃO SOLAR A CURTO PRAZO USANDO O MODELO WRF

Carolina Sacramento Vieira¹; Anderson da Silva Palmeira²; Wenisten José Dantas da Silva³; Palmira Maria Acioli Dias⁴; Erick Giovani Sperandio Nascimento⁵; Davidson Martins Moreira⁶.

¹ Centro Universitário Senai Cimatec; Salvador/Bahia; carolinavieira265@gmail.com

² Centro Universitário Senai Cimatec; Salvador/Bahia; andersonpalmeira@icloud.com

³ Centro Universitário Senai Cimatec; Salvador/Bahia; wenisten.silva@fieb.org.br

⁴ Centro Universitário Senai Cimatec; Salvador/Bahia; palmiraengmec@gmail.com

⁵ Centro Universitário Senai Cimatec; Salvador/Bahia; erick.sperandio@fieb.org.br

⁶ Centro Universitário Senai Cimatec; Salvador/Bahia; davidson.moreira@gmail.com

Resumo: Para estudos mais exatos do potencial energético de um determinado local, o conhecimento da variabilidade temporal da radiação solar é recomendável para obter projetos com melhor aproveitamento da energia solar. Dentro desse contexto, este trabalho avalia as previsões de irradiação e temperatura feitas pelo modelo numérico de previsão meteorológica WRF. A avaliação é realizada em uma escala temporal de 36 horas e os dados previstos pelo modelo são comparados com dados coletados pela estação automática do INMET localizada no município da Barra, situado no Estado da Bahia. Os resultados demonstram que a ferramenta apresenta boa capacidade de previsão, com grande potencial para fins operacionais, de pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

Palavras-Chave: Previsão de curto prazo; Radiação solar; WRF.

FORECAST OF SOLAR IRRADIATION USING THE WRF MODEL

Abstract: For more accurate studies of the potential of a given location, knowledge of the temporal variability of solar radiation is recommended to obtain projects with better use of solar energy. Within this context, this work evaluates the irradiation and temperature predictions made by the numerical weather forecast model WRF. The assessment is performed on a 36-hour time scale and the data predicted by the model are compared with data collected by the INMET automatic station located in the municipality of Barra, located in the state of Bahia. The results show that the tool has good forecasting capacity, with great potential for operational, research and technological development purposes.

Keywords: Short term forecasting; Solar radiation; WRF.



1. INTRODUÇÃO

A energia solar vem ganhando relevância nos últimos anos, e sua participação na matriz energética mundial está em ampla expansão. No Brasil, a fonte solar já se apresenta, junto com a energia eólica, como uma das mais promissoras formas de ampliação do parque gerador elétrico [1]. Segundo os dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que criou e controla o segmento de geração distribuída no Brasil, foram 31.896 novos sistemas fotovoltaicos conectados à rede até o final de junho de 2019, ultrapassando a marca de 1 gigawatt de potência instalada em micro e minigeração distribuída de energia elétrica, sendo cerca de 361 Megawatts (MW) até este ano em comparação aos 393 MW de 2018.

O crescimento significativo no número de instalações deve-se à fatores como o aumento na tarifa de energia elétrica no Brasil, evolução tecnológica com a decorrente redução nos custos dos painéis solares, a necessidade de se ampliar o uso das energias limpas, os incentivos fiscais já regulamentados para o segmento e as amplas áreas aptas à implantação de parques solares na Bahia.

Entretanto, para que essa fonte renovável seja implementada, é imprescindível a caracterização adequada do recurso solar existente, pois a radiação que atinge a superfície terrestre varia, devido às suas características intermitentes e sazonalidades. Sendo assim, para auxiliar o planejamento de operação do sistema elétrico do país, principalmente, no caso de usinas fotovoltaicas, se faz necessário estudos que possibilitem conhecer sua disponibilidade regional, variabilidade temporal e previsibilidade [2]. Quando se trata de previsão de curto prazo existem diferentes técnicas cuja utilidade depende criticamente do horizonte de previsão e da resolução espacial requerida [3].

