

# ANÁLISE DOS DESVIOS DA PREVISÃO DA RADIAÇÃO SOLAR LOCAL COM O MODELO NUMÉRICO DE PREVISÃO DE TEMPO ARPS E MÉTODO ESPACIAL DE CORREÇÃO

Manfred Georg Kratzenberg – manfredkratzenberg@gmail.com

Ricardo Rüther – rruther@gmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina

**Resumo.** Este artigo analisa a exatidão da previsão da radiação solar a partir do modelo de Previsão Numérica de Tempo (PNT), conhecido como Advanced Regional Prediction System (ARPS). Na análise da previsão local são validadas as previsões para uma área ao redor do local, as quais são comparadas com a radiação local medida. Aqui são usadas as previsões da radiação solar de uma área quadrada de diferentes extensões com o objetivo de: (i) identificar e entender o comportamento dos desvios da previsão da radiação local, (ii) obter-se uma extensão de área ideal, que resulta em um mínimo erro de previsão e (iii) elaborar um método de correção sistemática, que resulta em uma menor incerteza de previsão com o modelo ARPS.

**Palavras-chave:** Previsão Numérica de Tempo (PNT), Análise das incertezas de previsão, Correção de incertezas de previsão.

## 1. INTRODUÇÃO

No estado da arte pode se obter as menores incertezas para a previsão da radiação solar com horizonte de previsão de 24 horas apenas sob o uso de um modelo numérico de Previsão Numérica de Tempo (PNT) de escala reduzida, ou seja, um PNT de mesoescala. A posterior correção estatística dos valores previstos do modelo PNT tem a capacidade de reduzir as incertezas de previsão nesse contexto, um processo que é conhecido com o conceito de *Model Output Statistic* MOS (Lorenz, Hurka e Heinemann, 2009; Lorenz et al., 2010). A previsão PNT de mesoescala é embasada em um modelo PNT global, que simula globalmente a circulação da atmosfera e usa um procedimento semelhante a uma extrapolação para simular a atmosfera em tempo futuro. Anteriormente à aplicação do método MOS pode ser interessante de reduzir as incertezas de uma previsão PNT com métodos mais simples de pós-processamento. São estes: (i) o ato de aparar valores de radiação global prevista quando esse apresenta valores acima da radiação terrestre máxima, sendo que essa é uma função da hora e do mês. Esse valor limiar superior de radiação é calculado a partir do índice do céu claro ( $k^*$ ), que é calculado sob o uso de um índice mínimo mensal de turbidez da atmosfera, usando-se médias históricas da irradiância medida (Scharmer e Greif, 2000). O cálculo resulta no valor máximo horário da radiação solar<sup>1</sup>. (ii) a substituição das amostras da previsão local da radiação com um valor médio das previsões do PNT para uma área quadrada de pixels do modelo PNT em cujo centro é localizado o local de previsão (Pelland, Galanis e Kallos, 2012).

Deve se observar que, em caso de essa área ser muito grande, aumenta-se as incertezas de previsão devido da redução da correlação entre a radiação local medida e a média da radiação prevista para a considerada área. Já que no caso em que essa área é menor que o valor ideal as incertezas da previsão local não podem ser reduzidas de forma suficiente e são próximas às incertezas da previsão local. Aqui é analisada a partir de um histórico de previsões e medições como as previsões para essas áreas se relacionam com a radiação verdadeira medida. O objetivo é de obter um método adicional para se reduzir as incertezas locais da previsão da radiação solar pelo modelo PNT. Outro propósito desse trabalho é analisar, se as incertezas de previsão decorrem puramente de incertezas aleatórias, ou se o modelo PNT apresenta desvios sistemáticos na localização da variável prevista. Nesse caso propomos de incluir um método simples de pós-processamento do PNT para reduzir-se as incertezas de previsão da radiação solar a partir de uma correção sistemática do local de previsão.

## 2. PREVISÃO NUMÉRICA DE TEMPO

Na Subseção 2.1 são introduzidos os princípios básicos da previsão numérica de tempo. São delineados os processos de assimilação, análise e reanálise dos modelos de escala global (subseção 2.2) e modelos de mesoescala

---

<sup>1</sup> As médias horárias da irradiância medida divididos pelos valores limiares superiores resultam em um índice normalizado da radiação denominado como índice de céu claro ( $k^*$ ), que é na língua inglesa denominada como *clear sky index*. O índice  $k^*$  tem uma superior apresentação em comparação com outro índice que é mais usado, denominado como índice de limpidez, na língua inglesa denominada como *clearness index* ( $k$ ), cujo valor limiar é definido com a radiação extraterrestre.

(subseção 2.3). São também introduzidos de forma sucinta os submodelos para estimar a radiação solar nas simulações com o modelo de mesoescala Advanced Regional Prediction System (ARPS) (Xue, 2003).

## 2.1 Introdução à previsão numérica

Os modelos da PNT baseiam-se em um conjunto de equações diferenciais parciais que descrevem o escoamento do ar na atmosfera. Para definir os processos de transferência de massas e troca de calor da atmosfera em um modelo PNT hidrostático de escala global são suficientes sete grandezas físicas como segue (Girodo, 2006):

- Pressão do ar;
- Temperatura;
- Pressão parcial do vapor;
- Peso específico do ar;
- Dois vetores horizontais da velocidade de deslocamento do ar, ou seja, do vento;
- Um vetor vertical da velocidade de deslocamento do ar.

