

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO – MESTRADO EM GEOGRAFIA

VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA BACIA

HIDROGRÁFICA DO IVAÍ – PARANÁ.

APARECIDO RIBEIRO DE ANDRADE

ORIENTADOR: PROF. DR. JONAS TEIXEIRA NERY

MARINGÁ – PARANÁ

18 DE JULHO DE 2003

VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO IVAÍ – PARANÁ.

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Geografia, área de concentração – Análise Regional e Ambiental, do Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia, sob a orientação do Dr. Jonas Teixeira Nery.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

A553v Andrade, Aparecido Ribeiro de
Variabilidade da precipitação pluviométrica na Bacia hidrográfica do Ivaí - Paraná / Aparecido Ribeiro de Andrade. -- Maringá : [s.n.], 2003.
99 f. : figs. color., tabs. color.

Orientador : Prof. Dr. Jonas Teixeira Nery.
Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual de Maringá, 2003.

1. Precipitação pluviométrica - Análise. 2. Bacia Hidrográfica do Ivaí - Paraná - Brasil - Climatologia. 3. Variabilidade interanual. I. Nery, Jonas Teixeira. II. Universidade Estadual de Maringá. - Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDD 21.ed. 551.647728162

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. JONAS TEIXEIRA NERY (Presidente)

Prof. Dr. JOÃO LIMA SANT'ANNA NETO (Membro)

Prof. Dr. GENEROSO DE ANGELIS NETO (Membro)

Dedico este trabalho a duas pessoas:

*Ao meu orientador e amigo, Dr. JONAS
TEIXEIRA NERY, que sempre me
incentivou, desde o início da graduação,
e à minha amada esposa, MARINEZ
FERRARI, sem a qual nada teria sentido.*

AGRADECIMENTOS:

A Marinez Ferrari, pela compreensão, carinho e ajuda em alguns trabalhos de digitação e até mesmo em conselhos que me foram muito úteis.

Ao professor Dr. Jonas Teixeira Nery, pela orientação e extremo esforço para que este trabalho fosse realizado com mérito.

À minha família (pais, sogros, cunhado e irmãos), que sempre me apoiaram, mesmo sem saber exatamente a finalidade do trabalho e foram compreensivos nas ausências injustificáveis.

Aos amigos, Luiz Carlos de Azevedo e Américo José Marques, pelo incentivo e ajuda em alguns momentos de necessidade.

Ao Sr. Nagashima, técnico da Superintendência de Recursos Hídricos (SUDERHSA), órgão vinculado à Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Paraná, por ter cedido tão prontamente os dados de precipitação pluviométrica para a realização do presente trabalho.

Ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), pelos dados de temperatura, que propiciaram a elaboração dos balanços hídricos.

A Sr^a Andreлина, técnica da Agência Nacional de Águas (ANA), pelos dados fluviométricos (vazão).

Ao meu colega de grupo e trabalho, José Hilário Delconte Ferreira, pela ajuda fornecida na elaboração de algumas figuras e na compreensão do *Software* SPRING.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABELAS.....	XI
RESUMO	XII
ABSTRACT	XIII
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: DEFINIÇÕES E CONCEITOS.....	3
2.1. Circulação Geral da Atmosfera	3
2.2. O que é Oscilação Sul?.....	5
2.3. El Niño-Oscilação Sul (ENOS).....	6
2.3.1. Caracterização do Fenômeno ENOS	6
2.3.2. Resgate Histórico	12
2.3.3. Situação de Normalidade (La Niña)	14
2.3.4. Situação de El Niño.....	15
2.3.5. Possíveis Origens do Fenômeno El Niño.....	16
2.3.6. Conseqüências do El Niño sobre o Território Brasileiro	17
2.3.7. Interação Oceano/Atmosfera.....	20
2.3.8. Recomendação para a Agricultura	24
2.4. Variabilidade Climática	26
2.5. Influência e distribuição da água no planeta	29
2.6. Bacias Hidrográficas	30
2.7. Métodos e escalas de abordagem	32
2.8. Características geofísicas do Estado do Paraná	34

