

CÁLCULO DA VAZÃO A PARTIR DE DIFERENTES DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Claudinéia Brazil Saldanha¹; Luciana Mieres²; Maria Angélica Gonçalves Cardoso³ e Rogério de Lima Saldanha⁴

RESUMO

Estimativas de precipitação a partir de dados de satélite e modelos meteorológicos têm se tornado cada vez mais usual. As estimativas são úteis principalmente para áreas com baixa densidade de postos pluviométricos. Tais estimativas são espacialmente distribuídas no espaço (formato de grade) e, conseqüentemente, têm grande potencial de uso para modelagem hidrológica distribuída. Tomando a área da bacia do Rio Uruguai para estudo, foram analisadas as estimativas de chuva diárias geradas pelos dados do Hidroestimador e Reanálise. Em algumas regiões da bacia as fontes de dados alternativas apresentaram uma boa performance principalmente em eventos caracterizados como acima da normal climatológica. A performance das estimativas foi relativamente baixa para o propósito de modelagem hidrológica, pois no caso do cálculo da vazão a fonte de dados pluviométrica continua sendo a melhor alternativa.

ABSTRACT

Estimative of precipitation from satellite data and meteorological models become usual nowadays. The data supply useful information, mainly, in areas with low density of rain gauges. Such estimates are spacially distributed and, consequently, have large potential to be used for distributed hydrological modeling. Focusing in the area of the Uruguai basin for the study, the daily estimates of rainfall generated by the Hydroestimator and Reanalysis. In some parts of the basin alternative data sources showed a good performance especially in events characterized as above the climatological normal. The performance of the estimates were relatively low for the purpose of hydrologic modeling, as in the case of calculating the flow of rainfall data source remains the best alternative.

Palavras-Chave – Estimativa de chuva, Reanálise, Hidroestimador.

¹ GEA (Grupo de Estudos Ambientais- RS) - UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande Do Sul), Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre/RS – Brasil- neiabrazil@yahoo.com.br

² GEA (Grupo de Estudos Ambientais- RS) - UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande Do Sul), Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre/RS – Brasil- neiabrazil@yahoo.com.br

³ GEA (Grupo de Estudos Ambientais- RS) - UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande Do Sul), Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre/RS – Brasil- magcardoso@yahoo.com.br

⁴ GEA (Grupo de Estudos Ambientais- RS) - CEEE (Companhia Estadual de Energia Elétrica), Av. Joaquim Porto Villanova, 201, Porto Alegre/RS - Brasil - rogeriols@ceee.com.br

INTRODUÇÃO

O conhecimento da precipitação é fundamental para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas com a hidrologia. Em geral, as bacias estão providas com uma rede de monitoramento muito esparsa, dificultando o desenvolvimento da modelagem hidrológica e de outras aplicações que necessitem desses dados. Dessa maneira, diversas técnicas alternativas de estimativa vêm sendo empregadas para obter uma melhor distribuição espacial e temporal da precipitação.

O monitoramento da precipitação seja por pluviômetros, satélites, ou por qualquer outro meio, está sujeito a erros. Os pluviômetros registram adequadamente a intensidade da precipitação, embora possuam baixa representatividade espacial, mesmo quando há uma rede densa. Quando a precipitação é de origem convectiva e isolada aumenta o problema de representatividade, pois a precipitação pode ocorrer em áreas pequenas e com forte intensidade, podendo não ser registrada pelo equipamento (Tucci, 1993, Calvetti et al, 2003).

A vantagem da estimativa de precipitação através dos satélites meteorológicos é a de possuir ampla cobertura espacial e temporal, porém, também está sujeita a erros causados por diversos fatores, erros instrumentais, erros de calibração do equipamento e variabilidade na relação de medida dos parâmetros da precipitação (De Araújo, 2006).