Os modelos numéricos de previsão de tempo (NWP, Numerical Weather Predict) apresentam maior grau de progresso, pois vem sendo utilizados há décadas de maneira geral para previsão de variáveis meteorológicas resolvendo processos físicos desde a superfície até a alta atmosfera. Os NWPs são classificados em duas categorias: os modelos que operam em escala global, como o GFS da NOAA (EUA) ou o ECMWF do European Centre, e os modelos em escala regional, como o WRF (Weather Research and Forecasting). O modelo atmosférico WRF, objeto deste trabalho, é desenvolvido pela comunidade científica tanto para fins de pesquisa quanto operacionais. Foi desenvolvido conjuntamente por uma série de instituições e agências governamentais: National Center for Atmospheric Research (NCAR), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Forecast Systems Laboratory (FSL), Air Force Weather Agency (AFWA), Naval Research Laboratory, Oklahoma University e Federal Aviation Administration (FAA) e concebido para ser uma ferramenta de topo na arte da simulação atmosférica, sendo de domínio público e disponibilizado gratuitamente. Maiores detalhes quando a estrutura numérica e computacional do modelo pode ser obtida em [4].

O desempenho do modelo WRF avaliado para a previsão da irradiação solar, tornou-se um campo de pesquisa ativo nos últimos anos. No Brasil, a previsão da



energia solar pelos modelos NWP está no estágio de desenvolvimento e diagnóstico. Dentro desse contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a capacidade do modelo WRF em prever radiação solar à curto prazo, com horizonte temporal de 36 horas. A região de estudo será o município da Barra, situado no Estado da Bahia, Nordeste do Brasil. Os dados previstos pelo modelo são comparados com dados coletados pela estação automática do INMET localizada na região em estudo.

2. METODOLOGIA

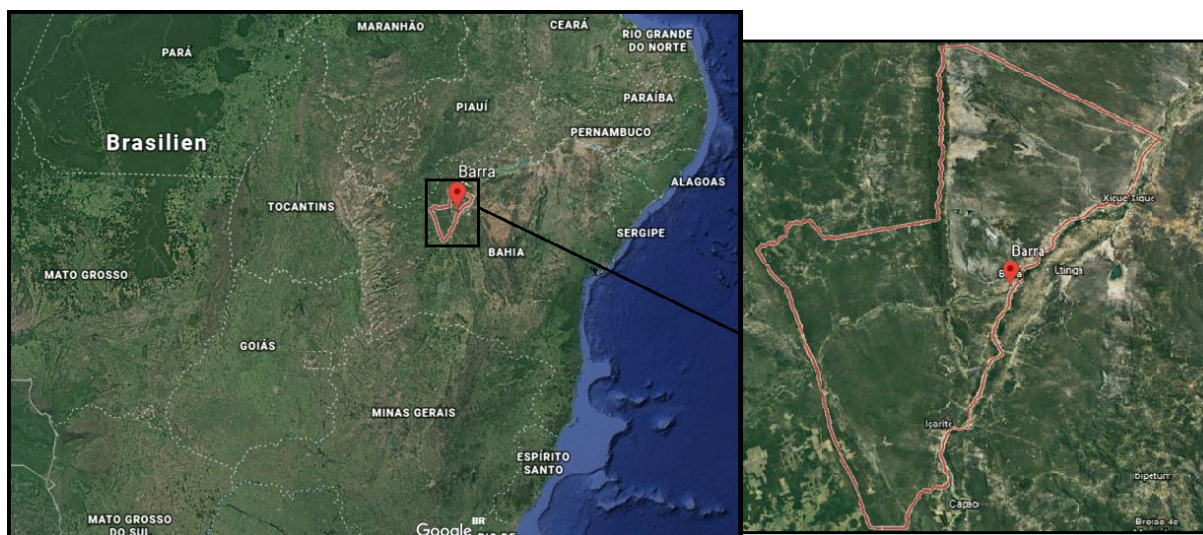
2.1 Área de Estudo

O Nordeste do Brasil é uma região com uma grande variedade de fatores climatológicos e antrópicos. A elevada incidência de radiação solar, com valores médios para irradiação global estimados em $5,5 \text{ kWh/m}^2$, caracteriza a região como sendo aquela de maior potencial de energia solar disponível no Brasil [6].

A área em estudo é o município da Barra localizado na região do Vale do rio São Francisco da Bahia, situado a 398 metros de altitude com latitude $11^\circ 5' 20'' \text{ S}$ e longitude $43^\circ 8' 31'' \text{ W}$. É ocupada aproximadamente por 49.325 mil habitantes distribuídos em uma área de $11\,412,8 \text{ km}^2$ [5].

