

---

**Precipitação na América do Sul: banco de dados e normais climáticas.**

Eder Leandro Bayer Maier<sup>1</sup>  
Sandra Cristina Barreira<sup>2</sup>  
Jefferson Cardia Simões<sup>1</sup>

1. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil.  
Av. Bento Gonçalves, 9500, prédio 43136, sala 209 - CEP 91501-970.
2. Serviço de Hidrografia Naval da Armada Argentina. Cidade autônoma de Buenos Aires, Argentina. Rua Comodoro Py, 2055, piso 15, Edifício Libertad.  
eder.maier@ufrgs.br  
barreira@ara.mil.ar  
jefferson.simoes@ufrgs.br

**Abstract:**

One the main phenomenon of the hydrological cycle is precipitation, moreover, the water recharge on continents plays a key role in the distribution and abundance of life in a given area. Given the importance of water for the existence of life, it is essential monitor and investigates this phenomenon. The paper was composed with three databases of precipitation over South America, the first database, are the observations of the 729 stations in Brazil, Bolivia and Argentine. Other databases are for complementary the gaps of the observation series. For it were used data from Reanalysis (NCEP / NCAR) and data estimated by processing satellite images (CMAP). To choose the best database we calculated the level of statistical significance using the Kolmogorov-Smirnov test, additionally was conducted a visual analysis of scatterplots. The results presented here constitute the first phase of work, which shows some characteristics of the observed and estimated data, but also discusses some limitations and possibilities of uses. The observed data have gaps in spatial and temporal coverage, thus making it necessary to use estimates, but the models not have good accuracy, for example, the reanalysis not estimates with an acceptable degree of reliability the precipitation in arid area, but, the estimates derived from the CMAP are good in these areas.

**Keyword:** precipitation, South America, database analysis.

**1. Introdução:**

Dados de precipitação são essenciais para pesquisas ambientais, pois tal fenômeno é responsável pela recarga hídrica do ciclo hidrológico. Assim, atividades antrópicas são vulneráveis à variabilidade da precipitação, sendo que os impactos desta variabilidade podem ser minimizados a partir do planejamento socioambiental baseado em fontes de dados confiáveis.

Porém a complexidade dos fenômenos naturais e as interações entre as diversas escalas espacial e temporal tornam os modelos de estimativa de precipitação bastante

imprecisos. Adicionalmente, a falta de dados observados e a compreensão limitada dos fenômenos atmosféricos adicionam incertezas nos modelos de estimativas (VON STORCH e ZWIERS, 1999).

Nesse sentido, esse trabalho pretende contribuir para a compreensão da distribuição espacial e temporal da precipitação sobre a América do Sul, bem como, discutir algumas vantagens e limitações dos principais bancos de dados. Sendo que as observações constituem a principal fonte de dados, pois é a partir delas que se originam as previsões climáticas e os modelos numéricos.

Na América do Sul diversos fenômenos dinâmicos são responsáveis pela distribuição e volume da precipitação, para exemplificar, no verão austral ocorre o transporte de umidade do Atlântico equatorial em direção ao continente; esses ventos quentes e úmidos, ao colidir com a cordilheira dos Andes são redirecionados para sul, transportando energia e umidade até as latitudes médias (CAVALCANTI, *et al.* 2009).

A dinâmica de verão é responsável pela recarga hídrica em grande parte da América do Sul, determinando o regime sazonal da precipitação do sul da Amazônia, margem leste da cordilheira dos Andes, as regiões brasileiras: centro-oeste e sudeste, Paraguai, norte da Argentina e norte da região sul do Brasil.

Para modelar as precipitações ocorridas nessa vasta área e controladas por fenômenos sazonais e bastante dinâmicos é fundamental o maior número possível de observações meteorológicas. Se há poucas observações, as estimativas numéricas são baseadas nessas amostras, assim os modelos podem gerar estimativas para uma vasta área com as características de uma pequena população amostrada, sendo que as diversidades provocadas por características locais, presentes em algumas dessas poucas estações observadas, podem corresponder às principais incoerências entre os dados observados e os modelos.

Havendo poucas observações, os modelos tornam-se uma importante ferramenta para obtenção de dados numéricos. Adicionalmente, os produtos dos modelos de estimativas apresentam uma distribuição geográfica e temporal homogênea e ininterrupta, evitando os

“buracos” nas séries e possibilitando análises mais complexas e completas de fenômenos que variam no tempo e no espaço.

