

## Identificação de parâmetros da equação de radar de tempo para um evento de precipitação a partir da formulação de um problema inverso

Romulo da Silveira Paz<sup>1</sup>  
Fabiola de Souza Silva<sup>1</sup>  
Jaqueline Núbia de Queiroz<sup>1</sup>  
Larissa Galdino Tertuliano<sup>1</sup>  
Zaqueu Ernesto da Silva<sup>2</sup>  
José Carlos Figueiredo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, PB, Brasil

[romulo@dca.ufcg.edu.br](mailto:romulo@dca.ufcg.edu.br)  
[fabiola.ssilva@hotmail.com](mailto:fabiola.ssilva@hotmail.com)  
[jaquelinenubia@hotmail.com](mailto:jaquelinenubia@hotmail.com)  
[galdino.met@gmail.com](mailto:galdino.met@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal da Paraíba, UFPB, PB, Brasil

[zaqueu@les.ufpb.br](mailto:zaqueu@les.ufpb.br)

<sup>3</sup> Universidade Estadual Paulista, UNESP, SP, Brasil

[figueiredo@ipmet.unesp.br](mailto:figueiredo@ipmet.unesp.br)

**Abstract.** An attempt to fit the weather radar equation by using radar data of the Radar C band localized on Bauru, São Paulo, Brazil, in the operational center of the Institute of Meteorological Researches, IPMet/UNESP, is performed as inverse problem to identification of parameters. Several values empirical to the coefficients  $a$  and  $b$  from  $e Z - R$  relation coefficients, i.e., the radar measurements and the rainfall rate values, have been purposed. The IPMet radar use the values determined by Marshal-Palmer (1948),  $a = 200$ ,  $b = 1,6$ , for the stratiform rain. First, a direct theoretical model relating radar return to rainfall rates measured from raingauge localized in Botucatu city far 55 km from radar position, is presented. Second, the inverse algorithm of Levenberg Marquardt used to retrieve parameters of the radar returns model is described and its application is discussed. Third, a sensitive analysis as the performed to test the influence of the parameters involved in the inverse method. The sensitive analysis allows for establish the application conditions of the method. Last, a evaluating of de method is provide, through using rainfall data and reflectivity measured to retrieve  $a$  and  $b$  parameters values. The study case confirms the utility of the proposed method and its hability to provide a better performance of the studied model.

**Key Words:** reflectivity, rainfall rate, meteorological radar

## 1. Introdução

A informação do Radar meteorológico é usada para detectar a presença de chuva e para estimar sua intensidade a partir do eco recebido. Os distintos modelos e formas de apresentação auxiliam os meteorologistas a identificar situações de tempo particulares devido a capacidade de estimação da intensidade de precipitação sobre extensas áreas. O Radar desempenha, assim, um importante papel no monitoramento das situações de tempo que podem resultar em sérias conseqüências resultantes de precipitações severas. O radar tem habilidade para relâmpagos a uma distancia de 100 km e indicar a possibilidade de tempestade severa a 250 km ou mais, limitado, principalmente pela curvatura.

Vários valores empíricos para os coeficientes  $a$  e  $b$ , da relação Z-R, isto é, a medida do radar e os valores de taxa de precipitação, tem sido propostos. O radar do IPMet usa os valores determinados por Marshal-Palmer (1948),  $a = 200$ ,  $b = 1,6$ , para chuva estratiforme. Calheiros and Zawadzki (1987), usaram um método de soma de probabilidades para ajustar a relação  $Z - R$  do conjunto de dados coletados pelo radar de Bauru (banda C) em chuva convectiva. Eles apresentaram diferentes valores para os parâmetros  $a, b$ , dependendo da posição do radar e da localização da precipitação. Aspectos microfísicos relacionados a  $Z$  foram discutidos por Steiner et al (2004) a partir do uso de métodos inversos. Eles definiram três condições microfísicas para a distribuição do tamanho das gotículas. A primeira condição define que toda variabilidade da distribuição é controlada pela variação do número de concentração. A segunda, o controle depende das características do tamanho das gotículas e, finalmente, o controle é influenciado por ambas condições. Eles concluíram que mesmo usando técnicas matemática e estatística modernas, como a análise inversa, as incertezas da medida serão sempre influenciadas pelas limitações no que concerne a comparação da medida do radar e a medida do pluviômetro.

