

Estudo da Variabilidade Interanual da Precipitação na Bacia do Rio Uruguai

Jonas Teixeira Nery
UNESP- Ourinhos, SP
jonanery@ourinhos.unesp.br

Eliane A. Denig, Luiz C. de Azevedo e Maria L. Orsini F. Martins
Laboratório de Meteorologia/CCE-UEM, PR

Recebido: 22/10/03 – revisado: 11/11/04 – aprovado: 03/03/06

RESUMO

A bacia do rio Uruguai drena aproximadamente 177.000km², de área brasileira, possuindo uma extensão total de 2.200km, dos quais 1.516km em terras brasileiras. O objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade da precipitação pluvial diária, mensal, anual e interanual dessa bacia. Foram utilizadas 50 séries pluviométricas (período de 1972 a 2001), dados cedidos pela Agência Nacional de Águas (ANA). Foram calculadas a frequência de dias com chuvas, a média e desvio padrão da precipitação (séries mensais e anuais), correlação linear em função da distância, além da anomalia da precipitação, para alguns anos de eventos El Niño e La Niña. A precipitação pluvial anual média oscilou entre 1400mm (a jusante) e 1700mm (a montante), com maiores valores (1900mm) na parte central dessa bacia. A precipitação pluvial nessa bacia apresenta significativa correlação com os eventos El Niño e La Niña.

Palavras-chave: precipitação, variabilidade, bacia do rio Uruguai.

INTRODUÇÃO

O rio Uruguai nasce no Brasil (fusão dos rios Canoas, Santa Catarina e Pelotas, Rio Grande do Sul), servindo de divisa natural entre Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Brasil) e Argentina, e Argentina com Uruguai, desaguando após, 2200Km de percurso no estuário da Prata. A extensão da bacia no Brasil corresponde a 178.000Km², com vazão média anual de 3600m³/s e seu volume médio anual de 114Km³.

A bacia do rio Uruguai está localizada aproximadamente entre as latitudes 26°12'36"S e 31°48'00"S e nas longitudes 49°12'36"W e 57°37'12"W, com formação geológica predominante Jurássico/Cretáceo – Lençóis de Trapp: diabásios, meláfios, espelitos, toleitos, vitrófiros. São bons condutores de água, em média 9800 l/h.

O Sul do Brasil é uma das regiões mais uniformes e de maior grau de unidade climática, onde se expressa no predomínio de clima mesotérmico superúmido sem estação seca, característica de clima temperado.

As condicionantes do clima são: 1) as latitudes mais elevadas em decorrência da posição geo-

gráfica, os planaltos de altitudes em geral acima de 600-700m, atingindo a mais de 1000m; 2) a dinâmica atmosférica que comanda a circulação do ar no setor meridional do continente sul-americano, as temperaturas médias no geral são inferiores a 22°C; 3) os trechos de maior altitude e as escarpas que se interpõem ao trajeto de massas de ar portadoras de maior umidade são aqueles que registram os maiores índices pluviométricos.

Segundo a classificação climática de Köppen, tradicionalmente utilizada, Santa Catarina e Rio Grande do Sul apresentam dois tipos de clima, mesotérmico úmido com verões quentes *Cfa* e mesotérmico úmido com verões frescos *Cfb*. É também uma região de passagem de frente de origem polar em frontogênese, o que torna esta região constantemente sujeita a brusca mudança de tempo pelas sucessivas invasões de tais fenômenos frontogenéticos em qualquer estação do ano, não sofrendo influência considerável dos fatores geográficos. A região Sul apesar de estar situada na zona temperada, tem seus sistemas circulatórios sujeitos as grandes flutuações anuais, no entanto não chega a influir na variabilidade térmica com a mesma importância com que influi na variabilidade pluviométrica, não

estando sujeita aos notáveis desvios térmicos (IBGE, 1977 e Coelho, 1987).

Comparando as precipitações no Sul e Sudeste do Brasil com as temperaturas dos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical, Studzinski (1995) constatou que o fenômeno El Niño – Oscilação Sul desempenha um papel importante na variabilidade interanual das precipitações, mas significativa fração dessas anomalias ocorre independente deste. Quanto à variabilidade sazonal, no verão ambos os oceanos são importantes, no outono e inverno o Pacífico é mais determinante e na primavera o Atlântico. Também nas regiões do Rio Grande do Sul e Uruguai existem conexões entre a precipitação e as Temperaturas de Superfície do Mar (TSM) dos Oceanos Atlântico e Pacífico, no fim da primavera e início do verão e fim de outono e início de inverno (Diaz *et al.*, 1998).

Segundo Nery *et al.* (2002), informações sobre a frequência de dias com precipitação pluviométrica, são úteis tanto no planejamento agrícola em curto prazo (práticas agrônômicas cuja umidade do solo e/ou ar são condicionantes) quanto num longo prazo (definições das regiões e épocas mais adequadas para a semeadura de culturas).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar a frequência de dias com precipitação e a variabilidade da precipitação pluvial mensal, anual e interanual na bacia do rio Uruguai, assim como analisar seus efeitos associados aos fenômenos El Niño (1982/1983 e 1997/1998) e La Niña (1984/85, 1988/89 e 1995/96).

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados de precipitação diária, no período de 1972 – 2001. Esses dados foram fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA). A Figura 1 mostra a localização da bacia do rio Uruguai com as respectivas estações meteorológicas, perfazendo um total de 50 séries.

A partir da série de dados foram realizados cálculos da frequência de dias de chuva mensal, sazonal e anual para o período de estudo e para alguns anos de El Niño e La Niña.

Com base na tabela de classificação de eventos El Niño e La Niña proposta por Trenberth (1997), foram realizados diversos cálculos estatísticos, para estabelecer a relação entre a precipitação

pluvial e os eventos ocorridos no Oceano Pacífico Equatorial.

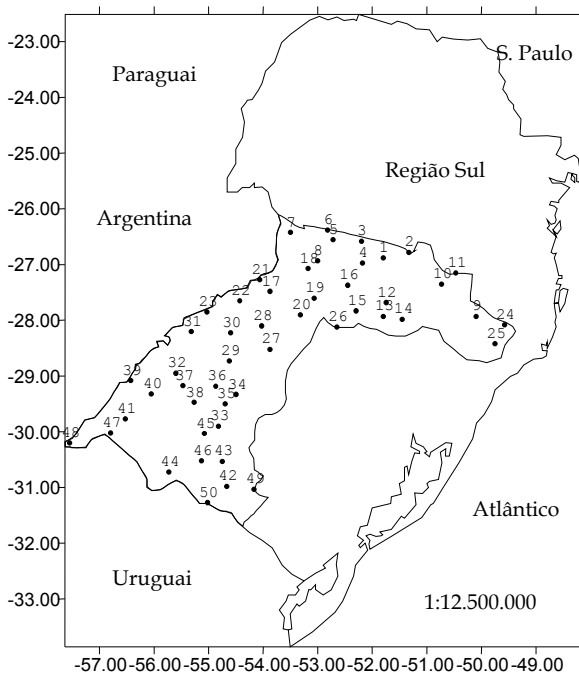


Figura 1 - Localização das estações pluviométricas da bacia do rio Uruguai (1cm corresponde a 125Km).