Essas sete grandezas utilizadas necessitam de sete equações para que o sistema de equações tenha solução. As equações que fazem parte deste sistema são, normalmente, chamadas de equações primitivas e são compostas pelas equações de transporte dos fluxos horizontais e do fluxo vertical, equação da continuidade, equação dos gases, equação da primeira lei da termodinâmica e equação hidrostática. As outras variáveis da atmosfera, como a cobertura de nuvens, a quantidade de chuva e a intensidade da radiação solar são, entre outras variáveis, modelados em função destes sete variáveis principais dentro de um PNT (Girodo, 2006). De forma geral os modelos PNT podem ser classificados em hidrostáticos e não hidrostáticos. Em modelos de mesoescala não hidrostáticos, que incluem abrangência ou escala regional, o número de variáveis e equações é maior em comparação com os modelos hidrostáticos, que viabiliza assim uma menor incerteza de previsão. Os modelos globais, assim como alguns modelos com área de abrangência limitada, também denominados modelos de mesoescala, utilizam ainda uma aproximação hidrostática. Este é o caso do modelo de abrangência limitada conhecido como CPTEC/ETA (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - ETA). No entanto, a maioria dos modelos de mesoescala já está habilitada para operar de forma não hidrostática, melhorando assim a apresentação de diferentes efeitos da atmosfera, principalmente os efeitos de escala menor. Destaca-se também que o aumento do desempenho dos sistemas computacionais resultou em uma tendência do maior uso de modelos não hidrostáticos, já que estes apresentam um custo computacional que é maior em comparação com os modelos hidrostáticos. Os modelos não hidrostáticos são modelos regionais que incluem uma grade de alguns quilômetros, onde é possível simular tempestades, linhas de instabilidade, tornados, nuvens cúmulos individuais e sistemas de brisas (Dudia 1993). Esses modelos de mesoescala têm a sua grade aninhada nos modelos globais, sendo que a condição inicial e a condição de fronteira são obtidas a partir da interpolação das previsões para pontos locais dos modelos globais ou, como alternativa, dos modelos de mesoescala de maior escala. Enquanto os modelos globais são aptos para fazer previsões de vários dias ou semanas, nos modelos de mesoescala este horizonte é normalmente limitado para dois dias. No entanto, os modelos de mesoescala permitem a previsão de fenômenos mais detalhados da atmosfera a quais não podem ser modelados com os modelos globais.

## 2.2 Modelos globais

Os dois modelos globais mais conhecidos são:

- Modelo do ECMWF (*European Centre for Medium-range Weather Forecasts*),
- Modelo GFS - *Global Forecasting System* do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) ([www.ncep.noaa.gov/](http://www.ncep.noaa.gov/)).

Enquanto o modelo do ECMWF realiza previsões para uma grade de aproximadamente  $(0,25 \times 0,25)^\circ$ , com dez dias de antecedência, o modelo GFS tem uma grade de aproximadamente  $(0,5 \times 0,5)^\circ$ . Essas escalas tendem a melhorar com o melhoramento do desempenho do sistema computacional usado para simular os modelos globais. Em ambos os modelos, as condições iniciais são obtidas a partir de uma combinação por meio da: (i) assimilação das medições de diferentes variáveis da atmosfera e (ii) o uso de previsões anteriores denominadas como previsões *background* de curto prazo, usando-se um processo de interpolação estatística que combina as informações desses dois itens. As medições incluem observações realizadas por sondas de satélites e por estações meteorológicas localizadas na superfície terrestre, em aviões e em embarcações. Amostras atuais de previsão destes modelos não são somente usadas nos modelos globais mas podem ser também baixados via internet para o fim de assimilação em modelos de mesoescala.

### 2.3 Modelos de mesoescala e o modelo ARPS

Os modelos de mesoescala são modelos de áreas limitadas ou modelos regionais que utilizam um sistema de equações com menores simplificações em comparação com os modelos globais. Esses modelos podem ser aplicados em simulações que requerem grades horizontais com a extensão de alguns quilômetros só. Uma característica destes modelos é o emprego de métodos explícitos para resolver a precipitação e a camada microfísica de nuvens, propondo assim também uma melhor solução para a previsão da radiação solar. No Brasil os modelos de mesoescala mais utilizados são:

- RAMS – *Regional Atmospheric Modeling System*,
- ARPS – *Advanced Regional Prediction System*, e
- WRF – *Weather Research and Forecasting Model*.

O modelo ARPS (Chou, 1990) está sendo desenvolvido no CAPS - *Center for Analysis and Prediction of Storms* da Universidade de Oklahoma, desde 1993. O ARPS é um modelo versátil e é indicado para a simulação de problemas de microescala, problemas da escala meso- $\beta$  e meso- $\gamma$ . A simulação do modelo permite previsões de tempestades e tornados, e também simula fenômenos da escala meso- $\alpha$ , tais como frentes frias e vórtices (Chou, 1990). Um pacote para o cálculo da radiação de onda curta e de onda longa é adaptado a partir da parametrização destas radiações como estabelecido em Chou (1990 e 1992, apud Xue et al., 2003). Dentro do modelo, os resultados da radiação são utilizados para o cálculo do aquecimento da atmosfera e da superfície terrestre. O espectro solar é subdividido em bandas de radiação ultravioleta e visível. São incluídos os processos de absorção de ozônio, espalhamento por efeito *Rayleigh* e espalhamento por nuvens.