A predominância da incidência de radiação solar no oeste e norte do Estado, bem como o potencial promissor dessas regiões foi o fator determinante para a escolha do município da Barra. Essa região é bastante privilegiada, com extensas áreas de planície, clima tropical, irradiação Global Horizontal anual (GHI) superior a 2.200 kWh/m^2 e temperatura média anual de 28°C [1]. Outros fatores como proximidade de linhas de transmissão ou de centros consumidores são também relevantes, principalmente no ambiente competitivo dos leilões de energia. A localização da área de estudo, pode ser verificada na Fig. 1.

Figura 1. - Área de estudo e domínio do modelo WRF





2.2 O modelo WRF

O modelo WRF é um modelo de mesoescala, não-hidrostático, euleriano e compressível que é usado neste trabalho para previsão horária da Irradiação Solar Global (GHI) e temperatura com um horizonte temporal de 36 horas. As principais parametrizações físicas desde modelo estão divididas em cinco categorias distintas: microfísica, parametrização de nuvens, parametrização da CLP, modelos de ocupação do solo e Radiação.

Para realizar as simulações meteorológicas foi utilizado o modelo WRF Versão 3.9.1. O modelo foi executado com três domínios aninhados com resoluções de grade de 9 km, 3 km e 1 km, respectivamente (Fig. 2). Uma visão geral das opções físicas adotadas está listada na Tabela 1, e a configuração espacial é mostrada na Tabela 2. As parametrizações foram as mesmas para os três domínios, com exceção do D2 e D3 em que a parametrização cúmulos foi desligada. Trabalhos anteriores (por exemplo em [2]) já validou previamente dados modelados com a mesma configuração para a região do Vale São-Francisco da Bahia.

Tabela 1. Parametrizações físicas do modelo WRF para a simulação

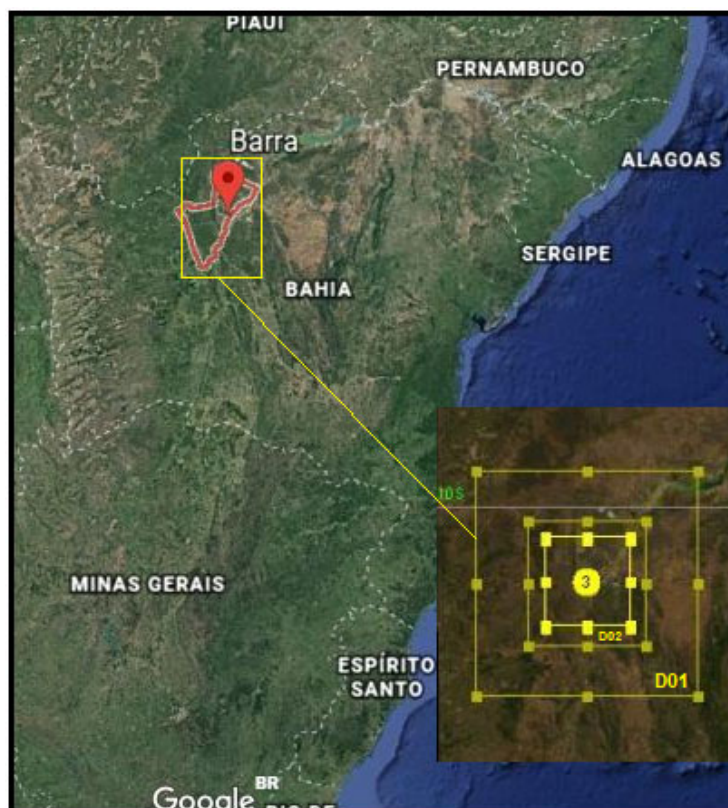
Parametrizações físicas	Esquema
Microfísica	New Thompson et al. [7]
Cúmulus	Grell 3D [12]
Radiação de onda longa	A new version of Rapid Radiative Transfer Model (RRTMG) [8]
Radiação de onda curta	RRTMG shortwave [8]
Camada Limite Superficial	Eta similarity [9]
Camada Limite Atmosférica	Mellor-Yamada-Janjic [10]
Superfície do solo	Noah Land Surface Model [11]

Tabela 2. Configuração dos domínios

Domínio	D01	D02	D03
Resolução Horizontal	9 km	3 km	1 km
Número de células	40x40	64x64	139x139
Tamanho do domínio	360x360 km	192x192 km	139x139 km



