

INTEGRAÇÃO DO RADAR METEOROLÓGICO DOPPLER DO SIMEPAR E UMA REDE DE PLUVIÔMETROS PARA A ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO

LEONARDO CALVETTI¹
CESAR BENETI¹
AUGUSTO JOSÉ PEREIRA FILHO²

¹Instituto Tecnológico SIMEPAR
Caixa Postal 191000 – Curitiba – PR – CEP 81.531-990
Leonardo@simepar.br e beneti@simepar.br

²Dep. de Ciências Atmosféricas - IAG/USP – São Paulo – SP – CEP 05508-900
apereira@model.iag.usp.br

Abstract. A integration of Doppler radar and raingauge net using a statistical objective analysis scheme (SOAS) was used to improve precipitation estimates in the Metropolitan area of Curitiba. Hourly rainfall estimations and measurements were obtained from the SIMEPAR's Doppler weather radar and a network of automatic hydrological and meteorological stations, respectively. These two data sets were integrated by the SOAS. The results from a case study indicate the usefulness of the SOAS.

Keywords: remote sensing, meteorology, rainfall.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho visa melhorar a estimativa de precipitação por meio da integração de medições de chuva pelas redes telemétricas e das estimativas de chuva pelo radar meteorológico do SIMEPAR na Região Metropolitana de Curitiba (RMC). Tanto as medições de chuva com a rede de pluviômetros quanto as estimativas de chuva com o radar meteorológico possuem erros. As fontes de erro de medição de chuva com o radar meteorológico estão associadas à calibração eletrônica do equipamento, à equação de transformação da refletividade efetiva em taxa de precipitação (ou relação Z-R), ao efeito da curvatura da Terra, à zona de derretimento de cristais de gelo na nuvem, entre outras. Da mesma forma, as medidas de chuva por pluviômetros não possuem representatividade espacial e a ação do vento pode causar uma diminuição da coleta de gotas pelo pluviômetro. Apesar dos erros de medição do radar e dos pluviômetros não serem conhecidos, as estimativas de chuva com o radar meteorológico e as medições de chuva com a rede de superfície podem ser combinadas para diminuir erros (Pereira Filho e Crawford 1995).

2. METODOLOGIA

Para realizar a integração dos dados de pluviômetros e radar meteorológico foi utilizado o método de análise objetiva estatística (ANOBES) que considera estatisticamente a influência da distância dos pluviômetros para cada pixel medido pelo radar. (Beneti et.al 2002).

Beneti et al. (2002) definiram a equação de Análise Objetiva Estatística (ANOBES) como:

$$P_a(x_r) = P_b(x_r) + \sum_{n=1}^N W_n [P_o(x_n) - P_b(x_n)] \quad (1)$$

onde,

$P_a(x_r)$ é a precipitação analisada;

$P_b(x_r)$ é a precipitação estimada pelo radar (“background”);

$P_o(x_n)$ é a precipitação medida pelo pluviômetro (“observação”);

$P_b(x_n)$ é a precipitação estimada pelo radar no pluviômetro;

W_n é o peso *a posteriori* a ser determinado pela configuração de dados da rede;

N é o número total de pluviômetros;

x_r e x_n são as respectivas posições dos pontos de grade do radar e dos pluviômetros.

A variância esperada do erro da análise é minimizada em relação aos pesos W_n . Os pesos utilizados são os mesmos que em Beneti et al. (2002).

Portanto, a precipitação analisada será a precipitação estimada em cada pixel pelo radar meteorológico do SIMEPAR corrigida pelos pluviômetros que estatisticamente possuem influência.

2.1. Radar Meteorológico Doppler do SIMEPAR

Atualmente o SIMEPAR tem em operação um radar meteorológico Banda-S, Doppler, modelo DWSR-95S/EDGE, da Enterprise Electronic Corporation (EEC), instalado na região central do Paraná (município de Teixeira Soares), e em operação desde 1998. A cobertura qualitativa deste radar tem raio de 480km e abrange todo o Paraná, Santa Catarina, parte do sul de São Paulo e norte do Rio Grande do Sul. A área quantitativa (com estimativas de precipitação e vento) é de 240km de raio, cobrindo todo o centro e leste do Paraná, conforme mostra a Figura 1.