O objetivo deste trabalho é quantificar as incertezas relacionadas com a estimativa da precipitação através do método tradicional (pluviômetro) e bases alternativas de dados (satélites e modelo), ou seja, avaliar o desempenho da precipitação obtida através de dados pluviométricos, Hidroestimador e Reanálises e inserir os resultados destas estimativas na determinação da vazão.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado na Bacia do Rio Uruguai, que se estende entre os paralelos de 27° e 34° latitude Sul e os meridianos de 49°30' e 58°5'W. Abrange uma área de aproximadamente 384.000 km², dos quais 174.494 km² situam-se no Brasil, equivalente a 2% do território brasileiro. Sua porção brasileira encontra-se na região sul, compreendendo 46.000 km² do Estado de Santa Catarina e 130.000 km² no Estado do Rio Grande do Sul. É delimitada ao norte e nordeste pela Serra Geral, ao sul pela fronteira com a República Oriental do Uruguai, a leste pela Depressão Central Riograndense e a oeste pela Argentina (Andreolli, 2003).

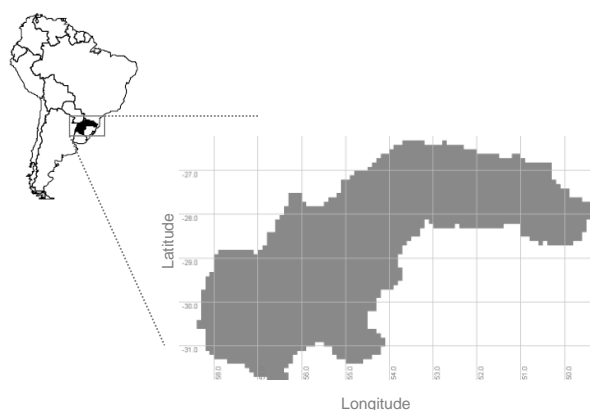


Figura 1 – Localização da área de estudo.

O rio Uruguai forma-se na região sul do Brasil, entre os Estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, a partir da confluência dos rios Canoas e Pelotas, escoando posteriormente em trecho internacional. Neste trecho, inicialmente o rio faz divisa entre Brasil e Argentina e depois entre Uruguai e Argentina até a foz na Bacia do rio da Prata onde forma, juntamente com o rio Paraná, o rio da Prata (Collischonn E Tucci, 2002).

Fonte de dados

Foram utilizados dados diários de 136 postos pluviométricos obtidos junto ao banco de dados do Hidroweb da Agência Nacional de águas (ANA) (<http://hidroweb.ana.gov.br>), do período de 1995 a 2005. Os dados de Reanálises também foram obtidos para o mesmo período junto ao National Centers for Environment Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) (<http://www.cdc.noaa.gov>), espaçados em uma grade de 2,5°x 2,5° de latitude e longitude.

As estimativas do Hidroestimador foram obtidas junto à universidade de Buenos Aires para o período de 2003 a 2005, sendo dados diários com uma resolução espacial de 4 X 4 km. O total de dias sem falhas nos anos de 2003, 2004 e 2005 é de 277 (76%), 338 (92%) e 336 (92%), respectivamente.

Tabela de contingência

A avaliação da precipitação foi feita através do cálculo dos índices de performance da precipitação e a partir da verificação da precipitação através da simulação de vazão, que serão discutidos a seguir.

A variabilidade da precipitação foi analisada a partir das séries temporais mensais para cada uma das regiões homogêneas. As séries foram sub divididas em 3 categorias (abaixo da normal, normal e acima da normal), ordenando-se do menor para o maior os 40 índices (1950-2005), sendo

considerado o correspondente à 13ª posição como limite superior para a categoria abaixo da normal (seco) e o correspondente à 26ª como limite inferior para a categoria acima da normal (chuvoso). Entre esses 2 limites, situa-se a categoria normal.

A tabela de contingência é uma boa ferramenta para avaliar a precipitação, onde diversos índices podem ser deduzidos com enfoques diferentes quanto à avaliação da performance das estimativas realizadas de ocorrência/não ocorrência do evento (Kuligowski, 2002, Sansigolo, 2004, Wilks, 2006).

Para cada uma das regiões foram construídas tabelas de contingência 3x3, a fim de relacionar os eventos seco, normal e chuvoso. Para fins de cálculos dos índices de performance, a tabela foi reduzida para 2x2, conforme mostrado na Figura 2.