Porém, há um grau de incerteza de cada modelo, sendo necessária a definição de um limiar de tolerância do erro. Para isso é efetuada a mensuração do erro, que pode ser medido por diversas formas como, por exemplo, na fase inicial realiza-se uma análise visual da distribuição geográfica e temporal dos dados estimados e observados e uma análise visual de um gráfico de dispersão que conforma as duas séries. Posteriormente se identifica o grau de correlação e de significância estatística, que pode ser calculado por meio do teste Smirnov-komogorov.

Conhecendo o grau de incerteza do modelo, as estimativas oriundas da modelagem são muito úteis para pesquisas ambientais em áreas extensas como, por exemplo, América do Sul. Uma das possibilidades de uso das estimativas é a complementação das séries históricas observadas; como a que é apresentada a seguir na metodologia e resultados.

## **2. Metodologia:**

Os dados observados são totais mensais da precipitação coletados em 729 estações meteorológicas convencionais mantidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET - Brasil), pela Agência Nacional das Águas (ANA - Brasil), pelo Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrografia (Bolívia) e pelo Serviço Nacional de Meteorologia (Argentina). O período selecionado para análise é de 30 anos, para caracterização de uma normal climática, iniciando-se em janeiro de 1979 até dezembro de 2008. Na figura abaixo se visualiza a distribuição geográfica das estações meteorológica.

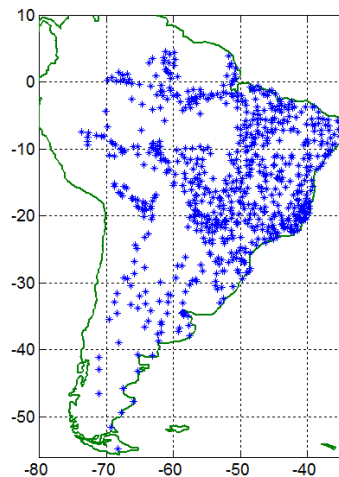


Figura 1: Distribuição espacial das estações meteorológicas brasileiras, bolivianas e argentinas.

Foram integrados ao banco de dados estimativas da precipitação por modelagem numérica (Reanálise) e por tratamento estatístico de imagens de satélites (CMAP). As reanálises são disponibilizadas pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) e *National Center for Atmospheric Research* (NCAR). Nesse trabalho foram processados os dados das Reanálises II, dispostos em uma grade Gaussiana. Mais informações podem ser obtidas em: <http://www.esrl.noaa.gov/> ou em Kistler *et al.* (2001).

O conjunto de dados denominado CMAP (*CPC - Merged Analysis of Precipitation*) é oriundo de cinco métodos de estimativa da precipitação por meio do processamento digital de imagens dos satélites meteorológicos. Nesse caso, se utilizou o banco de dados que contém maior confiabilidade, segundo Xie e Arkin (1997) são as séries que integram a técnica de processamento digital mais os dados de reanálise, esses por sua vez minimizam as incongruências entre as estimativas e a verdade terrestre.

A obtenção das séries estimadas de precipitação para as respectivas coordenadas geográficas de cada estação meteorológica foi realizada por meio da interpolação linear. Essa série temporal foi confrontada com a observação por meio do teste do Kolmogorov-Smirnov para validação estatística. Definiu-se como limiar de significância uma representatividade de 95%, considerando que o número de elementos da série é igual a 360, equivalente a 30 anos de dados. Esse teste estatístico avalia a correlação entre as séries e a magnitude do fenômeno, pois ele confronta duas distribuições de frequência. Assim, quando o teste valida as séries

como representantes da mesma população, elas apresentam semelhanças tanto na magnitude quanto na variabilidade (CONOVER, 1980).

### 3. Resultados:

Os resultados apresentados foram gerados pela manipulação dos dados de 729 estações meteorológicas e de dois bancos de dados oriundos de métodos distintos de estimativa da precipitação sobre a América do Sul. O produto demonstrado nesse artigo são amostras dessa manipulação, visto que para demonstrar todas as normais climatológicas necessitaria de um número de páginas elevado.

A climatologia foi calculada para o período entre 1979 até 2008 para todas as estações, mas para isso, as séries históricas devem ser completas. A fim de complementar as séries se identificou a melhor estimativa a ser usada, visto que inúmeras estações não apresentam uma série de trinta anos, como podemos visualizar no gráfico abaixo o tamanho das séries. Na Figura 2 estão expressos os números de amostras de cada série temporal, assim, quando completas possuem trinta anos de dados ( $n=360$ ), porém há estações que possuem um pouco mais de dez anos de dados.

