

Distribuição espacial de precipitações extremas ocorridas em janeiro do ano de 2000 no Vale do Paraíba

Thiago Batista dos Santos

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
thiago.santos@inpe.br

1. Introdução

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul se localiza na Região Sudeste, possui uma área de aproximadamente 55.500 Km² distribuída nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Drena uma das regiões mais desenvolvidas do país, abrangendo 180 municípios. Esses municípios juntos são responsáveis por aproximadamente 10% do PIB brasileiro. Outra importância dessa bacia está ligada ao abastecimento de cerca de 14,3 milhões de pessoas, incluindo 8,7 milhões de habitantes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro beneficiadas pela transposição de grande volume do Paraíba do Sul para a bacia do rio Guandu (COPPETEC, 2006).

O Rio Paraíba do Sul tem suas nascentes na Serra da Bocaina, no Estado de São Paulo, na cota de 1800 metros de altitude, e sua foz no norte fluminense, no município de São João da Barra. Sua área de drenagem distribui-se entre as serras do Mar e da Mantiqueira, situando-se em uma das poucas regiões do país de relevo muito acidentado, colinoso a montanhoso, chegando a mais de 2.000 metros nos pontos mais elevados. Como exemplos, pode-se citar o Pico das Agulhas Negras, o Pico dos Marins e o Pico do Itaguaré, espécimes de montanhas alcantiladas, com, respectivamente, 2.787, 2.422 e 2308 metros de altitude. Devido as características do relevo a região está sujeita a enchentes de curta duração, porém violentas, causando prejuízos materiais e ameaça à vida da população.



Figura 1: Ocorrência de enchente no Ribeirão Benfica, tributário da margem esquerda do Rio Paraíba do Sul, as fotografias foram tiradas num intervalo de 20 minutos.

No ano de 2000 ocorreram chuvas intensas e duradoras na região do Vale do Paraíba, causando enchentes e deslizamentos. Inúmeras estradas da região ficaram interditadas, e cidades montanhosas chegaram a declarar estado de calamidade pública.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi identificar a distribuição espacial dos sistemas precipitantes extremos ocorridos nos dez primeiros dias de janeiro do ano de 2000 na porção paulista da bacia do Rio Paraíba do Sul utilizando geoestatística.

2. Abordagem Metodológica

2.1 Coleta e Processamento dos dados de estações do DAEE e CPTEC/INPE

Para execução das análises espaciais foi elaborado um banco de dados geográfico contendo dados históricos de precipitação na porção paulista da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Para tanto, foram feitos downloads dos dados de precipitação do Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) e do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Esses dados foram tabulados e georreferenciados. Foram utilizados 58 pluviômetros.

2.2 Análise da distribuição dos sistemas precipitantes severos

Primeiramente, foram selecionados dados de precipitação acumulada dos primeiros dez dias do ano de 2000 da área de estudo. Com esses dados deu-se início as análises exploratórias das amostras, elaboração do semivariograma empírico, ajuste do semivariograma empírico; validação do modelo e a interpolação por Krigeagem ordinária.

➤ Análise exploratória das amostras

No processo de análise exploratória foram gerados gráficos de probabilidade de distribuição normal e estatísticas de medidas de localização: média, valor mínimo, quartil inferior, mediana, quartil superior e valor máximo; medidas de dispersão: variância e desvio padrão, e Medidas de forma: coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose e coeficiente de variação.

➤ Elaboração do semivariograma empírico

O semivariograma permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno no espaço, indicando sua correlação espacial. Dessa forma, gerou-se um semivariograma omnidirecional para maximizar o número de pares em cada intervalo de distâncias, produzindo um variograma suavizado. O semivariograma foi gerado heurísticamente (experimentalmente).

➤ Ajuste do semivariograma em relação ao modelo teórico

Nessa etapa foi definido o modelo teórico que mais se aparentou ao semivariograma experimental desenvolvido. Com isso foi possível estimar os valores de efeito pepita, a contribuição e o alcance para a modelagem.

➤ Validação do modelo

Na validação foram calculados os erros da estimativa. Nesse processo os valores conhecidos foram reestimados utilizando-se dos parâmetros ajustados ao modelo do semivariograma. Com esse procedimento foi possível gerar o diagrama espacial do erro, histograma do erro, estatísticas do erro e o diagrama dos valores estimados e observados.