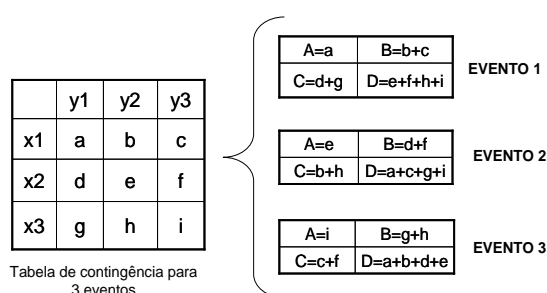


Figura 2. Redução de tabela de contingência 3x3 em três 2x2, para a verificação de eventos em 3 categorias.

Portanto foi gerada uma tabela de contingência para cada um dos eventos mencionados anteriormente. As grandezas “a” e “d” são a quantidade de acertos na estimativa de ocorrência e de não ocorrência do evento, respectivamente. A quantidade “b” denota o número de vezes em que foi estimada a ocorrência do evento, mas ele não aconteceu. Analogamente, o valor “c” é a quantidade de vezes em que a ocorrência do evento foi observada, mas sua ocorrência não foi estimada.

Uma vantagem clara do uso da tabela de contingência é permitir analisar a performance da estimativa sob diferentes aspectos, conforme o tipo de evento estudado e o tipo de estimativa realizada. Por exemplo, considerando a previsão de precipitação em regiões de baixo índice pluviométrico e definindo como evento de análises a ocorrência de dia chuvoso, a previsão da não ocorrência do evento (dia sem precipitação) é relativamente bem mais fácil do que a previsão da ocorrência do evento. Nesse caso, assumir um mesmo peso para os acertos do tipo “a” e do tipo “d”, não seria adequado para uma verificação da performance do preditor. Nesse sentido, alguns índices permitem um enfoque mais restrito, como o percentual de acerto em conseguir detectar a ocorrência do evento, ou seja, dado que o evento foi observado.

Os índices de performance calculados foram: proporção correta (PC), probabilidade de detecção (POD), probabilidade de falsa detecção (PFD), taxa de alarme falso (FAR), taxa de

tendência (BR) e índice de sucesso crítico (CSI), cujas formulações, significados e variações de valores esperados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Relação dos índices de performance derivados da tabela de contingência utilizados neste estudo.

Índice	Formulação	Significado	Valor
PC (proporção correta)	$PC = \frac{a+d}{n}$, onde $n = a+b+c+d$	Percentual de acertos geral, sem distinção entre acertos da ocorrência ou não ocorrência do evento.	Varia de 0 a 1; quanto maior o valor, melhor a performance.
POD (probaA. de detecção)	$POD = \frac{a}{a+c}$	Dado que o evento ocorreu, percentual de acertos em estimar sua ocorrência.	Varia de 0 a 1; quanto maior o valor, melhor a performance.
PFD (probab. de falsa detecção)	$PFD = \frac{b}{b+d}$	Dado que o evento não ocorreu, percentual de vezes em que foi estimada sua ocorrência.	Varia de 0 a 1; quanto menor o valor, melhor a performance.
FAR (taxa de alarme falso)	$FAR = \frac{b}{a+b}$	Dentre as vezes que foi estimada a ocorrência do evento, percentual em que o evento não ocorreu.	Varia de 0 a 1; quanto menor o valor, melhor a performance.
BIAS	$BIAS = \frac{a+b}{a+c}$	A previsão subestima ou superestima a ocorrência do evento num determinado período.	BIAS<1 subestima ou BIAS>1 superestima.

Avaliação da precipitação através da vazão

A avaliação da precipitação através da vazão foi feita através do modelo hidrológico distribuído MGB-IPH (Collischonn, 2001). Foi utilizada a vazão diária observada do Rio Guarita e calculada a vazão a partir das diferentes bases de dados de precipitação, verificando qual a que mais se aproximou da vazão observada. Os campos de precipitação foram gerados pela interpolação dos dados para uma grade com a mesma resolução espacial (0,1° x 0,1°) para servir de entrada no modelo hidrológico.

RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados referentes à comparação da precipitação pluviométricas e a base de dados alternativa. Na sequência serão apresentados os índices de performance de cada uma das fontes de dados e a avaliação da precipitação através do cálculo da vazão.

A Figura 3 apresenta as regiões homogêneas de precipitação mensais da bacia do rio Uruguai. Observa-se que a precipitação na região do baixo (R1) e médio Uruguai (R2) apresentaram comportamentos distintos, já nas demais regiões na parte mais alta do rio Uruguai a precipitação apresentou um comportamento variável principalmente devido ao relevo da região.