Tabela 1 – Lista de eventos El Niño e La Niña definidos a partir da temperatura da superfície do mar para a região do Niño 3.4, excedendo valores de 0.4°C (positivo ou negativo).

Período	Duração (meses)	Período	Duração (meses)
05/65 a 06/66	14	05/64 a 01/65	9
09/68 a 03/70	19	07/70 a 01/72	19
04/72 a 03/73	12	06/73 a 06/74	13
08/76 a 03/77	8	09/74 a 04/76	20
07/77 a 01/78	7	09/84 a 06/85	10
10/79 a 04/80	7	05/88 a 06/89	14
04/82 a 07/83	16	09/95 a 03/96	7
08/86 a 02/88	19		
03/91 a 07/92	17		
02/93 a 09/93	8		

Fonte: Trenberth, 1997.

Utilizaram-se também os cálculos de média, desvio padrão da precipitação pluviométrica anual e,

percentual de chuva em relação ao ano para trimestres consecutivos de precipitação de janeiro a dezembro.

Calculou-se a correlação linear em função da distância entre as estações realizadas para verão, inverno, total anual, alguns anos de El Niño e La Niña. Esses cálculos de correlação linear foram efetuados através do *software Statistica*.

Também foi calculada a anomalia da precipitação $(X_i - \bar{X})$ para alguns anos com eventos El Niño e La Niña.

Com a utilização do *software Surfer* plotaram-se as isoietas, a partir do método de interpolação de Kriging, por oferecer uma melhor distribuição das mesmas. A “krigagem” é um método de interpolação da geoestatística que usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressas no semivariograma para estimar valores em qualquer posição dentro do campo. Esse método de interpolação é considerado não tendencioso e de variância mínima (Burgess & Webster, 1980a).

Existem vários métodos de classificação não hierárquicos, como, por exemplo, os de Anderson (1958) e de Everitt e Graham (1974). Em alguns, há superposição de grupos, ou seja, algumas amostras pertencem a mais de um grupo e outros requerem muito tempo de computação.

A análise tipológica (*cluster*) é uma técnica de análise de dados, de caráter classificatório, que tem como finalidade a formação de classes, tipo de grupos, os mais similares possíveis, partindo de um conjunto de dados multivariáveis. Essa técnica baseia-se, principalmente, na obtenção de distâncias (medidas de proximidades entre as séries).

Nesse trabalho foi utilizado o método de Ward, com distância euclidiana para gerar áreas homogêneas de precipitação pluvial.

Utilizou-se também a técnica de Análise de Componentes Principais (ACP), modo S, para estudar áreas homogêneas de precipitação pluvial na bacia, (Preisendorfer, 1988). Com base nos autovalores obtidos, utilizou-se de análise de classificação (*cluster*) para gerar as áreas homogêneas.

DISCUSSÃO E RESULTADOS

Através da análise de componentes principais e da análise multivariada, foram gerados quatro grupos homogêneos na bacia, Figura 2. O primeiro grupo constituiu-se de quinze séries pluviométricas, o

segundo grupo de dezesseis séries, grupo III de treze séries e, por último, o grupo IV de seis séries de chuva.

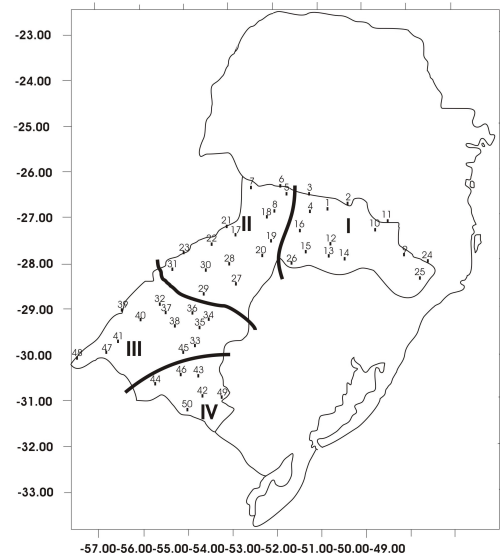


Figura 2 – Áreas homogêneas obtidas através da análise multivariada.

A frequência mensal de chuvas na bacia do rio Uruguai é mostrada nas Figuras 3(A-L), sendo que à jusante, no decorrer do ano, essa frequência foi maior no mês de janeiro, com aproximadamente, 5 a 8 dias de chuva como mostra a Figura 3A. À montante, a frequência de chuvas foi maior nos meses de janeiro e fevereiro, com valores em torno de 10 a 12 dias por mês (Figuras 3A e 3B). As Figuras 4(A-D) apresentam as frequências de chuva para quatro trimestres do ano. O trimestre que se destacou com maior frequência de chuvas, para o período analisado, foi de janeiro/fevereiro/março com 14 a 35 dias (Figura 4A) e em seguida o trimestre de outubro/novembro/dezembro, com 16 a 28 dias (Figura 4D). Essa distribuição ocorre da jusante para a montante da bacia. O trimestre com menor frequência de chuva foi julho/agosto/setembro variando entre 11 a 23 dias conforme mostra a Figuras 4C.

A frequência média de dias de chuva anual, para o período de estudo na bacia foi de 60 a 110 dias por ano (Figura 5A). Para determinados anos houve um aumento no número de dias de chuva, a montante, em relação à frequência média, atingindo 135 no ano de 1983 e 130 em 1998 (Figuras 5B e