No entanto, optou-se pela manipulação dessas séries temporais visto que se localizam em áreas com carência de dados observados, como é o caso da bacia Amazônica onde a floresta é bastante densa e na cordilheira dos Andes onde o terreno é bastante dobrado. Adicionalmente, é possível inserir series temporais oriundas das estimativas por reanálise e por CMAP em pontos que não há observações. Porém, em toda utilização de estimativas é necessário conhecer o melhor método de previsão e o erro intrínseco.

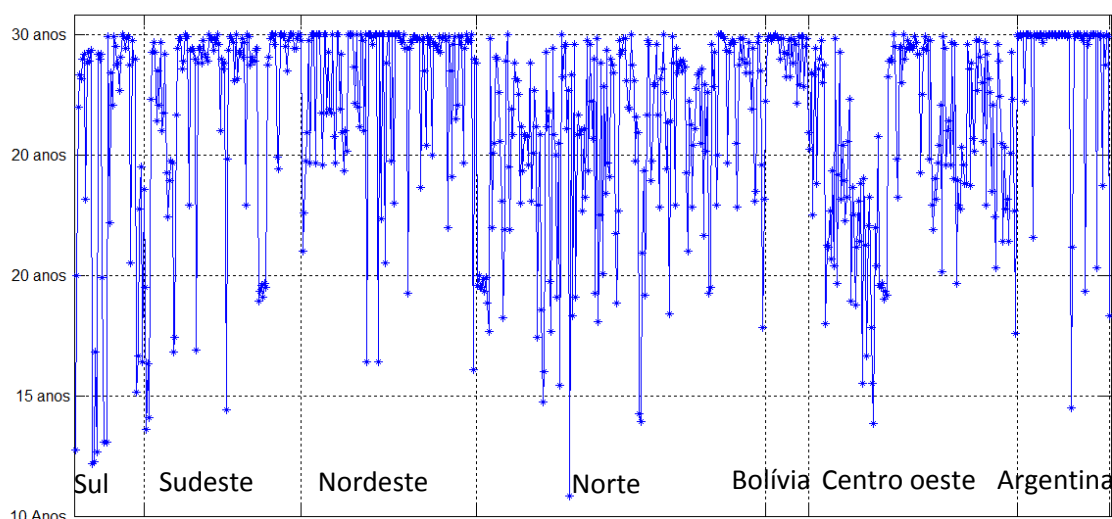


Figura 2: Número de amostras contidas em cada série temporal observada, tendo como base  $n=360$ , onde a série de trinta anos esta completa. No eixo horizontal estão identificadas as regiões ou o país onde estações estão sediadas.

A fim de complementar a séries temporais observadas foi realizado o teste de fidedignidade estatística para todas as séries estimadas, bem como, uma análise visual dos gráficos de dispersão. A combinação do teste e da análise possibilitou a identificação da melhor estimativa. Em uma macro escala é possível afirmar que as reanálises são boas estimativas nas zonas climáticas da América do Sul que apresentam maiores índices pluviométricos como, por exemplo, na zona equatorial e em médias latitudes, nas áreas de atuação dos ciclones e anticiclones.

Porém nas áreas mais áridas e dobradas do continente sul americano as reanálises superestimam a precipitação, como é o caso do nordeste e do centro oeste brasileiro; O mesmo ocorre nos Andes Centrais e em áreas áridas da Argentina. Em contrapartida, nessas regiões acima listadas, as estimativas por meio do processamento digital de imagens de satélites (CMAP) apresentam uma significância estatística acima de 95%.

Na figura 3 está expressa a distribuição geográfica das áreas (predominante) em que os modelos reanálise e CMAP simulam com representatividade acima de 95% as precipitações, a fim de completar as séries históricas das estações meteorológicas situadas nessas áreas. Visto que em alguns casos há uma boa representatividade das reanálise e do CMAP, bem como, o contrário também é verdadeiro, porém há um predomínio, conforme exposto na figura abaixo.