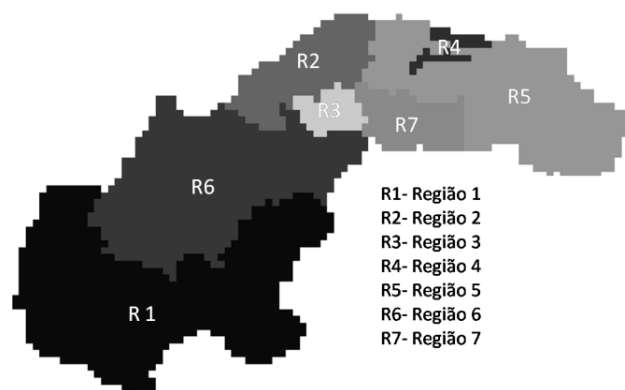


Figura 3. Divisão da bacia em regiões homogêneas relacionadas ao regime de precipitação.

Os valores anuais de precipitação provenientes dos pluviômetros foram comparados com as bases alternativas de dados: Reanálise e Hidroestimador. Em geral, os dados de reanálises apresentaram o mesmo padrão dos dados pluviométricos. De acordo com as regiões 1 e 6 foram as que apresentaram os maiores índices de correlação, tanto para os dados de reanálises quanto para o hidroestimador. Nas regiões 2 e 3 o índice de correlação ficou abaixo de 0,5 nos dois casos. Avaliando a precipitação média para toda a bacia do rio Uruguai os dados de reanálise apresentaram valores em torno de 0,8 enquanto os dados do hidroestimador foi da ordem de 0,67.

Tabela 2. Correlação entre os dados pluviométricos e os métodos

Regiões	Reanálise	Hidroestimador
1	0,904	0,960
2	0,460	0,319
3	0,463	0,477
4	0,514	0,036
5	0,530	-0,411
6	0,799	0,755
7	0,383	0,198
Média Bacia	0,812	0,675

Com relação ao cálculo dos índices de performance, as considerações de ocorrência do evento foram caracterizadas a partir dos limites definidos anteriormente para cada um dos eventos abaixo da normal (evento 1), normal (evento 2) e acima da normal (evento 3).

Tomando a análise para cada uma das regiões, as estimativas de ocorrência ou não dos eventos a partir dos dados de reanálise resultaram uma proporção correta (PC) de acertos para o evento 1, com valores acima de 80% nas regiões 1 e 3, ou seja, em 80% do período houve acerto na indicação de se tratar de um evento abaixo da normal (Tabela 3). O evento 2 teve uma PC acima de 80% somente na região 3 e no evento 3 a melhor performance foi na região 5 e na 8 (média da bacia). A estimativa de precipitação através do Hidroestimador apresentou uma boa performance somente no evento 2 da região 3.

O índice POD que representa a probabilidade de vezes que ocorreram os eventos e eles foram detectados ficou acima de 90% nas regiões 1 e 6 (evento 1), região 1 (evento 2) e regiões 2, 5 e 6 (evento 3), no caso das estimativas através dos dados de reanálises.

O hidroestimador também apresentou valores da ordem de 90% nas regiões 1, 4 e 7 (evento 1), regiões 2, 5 e média da bacia (evento 2) e região 6 (evento 3). O índice FAR indica a proporção de vezes que o evento foi estimado e não ocorreu. No caso do evento chuvoso, em 30% das vezes os dados de reanálise (regiões 2, 5 e média da bacia) e do hidroestimador (regiões 2, 5 e média da bacia) indicaram que seria um evento chuvoso e esse evento não ocorreu. Com relação à precipitação média da bacia, o BIAS indicou uma superestimativa no evento 3 (reanálise) e evento 2 (Hidroestimador) nos demais casos as bases alternativas de dados de precipitação subestimaram os eventos estudados.

Tabela 3. Índices de performance na análise da estimativa quantitativa de precipitação do Hidroestimador e Reanálise, para cada uma das regiões homogêneas.