2.9. Distribuição pluviométrica em áreas tropicais	36
2.10. Precipitação pluviométrica no Sul do Brasil	37
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	41
4. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS.....	43
4.1. Cálculo da média, do desvio padrão, da mediana e da amplitude	45
4.2. Cálculo da Anomalia.....	46
4.3. Índice padronizado de anomalia	46
4.4. Análise de Cluster	47
4.5. Definição do Método de Ward	47
4.6. Cálculo do balanço hídrico	49
4.7. Análise Fluviométrica	50
4.8. Correlação linear entre a precipitação, a TSM, o IOS e resultados do Balanço Hídrico	51
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	52
5.1. Distribuição temporal da precipitação pluviométrica	52
5.1.1. Evolução anual da pluviometria média.....	52
5.1.2. Comportamento médio mensal da pluviometria média	53
5.1.3. Delimitação dos períodos chuvoso e seco	54
5.2. Distribuição espacial da precipitação pluviométrica.....	55
5.3. Classificação das áreas homogêneas da bacia do Ivaí.....	57
5.4. Análise interanual da precipitação dos grupos homogêneos	58
5.5. Índice padronizado da anomalia anual	62
5.6. Análise temporal e a influência do El Niño e La Niña	64

5.7. Análise dos balanços hídricos	71
5.7.1. Correlação dos resultados dos balanços hídricos com a TSM.....	76
5.8. Correlação linear da precipitação pluviométrica	78
5.8.1. Correlação da TSM com a precipitação	78
5.8.2. Correlação do IOS com a precipitação	79
5.9. Análise da evolução da vazão do rio Ivaí.....	80
5.9.1. Correlação da anomalia da TSM com o índice de anomalia da fluviometria.....	83
5.10. Análise dos dias de chuva para os anos com variabilidade significativa...	84
5.11. Análise dos dias de chuva para os períodos chuvoso e seco.....	85
5.12. Análise dos períodos chuvoso e seco através da correlação da distância entre as estações pluviométricas	87
CONCLUSÕES	92
BIBLIOGRAFIA.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Série temporal das anomalias de PNM nas estações de Taiti e Darwin	5
Figura 2 – Enfraquecimento da velocidade dos ventos alísios e aquecimento das águas no Pacífico Tropical.....	8
Figura 3 – Medida do Índice de Oscilação Sul (IOS), destacando alguns períodos de El Niño e La Niña.....	9
Figura 4 – Intensificação da velocidade dos ventos alísios e resfriamento das águas no Pacífico Tropical.....	9
Figura 5 – Comparação dos processos convectivos observados na região do Pacífico Tropical em anos normais e em anos de El Niño e La Niña	10
Figura 6 – Intensificação do Jato Subtropical e conseqüente bloqueio dos sistemas frontais	11
Figura 7 – Evolução da anomalia de temperatura da superfície do mar (TSM) em anos de El Niño (1972-73, 1982-83, 1986-87, 1991-94, 1997) e previsão do modelo acoplado oceano-atmosfera do NCEP/NOAA-EUA para a região do Niño 3	19
Figura 8 – Localização das áreas de atuação do fenômeno El Niño sobre o Pacífico Tropical.....	21
Figura 9 – Evolução temporal da anomalia da TSM do Oceano Pacífico – 1974 a 2001	21
Figura 10 – Esquematisação da comparação entre a situação normal e a situação de El Niño no Pacífico Equatorial.....	23
Figura 11 – Localização Geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí.....	41
Figura 12 – Localização das estações pluviométricas dentro da área da bacia do Rio Ivaí, com as isolinhas de altitude	44
Figura 13 – Mapa hipsométrico da área de estudo – Bacia do Rio Ivaí.....	45
Figura 14 – Localização das estações meteorológicas utilizadas para realiza o balanço hídrico.....	49
Figura 15 – Localização das estações fluviométricas dentro da área de estudo.....	51
Figura 16 – Média das 19 estações estudadas: valores totais anuais.....	53
Figura 17 – Distribuição mensal da Precipitação Pluviométrica – 1974 a 2001.....	54
Figura 18 – Isolinhas da mediana do total anual da precipitação – 1974 a 2001	56
Figura 19 – Isolinhas da média total anual da precipitação – 1974 a 2001	56
Figura 20 – Isolinhas do desvio padrão do total anual da precipitação – 1974 a 2001	56
Figura 21 – Isolinhas da Amplitude Mensal da Precipitação – 1974 a 2001	56
Figura 22 – Dendograma dos grupos homogêneos, segundo o método de Ward.....	57