Para obter se as amostras da radiação solar o modelo ARPS foi simulado com um intervalo de amostragem de 10 min, com uma resolução de grade espacial de  $(0,12 \times 0,12)^\circ$  da superfície terrestre<sup>2</sup>. No presente trabalho foram analisadas simulações com o modelo ARPS embasadas em amostras assimiladas da reanálise do modelo de mesoescala conhecido como *Weather Research & Forecasting Model* (WRF), que proporciona amostras de previsão no intervalo de três horas. Amostras são disponíveis em: < <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/OnLineTutorial/DATA/FNL/index.html> >. (Acesso em quatro de abr. de 2012).

### 3. REDUÇÃO DAS INCERTEZAS DE PREVISÃO SOB O USO DA PREVISÃO MÉDIA PARA UMA ÁREA

Considera-se que no estado da arte uma grande parte das incertezas nas previsões da radiação pelos PNT advém das incertezas na modelagem do correto posicionamento das nuvens. Como a radiação solar é diretamente relacionada à cobertura de nuvens, estas incertezas, são por hipótese, relacionadas às incertezas do PNT na previsão da direção e da velocidade do vento em diferentes alturas resultando assim em incertezas no correto posicionamento horizontal das diferentes camadas de nuvens da atmosfera. Um método para se reduzir as incertezas de previsão pelo PNT é constituído pela substituição da média horária da previsão local ( $\hat{I}_{PNT}$ ) com as médias horárias da irradiância prevista para uma área maior ( $\bar{I}_{PNT(\Delta X \times \Delta X)^\circ}$ ), onde ( $\hat{I}_{PNT}$ ) representa a previsão para um ponto da grade do PNT que é localizado no centro do quadrado com comprimento de aresta de  $\Delta X$ , sendo esse centro também o ponto de grade mais próximo em relação ao local onde a radiação global verdadeira ( $I_m$ ) é medida. Segundo Pelland, Galanis e Kallos (2011), a incerteza do desvio do PNT (equação 1) pode ser reduzida por aproximadamente 20 % se em lugar da previsão horária local ( $\hat{I}_{PNT}$ ) é utilizada um valor médio horário da radiação prevista para uma área de  $(4,5 \times 4,5)^\circ$  ( $\bar{I}_{NWF(4,5 \times 4,5)^\circ}$ ). Calcula se assim o valor corrigido da previsão como segue

$$\bar{I}_{PNT(\Delta X \times \Delta X)^\circ} = I_m + \Delta \hat{I}_{(\Delta X \times \Delta X)^\circ} \quad (1)$$

onde a diferença  $\Delta \hat{I}_{(\Delta X \times \Delta X)^\circ}$  entre as previsões ( $\hat{I}_{PNT(\Delta X \times \Delta X)^\circ}$ ) e as medições ( $I_m$ ) e a área para a qual as previsões são realizadas  $(\Delta x \times \Delta x)^\circ$  são determinados a partir de um treinamento que inclua um longo período de medições e previsões, superior a um ano.

<sup>2</sup> As simulações do modelo ARPS aqui usadas foram realizadas pelo grupo de pesquisa RMLT (Rede de Monitoramento de Linhas de Transmissão) do Laboratório de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia (LEPTEN) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) sob a adoção da configuração do modelo ARPS como utilizado em Haas (2002).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Subseção 4.1 são mostrados e discutidos os desvios diários de algumas amostras de previsão da radiação solar para áreas com diferentes extensões ao redor da radiação medida. Já na Subseção 4.2 são mostradas as distribuições dos desvios de previsão para médias horárias e diárias. Por fim mostramos na Subseção 4.3 o RMSE para desvios entre médias diárias medidas e previsões para diferentes locais ao redor do local de medição.

##### 4.1 Valores máximos e mínimos das estimações para diferentes áreas

Para se conhecer de forma melhor o comportamento da previsão da radiação solar prevista pelo PNT-ARPS para um determinado local, em conjunto com as previsões deste modelo para pontos próximos desse local, visualiza se na Fig. 1 os seguintes valores medidos e previstos da radiação solar:

- A radiação medida neste local (linha vermelha  $H_m$ ),
- A previsão local da média diária para o ponto da grade do PNT-ARPS com latitude de  $-27,3^\circ$  e longitude de  $-48,5^\circ$  (linha azul  $H_A$ ), que é o ponto mais próximo a estação solarimétrica da UFSC-EMC em Florianópolis,
- As faixas de variação da radiação prevista pelo modelo PNT-ARPS para diferentes áreas quadráticas no contorno deste local (b) com extensões de  $(\Delta X \times \Delta X) = (0,2^\circ \times 0,2^\circ) \dots (6 \times 6)^\circ$  (áreas  $H_A 0,2 \dots H_A 6$ ),
- A faixa de variação da previsão PNT-ARPS para uma área muito grande, a região sul, que compreende com  $122 \times 143$  pontos de grade uma área retangular com latitudes de  $-34,59^\circ \dots -21,85^\circ$  e longitudes de  $45,30^\circ \dots 62,78^\circ$  (área  $H_A s$ ).