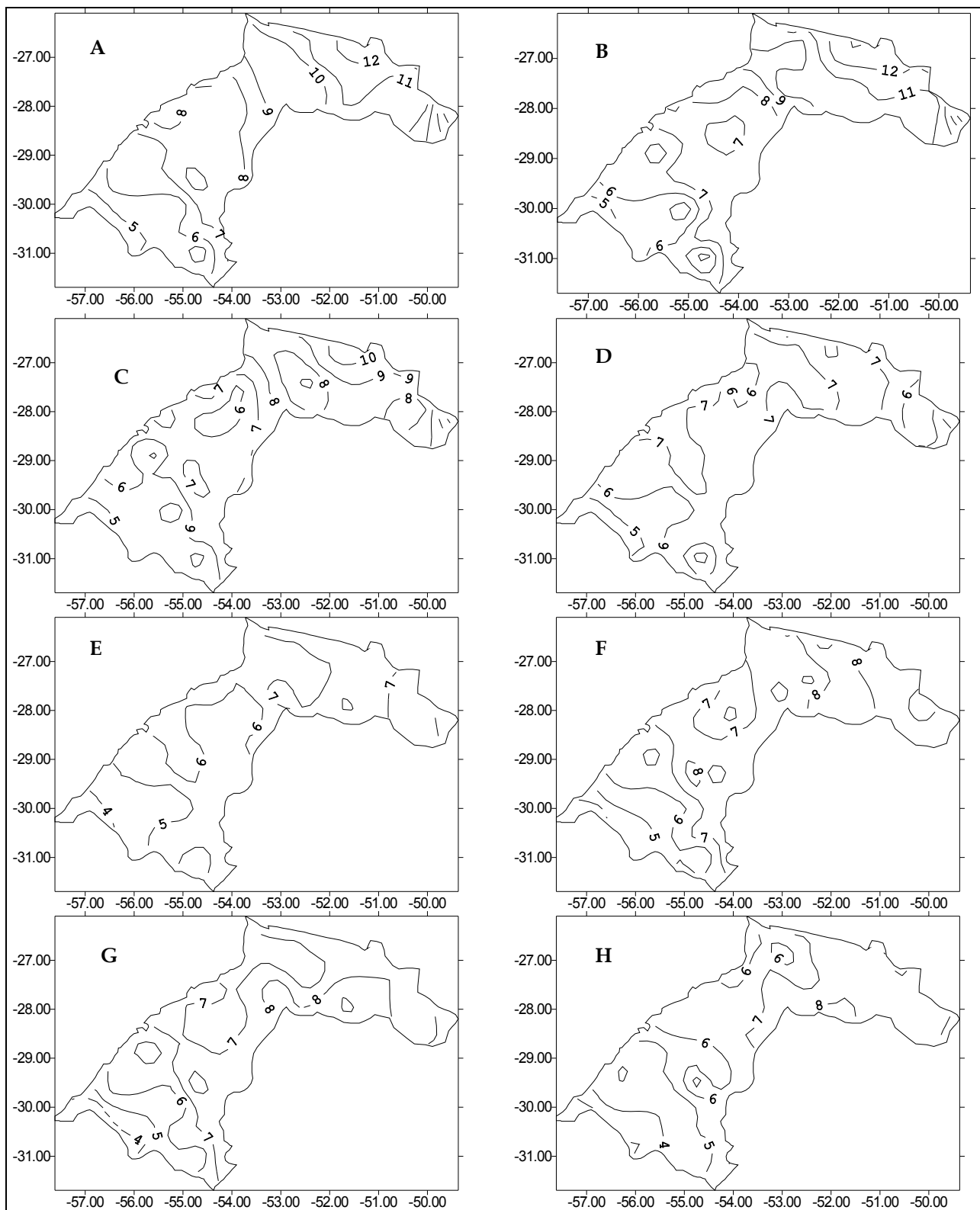


Figura 3(A-H) - Frequência de dias de chuva para os meses: (A) janeiro, (B) fevereiro, (C) março, (D) abril, (E) maio, (F) junho, (G) julho e (H) agosto no período de 1972- 2001.

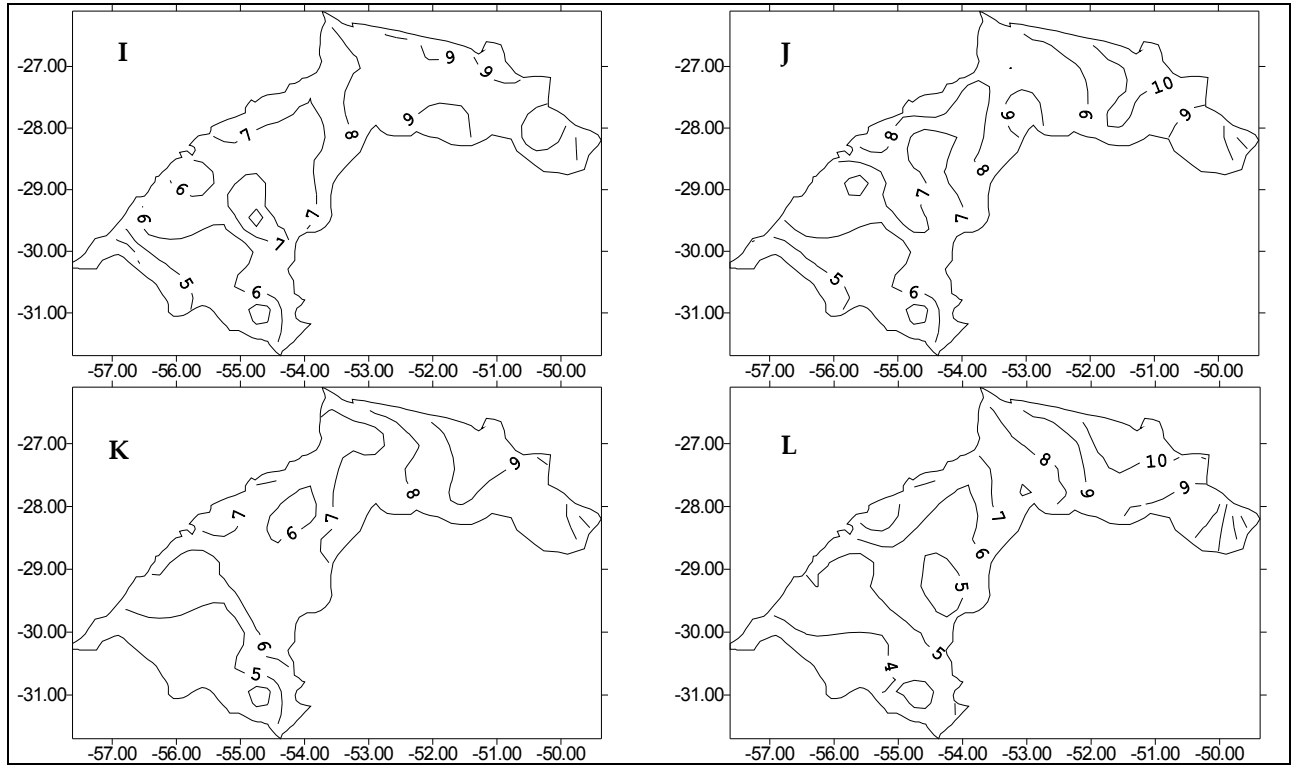


Figura 3(I-L) - Frequência de dias de chuva para os meses: (I) setembro, (J) outubro, (K) novembro e (L) dezembro, no período de 1972- 2001.