A Tabela 1 abaixo apresenta um resumo das características técnicas. Atualmente o sistema de aquisição dos dados está configurado de tal forma a permitir a definição de rotinas de coleta de dados que apresentem alta resolução espacial (área mínima de 1km²) e temporal (com atualização de 5 a 10 minutos) das informações de precipitação e vento radial.

Em situações de ocorrência de precipitação na área quantitativa do radar (240km de raio) são medidos dados volumétricos a cada 10 minutos de intervalo, com a utilização de duas estratégias de varredura: SURV480 (com 1 elevação da antena em 0.0°) para avaliação da precipitação na área total (qualitativa, raio de 480km) e VOL240 para a medição volumétrica com informações de refletividade e velocidade radial Doppler (12 elevações da antena, de 0.5° a 9.2°).

Tabela 1: Características técnicas do radar DWSR-93S/EDGE do SIMEPAR.

Frequência de Operação	2,7 a 2,9GHz
Potência de Pico (mínimo)	850kW
Largura de Pulso	0,8 e 2,0 μs
Freq. de Repetição de Pulso	250Hz a 934Hz
Polarização	Linear horizontal (possib. Dual)
Ganho da Antena	45dB nominal
Largura do feixe	0,9°
Lóbulos secundários	23db abaixo do lóbulo principal
MDS – Mínimo Sinal Detectável	-111dBm

Diversos produtos são obtidos à partir dos volumes de dados do radar, tais como: PPI (Plan Position Indicator, um mapeamento dos dados em coordenadas polares), CAPPI (Constant Altitude PPI, um corte horizontal dos dados), VIL (basicamente, o campo de refletividade integrado na vertical) entre outros.

Para a estimativa da precipitação com informações de radar e pluviômetros, descrita neste trabalho, foram utilizadas informações de refletividade na forma de matrizes de CAPPI a altitude de 3km e resolução de 4 km². Inicialmente, estes dados foram convertidos para taxas de precipitação (R [mm h⁻¹]) utilizando-se uma relação $Z=200R^{1.6}$. Numa próxima etapa, com a comparação com os pluviômetros, será utilizada uma relação mais apropriada.