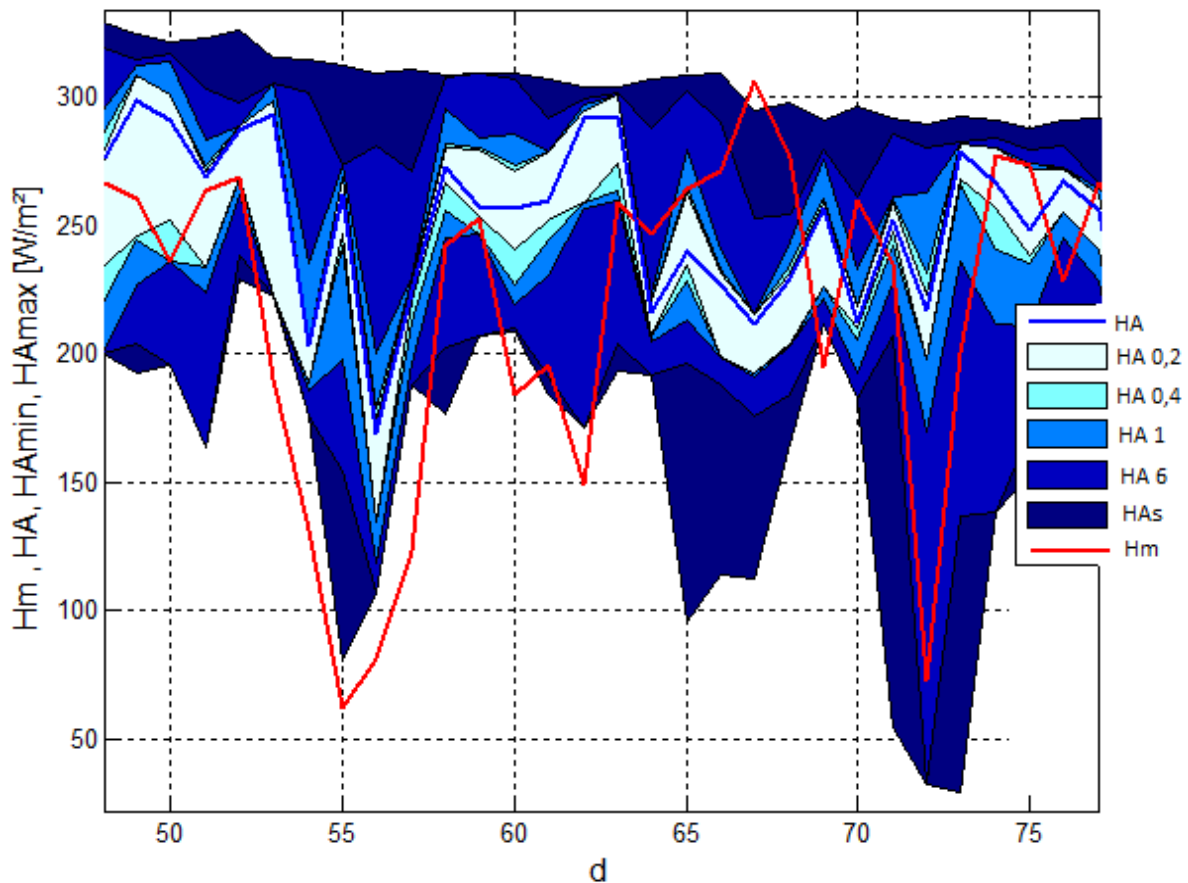


Figura 1 – Média diária da radiação global medida em superfície horizontal ( $H_m$ ), média estimada pelo modelo ARPS para Florianópolis ( $H_A$ ) e faixa de valores da radiação prevista para diferentes áreas com extensões de  $0,2^\circ \times 0,2^\circ$  ( $H_A 0,2$ ) até áreas de  $6^\circ \times 6^\circ$  ( $H_A 6$ ), sendo  $H_A$  localizado no centro dessas áreas. É também mostrada a faixa de valores previstos para a região sul ( $H_A s$ ), (abscissa: amostras dos dias 50 a 75 do ano 2005, ordenata: valores médios diários da radiação solar).

Pode se ver a partir da Fig. 1 que, enquanto maior é a área das previsões da radiação solar pelo PNT, maiores são também os valores máximos e menores são os valores mínimos desta área. Esses efeitos formam diferentes envelopes

com faixas distintos ao redor da radiação prevista para o local considerado. Como as amostras de uma área menor  $H_{ARPS(A_{n-1})}$  fazem parte do conjunto de amostras de uma área maior  $H_{ARPS(A_n)}$  (equação 2), obtém-se as relações entre os valores máximos e mínimos das áreas consideradas como apresentado pela equação (3). Esses valores máximos e mínimos determinam as faixas para a radiação prevista pela Fig. 1.

$$H_{ARPS\text{-local}} \in H_{ARPS(A_1)(1\dots n_1)} \in H_{ARPS(A_2)(1\dots n_2)} \dots \in H_{ARPS(A_n)(1\dots n_x)} \quad (2)$$