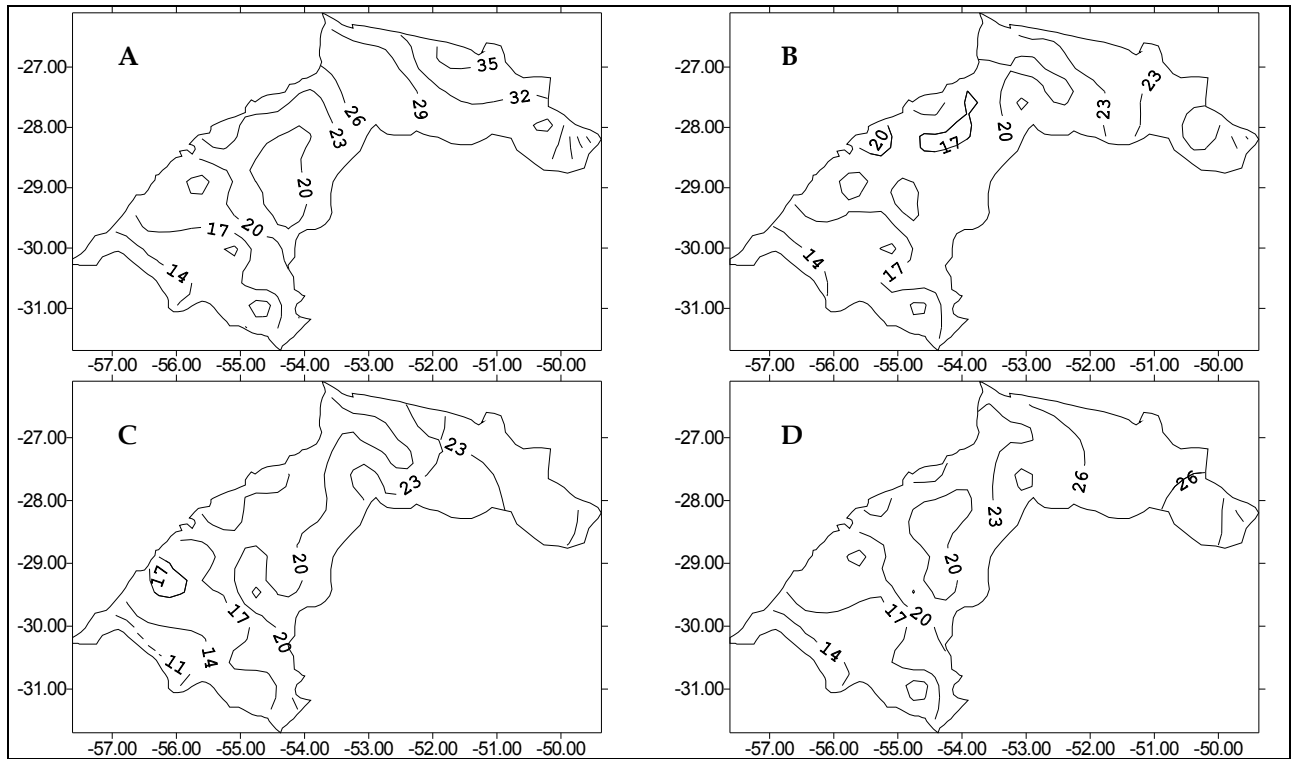


Figura 4(A-D) - Frequência de dias de chuva para os trimestres: (A) janeiro/fevereiro/março, (B) abril/maio/junho, (C) julho/agosto/setembro e (D) outubro/novembro/dezembro, no período de 1972- 2001.

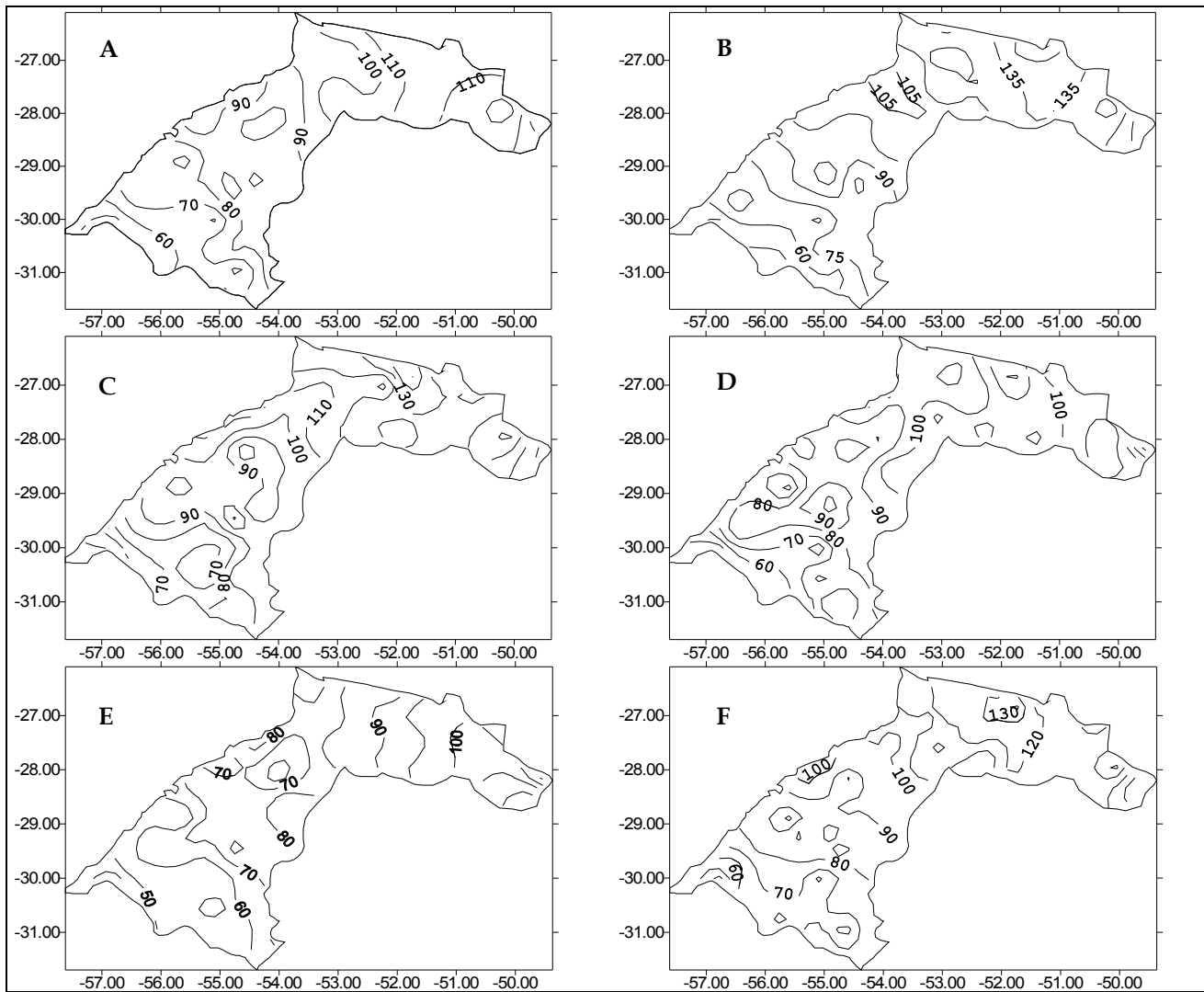


Figura 5(A-F) – Frequência anual de chuva (em dias): (A) no período 1972-2001, (B) 1983 e (C) 1998 – El Niño e (D) 1985, (E) 1988 e (F) 1996 - normal.