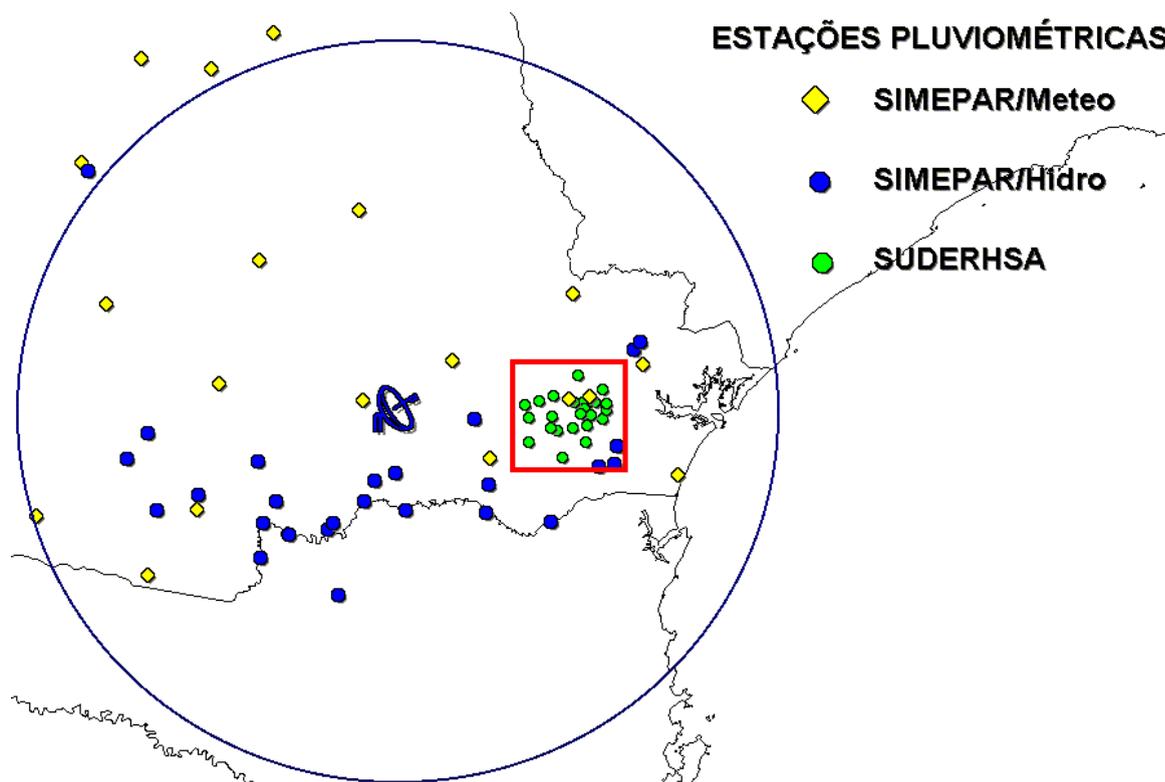


Figura 1: Área de cobertura do radar meteorológico do Paraná (raio de 240 km). Retângulo vermelho indica a área da região Metropolitana de Curitiba, com os pluviômetros da SUDERHSA e SIMEPAR.

2.2. A Rede Telemétrica da Região Metropolitana de Curitiba

Para este estudo foram utilizadas as informações das redes telemétricas hidrometeorológicas do SIMEPAR e da SUDERHSA (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) na região metropolitana de Curitiba.

A SUDERHSA dispõe de uma rede telemétrica de 25 estações distribuídas entre hidrológicas (com medições de nível do rio e chuva), pluviométricas (medidas de chuva) e ambiental (medidas de qualidade de água, nível do rio, chuva, temperatura do ar e vento). Os pluviômetros são do tipo basculante, com resolução de 0.25mm, e armazenam dados de precipitação acumulada a cada 15 minutos, transmitindo a cada 4 horas para a central de processamento em Curitiba e para o armazenamento no Banco de Dados do SIMEPAR. O período de dados disponível é de 1998 até o presente.

Na região metropolitana, foram utilizadas também as informações de 11 estações telemétricas hidrometeorológicas do SIMEPAR. Os pluviômetros também são do tipo basculante, com resolução de 0.2mm, cujos dados são transmitidos e armazenados no SIMEPAR com frequência de 3 horas para as estações meteorológicas e 4 horas para as estações hidrológicas. O período de dados disponível é de 1996 até o presente.

A Figura 2 apresenta a localização das estações na área analisada, como também a localização do radar meteorológico do SIMEPAR e a divisão das bacias na região metropolitana de Curitiba.

2.3. Acumulação horária da precipitação estimada por radar e a correção dos efeitos de advecção

Como as medições por radar meteorológicos são discretizadas temporalmente a cada 10 minutos, o campo acumulado pode não representar bem o deslocamento e desenvolvimento dos sistemas meteorológicos, principalmente em eventos de linhas de instabilidade.

A Figura 2 é um exemplo de dois campos em t_1 e t_2 e a precipitação acumulada somando-se t_1 e t_2 . Observa-se que na soma ficará uma grande área (em tonalidade azul claro) que não aparecerá na acumulação pois a célula passou por essa área no horário de intervalo entre as medidas do radar.

Para corrigir esses efeitos de advecção, utilizou-se um campo no horário intermediário interpolado do campo t_1 para frente e t_2 para trás por meio da velocidade de advecção da célula. A velocidades de advecção foi calculada por meio da correlação cruzada entre duas imagens consecutivas Bellon e Austin (1976). E o cálculo da imagem intermediária foi realizada pelo método de advecção corrente acima de terceira ordem (Tremback et al.1987).