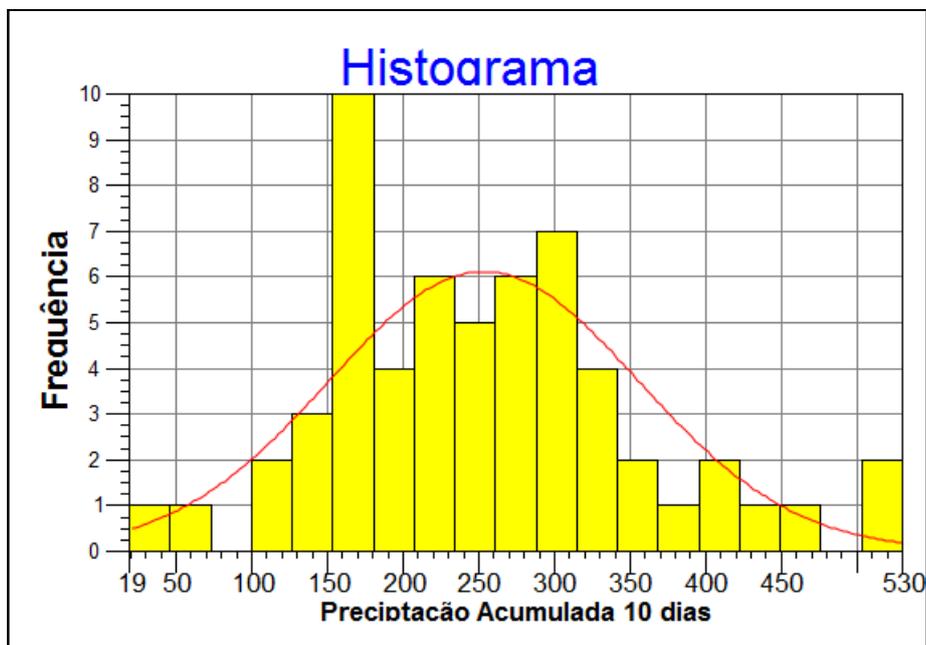
Após a execução dos procedimentos acima foi gerado a interpolação dos dados de precipitação acumulada para a área de estudo utilizando a krigeagem ordinária.

3. Resultados

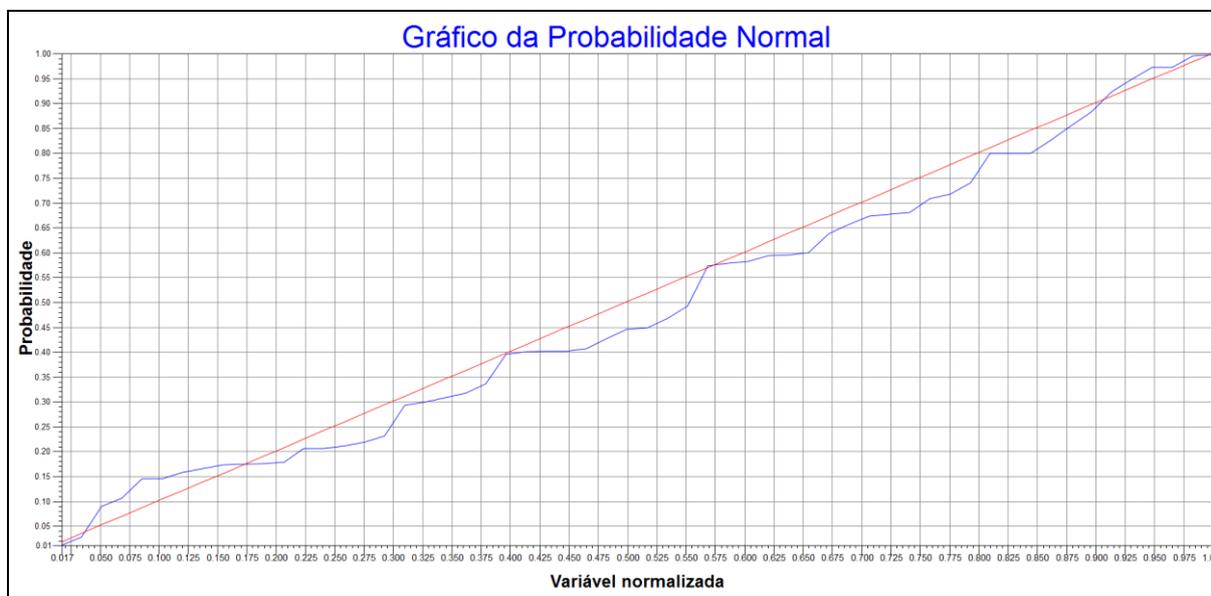
3.1 Análise exploratória das amostras

Pela observação dos valores estatísticos e do histograma verifica-se uma distribuição aproximadamente simétrica em torno da média, pois a média (254) e a mediana (240) estão