Figura 2. - Localização dos três domínios aninhados com resoluções de grade de 9 km (D01), 3 km (D02) e 1 km (D03)



O domínio de interesse (D03) tem resolução horizontal de 1 km e 35 níveis verticais com pressão no topo do modelo definido em 50 hPa. As condições iniciais e de contorno do modelo foram obtidas a partir das saídas do modelo atmosférico global GFS (Global Forecast System) do NCEP (National Center for Environmental Prediction), com resolução horizontal de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ e resolução temporal de 6 horas. Os dados geográficos, albedo, topografia, utilização do solo foram obtidos do United States Geological Survey (USGS) em resoluções de 5 min, 2 min e 30 s.

As simulações do modelo WRF para as 36 horas foram realizadas com a sua inicialização às 1300 UTC do dia 15 de abril de 2018, estendendo-se até às 2200 UTC do dia 16 de abril de 2018. As primeiras 6 horas de simulações foram consideradas como “spin-up” tempo de ajuste do modelo e excluídas das avaliações.

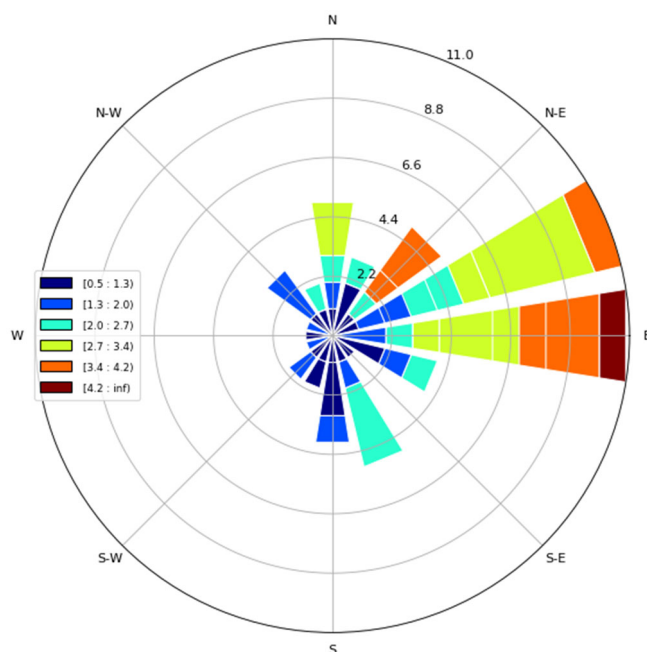
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da simulação estão diretamente relacionados com as condições meteorológicas da região em estudo. Inicialmente a velocidade do vento foi avaliada mediante componentes zonal e meridional do vento à 10 metros U10 e V10 (no sentido vertical e horizontal respectivamente, coletada aproximadamente a 10 metros de



altura). A seguir, a figura 3 mostra a rosa dos ventos para os dados simulados. Através das rosas dos ventos observa-se que os dados simulados apresentaram ventos predominantes de leste.

Figura 3. Rosa dos ventos simulada com dados do modelo WRF



Após avaliação da Rosa dos ventos, avaliou-se a variação horária da altura da camada limite planetária (CLP) a seguir na Fig. 4, e por fim, são confrontados os dados previstos de temperatura e irradiação global horizontal com dados observacionais, como mostram os gráficos de séries temporais nas figuras 5 e 6, respectivamente.