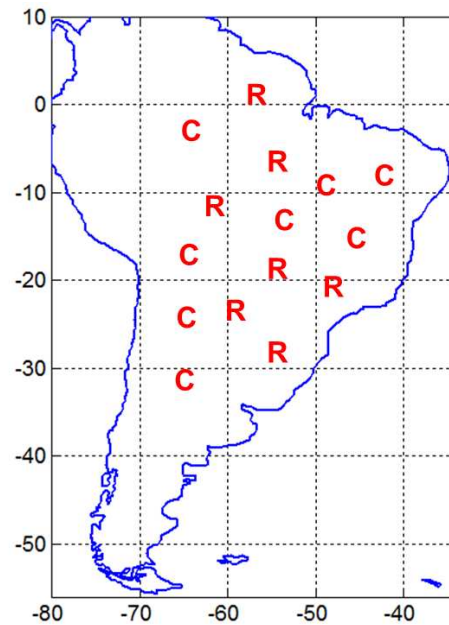


Figura 3: Domínio predominante de boas estimativas por reanálises (R) e por CMAP (C).

Após completar as séries observadas com as estimativas, se realizou o cálculo das médias mensais, que podem ser chamadas de normais climatológicas. Essas médias são os valores esperados de precipitação para cada mês, e também podem auxiliar na caracterização da variabilidade espacial. Na América Sul, essa variabilidade é bem marcada pela sazonalidade do índice pluviométrico.

Na região equatorial, os altos índices pluviométricos são predominantes e concentrados no verão do respectivo hemisfério. Veja na Figura 4, o gráfico da normal climatológica de Pacaraima (Roraima), que se situa no hemisfério norte, as precipitações mais intensas concentram-se em junho e julho. Já a normal climática de Tefé e Marabá concentram os maiores volumes precipitados nos meses de janeiro, fevereiro e março.

No nordeste brasileiro, em uma pequena variação espacial existe uma grande variabilidade nos índices pluviométricos, por exemplo, as diferenças entre o semiárido (Croata) e o litoral (Propriá). No semiárido ocorre pouca precipitação e concentrada nos meses do verão, já no litoral, ocorrem índices pluviométricos maiores e concentrados nos meses de inverno.

Em uma vasta área do continente sul-americano há uma sazonalidade no índice pluviométrico, o que caracteriza um clima de monções, com a ocorrência de fortes chuvas no

verão e invernos secos. O gráfico referente à normal climatológica de Cuiabá, é uma amostra do padrão espaço-temporal que domina o centro-oeste e sudeste brasileiro.

Em médias latitudes há uma boa distribuição temporal da precipitação, acumulando aproximadamente 100 milímetros por mês, conforme podemos visualizar nos gráficos referentes às cidades de Ponta Grossa, Porto Alegre e Buenos Aires. Porém, essas cidades estão mais próximas do oceano (TSM quente) quando comparadas às cidades de La Paz e Mendonza, as quais estão sob domínio de um clima mais árido. Adicionalmente, as baixas temperaturas em função das altas latitudes e altitudes influenciam na diminuição da capacidade de transporte de água para essas áreas.