muito próximas, além de estarem em torno da metade entre os valores mínimo (0) e máximo (530). Portanto, não há nenhuma suspeita de valores anômalos.



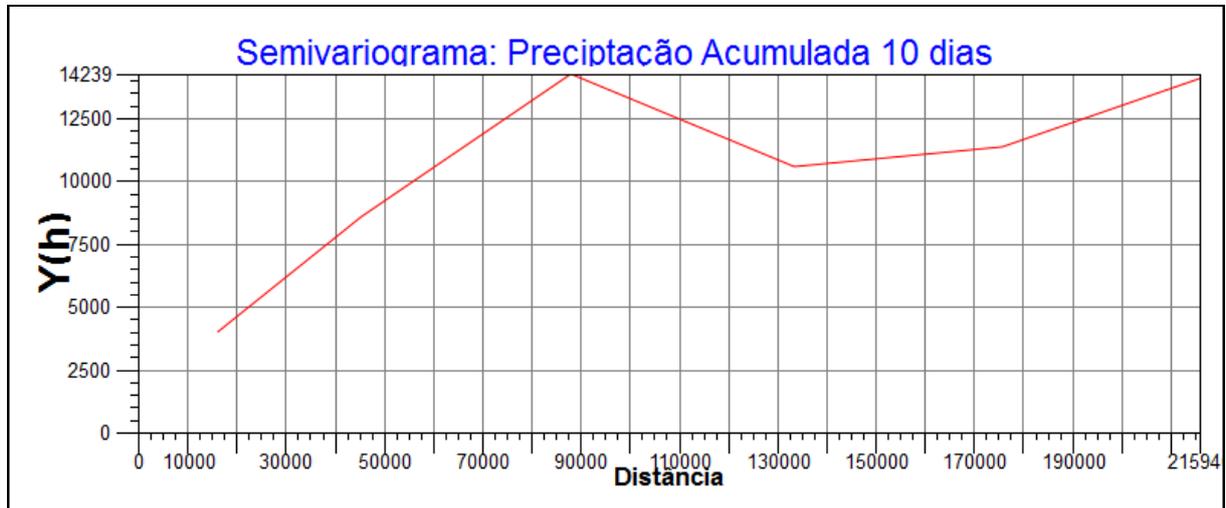
Já o gráfico de probabilidade normal acumulado mostra as amostras com ajuste próximo a uma reta, indicando uma distribuição próxima da normal. Portanto, não foi necessária nenhuma transformação para que as análises posteriores fossem realizadas. Tendo em vista que a normalidade dos dados é um pressuposto para a modelagem utilizada neste trabalho.



3.2 Elaboração do semivariograma empírico

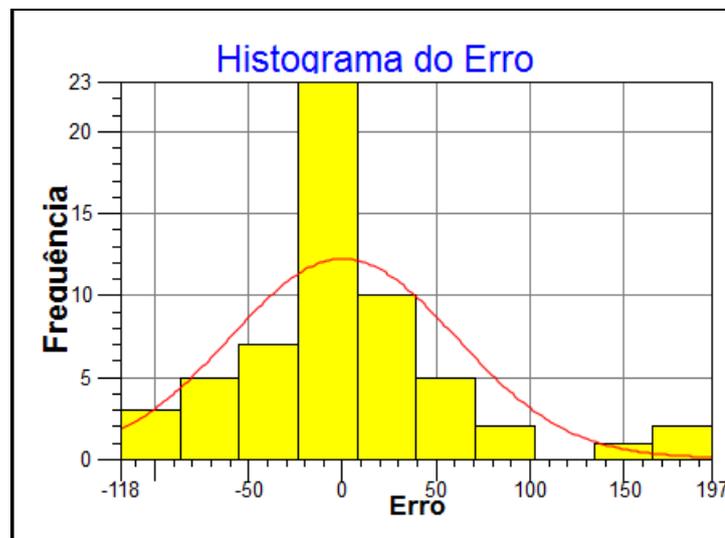
As hipóteses de estacionariedade e média constante foram realizadas na área de estudo. O semivariograma empírico mostra que as observações mais próximas geograficamente possuem um comportamento mais semelhante entre si do que aquelas mais distantes. Ou seja, o semivariograma conseguiu indicar a correlação espacial dos eventos extremos de precipitação na área de estudo de maneira coerente. Distâncias acima de 90 km apresentam correlação