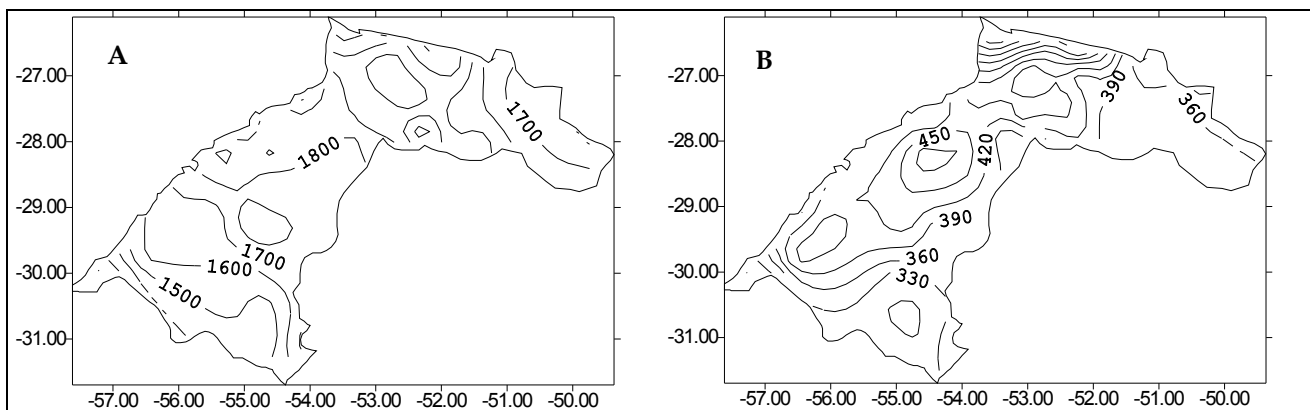


Figura 6(A-B) - Precipitação pluvial anual em mm, no período de 1972-2001: (A) Média e (B) Desvio padrão.

5C). Já para 1985, houve pouca variação em relação à frequência normal de dias de chuva na bacia (Figura 5D). Na Figura 5F pode-se observar à montante, frequência média de dias de chuva de 130 dias e, à jusante, valores de frequência de 60 dias.

A precipitação pluvial anual média na bacia do Rio Uruguai oscilou entre 1400mm (a jusante) e 1700mm (a montante), com maiores valores (1900mm) na parte central dessa bacia, conforme mostra a Figura 6A. O cálculo da dispersão da precipitação pluvial anual foi realizado através do desvio padrão, apresentando significativa variabilidade na parte central dessa bacia (Figuras 6B).

Também foram calculados os trimestres consecutivos de precipitação pluvial (janeiro a dezembro), obtendo-se percentuais de chuva em relação ao ano. Os trimestres mais representativos são apresentados nas Figuras 7(A-D). De modo geral a distribuição da precipitação ao longo do ano foi homogênea, no entanto pode-se observar que à jusante da bacia do rio Uruguai o trimestre janeiro/fevereiro/março apresentou um percentual de 29 a 32% da precipitação pluvial (Figura 7A) e no trimestre de junho/agosto esses valores decaíram com valores de 17 a 22% (Figura 7C), para a mesma região. À montante o trimestre mais destacado foi de dezembro/janeiro/fevereiro com valores entre 26 a 29% (Figura 7D) e o trimestre abril/maio/junho apresentou 21 a 23% (Figura 7B).

A correlação linear da precipitação pluvial, em função das distâncias entre as estações, foi realizada para verão, inverno e alguns anos de eventos El Niño e La Niña como mostram as Figuras 8(A-F). O mapa utilizado para calcular a distância entre as estações climatológicas foi de escala 1:6.250.000 (1cm corresponde 62,5Km). Pode-se observar que o inverno (Figura 8B) apresentou maior dispersão dos pontos que o verão (Figura 8A), embora apresente correlações altamente significativas. As Figuras 8C e 8D apresentam correlação em função das distâncias altamente significativa em ambos eventos El Niño de 1982/83 e 1997/98. De acordo com as figuras observa-se que existe uma correlação mais significativa no evento de 1997/98. Pode-se inferir que ocorreu uma variabilidade da precipitação de um evento para o outro e que em 1997/98 as chuvas distribuíram-se de forma mais homogênea em toda a bacia. A correlação linear em função das distâncias, para os eventos La Niña de 1984/85, 1988/89 e 1995/96, está representada nas Figuras 8(E-F). Observa-se uma dispersão maior dos pontos (muitas correlações são negativas). Isso possibilita inferir que para anos com ocorrência do fenômeno La Niña houve uma

significativa variabilidade da precipitação pluvial em toda a bacia. Em todas as figuras geradas para essa análise, foi utilizada a tabela de valores críticos para o coeficiente de correlação de Pearson, para o nível de significância 0.1, sendo consideradas significativas todas as correlações lineares cujos pontos encontram-se acima da linha tracejada (Andriotti, 2004).

As anomalias da precipitação pluvial apresentaram significativa variabilidade anual e interanual (de um evento para outro), conforme mostram as Figuras 9(A-G). O ano de 1982 (Figura 8A) apresentou 600mm acima da média climatológica de precipitação, isto é, aproximadamente 50%, mas também apresentou valores abaixo dessa média (-150mm ou aproximadamente 18% menor que a média). O ano de 1983 apresentou chuvas bem acima do normal no médio curso e na montante da bacia, chegando a 700mm (55%) e 1000mm (80%), respectivamente (Figura 8B). Os anos de 1997 e 1998, como mostram as Figuras 9(C-D), apresentaram em toda a bacia, precipitação acima da média climatológica (valores entre 10 e 50%). A variabilidade da precipitação em toda a bacia nos anos de El Niño estudados foi significativa.

Os anos de 1985 e 1988 (fenômenos La Niña), também apresentaram variabilidade na precipitação (valores abaixo da normal climatológica). Em 1985 (Figura 9E) a anomalia negativa ocorrida foi maior na montante dessa bacia (-500mm ou 50% abaixo da média). Em 1988 a anomalia negativa foi de -400 a -500mm, ou seja, 23 a 33% abaixo da média (Figura 9F). Em 1996 a anomalia apresentou-se negativa na jusante dessa bacia, -300mm ou 20% abaixo da média (Figura 9G), mas com valores positivos à montante da bacia, apresentando, portanto, significativa variabilidade.

Na Figura 10, foram calculados anomalias para o período de ocorrências de evento El Niño 1982-83, segundo classificação de Trenberth. Essas anomalias foram calculadas com base em uma estação de cada área homogênea, sendo que a Figura 10 (I) representa a anomalias para o evento El Niño 1982-83, do grupo homogêneo I e assim sucessivamente. Nota-se que existe variabilidade de área para área, para um mesmo fenômeno.

Também foi realizado cálculos com o mesmo procedimento anterior para o evento 1984-85, também segundo a classificação de Trenberth. Esse evento teve uma duração de 10 meses, sendo, portanto, mais curto que o anterior (16 meses) e também pode-se perceber claramente variabilidade da precipitação pluvial em cada área homogênea, além de variabilidade de um evento para outro.