Fiser (2004), usando dados de radar coletados durante um ano a cidade de Praga, República Tcheca, tentou melhorar a relação Z-R usando lei de potência e polinômio de segunda ordem. Ele concluiu que, embora sem chegar a um melhor desempenho da equação do radar de tempo, o uso de técnica de comparação da distribuição do tamanho da gotícula com a chuva coletada conduz a uma melhor estimação da precipitação. Paz et al (2008) utilizou dados do radar de Bauru, referentes aos meses de janeiro e fevereiro de 1994 a 2004, para identificar os parâmetros da equação de radar de tempo a partir de um problema inverso. Neste trabalho, a mesma metodologia é seguida, porém limitado a um evento de precipitação, buscando um melhor ajuste da relação Z-R, em relação a praticada no centro de operação do Instituto de Pesquisas Meteorológicas, IPMet/UNESP. Assim, é efetuado como um problema inverso de identificação de parâmetros. Primeiro, um problema direto relacionando o retorno do radar a taxa de precipitação medida no pluviômetro, localizado na cidade de Botucatu, a 95 km da posição do radar, é apresentado. Segundo, o algoritmo inverso de Levenberg Marquardt, disponível em bibliotecas computacionais (Press et al., 1992), usado para identificar parâmetros, é descrito e sua aplicação, discutida. Terceiro, uma análise de sensibilidade aos parâmetros, seguindo, Beck and Arnold (1977), para testar a influência dos parâmetros sobre a precipitação calculada pelo modelo. A análise da sensibilidade permite estabelecer as condições de aplicação do método. Finalmente, uma avaliação do método é apresentada, através do uso de dados precipitação e medidas da refletividade para recuperar os valores dos parâmetros.

## 2. Dados e metodologia

O estudo vinculou-se a análise de um evento de precipitação ocorrido no mês de janeiro



Este processo é repetido até a convergência. Os dois métodos acima descritos têm problemas. (1) O método do maior passo descendente não tem uma boa forma de determine o comprimento do passo. (2) O método de Newton é baseado na solução de um sistema linear. Para ser invertida a matriz tem que ser singular. (3) Além disso, o início é próximo ao mínimo. O método de Newton às vezes conduz a oscilações divergentes que podem sair de qualquer resposta. Isto é, ele super-dimensiona o “chute” e, então, efetua a sobre-compensação.

A formulação inversa é dada pela relação

$$R^i = f(Z^i, a, b) \quad (2)$$

O ajuste da função de mérito  $S^2$  pode ser escrito para a precipitação na forma

$$S^2(\beta) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{R_{\text{model}}^i - R_{\text{measured}}^i}{d_i} \right] \quad (3)$$

Os dados obtidos foram submetidos a uma análise de consistência baseado nos critérios convencionais dentro das normas práticas da meteorologia operacional. O processo de identificação requer uma preliminar análise da sensibilidade da variável estimada pelo modelo em função dos parâmetros objeto da identificação. O coeficiente de sensibilidade reduzido é então calculado e graficamente apresentado para possibilitar a satisfatória aplicação do método.