Na equação (1)  $1\dots n_1$  até  $1\dots n_x$  representa o número de amostras da radiação prevista pelo modelo ARPS para as áreas  $H_{ARPS(A_1)} \dots H_{ARPS(A_n)}$ , onde as extensões dessas áreas variam de  $\pm 0,1^\circ$  até  $\pm 3^\circ$ . Também é representado a previsão local para o centro dessas áreas usando se uma latitude de  $-27,3^\circ$  e uma longitude de  $-48,5^\circ(H_A)$ , um ponto mais representativo para o local da medição da radiação solar.

$$\begin{aligned} H_{ARPS(A_n)\text{max}} \geq \dots \geq H_{ARPS(A_2)\text{max}} \geq H_{ARPS(A_1)\text{max}} \geq H_{ARPS\text{local}} \\ H_{ARPS(A_n)\text{min}} \leq \dots \leq H_{ARPS(A_2)\text{min}} \leq H_{ARPS(A_1)\text{min}} \leq H_{ARPS\text{local}} \end{aligned} \quad (3)$$

As equações (2) e (3) explicam assim o descrito comportamento de envelope como pode ser observado na Fig. 1. Pode se observar no dia 55, que havia forte cobertura em Florianópolis já que a média diária medida da radiação é de  $60 \text{ W/m}^2$ , enquanto o modelo estima  $250 \text{ W/m}^2$  para o mesmo local. Chama atenção que todos os valores da região sul são superiores aos valores da radiação medida. Já que no dia 67 acontece o contrário, onde em um dia ensolarado com  $305 \text{ W/m}^2$  de valor medido, o modelo ARPS estima para todos os locais da região sul valores inferiores em comparação com a essa radiação medida. Observa se também pela Fig. 1 que a superestimação da radiação pelo modelo decorre mais frequentemente do que a subestimação. Observa-se que somente em alguns poucos dias o valor médio da radiação medida em Florianópolis  $H_m$  é próximo ao valor da radiação estimada ( $H_A$ ). São estes: (i) o dia 59 onde  $H_m = 250 \text{ W/m}^2$  e  $H_A = 255 \text{ W/m}^2$ , (ii) o dia 71 onde  $H_m = 230 \text{ W/m}^2$  e  $H_A = 250 \text{ W/m}^2$  e (iii) o dia 77 onde  $H_m = 260 \text{ W/m}^2$  e  $H_A = 250 \text{ W/m}^2$ .

#### 4.2 Valores médios das estimações para diferentes áreas

A Fig. 2 mostra a distribuição dos desvios das médias horárias das irradiâncias previstas pelo PNT e a Fig. 3 mostra a distribuição dos desvios das médias diárias previstas. Pode se observar nas duas figuras que em torno de 60 % dos desvios são caracterizados por superestimações e 40 % por subestimações do modelo ARPS.

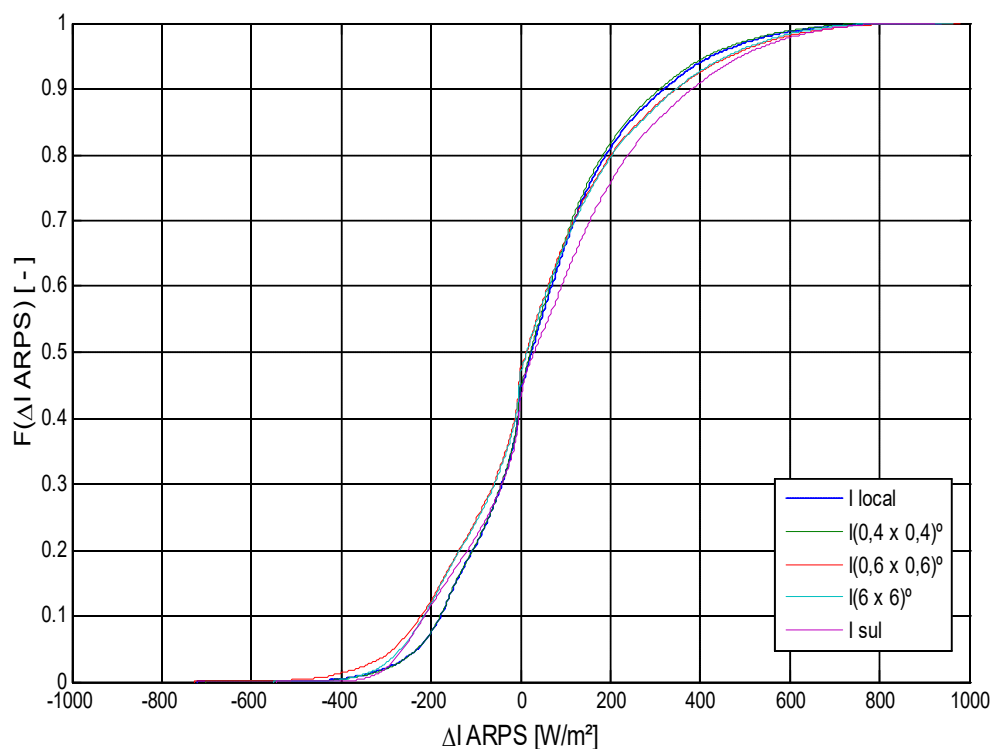


Figura 2 - Distribuições de frequência acumulada dos desvios entre médias horárias medidas e médias horárias previstas com o modelo ARPS, sob o uso de amostras de áreas com diferentes extensões de  $\Delta I(0,4 \times 0,4)^\circ$  até  $\Delta I(6 \times 6)^\circ$  assim como a região sul ( $\Delta I_{sul}$ ).