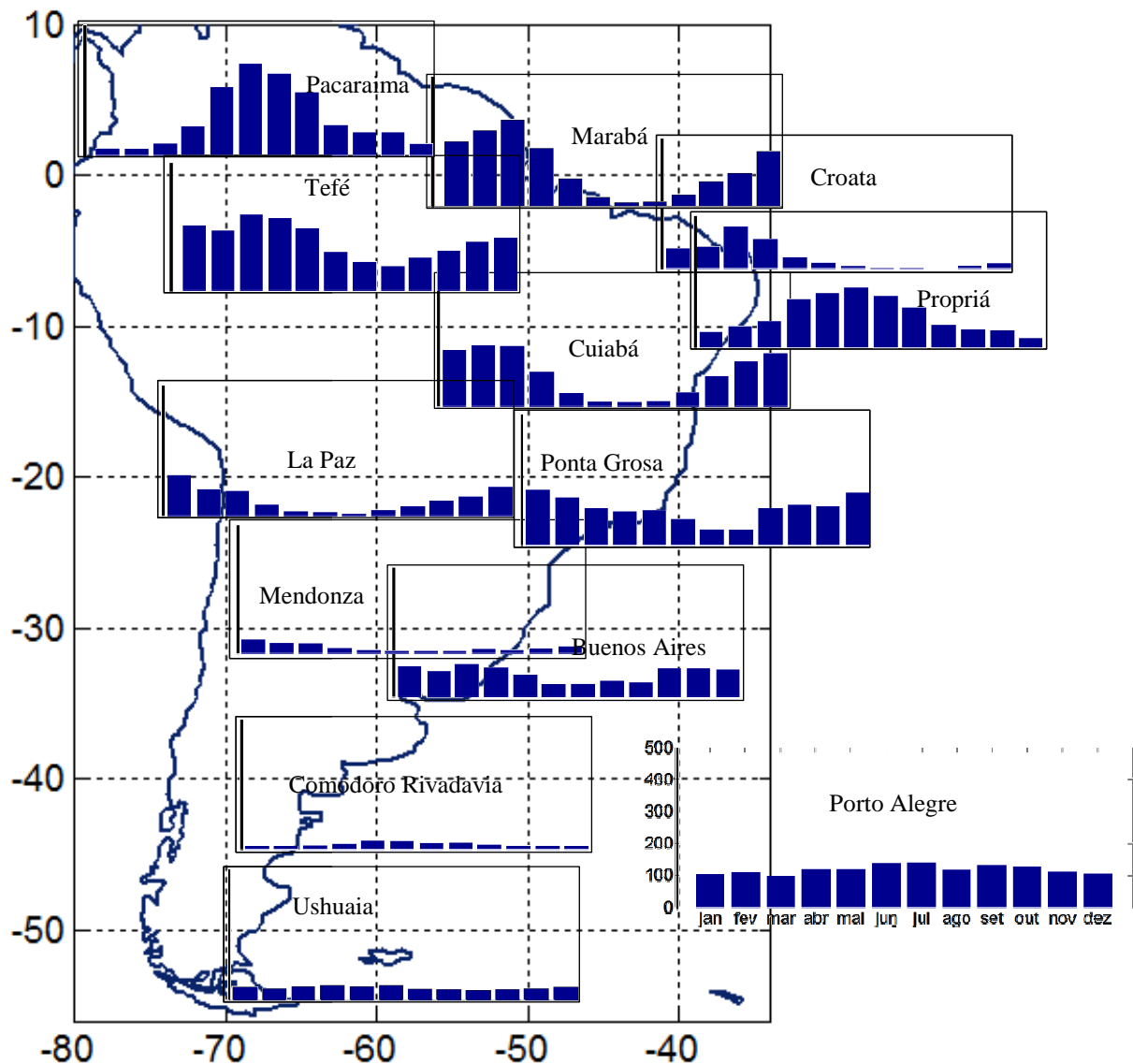


Figura 4: Normais climatológicas, tendo como referência no eixo vertical 500 milímetros, conforme o gráfico referente à normal climática de Porto Alegre.



#### **4. Conclusões**

Em etapas anteriores desse trabalho se verificou que há limitações para o uso de dados estimados em uma grande área como, por exemplo, a América do Sul, bem como há a necessidade de complementar as séries observadas. Para isso se desenvolveu um roteiro no software Matlab a fim de integrar os bancos de dados estimados as observações, obedecendo um intervalo de confiabilidade superior a 95%. Conforme os resultados acima, conclui-se que tal metodologia foi eficiente gerando resultados satisfatórios e coerentes com outros trabalhos já publicados como, por exemplo, Grimm (2003) e Marengo *et al.* (2004). Adicionalmente, esse processamento dos três bancos de dados pode subsidiar futuros trabalhos, como a comparação dos índices pluviométricos com dados paleoclimáticos, extensão de gelo marinho, etc. Essas comparações podem melhorar o conhecimento sobre os fatores ambientais que controlam a recarga de água na América do Sul e auxiliar no planejamento ambiental ou melhorar as previsões climáticas.

#### **5. Agradecimento**

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET - Brasil), a Agência Nacional das Águas (ANA - Brasil), ao Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrografia (Bolívia), ao Serviço Nacional de Meteorologia (Argentina) e ao *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP – Estados Unidos).

#### **6. Referências:**

- CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G.A.J.; SILVA DIAS, M. A. F. 2009. Tempo e Clima no Brasil, Oficina de Textos, São Paulo – SP, 463 p.
- CONOVER, W. J., 1980. Practical Nonparametric Statistics. 2 Ed. John Wiley & Sons, NY, USA. 493 p.
- GRIMM, A. M. The El Niño Impact on the Summer Monsoon in Brazil: Regional Processes versus Remote Influences. *Journal of Climate*, Vol. 16. Pg. 263-280, 2003.
- KISTLER, R. et al. 2001. The NCEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 82, 247-267
- VON STORCH, H. & ZWIERS, F.W. 1999: Statistical Analysis in Climate Research, Cambridge University Press.
- MARENGO, J. A.; SOARES, W. R.; SAULO, C.; NICOLINI, M. Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalyses: Characteristics and temporal variability. *J. Climate*. 17, 2261-2280, 2004.



XIE, P. e ARKIN, P.A. Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. Bull. Amer. Meteor. Soc., 78, 2539 – 2558, 1997