espacial muito fracas, mostrando que os pares de pluviômetros que distam até 90 km entre si conseguem explicar a distribuição de precipitações na área de estudo, apresentando variação aleatória. Ao observar o semivariograma também foi possível identificar uma variabilidade não explicada (ao acaso) em pares de amostras com distâncias inferiores 11 km entre si (efeito pepita), sendo impossível quantificar a contribuição individual dos erros de medições ou da variabilidade.

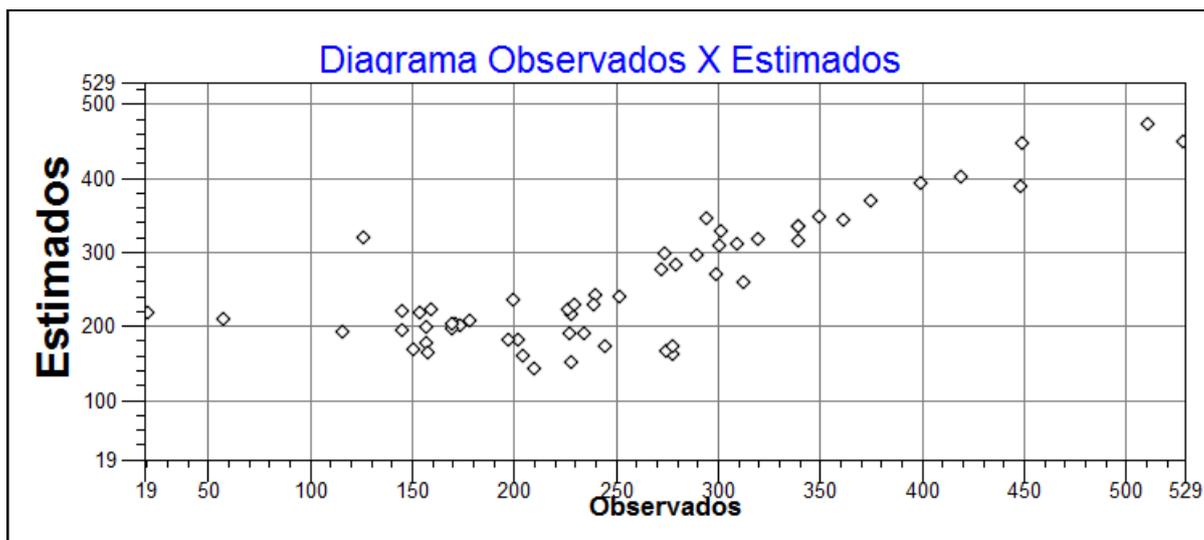


3.4 Validação do modelo ajustado

Pela observação dos valores estatísticos e do histograma do erro encontrados, verificou-se uma distribuição aproximadamente simétrica, em torno da média, pois a média (0.105) está aproximadamente entre o mínimo (-118) e máximo (197). Portanto, não há nenhuma suspeita de valores anômalos - “outliers” ou indícios de tendenciosidade nos erros.



O diagrama dos valores observados x estimados possui alto valor de correlação (81%). O modelo estimou com maior exatidão os eventos severos de precipitação, apresentando menor exatidão em locais da área de estudo que tiveram precipitações perto da média histórica (baixos valores de precipitação).



3.5 Interpolação por krigagem ordinária

A média histórica de precipitação dos dez primeiros dias do ano para área de estudo possui valores máximos em torno de 80 mm (figura 1). Nos primeiros dez dias do ano de 2000 em toda área de estudo as taxas de precipitação foram acima da média, incluindo eventos severos que chegaram ao patamar de 510 mm.