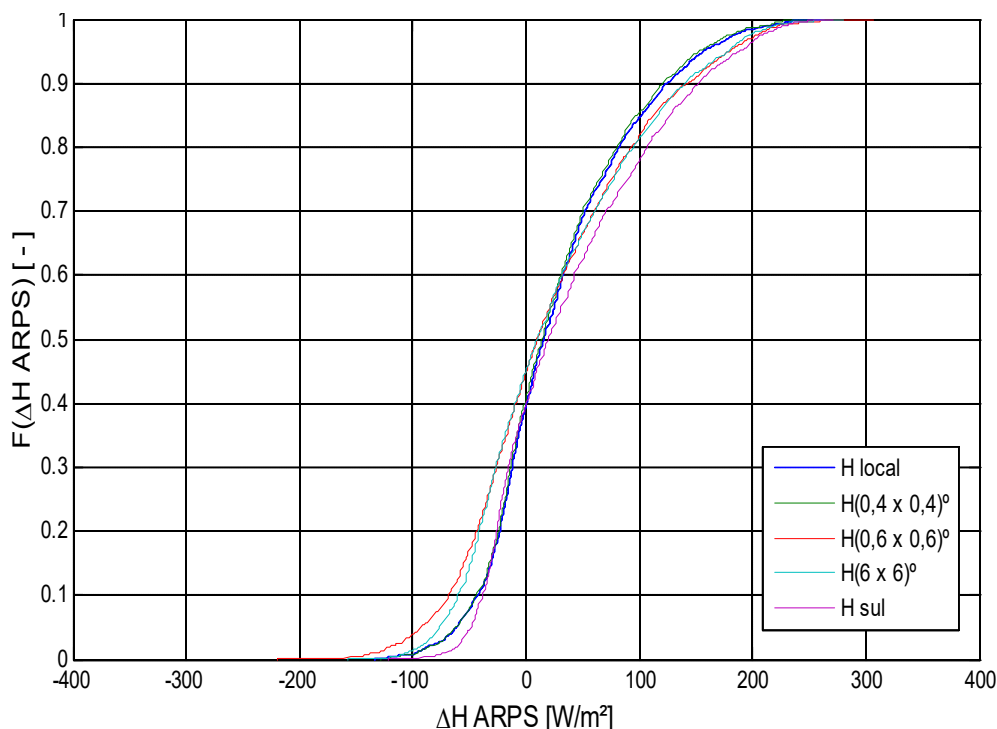


Figura 3 - Distribuições de frequência acumulada dos desvios entre médias diárias da radiação solar medida em Florianópolis, e médias diárias obtidas da previsão com o modelo ARPS, sob o uso de amostras provenientes de áreas com diferentes extensões.

Se as previsões locais da radiação solar, ou seja, o uso de um único ponto da grade do modelo PNT, são substituídas por valores médios de previsão para uma área, obtém-se a melhor relação entre a quantidade de super- e subestimações, para as médias diárias nos casos de extensões de área de  $(0,6 \times 0,6)^\circ$  e  $(6^\circ \times 6^\circ)$ . Para essas áreas a relação das quantidades de super- e subestimações é 55 % e 45 % (Fig. 3), enquanto essa relação é idealmente de 50 % e 50 %.

Pode se observar nas Figs. 2 e 3 que não apenas a quantidade de valores das superestimações é maior do que a quantidade das subestimações, mas também a faixa de valores nas quais as superestimações ocorrem é maior, sendo aproximadamente o dobro da faixa das subestimações. Na Fig. 2 há superestimações na faixa de  $0 \dots 800 \text{ W/m}^2$  enquanto as subestimações aparecem na faixa de  $0 \dots 400 \text{ W/m}^2$  e na Fig. 3 há superestimações na faixa de  $0 \dots 300 \text{ W/m}^2$ , enquanto as subestimações aparecem na faixa de  $0 \dots 150 \text{ W/m}^2$ .

### 4.3 Desvios sistemáticos do local de previsão

Além dos métodos de correção da previsão como usado no estado da arte, ou seja, (i) o ato de aparar valores de médias horárias previstas muito altas e (ii) o pós-processamento pelo método MOS, a presente análise indica a um terceiro método independente de pós-processamento. É aqui apresentada uma análise de um erro que pode ser corrigido com um modelo de correção em latitude. A Fig. 4 mostra os desvios do PNT para o caso em que as médias diárias da irradiância local medida são comparadas com as médias diárias da irradiância prevista pelo modelo ARPS para diferentes locais ao redor do local da instalação do piranômetro. Pode se ver que as menores incertezas do tipo *Root Mean Square Deviation* (RMSE) não são exatamente localizadas no local da medição da radiação (marcado com uma estrela), mas são localizados com um desvio em longitude de aproximadamente  $-1,5^\circ$ . Deve se, portanto, ao propósito, substituir a previsão local de  $-48,5^\circ$  com uma previsão para a longitude de  $-50^\circ$ . No caso da latitude o comportamento do modelo ARPS é melhor e pode se ver que este não apresenta desvios em latitude. Desvios deste tipo podem ocorrer a partir de atrasos na simulação da corrente de ar da atmosfera superior, já que a corrente de ar no local de Florianópolis é na maioria do tempo orientada na direção oeste-leste (Um Efeito que pode ser observada a partir da animação de imagens de satélite na página: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/loop/index.jsp>).