Figura 4. Variação horária da CLP

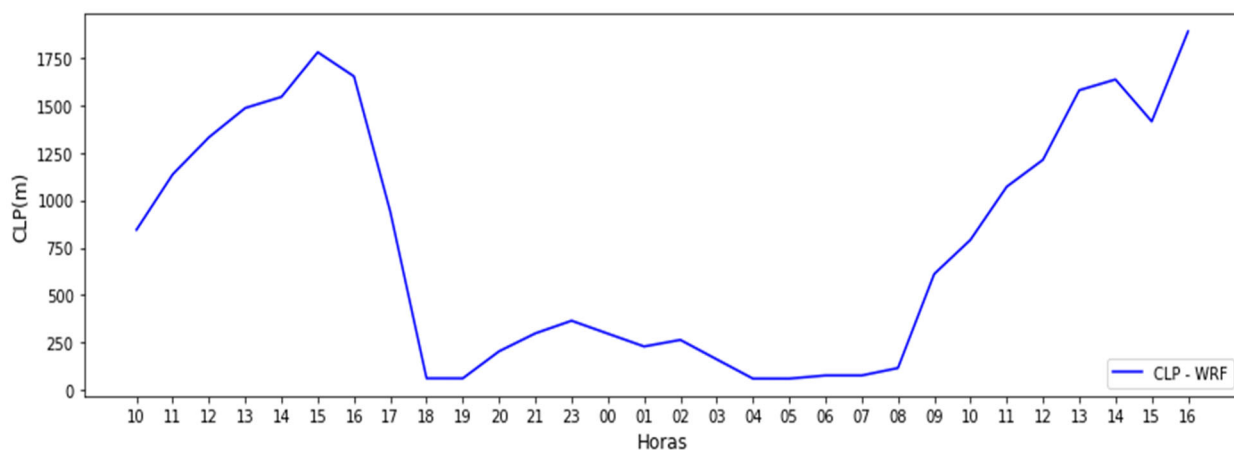




Figura 5. Previsão horária da Temperatura

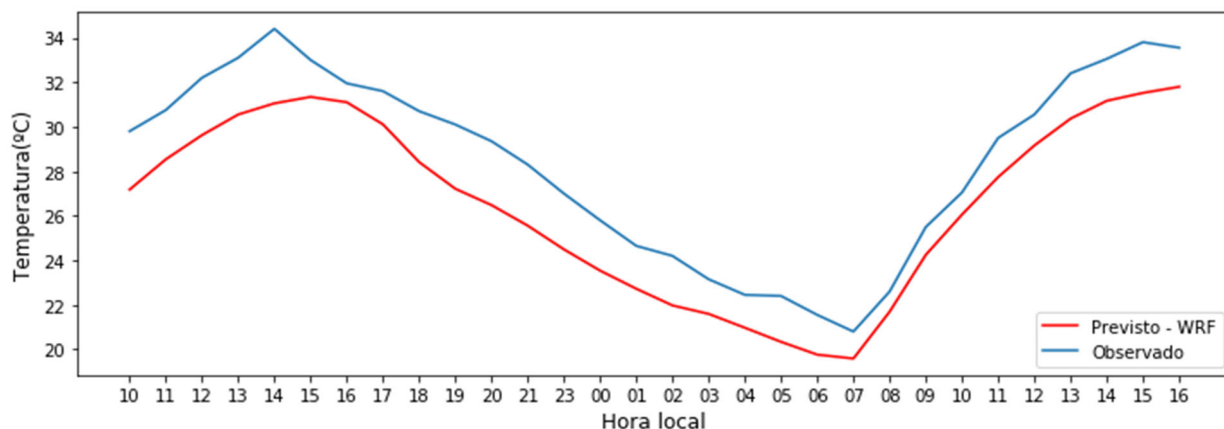
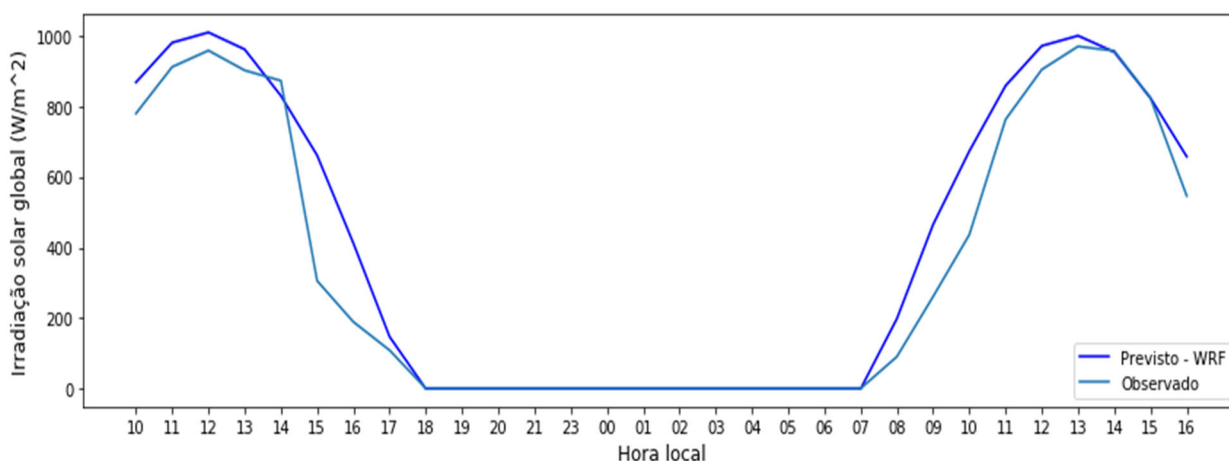