	Regiões	BIAS		PC		POD		FAR	
		Rean	HE	Rean	HE	Rean	HE	Rean	HE
Evento 1	R1	1,09	2,00	0,81	0,64	0,73	0,91	0,33	0,55
	R2	1,18	0,64	0,61	0,56	0,45	0,09	0,62	0,86
	R3	0,79	0,50	0,81	0,50	0,57	0,36	0,27	0,29
	R4	0,77	1,77	0,75	0,67	0,54	0,92	0,30	0,48
	R5	0,30	0,50	0,69	0,64	0,10	0,10	0,67	0,80
	R6	1,23	0,31	0,67	0,69	0,92	0,38	0,48	0,38
	R7	0,77	1,85	0,69	0,64	0,46	0,92	0,40	0,50
	R8	0,27	0,55	0,67	0,64	0,09	0,18	0,67	0,67
Evento 2	R1	1,08	0,25	0,64	0,78	0,92	0,42	0,52	0,17
	R2	0,67	1,67	0,75	0,67	0,53	0,93	0,20	0,44
	R3	1,75	1,25	0,81	0,81	0,50	0,25	0,71	0,80
	R4	1,12	0,35	0,61	0,64	0,65	0,29	0,42	0,17
	R5	0,60	1,67	0,67	0,67	0,40	0,93	0,33	0,44
	R6	0,88	1,02	0,69	0,72	0,25	0,38	0,71	0,63
	R7	1,54	0,23	0,47	0,67	0,54	0,15	0,65	0,33
	R8	0,71	1,41	0,69	0,75	0,53	0,94	0,25	0,33
Evento 3	R1	1,13	0,63	0,69	0,75	0,38	0,25	0,67	0,60
	R2	1,36	0,64	0,67	0,69	0,91	0,45	0,33	0,29
	R3	0,67	1,50	0,64	0,67	0,47	0,93	0,30	0,38
	R4	1,13	0,63	0,69	0,75	0,38	0,25	0,67	0,60
	R5	1,36	0,64	0,83	0,78	0,91	0,45	0,33	0,29
	R6	0,67	1,44	0,64	0,72	0,47	0,94	0,30	0,35
	R7	1,13	0,63	0,69	0,75	0,38	0,25	0,67	0,60
	R8	1,36	0,64	0,83	0,78	0,91	0,45	0,33	0,29

Em relação as vazões, as mesmas foram denominadas da seguinte maneira: Vazão Observada (QObs), vazão calculada a partir dos dados pluviométricos (QPlu), vazão calculada a partir dos dados de Reanálise (QRean) e a vazão calculada a partir dos dados do Hidroestimador (QHE).

A Figura 5 apresenta o hidrograma de vazões diárias observadas e calculadas de janeiro de 2004 a dezembro de 2005. Conforme se verifica até o mês de junho de 2004 a QHE acompanha bem o hidrograma observado. A QHE representa melhor a recessão do que os picos do hidrograma. A QRean acompanha o padrão do hidrograma, mas o valor calculado fica bem distante do valor observado. A vazão calculada que se ajustou melhor ao hidrograma observado foi a Qplu, sendo a única que conseguiu acompanhar o maior pico de 800 m³/s.

As avaliações dos resultados das vazões calculadas foram feitas através do cálculo do coeficiente de Nash-Sutcliffe (R²), do Nash-Sutcliffe logaritimizado (R²log) e do erro de volumes (ΔV). O coeficiente R² (Equação 2) dá peso maior para os valores máximos; R²log (Equação 3) dá peso maior para os valores mínimos; e o ΔV (Equação 4), determina a diferença entre os volumes calculados e observados.

Essas funções foram utilizadas por buscarem parâmetros de ajuste do hidrograma de forma mais abrangente (picos, recessões e volume).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Q_{obs}(t) - Q_{cal}(t))^2}{\sum (Q_{obs}(t) - \overline{Q_{obs}(t)})^2} \quad (2)$$

$$R^2 \log = 1 - \frac{\sum (\log Q_{obs}(t) - \log Q_{cal}(t))^2}{\sum (\log Q_{obs}(t) - \log \overline{Q_{obs}(t)})^2} \quad (3)$$

$$\Delta V = \frac{\sum (Q_{cal}(t)) - \sum (Q_{obs}(t))}{\sum (Q_{obs}(t))} \quad (4)$$

Conforme a Tabela 4, considerando a vazão diária do Rio Guarita, as vazões calculadas através de dados pluviométricos foram as que apresentaram o melhor ajuste do hidrograma.