A formulação direta do problema é representando pela equação empírica (4), que relaciona o sinal do radar a taxa de precipitação, como segue:

$$Z = aR^b \quad (4)$$

Onde,

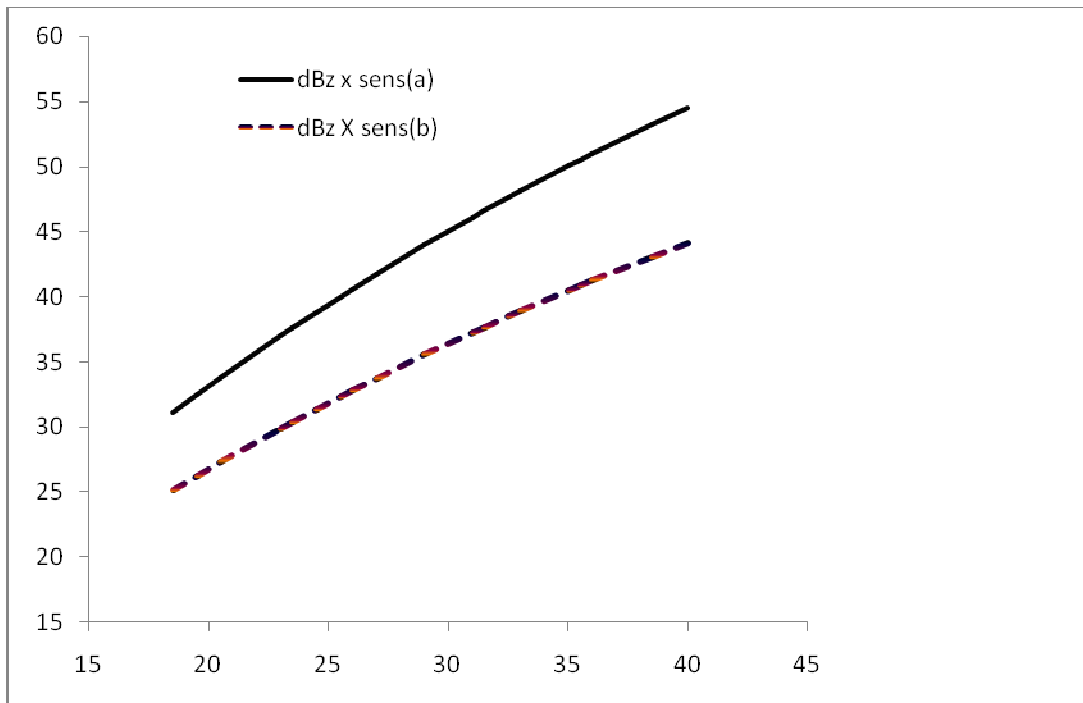
$Z$  (dBZ) é a refletividade medida pelo radar e  $R$  é a correspondente taxa de precipitação ( $\text{mm.h}^{-1}$ ) medida pelo pluviômetro.

Um código em linguagem FORTRAN foi desenvolvido para calcular o coeficiente de sensibilidade. A Figura 2 mostra menores valores de sensibilidade à baixa frequência. O coeficiente de sensibilidade, definido pela derivada parcial em relação aos parâmetros  $a$  e  $b$ , aqui representados  $\beta_i, i = 1, 2, \dots, k$ , (5) significa a resposta do modelo teórico para calcular a taxa de precipitação ( $R$ ), devido a uma finita variação dos parâmetros.

$$\chi_i(\beta_i) = \frac{\partial R(\beta_i)}{\partial \beta_i} \quad (5)$$

$\beta$  é um vetor de  $n$  componentes,  $\chi_i$  indica a variação de  $R$  quando  $\beta_i$  experimenta uma variação infinitesimal. O coeficiente de sensibilidade depende dos valores de cada parâmetro. A comparação de valores diferentes de  $\chi_i$  deve ser efetuada a partir do coeficiente adimensional, definido como:

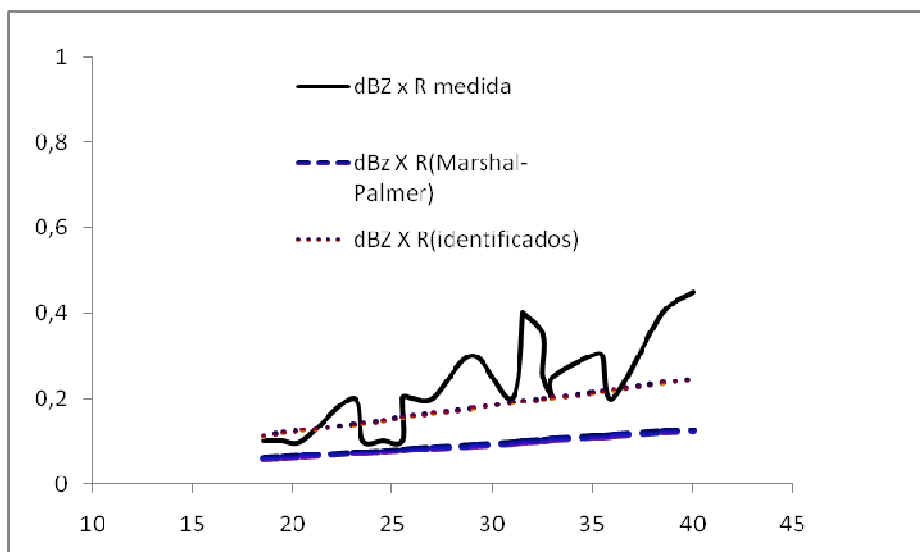
$$\chi_i^*(\beta_i) = \beta_i \chi_i(\beta_i) = \frac{\partial R(\beta_i)}{\left(\frac{\partial \beta_i}{\beta_i}\right)} \quad (6)$$



**Figura 2.** Coeficientes de sensibilidade aos parâmetros  $a, b$ .

### 3. Resultados

A Figura 3 mostra os valores observados da taxa de precipitação e os valores e modelados antes e após a identificação dos parâmetros. Nota-se que o ajuste simultâneo dos parâmetros oferece uma melhor resposta para o ajuste da equação de tempo em relação aos resultados obtidos a partir com os parâmetros de Marshal-Palmer.



**Figura 3** – Curvas dos valores modelados da taxa de precipitação,  $R$ , com os parâmetros identificados, com os parâmetros de Marshall-Palmer e valores da taxa de precipitação medidos com pluviômetro.

#### 4. Conclusão

Embora o aparente desvio entre os valores medidos e modelados, decorrentes da limitação do modelo bem como das incertezas da experimentação, os resultados se mostraram amplamente satisfatórios, atestando significativamente a eficácia da utilização da análise inversa para o propósito do trabalho. O ajuste simultâneo dos parâmetros resultou nos valores de  $a = 200$  e  $b = 0,81$ . Como já afirmado, levando-se em consideração que as medidas de taxa de precipitação por radar e pluviômetro apresentam diferentes características nas suas sistemáticas, pode se afirmar, pelo resultado que o mesmo foi bastante significativo, ensejando a expectativa de um melhor ajuste em face de esperada diminuição do erro produzido pela medida do radar.

#### 5. Referências

CALHEIROS, R. V.; ZAWADZKI, I., 1987: Reflectivity-rain rate relationships for radar hydrology in Brazil. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Boston, v. 26, p. 118-132.

BECK, J. V. ARNOLD, K. J., Parameter estimation in engineering and sciences, *Jonh Wiley and Sons*, Ney york, 1977.

FISER, O., 2004: Z-R radar Reflectivity-Rain rate relationships derived from Czech distrometer data. In: EUROPEAN CONFERENCE ON RADAR IN METEOROLOGY AND HYDROLOGY – ERAD, 3., 2004, Visby. *Proceedings...* Visby: [s.n.], p. 233-236

MARSHALL, J. S.; PALMER, W. M. K., 1948: The distribution of raindrops with size. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v. 5, p. 165-166.

PRESS, W. H., TEUKLSKY, S. A., VETTERLING, E., and FLANNERY, P. B., (1992) *The art of scientific computing*, second edition, Cambridge University Press, New York.

STEINER, M.; SMITH, J. A.; UIJLENHOET, R., 2004: A microphysical interpretation of radar reflectivity-rain rate relationships. *Journal Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 61, p. 1114-1131.