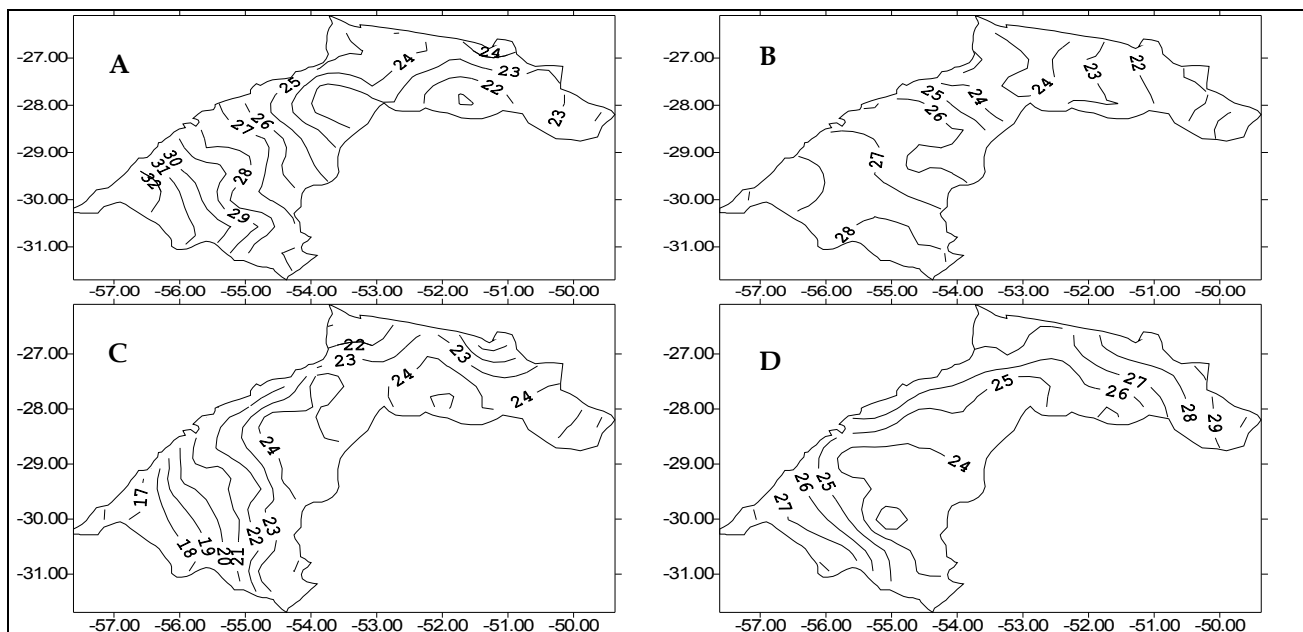


Figura 7(A-D) - Percentual de precipitação pluvial em mm, dos trimestres em relação ao ano: (A) fevereiro/março/abril; (B) abril/maio/junho; (C) junho/julho/agosto e (D) dezembro/janeiro/fevereiro.

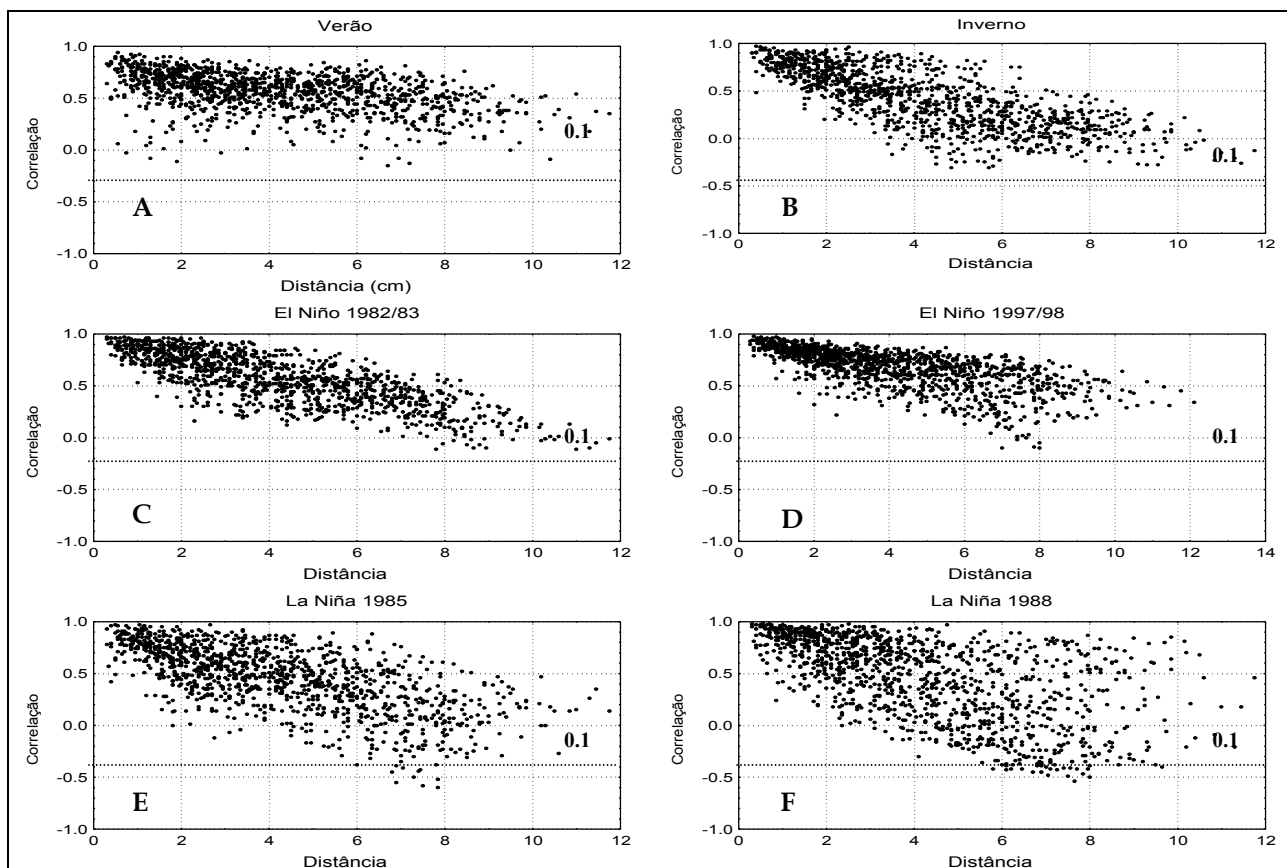


Figura 8(A-F) Correlação linear da precipitação pluviométrica em função da distância em cm (1cm corresponde a 62,5Km) entre as séries: (A) verão (dezembro a fevereiro); (B) inverno (junho a agosto); (C) El Niño 1982/83; (D) El Niño 1997/98, (E) La Niña 1984/85 e (F) La Niña 1988/89.

