

Avaliação de fontes alternativas de dados de precipitação para aplicação em modelos hidrológicos

Luciana da Silva Mieres ¹
Alessandra Faedrich Martins Rosa ¹
Claudinéia Brazil Saldanha ¹
Rita de Cássia Marques Alves ¹
Rogério de Lima Saldanha²

¹ Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia-CEPSRM
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Av. Bento Gonçalves, 9500 – Campus do Vale
Cx.P. 15044, CEP. 91501-970 – Porto Alegre – RS – Brasil
lucianamieres@yahoo.com.br
afmartinsrosa@yahoo.com.br
neiabrazil@yahoo.com.br
rita.cma@terra.com.br

²Companhia Estadual de Energia Elétrica – CEEE
Av. Joaquim Porto Villanova, 201 – Jardim Carvalho
CEP. 91410- 400 – Porto Alegre – RS - Brasil
rogeriols@cee.com.br

Abstract: Rainfall events can induce numerous disorders when they occur in an intense way over a region. For this reason the planning of government action requires technical knowledge of the hydrological regime of watersheds for which preventive actions are properly established, searching this way to avoid the occurrence of social, economic and environmental problems. Given these factors it is necessary to develop studies aimed at identifying the best method to estimate rainfall. 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 hidrological modeling. It follows the area of Uruguay River basin to study, which is formed between the states of Santa Catarina and Rio Grande do Sul, covering a region where there is a predominance of economic activities aimed at agriculture and livestock, as well as the use of water resources for power generation. In that area were analyzed estimates of daily rainfall data generated by hidroestimador and the reanalysis data. 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: Estimative of precipitation, Hydroestimador, Reanalysis, Estimativa de chuva, Reanálise, Hidroestimador.

1. 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. Segundo Tucci, (1993) e Calvetti et al. (2003), 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. 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. 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. De acordo com Andreolli (2003), é delimitada ao norte e nordeste pela Serra Geral, ao sul pela fronteira com a República Oriental do Uruguai, a leste pela Depressão Central-rio-grandense e a oeste pela Argentina. 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).

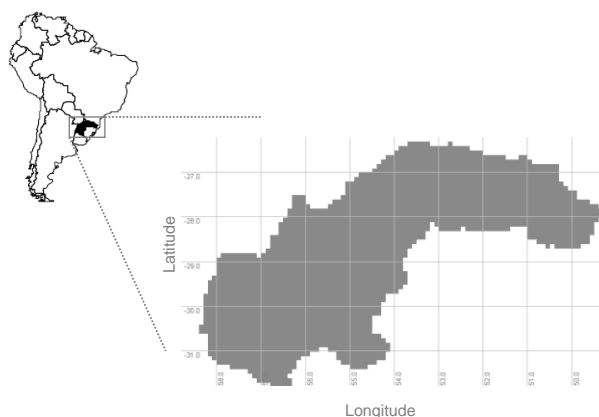


Figura 1 – Localização da área de estudo.

2. Metodologia de Trabalho

Foram utilizados dados diários de 136 postos pluviométricos obtidos junto ao banco de dados do Hidroweb da Agência Nacional de águas (ANA), 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), 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.

Para obter uma melhor análise dos resultados, a bacia do rio Uruguai foi agrupada em regiões homogêneas de acordo com o comportamento da precipitação. O agrupamento entre

os postos pluviométricos foi verificado a partir da análise de clusters, que, conforme Mardia et al. (1995), apresentam a vantagem de reduzirem o espaço multidimensional a uma medida de distância entre os objetos, representando esta em um espaço bidimensional, muito mais simplificado do que o espaço multidimensional. A análise de cluster busca agrupar elementos de dados baseando-se na similaridade entre eles. Os grupos são determinados de forma a obter-se homogeneidade dentro dos grupos e heterogeneidade entre eles. Como resultado da análise de agrupamento, tem-se o dendograma, que apresenta o arranjo entre os objetos em uma escala de distância. Este arranjo indica apenas afinidade entre os grupos, não definindo nenhuma ordenação entre estes. As distâncias são medidas e utilizadas para a representação dos pontos na estrutura de similaridade, representando o menor espaço entre dois pontos, sendo utilizada neste trabalho a medida da distância euclidiana entre dois vetores i, j (equação 1):

$$d_{i,j} = \left[\sum_{k=1}^K w_k (x_{k,i} - x_{k,j})^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Depois de calcular a distância é utilizado o método aglomerativo, onde cada elemento inicia-se representando um grupo, e a cada passo, um grupo ou elemento é ligado a outro de acordo com sua similaridade, até o último passo, onde é formado um grupo único com todos os elementos. Utilizou-se o método de ligação completa (complete linkage) que emprega a distância máxima tendo a tendência de formar grupos compactos, nos quais os ruídos demoram a ser incorporado nos grupos. A Figura 2 apresenta o dendograma obtido pelo método de agrupamento usado como medida de proximidade à distância euclidiana, considerando como variável de agrupamento valores padronizados de precipitação mensais. Segundo Diniz (2002), a escala vertical do dendograma indica o nível de similaridade, pois cada partição corresponde um valor numérico que representa o nível no qual ocorrem os agrupamentos; quanto mais elevado esse índice, mais heterogêneas as unidades agrupadas.