Tabela 4. Valores dos coeficientes de avaliação do modelo com diferentes entradas de precipitação (Rio Guarita).

	QPlu	QRean	QHE
R2	0,75	0,02	0,09
R2Log	0,45	-0,68	-4,63
ΔV	0,01	0,22	-0,65

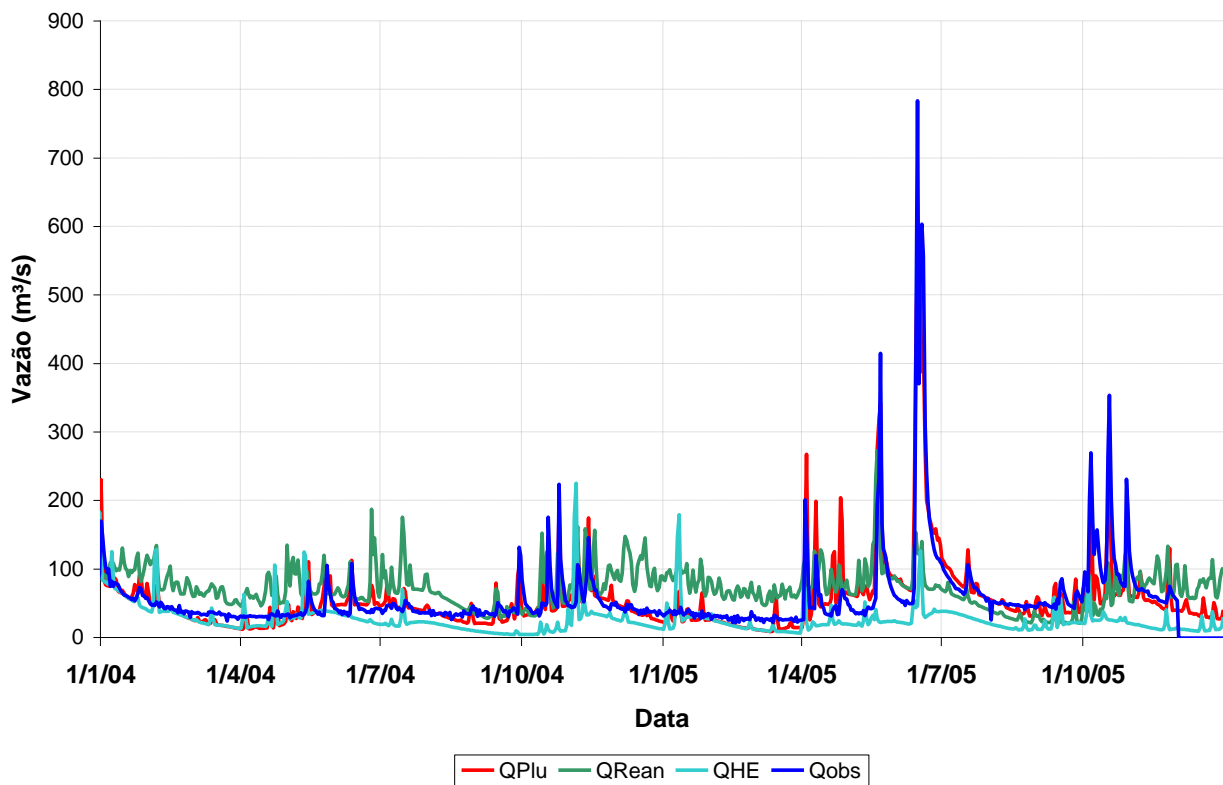


Figura 5. Hidrogramas de vazões diárias observadas e calculadas através dos dados de pluviômetro, hidroestimador e Reanálise, para o período de 2004 a 2005 (Rio Guarita).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em grandes bacias brasileiras um desafio importante é o monitoramento de variáveis hidrológicas. Importantes avanços poderão vir da utilização de estimativas destas variáveis por sensoriamento remoto e modelos meteorológicos. Neste trabalho foram testadas duas fontes alternativas de dados: Reanálise e Hidroestimador.