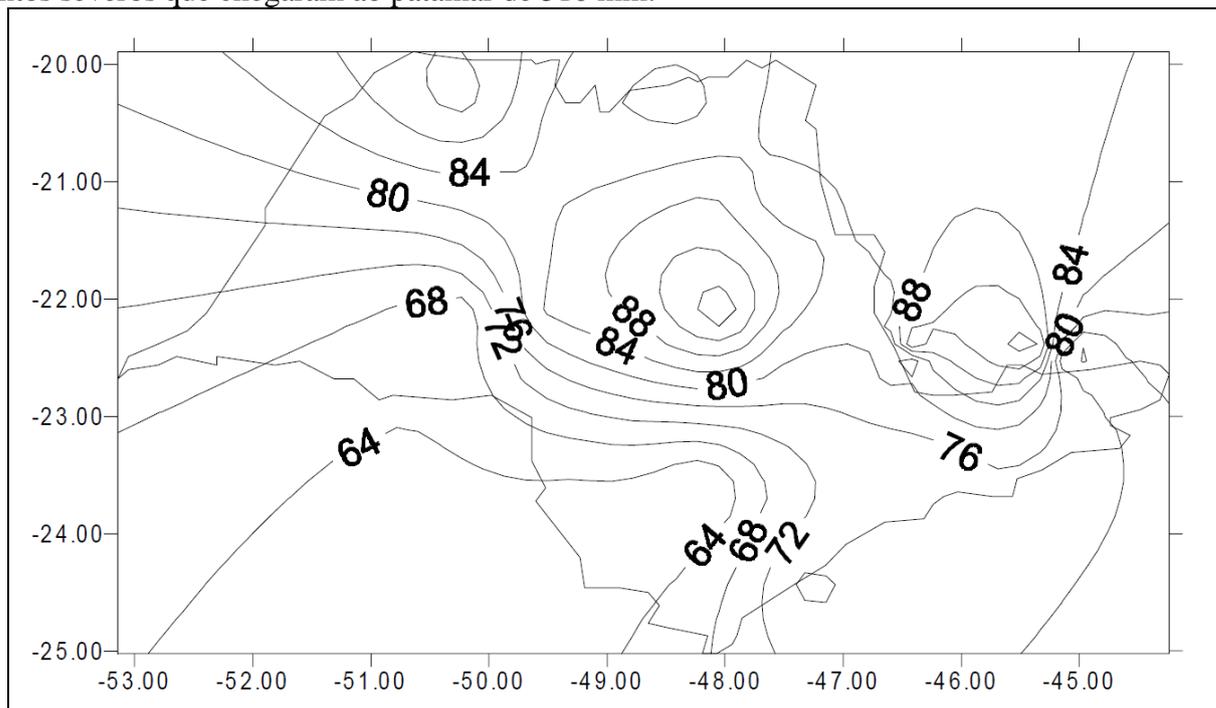
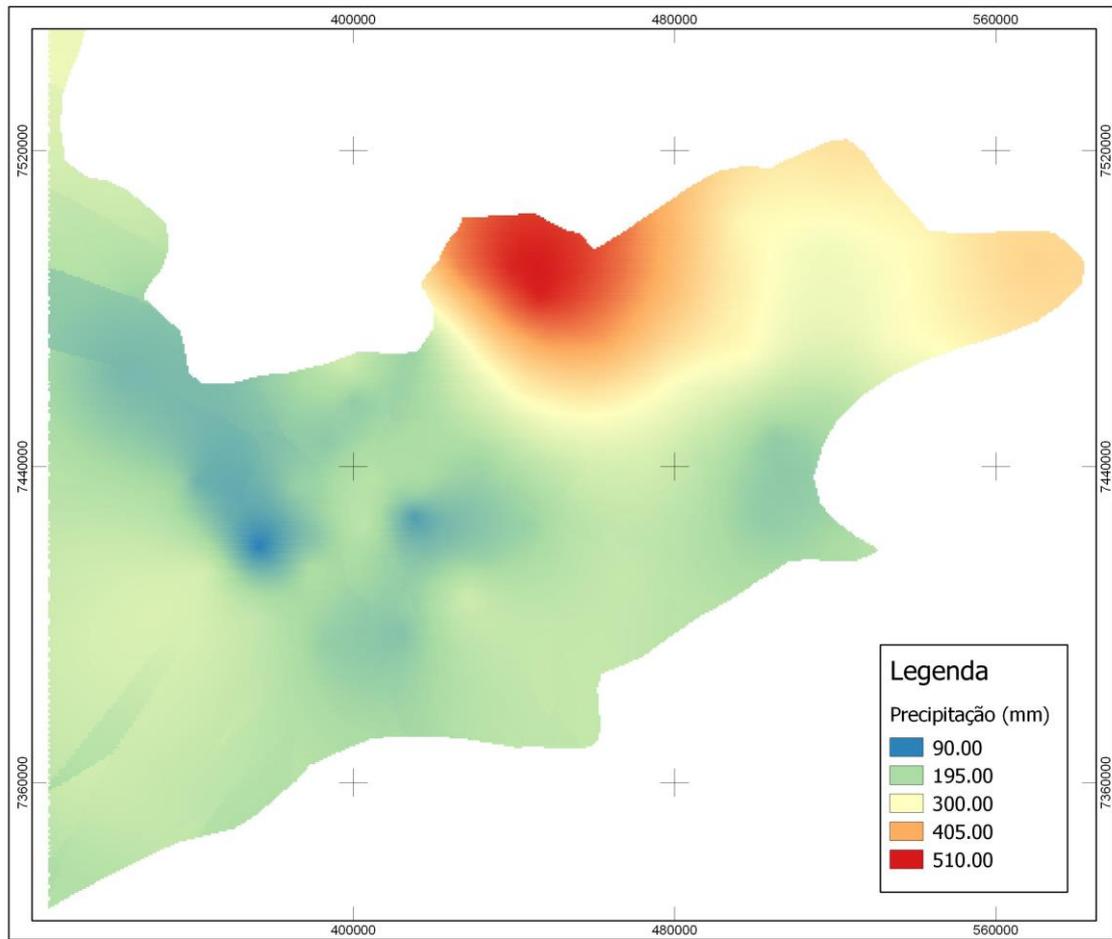