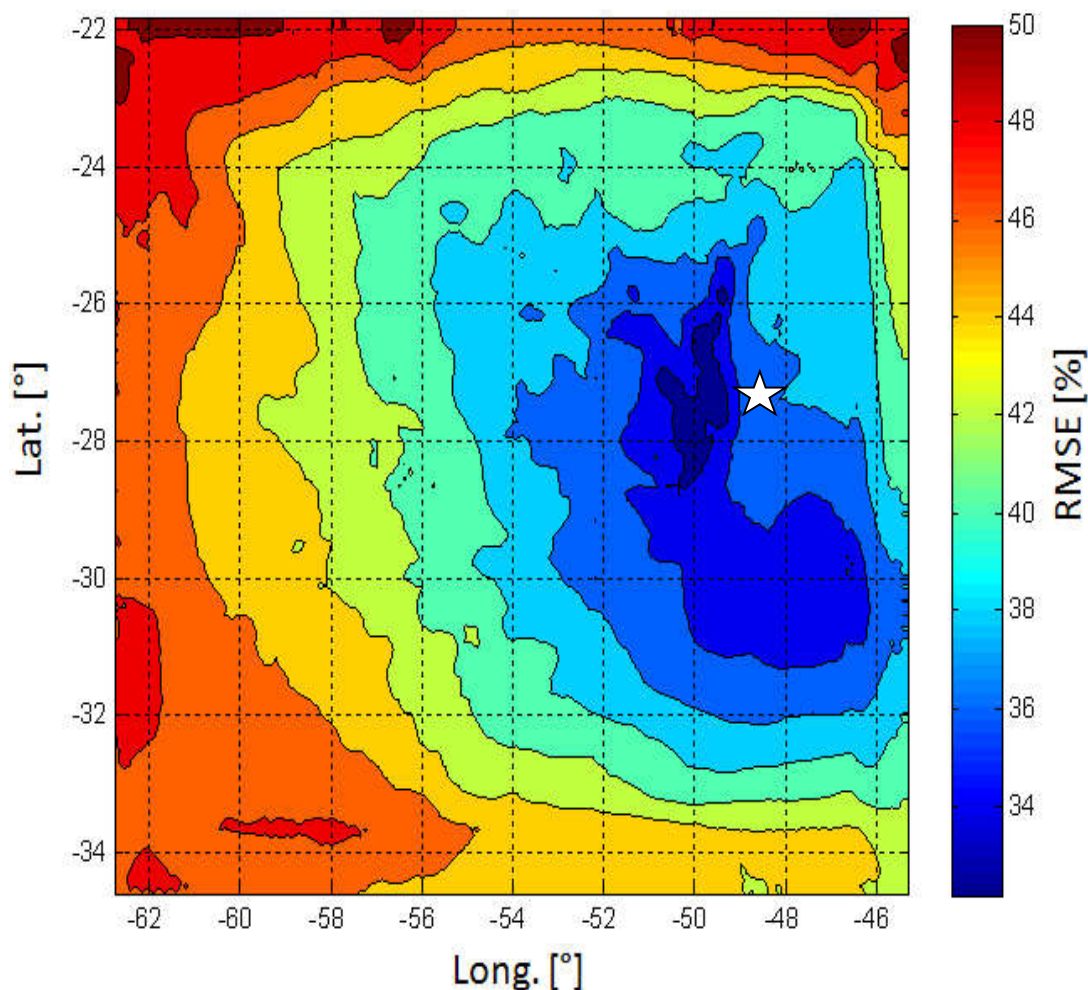


Figura 4 – RMSE entre os desvios das médias diárias medidas da irradiância solar em Florianópolis (Longitude = - 48,5° e Latitude = - 27,5°, marcado com uma estrela) e as médias previstas pelo modelo PNT-ARPS para diferentes locais ao redor da radiação medida - Esta figura foi somente elaborada sob o uso da série das amostras medidas dos primeiros nove meses do ano 2005.

## 5. CONCLUSÕES

O destaque deste trabalho é o propósito de um novo método para correção sistemática das incertezas de previsão, que usa uma correção em latitude para o local de previsão (Fig. 4). Considerando-se que o apresentado padrão de erro sistemático obtido a partir de um ano de amostras de medições e previsões das médias diárias da radiação solar é também consistente para um período maior, obtém-se pela correção em latitude uma redução do RMSE do modelo ARPS em 4 %, sendo que esse erro é reduzido de 36 % para 32 % (Fig. 4). Como o apresentado método é um método independente em comparação com os métodos do estado da arte do pós-processamento da PNT, pode-se obter uma adicional redução de incertezas de previsão sob o uso do método aqui apresentado. Deve-se mencionar que o método que calcula a média da radiação prevista para uma área é, por hipótese, um método que pode ser substituído com o método aqui apresentado, já que no caso do correto posicionamento da previsão a partir de correções sistemáticas em longitude e latitude, o método da área, irá resultar, por hipótese, no aumento das incertezas após a correção em latitude e longitude.