Os dados de reanálise são gerados a partir de modelos meteorológicos e do Hidroestimador são baseados no satélite GOES, amplamente testada na Argentina (Barrera et al., 2001; Barrera et al., 2003; Barrera, 2005; Barrera, 2007).

Os resultados das análises tomando a área da bacia do rio Uruguai indicaram que em algumas regiões os dados de Reanálise e Hidroestimador apresentaram uma boa performance em relação aos dados pluviométricos, destacando que no evento acima da normal ???a chuva média de toda a bacia o percentual de acerto foi relativamente alto.

Analisando os resultados de vazão conclui-se que para a bacia de estudo os dados pluviométricos continuam sendo a melhor alternativa, ou seja, em locais onde exista uma grande rede de dados pluviométricos é preferível utilizar estes dados.

É importante ressaltar que neste artigo não foram aplicados métodos de correção de chuva. É provável que após esse tipo de procedimento as bases de dados alternativas possam ser utilizadas com uma maior confiabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>> acesso em outubro, 2008.

ANDREOLLI, I. 2003. Previsão de vazão em tempo real no Rio Uruguai com base na previsão meteorológica. Dissertação de Mestrado. IPH/UFRGS.

BARRERA, D.; MARCUZZI, E.; NAUMANN, G. 2001. “Desarrollo del software de un Sistema Operativo de estimación de precipitación a partir de imágenes GOES”, in Actas del IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología, Buenos Aires, Argentina.

BARRERA, D.; Zucarelli, G.; Ceirano, E. 2003. “Una técnica satelital de estimación de lluvia como herramienta de pronóstico hidrológico: Aplicación a la tormenta del 22 al 25 de abril de 2003 sobre Santa Fe y Entre Ríos”, in Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, Brasil.

BARRERA, D.F. 2005. “Análisis comparativo de los mapas de precipitación obtenidos a partir de datos pluviométricos y de estimaciones satelitales”, in Actas do IX Congreso Nacional de Meteorología, Buenos Aires.

BARRERA, D.F. 2007. “The generation of synthetic brightness temperature images to improve rainfall estimation from GOES satellite”, in Proceedings of Predictions in Ungauged Basins: PUB Kick-off, IAHS Publication No309, c.13, pp. 113-120. Brasília, Brasil.

CALVETTI, L., C. A. A. BENETI, E A. J. PEREIRA FILHO. 2003. Características das estimativas de precipitação por radar, satélite e pluviômetros no Paraná: uma comparação entre chuva de verão e chuva provocada por frente fria. IN: XV SIMP. BRAS. DE RECURSOS HÍDRICOS, Curitiba, PR.

COLLISCHONN, W. Simulação hidrológica de grandes bacias. 2001. Tese de Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. 2002. Previsão sazonal de vazões na bacia do rio Uruguai I: Calibração de um modelo hidrológico distribuído. Relatório técnico da ANEEL.

DE ARAUJO, A. N. 2006. Simulação hidrológica com o uso de chuva estimada por satélite. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná.

Diniz, G.B. 2002. Determinação de preditores informativos visando a um modelo de previsão climática de temperaturas máxima e mínima para regiões homogêneas do Rio Grande do Sul. 150p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS.

KULIGOWSKI, R. 2002. "A self-calibrating real-time GOES rainfall algorithm for short-term rainfall estimates". *Journal of Hydrometeorology* (3), pp. 112-130.

MARDIA, K.V.; KENT, J.T.; BIBBY, J.M. 1995. *Multivariate analysis*. London: Academic Press, 518p.

NCEP/NCAR – NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL PREDICTION/NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH. Disponível: <<http://www.cdc.noaa.gov>> acesso em outubro, 2008.

SANSIGOLO, C. A. PEREIRA, C. S. SILVA, I. R. 2004. Relação entre as precipitações regionais no Sul do Brasil e as temperaturas da superfície dos oceanos Atlântico e Pacífico. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.19, n.1, 5-11.

TUCCI, C. E. M. 1993. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, 2ª ed., Editora da universidade, 943 p.

WILKS, D.S. 1995: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: an introduction*. International Geophysics Series, Academic Press, v. 59, 464 p.

demia Brasileira Ciências, 70 (2): 353-366.