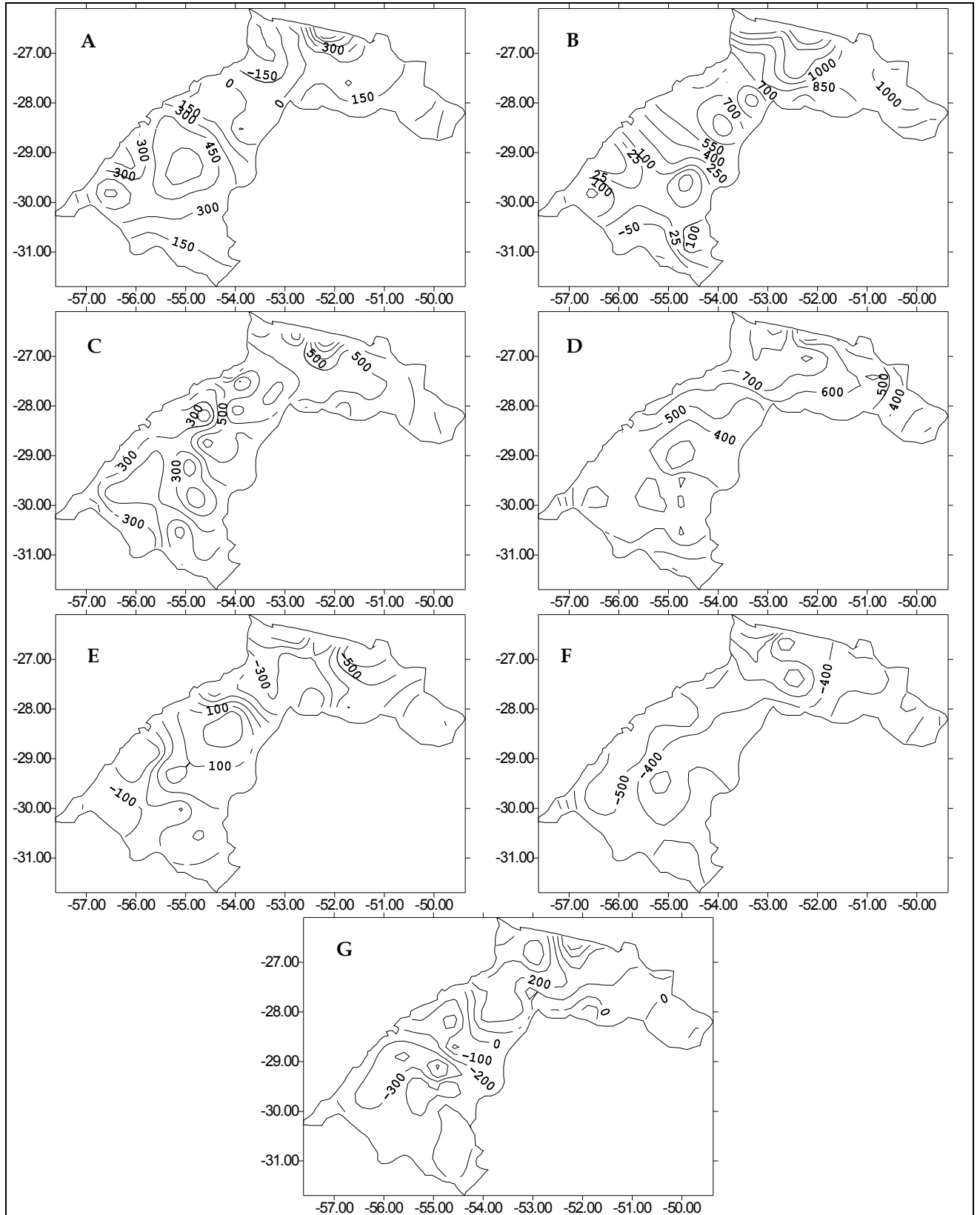


Figura 9(A-G) Anomalia da precipitação em mm, para alguns anos com ocorrência de El Niño: (A) 1982, (B) 1983, (C) 1997 e (D) 1998, La Niña: (E) 1985, (F) 1988 e normal: (G) 1996.

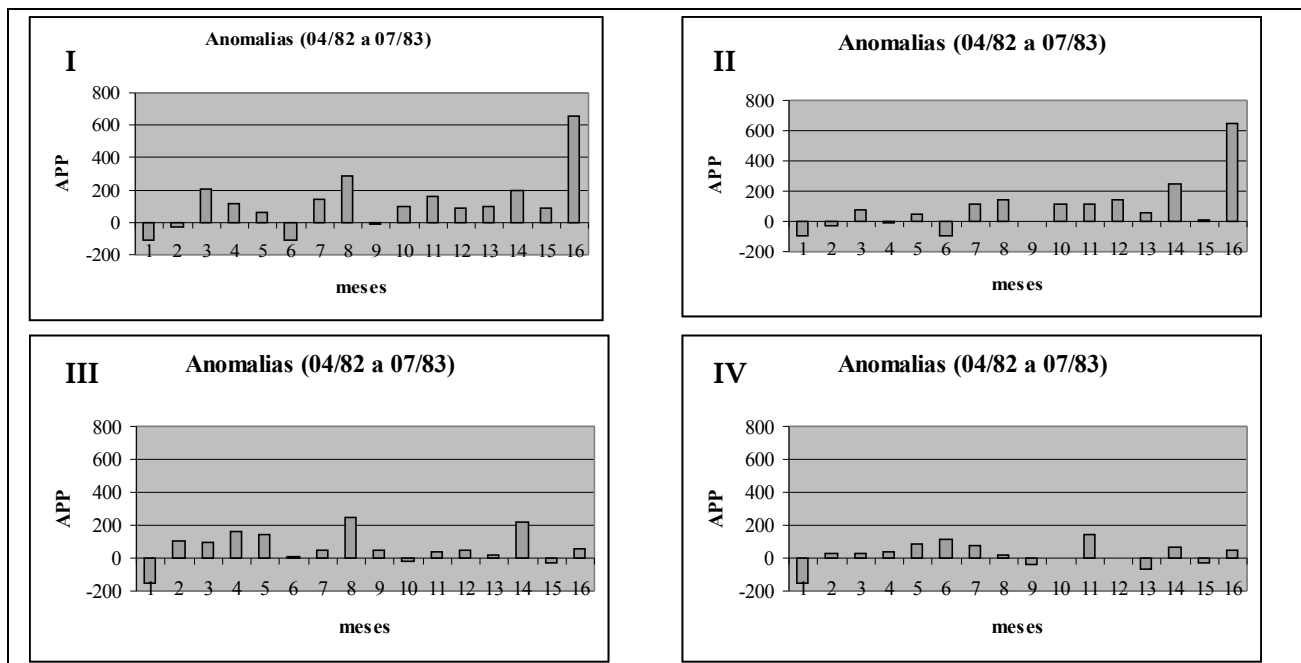


Figura 10 - Anomalias calculadas para o grupo I, II, III e IV e para o evento El Niño 1982/83, segundo Trenberth. APP significa anomalia da precipitação pluvial.