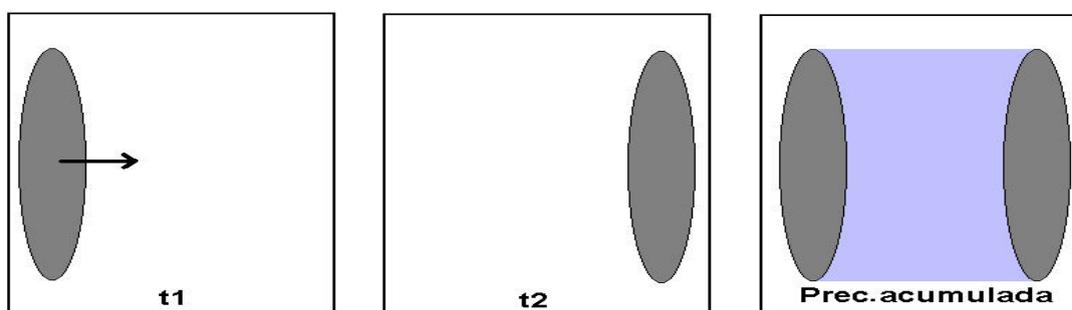


Figura 2 – Efeito de advecção em uma célula que se desloca zonalmente para leste. O radar mede a célula em t_1 e em t_2 quando ela já deslocou subestimando na acumulação a chuva que ocorreu entre os intervalos das medições (em azul claro).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Simulações preliminares foram realizadas com os dados de precipitação do Radar do SIMEPAR para o dia 1 de outubro de 2001 das 2000 até as 2300 UTC. Tendo em vista a similaridade nos resultados, no presente trabalho serão mostrados os resultados para o horário das 2200 UTC (a precipitação é acumulada das 2200 UTC até as 2259 UTC) na área da RMC. Neste dia atuava um sistema frontal sobre o estado do Paraná desenvolvendo-se diversas áreas de intensa precipitação, núcleos convectivos e linhas de instabilidade. Ocorreram ventos fortes nas regiões sul, norte e RMC do Paraná, com incidência de granizo no oeste do Paraná. A RMC foi afetada por inundações

(principalmente da cidade de Pinhais), descargas elétricas atmosféricas e ventos de intensidade forte. As conseqüências deste dia estimularam o uso da técnica para melhorar a estimativa de chuva na região metropolitana provendo uma informação mais acurada para monitoramento e previsão a curtíssimo prazo de tempo necessárias para órgãos de defesa civil, empresas de distribuição de energia elétrica e a comunidade em geral.

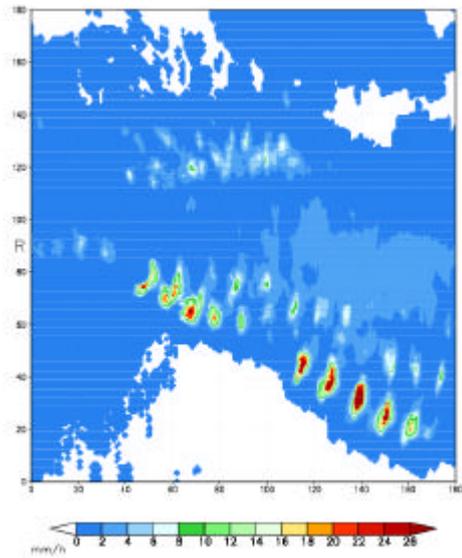
Na Figura 3, são mostrados os campos de precipitação para a Região Metropolitana de Curitiba (RMC), o campo corrigido pela ANOBES, o campo diferença e a precipitação acumulada nos pluviômetros da rede de estações telemétricas no horário das 22UTC do dia 01 de outubro de 2001. O campo precipitação estimada por radar foi corrigido dos efeitos de advecção.

Observa-se que a correção pela ANOBES incrementou a precipitação na região central da RMC coerentemente com os dados dos pluviômetros e diminui a precipitação na região nordeste da RMC onde não ocorreu precipitação. Na parte sul da RMC o campo analisado possui precipitação de baixa intensidade embora não há registros de precipitação nos pluviômetros nem no campo de radar. Os núcleos de precipitação intensas (em tonalidade vermelha) foram preservados e quando ocorreram próximos das estações e estas registraram chuvas intensas foram incrementados na intensidade e na área de abrangência. O campo diferença, ou seja, o campo de precipitação acumulada estimada pelo radar menos o campo analisado Figura 3c evidencia um incremento na precipitação na parte central e sul da RMC (valores negativos) e uma diminuição na área nordeste da RMC, conforme. Pela Figura 3d observa-se que as correções são totalmente coerentes com os registros pluviométricos das estações meteorológicas e hidrológicas na RMC.

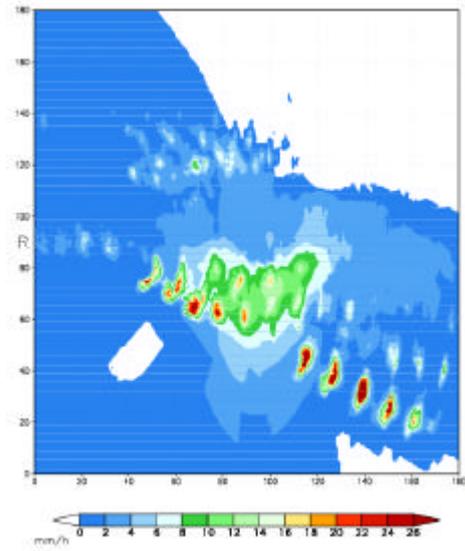
Este exemplo evidencia a aplicabilidade do método na região metropolitana de Curitiba. Testes serão realizados para outras estatísticas de erros de sistemas de precipitantes (e.g., estratiforme e convectivos) que contribuem com boa percentagem da precipitação da região. Além disso, deve-se verificar os efeitos de advecção dos sistemas e o cálculo da velocidade dos mesmos e ainda, analisar as melhores relações chuva - fator de refletividade (relação ZR) para esta região.