Figura 23 – Classificação dos postos pluviométricos segundo os grupos similares.....	58
Figura 24 – Evolução interanual da precipitação para a Estação 18 do grupo I – período de 1974 a 2001	58
Figura 25 – Evolução interanual da precipitação para a Estação 19 do grupo I – período de 1974 a 2001	59
Figura 26 – Evolução interanual da precipitação para a Estação 12 do grupo II – período de 1974 a 2001	59
Figura 27 – Evolução interanual da precipitação para a Estação 15 do grupo II – período de 1974 a 2001	59
Figura 28 – Evolução interanual da precipitação para a Estação 6 do Grupo III – período de 1974 a 2001	60
Figura 29 – Evolução interanual da precipitação para a Estação 4 do Grupo III – período de 1974 a 2001	60
Figura 30 – Evolução interanual da precipitação para a Estação 5 do grupo IV – período de 1974 a 2001	61
Figura 31 – Evolução interanual da precipitação para a Estação 7 do grupo IV – período de 1974 a 2001	61
Figura 32 – Índice padronizado anual para toda a área estudada – 1974 a 2001.....	63
Figura 33 – Índice padronizado anual para o grupo I – 1974 a 2001	63
Figura 34 – Índice padronizado anual para o grupo II – 1974 a 2001.....	63
Figura 35 – Índice padronizado anual para o grupo III – 1974 a 2001	63
Figura 36 – Índice padronizado anual para o grupo IV – 1974 a 2001.....	63
Figura 37 – Isolinhas de anomalia do ano de 1978 – Anomalia negativa sem explicação na bibliografia consultada.....	65
Figura 38 – Isolinhas de anomalia do ano de 1982 – Ano de El Niño intenso	65
Figura 39 – Isolinhas de anomalia do ano de 1983 – Ano de El Niño intenso	66
Figura 40 – Isolinhas de anomalia do ano de 1985 - Ano de La Niña intenso	66
Figura 41 – Isolinhas de anomalia do ano de 1988 - Ano de La Niña intenso	66
Figura 42 – Isolinhas de anomalia do ano de 1992 – Ano de El Niño intenso	66
Figura 43 – Isolinhas de anomalia do ano de 1997 – Ano de El Niño intenso	66
Figura 44 – Isolinhas de anomalia do ano de 1998 - Ano de El Niño intenso.....	66
Figura 45 – Balanço hídrico da estação de Paranavaí – ano de 1978	71
Figura 46 – Balanço hídrico da estação de Paranavaí – ano de 1983	71
Figura 47 – Balanço hídrico da estação de Paranavaí – ano de 1985	71
Figura 48 – Balanço hídrico da estação de Paranavaí – ano de 1988	71
Figura 49 – Balanço hídrico da estação de Paranavaí – ano de 1997	72
Figura 50 – Balanço hídrico da estação de Paranavaí – ano de 1998	72
Figura 51 – Balanço hídrico da estação de Cianorte – ano de 1978.....	72
Figura 52 – Balanço hídrico da estação de Cianorte – ano de 1983.....	72

Figura 53 – Balanço hídrico da estação de Cianorte – ano de 1985.....	72
Figura 54 – Balanço hídrico da estação de Cianorte – ano de 1988.....	72
Figura 55 – Balanço hídrico da estação de Cianorte – ano de 1997.....	73
Figura 56 – Balanço hídrico da estação de Cianorte – ano de 1998.....	73
Figura 57 – Balanço hídrico da estação de Umuarama – ano de 1978.....	73
Figura 58 – Balanço hídrico da estação de Umuarama – ano de 1983.....	73
Figura 59 – Balanço hídrico da estação de Umuarama – ano de 1985.....	73
Figura 60 – Balanço hídrico da estação de Umuarama – ano de 1988.....	73
Figura 61 – Balanço hídrico da estação de Umuarama – ano de 1997.....	74
Figura 62 – Balanço hídrico da estação de Umuarama – ano de 1998.....	74
Figura 63 – Balanço hídrico da estação de Campo Mourão – ano de 1978.....	74
Figura 64 – Balanço hídrico da estação de Campo Mourão – ano de 1983.....	74
Figura 65 – Balanço hídrico da estação de Campo Mourão – ano de 1985.....	74
Figura 66 – Balanço hídrico da estação de Campo Mourão – ano de 1988.....	74
Figura 67 – Balanço hídrico da estação de Campo Mourão – ano de 1997.....	74
Figura 68 – Balanço hídrico da estação de Campo Mourão – ano de 1998.....	74
Figura 69 – Balanço hídrico da estação de Prudentópolis – ano de 1978.....	75
Figura 70 – Balanço hídrico da estação de Prudentópolis – ano de 1983.....	75
Figura 71 – Balanço hídrico da estação de Prudentópolis – ano de 1985.....	75
Figura 72 – Balanço hídrico da estação de Prudentópolis – ano de 1988.....	75
Figura 73 – Balanço hídrico da estação de Prudentópolis – ano de 1997.....	75
Figura 74 – Balanço hídrico da estação de Prudentópolis – ano de 1998.....	75
Figura 75 – Evolução interanual da vazão da estação Porto Paraíso do Norte – 1974 a 2001.....	80
Figura 76 – Evolução interanual da vazão da estação Raposo Tavares – 1974 a 2001.....	81
Figura 77 – Evolução interanual da vazão da estação Ubá do Sul – 1974 a 2001.....	81
Figura 78 – Evolução interanual da vazão da estação Porto Espanhol – 1974 a 2001.....	81
Figura 79 – Evolução interanual da vazão da estação Tereza Cristina – 1974 a 2001.....	82
Figura 80 – Isolinhas do total anual do número dias de chuva– 1974 a 2001.....	84
Figura 81 – Isolinhas do número de dias de chuva para o ano de 1982 (El Niño).....	84
Figura 82 – Isolinhas do número de dias de chuva para o ano de 1983 (El Niño).....	84
Figura 83 – Isolinhas do número de dias de chuva para o ano de 1985 (La Niña).....	84
Figura 84 – Isolinhas do número de dias de chuva para o ano de 1997 (El Niño).....	85
Figura 85 – Isolinhas do número de dias de chuva para o ano de 1998 (El Niño).....	85
Figura 86 – Isolinhas da frequência de dias de chuva para o mês de dezembro – 1974 a 2001 (mês chuvoso).....	86
Figura 87 – Isolinhas da frequência de dias de chuva para o mês de janeiro – 1974 a 2001 (mês chuvoso).....	86