Figura 6. Previsão horária da irradiação solar (GHI)



Nos gráficos, observa-se que os maiores índices de irradiação solar e temperatura são registrados entre 11:00h e 13:00h (horário local) com valores máximos de aproximadamente 1000 W/m² e 32°C, apresentando um comportamento coerente ao período analisado, caracterizado por temperaturas que variaram entre 21° C e 33° C, conforme mostra os dados observacionais de estações do município da Barra para o mesmo período.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu avaliar a capacidade do modelo WRF em realizar previsões de irradiação solar e temperatura. O modelo WRF conseguiu obter bons



resultados de temperatura e irradiação solar o que possibilita indicar o modelo como ferramenta a ser utilizada para realizar previsão de curto prazo.

Para os próximos trabalhos propõe-se através de métricas estatísticas quantificar a capacidade de previsão do modelo. Este trabalho foi um passo importante no sentido de contribuir para novos estudos com modelos numéricos de previsão de tempo aplicados a estimativas de potencial e previsão de energia solar.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Centro de Supercomputação e Inovação Industrial (CIMATEC) pelo fornecimento da infraestrutura computacional necessária para a execução dos modelos e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo apoio financeiro.

5. REFERÊNCIAS

- ¹EULÁLIA, Monfort, et al., “Bahia Atlas Solar Energy 2018. **Atlas Solar Bahia 2018**, Curitiba: Camargo Schubert; Salvador: SECTI, SEINFRA, CIMATEC/SENAI, Brazil, 2018. 76p.
- ²LIMA, Francisco J.L. Solar radiation forecasting in northeast Brazil using the WRF model adjusted by artificial neural networks (ANN). Previsão de irradiação solar no Nordeste do Brasil empregando o modelo WRF ajustado por redes neurais artificiais (RNAs), São José dos Campos: **INPE**, 2015. 628p
- ³BRANCO, Vivian TA et al. Evaluación del pronóstico de irradiación solar diaria en Uruguay utilizando el modelo WRF. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**. 2018.
- ⁴SKAMAROCK, W. C. et al. Description of the Advanced Research WRF Version 3. **National Center for Atmospheric Research** Boulder. 2008
- ⁵INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, Censo Demográfico, 2010.
- ⁶PEREIRA, E. B. et al. **ATLAS Brasileiro de energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos. 80 p. ISBN (978-85-17-00089-8), 2017.
- ⁷THOMPSON, Gregory, et.al. Previsões explícitas da precipitação de inverno usando um esquema aprimorado de microfísica em massa. Parte II: Implementação de uma nova parametrização de neve. **Seg. Wea Rev.** , 136, 5095-5115, 2008.
- ⁸IACONO, MJ. et al., Forçante radiativa por gases de efeito estufa de longa vida: Cálculos com os modelos de transferência radiativa AER. **J. Geophys. Res.** , 113 , D13103, 2008.
- ⁹MONIN AS et al., Leis básicas de mistura turbulenta na camada superficial da atmosfera. **Contrib Geophys Inst Acad Sci URSS** 151: 163–187, 1954
- ¹⁰JANJIC, Zavisla I. Modelo Eta Coordenada Step-Mountain: Outros desenvolvimentos dos esquemas de convecção, subcamada viscosa e fechamento de turbulência. **Seg. Wea Rev.** , 122 , 927-945, 1994.



V SIINTEC

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INNOVATION AND TECHNOLOGY
SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

CIRCULAR ECONOMY | ECONOMIA CIRCULAR

¹¹TEWARI, M. et al. Implementation and verification of the unified NOAH land surface model in the WRF model. **20th conference on weather analysis and forecasting/16th conference on numerical weather prediction**, pp. 11–15, 2004.

¹²GRELL, Georg A., Prognostic Evaluation of Assumptions Used by Cumulus Parameterizations. Mon. **Wea. Rev.**, 121, 764–787, 1993.

¹³INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET. Brasília: INMET, 2011. 11 p. Nota Técnica n.º 001/2011/SEGER/LAIME/ CSC/INMET.