4. CONCLUSÕES

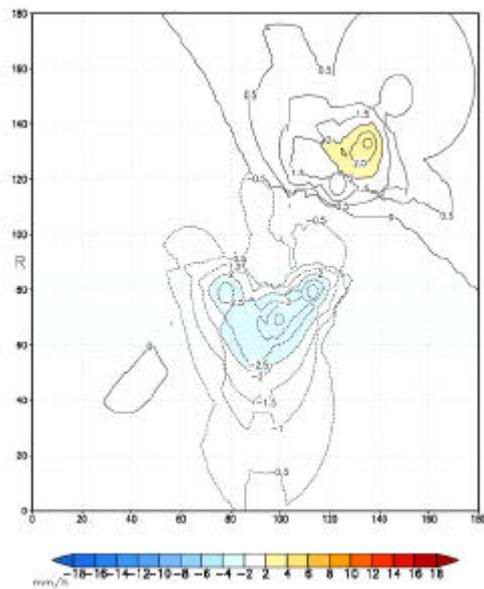
A integração de radar meteorológico e rede de pluviômetros está sendo utilizada para obter uma melhor estimativa da precipitação na região metropolitana de Curitiba. Um evento de precipitação intensa que causou inundação e prejuízos na RMC foi avaliado neste trabalho. O campo de precipitação analisado e a precipitação medida pelos pluviômetros da rede de estações telemétricas da RMC são coerentes. As correções são restritas às áreas ao redor dos pluviômetros. Por isso, para melhorar as estimativas do campo de precipitação devem ampliar as medições com a rede de pluviômetros. Novos testes com a correlação dos erros em função da distância dos pluviômetros e análises das possíveis mudanças na relação ZR estão sendo realizados. Sugere-se ainda, calcular a estimativa para regiões mais abrangentes, embora a densidade de pluviômetros não seja muito grande e avaliar os resultados.



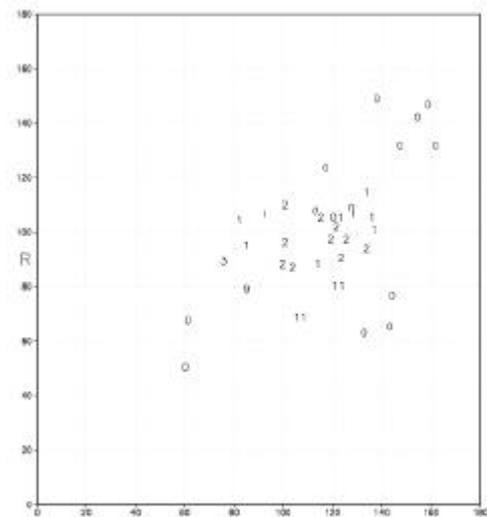
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3 – Campo de precipitação acumulada estimada por radar (a), precipitação analisada pelo método ANOBES (b), campo diferença (c) entre o campo estimado pelo radar e o analisado e precipitação acumulada nos pluviômetros da Região Metropolitana de Curitiba (d).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bellon, A. e Austin, G. L., 1978: The Evaluation of two years of real-time operation of a Short-Term Precipitation Forecasting Procedure (SHARP). *Journal of Applied Meteorology*, v.27, 1778-1787.
- Beneti, Cesar, Calvetti, Leonardo e Pereira Filho, Augusto José. 2002: Estimativa da Precipitação por radar e pluviômetros na Região Metropolitana de Curitiba – Resultados Preliminares. *XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu-PR*
- Pereira Filho, A J., Crawford, K. C., Hartzell, C. L. . 1998: Improving WSR-88D Hourly Rainfall Estimates. *Weather and Forecasting*, 13, 1016-1028
- Pereira Filho, A. J. And K. C. Crawford, 1995: Integrating WSR-88D estimates and Oklahoma Mesonet measurements of rainfall accumulations: a statistical approach, *27th Radar Conference, AMS, Preprints*, 240-242.