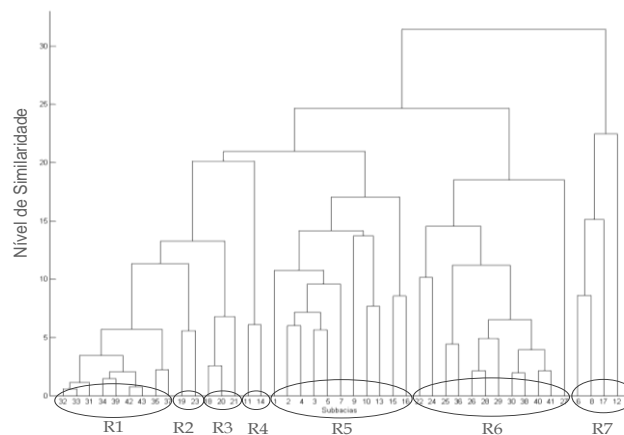


Figura 2 – Dendrograma do agrupamento feito pelo método da ligação completa com dados padronizados de precipitação das 43 subbacias do rio Uruguai, período de 1950 a 2005.

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.

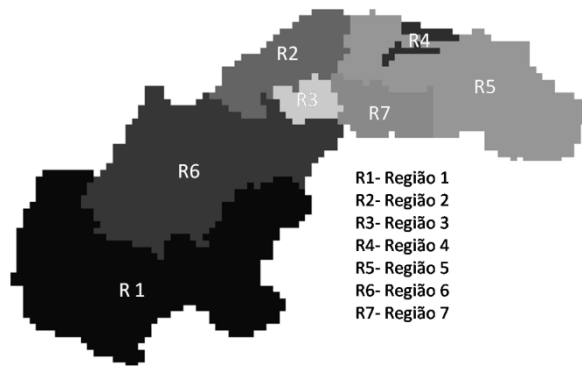


Figura 3. Divisão da bacia em regiões homogêneas relacionadas ao regime de precipitação.

A avaliação da precipitação foi feita através do cálculo dos índices de performance da precipitação. A variabilidade da precipitação foi analisada a partir das séries temporais mensais para cada uma das regiões homogêneas. As séries foram subdivididas 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. Conforme os autores Kuligowski, (2002), Sansigolo (2004) e Wilks (2006), 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. 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 4.

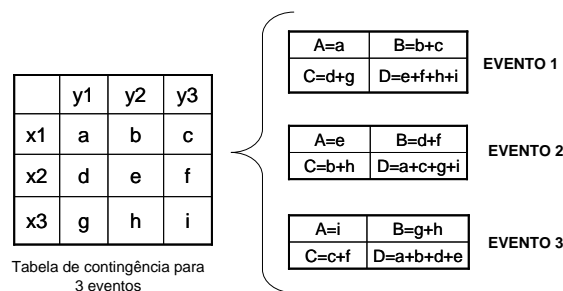


Figura 4. Redução de tabela de contingência 3x3 em três 2x2, para a verificação de eventos em 3 categorias.

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.

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.

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

3. Resultados e Discussão

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 foram da ordem de 0,67, conforme tabela 2.

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

Tabela 2. Correlação entre os dados pluviométricos e os métodos

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.

	BIAS		PC		POD		FAR	
	Rean	HE	Rean	HE	Rean	HE	Rean	HE
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
Evento 1 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

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

4. Conclusões

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. 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.

Agradecimentos

Agradecemos a CAPES/PROPG pela bolsa de estudo de mestrado da autora e da co-autora.

Referências Bibliográficas

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

Andreolli, I. Previsão de vazão em tempo real no Rio Uruguai com base na previsão meteorológica. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2003.

Barrera, D.; Marcuzzi, E.; Naumann, G. “*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. 2001.

Barrera, D.; Zucarelli, G.; Ceirano, E. “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. 2003.

Barrera, D.F. “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. 2005.

Barrera, D.F. “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. 2007.

Calvetti, L.; Beneti, C. A. A.; Pereira Filho, E A. J. 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 Simpósio brasileiro de recursos hídricos, Curitiba, PR. 2003.

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. Simulação hidrológica com o uso de chuva estimada por satélite. Dissertação de mestrado- Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2006

Diniz, G.B. 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 de Doutorado- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2002.

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

Mardia, K.V.; KENT, J.T.; Bibby, J.M. *Multivariate analysis*. London: Academic Press, 518p. 1995.
NCEP/NCAR – National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research. Disponível: <<http://www.cdc.noaa.gov>> acesso em outubro, 2010.

Sansigolo, C. A.; Pereira, C. S.; Silva, I. R. X. 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. 1995.

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

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