Figura 88 – Isolinhas frequência de dias de chuva para o mês de fevereiro – 1974 a 2001 (mês chuvoso).....	86
Figura 89 – Isolinhas da frequência de dias de chuva para o mês de junho – 1974 a 2001 (mês seco)	86
Figura 90 – Isolinhas da frequência de dias de chuva para o mês de julho – 1974 a 2001 (mês seco)	86
Figura 91 – Isolinhas da frequência de dias de chuva para o mês de agosto – 1974 a 2001 (mês seco)	86
Figura 92 – Correlação linear da precipitação pluviométrica com a distância entre as estações (período seco)	88
Figura 93 – Correlação linear da precipitação pluviométrica com as distâncias entre as estações (período úmido).....	88
Figura 94 – Correlação linear da precipitação pluviométrica com as distâncias entre as estações (todos os períodos de El Niño, segundo a Tabela VI) para os anos estudados – 1974 a 2001.....	89
Figura 95 – Correlação linear da precipitação pluviométrica com as distâncias entre as estações (todos os períodos de La Niña, segundo a Tabela VI) para os anos estudados – 1974 a 2001.....	89
Figura 96 – Correlação linear da precipitação pluviométrica com as distâncias entre as estações (períodos considerados normais) para os anos estudados – 1974 a 2001	90
Figura 97 – Correlação linear da precipitação pluviométrica com as distâncias entre as estações - período de jul/82 a dez/83 (El Niño)	91
Figura 98 – Correlação linear da precipitação pluviométrica com as distâncias entre as estações - período de mar/97 a out/98 (El Niño)	91
Figura 99 – Correlação linear da precipitação pluviométrica com as distâncias entre as estações - período de jan/85 a dez/85 (La Niña)	91
Figura 100 – Correlação linear da precipitação pluviométrica com as distâncias entre as estações – período de abr/88 a dez/88 (La Niña)	92

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela I –	Anos de ocorrência de fenômenos El Niño e La Niña.....	7
Tabela II –	Descarga dos rios dos países mais ricos e mais pobres em água do planeta	31
Tabela III –	Estações pluviométricas com suas respectivas latitudes, longitudes e altitudes	44
Tabela IV –	Relação das estações utilizadas para realizar o balanço hídrico.....	49
Tabela V –	Relação das estações fluviométricas utilizadas	51
Tabela VI –	El Niño e La Niña definidos a partir da temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico para a região do El Niño (1+2) e excedendo valores de 0.4°C (positivo ou negativo).....	64
Tabela VII –	Ano de 1978 (Valores abaixo da média, mas sem ocorrência de La Niña).....	67
Tabela VIII –	El Niño do período de julho de 1982 a dezembro de 1983	68
Tabela IX –	La Niña do período de janeiro de 1985 a dezembro de 1985	68
Tabela X –	La Niña do período de abril de 1988 a dezembro de 1988.....	69
Tabela XI –	El Niño de março de 1997 a outubro de 1998	70
Tabela XII –	Correlação da Anomalia da TSM do Pacífico com resultado do Balanço Hídrico.....	77
Tabela XIII –	Correlação da precipitação pluviométrica com a TSM do Pacífico	78
Tabela XIV –	Correlação da Precipitação Total com o IOS.....	79
Tabela XV –	Correlação da anomalia da TSM do Pacífico com a vazão rio Ivaí	83