Sem se aplicar o presente método de correção deve-se considerar uma área de  $0,4^\circ \times 0,4^\circ$  ao redor do local de previsão para manter-se menores magnitudes para as super- e subestimações das médias horárias da previsão da irradiância solar (Fig. 2). Já que para as previsões das médias diárias é diferente, e pode-se escolher uma extensão de área adequada em função das exigências que uma determinada aplicação impôs. Dessa forma é possível de prevalecer-se as superestimações, ou em outro caso as subestimações, dependente das demandas que uma determinada aplicação da previsão exige. Em aplicações nas quais um menor RMSE para as médias diárias e médias horárias é mais importante, recomendada se de usar áreas de  $(0,4 \times 0,4)^\circ$ . Já que em aplicações nas quais altas subestimações, são mais críticas, ou são sujeitos a uma penalização maior então, recomenda-se de substituir as previsões locais do PNT com previsões para a região sul inteira (Figure 2). Ao invés no caso de uma maior penalização das superestimações, então deve-se optar uma extensão de área de  $(0,4 \times 0,4)^\circ$ .

Por fim conclui-se que o uso de áreas maiores para reduzir-se a incerteza de previsão, por exemplo, de  $4 \times 4^\circ$  como usada em Pelland, Galanis e Kallos (2012) para diferentes locais nos Estados Unidos, não é útil no pós-processamento da radiação prevista para o local de Florianópolis, já que o aumento de  $(0,4 \times 0,4)^\circ$  para áreas maiores leva a desvios com magnitudes maiores (Figs. 2 e 3). O uso da média da região sul inteira será somente interessante em casos particulares nas quais maiores penalizações são relacionadas às subestimações altas da geração solar diária. No entanto, em sistemas fotovoltaicos interligados com a rede os casos mais críticos são normalmente as superestimações, já que a geração solar verdadeira é menor do que a geração esperada. Portanto, deve se sempre usar uma área pequena de  $(0,4 \times 0,4)^\circ$  para a previsão de Florianópolis, a qual deve ser ainda reduzida ou substituída com a previsão para um único local no uso do apresentado método de correção em longitude, que resultar na redução do RMSE da previsão diária da radiação por 4 % (Fig. 4).

## REFERÊNCIAS

- Chou, M. D. 1990. Parameterization for the absorption of solar radiation by O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> with application to climate studies, *Journal Climate*, n. 3, p. 209-217.
- Dudia, A., 1993. Nonhydrostatic Version of the Penn State–NCAR Mesoscale Model: Validation Tests and Simulation of an Atlantic Cyclone and Cold Front, *Mon. Wea. Rev.*, 121, pp 1493–1513.
- Girodo, M., 2006. Solarstrahlungsvorhersage auf der Basis Numerischer Wettermodelle. 2006. Ph. D Thesis, University of Oldenburg Germany, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Energy and Semiconductor Research Laboratory, 159 p.
- Lorenz, E., Hurka, J., Heinemann, D., Beyer H. G., 2009. Irradiance forecasting for the power prediction of grid-connected photovoltaic systems, *IEEE, Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing*, v. 2, n. 1, 10p.
- Lorenz, E., Scheidsteger T., Hurka J., Heinemann, D., Kurz C., 2010. Regional PV power prediction for improved grid integration, *J. Progress in photovoltaics: research and applications*, v. 19, p. 757–771.
- Pelland, S., Galanis, G., Kallos, G., 2011. Solar and photovoltaic forecasting through post-processing of the Global Environmental Multiscale numerical weather prediction model, *progress in photovoltaics: research and applications*. 2011. Disponível em: <[www.wileyonlinelibrary.com](http://www.wileyonlinelibrary.com)>. Acesso em: 5 fev. 2012.
- Scharmer, K., Greif, J., 2000, *European solar radiation atlas: fundamentals and maps*. Paris: Ecole des Mines de Paris, Paris.
- Xue, M., Wang, D., Gao, J., Brewster, K., Droegemeier, K. K. 2003. The advanced regional prediction system – ARPS – Storm-scale numerical weather prediction and data assimilation, *Journal Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 82, p. 139–170.

## ANALYSIS OF THE DEVIATIONS OF THE LOCAL SOLAR RADIATION FORECAST OF THE NUMERICAL WEATHER PREDICTION MODEL ARPS AND A SPATIAL CORRECTION METHOD

**Abstract.** *In this article, we analyze the accuracy of the solar radiation forecast accomplished with the numerical Weather Forecast model called as Advanced Regional Prediction System (ARPS). We analyze the forecasts for an area with different extensions around a considered local of the solar radiation prediction and we compare the predictions with the samples of the measured solar radiation. We use different extensions of the area for which the solar radiation is predicted in order to: (i) to identify and comprehend the behavior of the deviations of the local solar radiation prediction, (ii) obtain an ideal extension of the area, which result to the lowest prediction error, (iii) elaborate an method of the systematic correction of the ARPS forecast error, which results to a further reduction of the ARPS forecast uncertainty..*