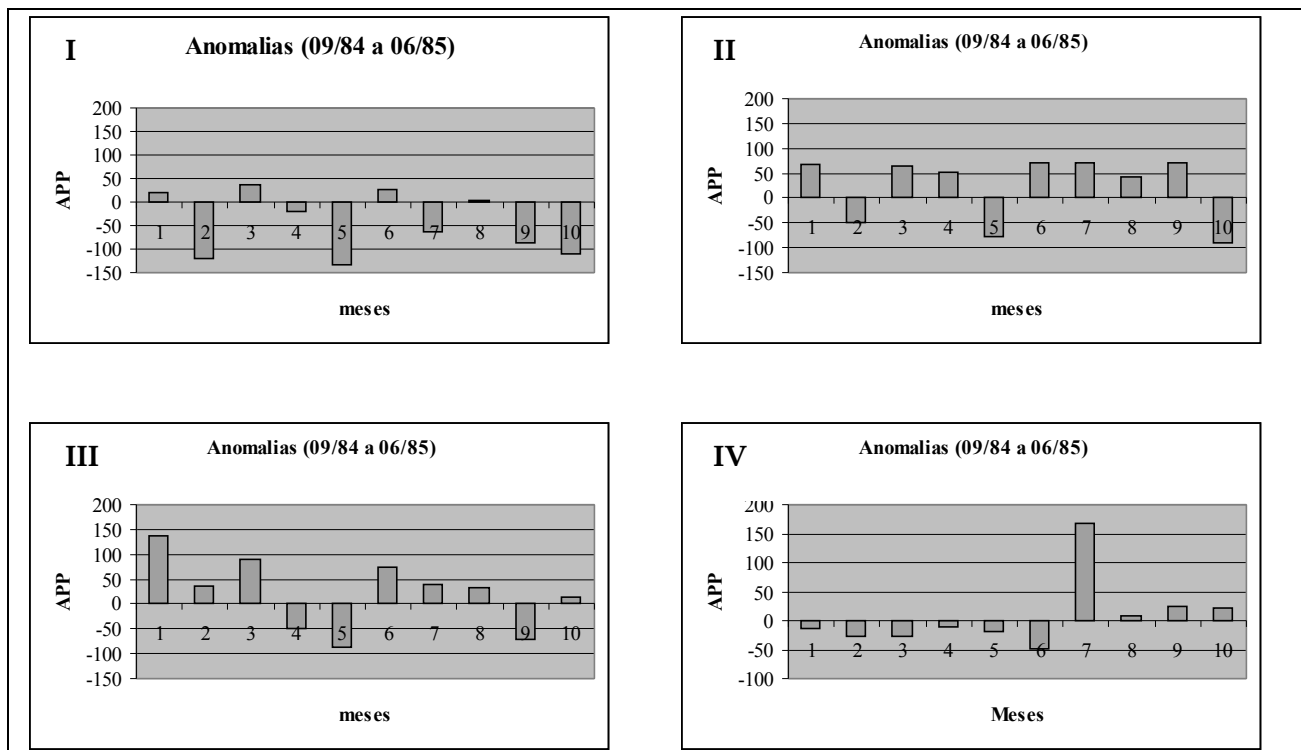


Figura 11 - Anomalias calculadas para o grupo I, II, III e IV e para o evento La Niña 1984/85, segundo Trenberth. APP significa anomalia da precipitação pluvial.

CONCLUSÕES

A frequência de dias de chuva, na bacia do rio Uruguai é máxima nos meses de janeiro e fevereiro na sua montante e o trimestre janeiro a março apresenta maior frequência de chuvas, para o período analisado.

O número médio de dias de precipitação pluvial em seus valores anuais sofre alterações positivas durante os eventos El Niño de 1982/83 e 1997/1998, especialmente na montante da bacia. No evento La Niña de 1984/85, 1988/89 e 1995/96 ocorre variação negativa em relação aos valores médios anuais, também na montante.

A precipitação pluvial na bacia do rio Uruguai é bem distribuída ao longo dos anos, não apresenta marcada diferença entre o período úmido e seco dentro da bacia.

Os eventos El Niño e La Niña influenciam a precipitação pluvial na bacia do rio Uruguai, com chuvas bem acima da normal climatológica em anos de evento El Niño e abaixo da normal climatológica em anos com evento La Niña. Para alguns anos observa-se uma distribuição espacial mais homogênea da anomalia na bacia.

REFERÊNCIAS

- ANDRIOTTI, J. L. S. Fundamentos de Estatística e Geoestatística. Brasil, Editora UNISINOS, 2004, 165p.
- ANDERSON, T. W. Na Introduction to Multivariate Statistical Analysis. New York: John Wiley, 1958, 312p.
- BURGESS, T.M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil, properties. II Block Kriging. Journal of Soil Science, v. 31, p.333-341, 1980a.
- COELHO, M.A. **Geografia do Brasil**. Ed. Moderna, São Paulo, 1987.
- DIAZ, A.F.; STUDZINSKI, C.D.; MECHOSO, C. Relationships between anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic oceans. **J. Climate** 11: 251-271, 1998.
- EVERITT, B. S., GRAHAM, D. Applied Multivariate Data Analysis. Edward Arnold, USA: British Library Cataloguing in Publication Data, 1991, 400p.
- IBGE. **Geografia do Brasil - Região Sul**. v.5, Rio de Janeiro, 1977.
- NERY, J. T.; STIVARI, SÔNIA M. S.; FREITAS, E.D.; MARTINS; M.L.O.F. Número de dias com precipitação pluvial do Estado do Paraná; In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002. Foz do Iguaçu, PR, **Anais...**, SBMet, Foz do Iguaçu, PR, 2002.
- PREISENDORFER, R. Principal component analysis in Meteorology and Oceanography. Amerstan, Elsevier, 1988, 425p.
- STUDZINSKI, C.D.S. **Um estudo da precipitação na região Sul do Brasil e sua relação com os Oceanos Pacíficos e Atlântico Tropical e Sul**. Tese de Mestrado, INPE, São José dos Campos, 1995.
- TRENBERTH, K. E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorology Society**, Boston, v. 78, n. 12, p. 2771-2777, 1997.

Study of Interannual Variability of Precipitation in the Uruguay River Basin

ABSTRACT

The Uruguay river basin drains approximately 177, 000km², of the Brazilian territory, and is 2,200 km long, 1,516 km of which in Brazil. The purpose of this study was to look at the variability of daily, monthly, annual and interannual rainfall in this basin. Ten rainfall series were used (1972-2001 period) with data given by the National Water Agency (ANA-Agência Nacional de Águas). The frequency of days with rainfall, the mean and standard deviation of precipitation (monthly and annual series), linear correlation considering the distance, besides the anomaly of precipitation were calculated for a few years of El Niño and La Niña events. The mean annual rainfall varied from 1400 mm (downstream) to 1700 mm (upstream) with higher values (1900mm) in the central part of this basin. The rainfall in this basin presents a significant correlation with the El Niño and La Niña events.

Key words: precipitation, variability, Uruguay River basin.