RESUMO

O objetivo deste trabalho é discutir a variabilidade da precipitação pluviométrica na bacia do Rio Ivaí. Foram utilizados dados diários, mensais e anuais de precipitação, dados estes cedidos pela Superintendência de Recursos Hídricos do Governo do Estado do Paraná (SUDERHSA). O período de estudo foi de 1974 a 2001. Foram utilizados alguns parâmetros estatísticos tais como: média, desvio padrão e correlação linear. Também se calculou as anomalias para alguns anos específicos. Estudou-se a correlação entre a precipitação nesta bacia e a anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Pacífico Equatorial. Foi efetuada a correlação da precipitação pluviométrica com o Índice de Oscilação Sul (IOS). Foram analisados dados de fluviometria da área da bacia e correlacionados com a TSM do Pacífico. Através de dados de temperatura e precipitação, foram elaborados balanços hídricos e seus resultados foram correlacionados com a TSM do Pacífico. Através das medidas das distâncias entre as estações e a correlação da precipitação, foi possível efetuar a correlação linear para alguns períodos específicos (períodos úmido, seco, de eventos El Niño e La Niña). Pode-se observar a variabilidade da precipitação pluviométrica na bacia, de ano para ano e de evento para evento. A variabilidade espacial também foi verificada, pois a precipitação pluviométrica é mais intensa a montante na bacia, enquanto a jusante a pluviometria é menor.

Palavras chaves: precipitação pluviométrica, variabilidade climática, bacia hidrográfica do Ivaí, anomalia climática, correlação linear.

ABSTRACT

The aim of this paper is to discuss the variability of pluviometrical precipitation on Ivaí River basin. Daily, monthly and annual precipitation data were used, released by Superintendency of Hydric Resources of Paraná State Government - *Superintendência de Recursos Hídricos do Governo do Estado do Paraná (SUDERHSA)*. The period of studies was from 1974 to 2001. Some statistical parameters were used, such as: medium, median, standard deviation and linear correlation. Anomalies for some specific years were also estimated. The correlation between the precipitation and the anomaly of the Sea Surface Temperature (SST) of Equatorial Pacific Ocean was studied. The analysis of pluviometrical precipitation with the South Oscillation Index was carried out. Fluviometry data of the basin area were analyzed and correlated with the Pacific SST. The water balances were analyzed and their results were correlated with the Pacific SST according to temperature and precipitation data. The linear correlation for some specific periods (humidity, draught, events of El Niño and La Niña periods) was obtained by measuring the distance between the seasons and the correlation of the basin precipitation. The observation of the variability of the pluviometrical precipitation of the basin was made, according to every year and every event. The spatial variability was also verified because the pluviometrical precipitation is heavier on the basin upstream and lighter downstream.

Keywords: pluviometrical precipitation, climatic variability, hydrographic basin of Ivaí, climatic anomaly, linear correlation.

1. INTRODUÇÃO

Não existem grandes trabalhos de caracterização da região da Bacia do Rio Ivaí, principalmente quando o assunto é climatologia. Os poucos levantamentos que se conhece estão relacionados à produção agrícola e Atlas de zoneamento das décadas de 70 e 80, principalmente os elaborados por instituições governamentais (PARANÁ, 1987). Alguns pesquisadores foram precursores em estudos da Geografia Física do Paraná. R. Maack foi um dos que realizaram trabalhos de pesquisa no Estado do Paraná fazendo, principalmente, uma descrição geomorfológica de várias regiões do Estado, mas sua abordagem foi mais geral, com pouca análise localizada, (Maack, 1981). A área objeto deste estudo foi analisada pelo autor a partir de uma descrição de campo, quanto à caracterização climática sua análise foi mais ampla, ao nível de Estado do Paraná como um todo.

Alguns estudos já realizados mostraram claramente a correlação existente entre a precipitação pluviométrica e as condições climáticas do El Niño – Oscilação Sul (ENOS). Em alguns desses trabalhos concluiu-se que as chuvas possibilitam ou impedem o manejo de determinadas culturas existentes no Sul do Brasil, (Ferreira, 2000).

Através da análise do comportamento diário, mensal e anual da precipitação pluviométrica da bacia do Ivaí, foram feitos vários estudos, principalmente efetuando algumas correlações com índices conhecidos, como: Índice de Oscilação Sul (IOS); índice da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Pacífico tropical, bem como, o Índice de Kraus, para gerar uma série de precipitação pluviométrica na bacia, (Kraus, 1977).