Figura 2: Isoietas de precipitação média histórica acumulada dos dez primeiros dias do ano. Fonte (NERY et al., 2000)

Ao observar o mapa de chuva gerado pela krigagem ordinária é possível notar a influência do relevo nos eventos severos de precipitação. Nas áreas próximas aos cumes da Serra da Mantiqueira se concentraram os maiores índices de excedente hídrico. Essas áreas estão sujeitas a chuvas orográficas, fenômeno que ocorre quando uma massa de ar úmido ao se deslocar encontra a Serra da Mantiqueira, e é forçada a elevar-se, ocorrendo queda de temperatura seguida da condensação do vapor d'água e formação de nuvens. Esse fenômeno também ocorre em menor intensidade próximo ao Vale Histórico, onde a Serra da Mantiqueira e da Bocaina estão muito próximas.



As áreas mais altas da Serra da Mantiqueira possuem relevos rasos e afloramentos rochosos. Essas áreas, aliadas a eventos de precipitação intensa e duradoura potencializam o risco de deslizamentos e movimentação de massa, trazendo prejuízos materiais e riscos de morte. Nas fotografias abaixo (01 e 02) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT é possível notar os movimentos de massa e deslizamentos ocorridos em janeiro de 2000 no município de Campos do Jordão, SP.



FOTO 01. Fotografia do Morro do Britador, a área mais atingida pelos escorregamentos.



FOTO 02. Escorregamento de grandes proporções, envolvendo cortes e aterros, com a destruição de várias moradias.

4. Conclusão

A análise da distribuição espacial eventos severos de chuvas auxiliam no entendimento da dinâmica espacial das chuvas no Vale do Paraíba, demonstrando a influência do relevo nos sistemas. As análises geoestatísticas mostraram ser técnicas eficientes para analisar a distribuição espacial da chuva com dados históricos, uma vez que não há disponibilidade de dados de radares meteorológicos e estimativas de precipitação por satélite para essas datas. A incerteza na estimativa de valores baixos do modelo pode ser atenuada com a utilização de técnicas que considerem a anisotropia dos dados, ou ainda gerando diferentes semivariogramas para os eventos severos e de baixa intensidade.

5. Referências Bibliográficas

COPPETEC. Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul - Resumo
Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul - Resumo. Resende: [S.N.], 2006.

NERY, J.; VARGAS, M.; ORSINI, M. Estimativa da precipitação do estado de São Paulo. **Anais do XI Congresso Brasileiro de ...**, n. 1, 2000.