Estudos realizados para o Sul do Brasil têm mostrado que o verão está dominado por sistemas convectivos oriundos do deslocamento da zona de convergência intertropical (ZCIT), mais para o Sul da linha do Equador,

intensificando a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e originando chuvas intensas sobre os Estados de Mato Grosso, Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná, (Nery, 1996).

O ciclo anual de precipitação na região Sul da América do Sul foi estudado por (Prohaska, 1976), que elaborou uma climatologia de onda anual observada em diferentes zonas e detectou diferentes regimes de chuva em função desta onda anual.

Com base em vários estudos realizados para a região Sul do Brasil, fez-se a caracterização da região de estudo, pois a bacia está inserida no Sul do Brasil, mais especificamente no Estado do Paraná.

A correlação entre o comportamento da precipitação e os fenômenos da circulação atmosférica geral foi realizada, buscando-se inclusive uma relação com o crescimento demográfico da região. Foram utilizados diversos parâmetros estatísticos para se buscar uma explicação da variabilidade interanual da precipitação.

A correlação da variabilidade da precipitação pluviométrica na bacia do Ivaí com o fenômeno ENOS foi estudada, buscando-se a elaboração de uma possível explicação para a distribuição temporal deste fenômeno meteorológico, associado aos eventos El Niño e La Niña.

No decorrer do presente estudo foi estudada a existência ou não da correlação da TSM do Pacífico com a precipitação pluviométrica na área de estudo, segundo a distribuição temporal, além de entender a influência desse fenômeno ao nível de um geossistema.

Considerando a distribuição latitudinal da precipitação pluviométrica, a área estudada deveria apresentar médias em torno de 1.000mm totais anuais, Ayoade (1996). Esta possibilidade foi analisada no decorrer do presente estudo e

os resultados indicaram que, na bacia do Ivaí, essas médias não foram encontradas, os valores de referência foram maiores, demonstrado que a teoria latitudinal ou de centros de alta e baixa pressão não exerce significativa influência na precipitação pluviométrica da região de estudo.

Este trabalho teve por objetivo estudar a variabilidade da precipitação pluvial na bacia hidrográfica do Rio Ivaí, no Estado do Paraná, procurando correlacioná-la com a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, além de estudar os comportamentos diários, mensais e interanual da precipitação pluviométrica na região.

Através do estudo da variabilidade da precipitação pluviométrica da bacia do Ivaí, buscou-se diagnosticar situações extremas para estabelecer controle de hidroelétricas e formas de preservar a referida bacia de erosões, entre outras possibilidades.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: DEFINIÇÕES E CONCEITOS

2.1. Circulação Geral da Atmosfera

A circulação geral da atmosfera deve ser abordada em qualquer trabalho climatológico, por isso deve-se considerá-la como um movimento que se processa em diferentes escalas de espaço e tempo, que vão desde a escala micrometeorológica até configurações sinóticas com diâmetro de milhares de quilômetros.

Na região tropical existem duas células de circulação que são determinantes na formação de centros de alta e baixa pressão. A primeira delas é a célula de Hadley que consiste na teoria de que um ramo ascendente estaria nas proximidades do Equador e o descendente a cerca de 30° de latitude, justificando, portanto, a existência dos ventos alísios de Sudeste no Hemisfério Sul. A

segunda é a célula de Walker que é atribuída ao aquecimento diferencial entre continentes e oceanos.

O Oceano Pacífico, devido às suas dimensões, é o que oferece maior interferência na circulação geral da atmosfera, principalmente na América do Sul. Vários estudos têm demonstrado sua influência na variabilidade climática continental. O Oceano Atlântico é palco de formações ciclônicas que influenciam a distribuição de frentes quentes e frias, principalmente na Região Sul do Brasil.

É importante salientar a ocorrência e influência da Oscilação Sul (OS), que está totalmente relacionada à pressão do nível do mar na bacia do Oceano Pacífico tropical. A diferença entre os desvios em relação à média das pressões registradas ao nível do mar (PNM) em Taiti (17°S, 150°W) e Darwin (12°S, 130°E), é definida como sendo o Índice de Oscilação Sul (IOS). O IOS é positivo quando a pressão em Taiti é maior que a média climatológica e em Darwin é menor. Quando isso ocorre, a circulação de Walker revela movimento ascendente do ar sobre a Indonésia e a pressão será baixa em Darwin. Nessa situação o vento próximo à superfície do mar (a oeste de Taiti) está dirigido para oeste, reforçando os alísios. Observa-se também, que a circulação de Walker mantém uma convergência das camadas inferiores sobre a Amazônia favorecendo a ocorrência de chuva naquela região. Quando a pressão atmosférica diminui em Taiti e aumenta em Darwin, nota-se o fenômeno inverso, ou seja, a fase negativa do IOS, fenômeno que provoca a alteração da temperatura da superfície do mar na área central do Pacífico tropical, em até 2°C acima da média.

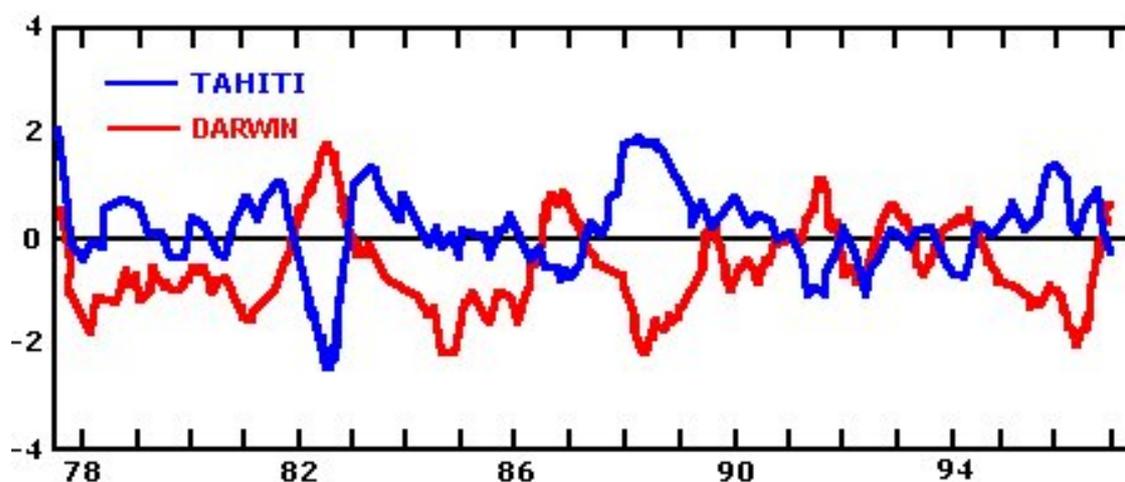
De todo esse complexo mecanismo surge o El Niño-Oscilação Sul (ENOS), que tem duas fases: a primeira é a fase negativa do IOS, com o conseqüente aumento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico, também chamado de fase quente e denominado simplesmente de El Niño; a segunda é a fase positiva do IOS, com a conseqüente diminuição da TSM do

pacífico, considerada também fase fria, denominada de La Niña. Na fase quente, a circulação de Walker fica mais fraca e a de Hadley mais forte, sendo que o processo se inverte na fase fria do ENOS, (Varejão-Silva, 2001).

De forma geral, a Oscilação Sul é o modo determinante da variabilidade interanual da precipitação pluviométrica na região sul do Brasil. Toda vez que ocorrem alterações no IOS, a tendência é que influa na distribuição temporal e espacial nas regiões tropicais e subtropicais.

2.2. O que é Oscilação Sul?

A Oscilação Sul (OS) caracteriza-se por uma "gangorra barométrica" de grande escala observada sobre a Bacia do Pacífico Tropical. O registro da OS data desde do ano de 1800, mas só foi documentada por Walker e Bliss (1932, 1937). Estes autores definiram a OS como uma flutuação inversa verificada no campo da pressão ao nível médio do mar (PNM) nas estações de Darwin (12.4S - 130.9E), localizada no norte da Austrália e Taiti (17.5S - 149.6W) situada no Oceano Pacífico Sul, Figura 1.



Fonte: <http://www.funceme.br>, (2003)

Figura 1 - Série temporal das anomalias de PNM nas estações de Taiti e Darwin

Trenberth (1984) obteve um coeficiente de correlação de -0.79 entre o campo de pressão nessas duas estações. A diferença entre as pressões normalizadas nas estações de Taiti e Darwin é definida como o Índice de Oscilação Sul (IOS), ou seja, o IOS é uma medida da Oscilação Sul.

2.3. El-Niño-Oscilação Sul (ENOS)

A OS funciona como um balanço de massa atmosférica de grande escala, envolvendo trocas de ar entre os hemisférios leste e oeste, centrado nas latitudes tropicais e subtropicais, sendo que os centros de ação localizam-se sobre a Indonésia e no Oceano Pacífico Tropical Sul. Esses centros de ação estão ligados por uma célula de circulação de grande escala no sentido zonal, isto é, de leste-oeste (denominada de Célula de Walker por Bjerknes em 1969), com ramo ascendente no Pacífico oeste e ramo subsidente no Pacífico leste.

A ligação do El Niño com a Oscilação Sul se estabelece da seguinte maneira: As variações no campo das TSM sobre o Pacífico Tropical estão associadas com variações no campo de PNM, gerando modificações na configuração da Célula de Walker, que por sua vez, provocam mudanças nos ventos superficiais (Ventos Alísios). Nos anos extremos da Oscilação Sul (PNM alta em Darwin e baixa em Taiti, ou seja, IOS negativo) ocorrendo conjuntamente com o El Niño (aquecimento anormal das águas oceânicas no Pacífico centro-leste) e enfraquecimento dos ventos alísios, caracterizam o "episódio quente do ENOS" ou simplesmente El Niño. Em geral, os episódios El Niño atingem sua maturação no mês de dezembro, possuindo um ciclo de 3 a 4 anos. Sua recorrência temporal varia de 3 a 7 anos com intervalos irregulares.

2.3.1. Caracterização do fenômeno ENOS

O El Niño - Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno de interação atmosfera-oceano, associado a alterações dos padrões normais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, entre a Costa Peruana e a Austrália. Além da temperatura do mar, o fenômeno ENOS pode ser medido pelo Índice de Oscilação Sul (IOS), que é a diferença média da pressão ao nível do mar entre os setores do centro-leste (Taiti/Oceania) e oeste (Darwin/Austrália) do Pacífico Tropical. Esse índice está relacionado ao aquecimento/resfriamento das águas na região.

De 1900 a 1997, ocorreram 28 episódios de El Niño e 18 de La Niña, permanecendo 53% dos anos sem ocorrência dos fenômenos. Em geral, o episódio começa a desenvolver-se em meados de um ano, atinge sua intensidade máxima no final daquele ano e dissipa-se em meados do ano seguinte, Tabela I.

Tabela I - Anos de ocorrência de fenômenos El Niño e La Niña

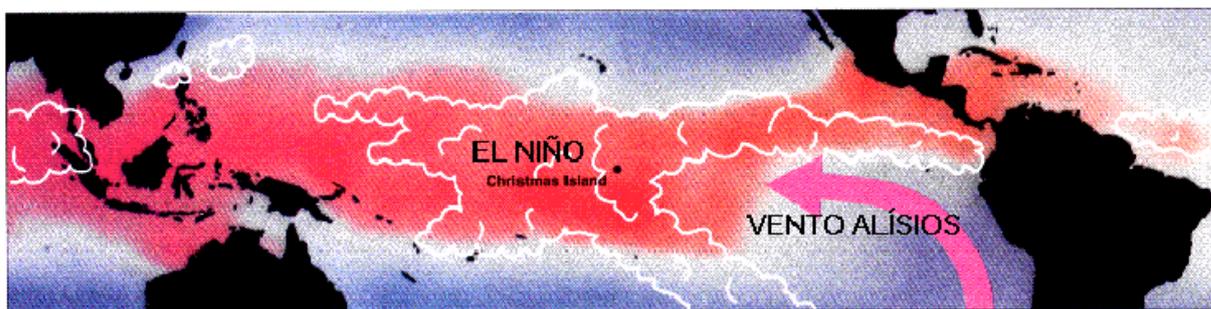
<u>El Niño</u>	<u>Intensidade</u>	<u>La Niña</u>	<u>Intensidade</u>
1877 - 1878	Forte	1886	Forte
1888 - 1889	Moderada	1903 - 1904	Forte
1896 - 1897	Forte	1906 - 1908	Forte
1899	Forte	1909 - 1910	Forte
1902 - 1903	Forte	1916 - 1918	Forte
1905 - 1906	Forte	1924 - 1925	Moderada
1911 - 1912	Forte	1928 - 1929	Fraca
1913 - 1914	Moderada	1938 - 1939	Forte
1918 - 1919	Forte	1949 - 1951	Forte
1923	Moderada	1954 - 1956	Forte
1925 - 1926	Forte	1964 - 1965	Moderada
1932	Moderada	1970 - 1971	Moderada
1939 - 1941	Forte	1973 - 1976	Forte
1946 - 1947	Moderada	1983 - 1984	Fraca
1951	Fraca	1984 - 1985	Fraca
1953	Fraca	1988 - 1989	Forte
1957 - 1959	Forte	1995 - 1996	Fraca
1963	Fraca		Fraca (98 - 99)
1965 - 1966	Moderada	1998 - 2001	Fraca (99 - 00)
1968 - 1970	Moderada		Moderada (00 - 01)
1972 - 1973	Forte		
1976 - 1976	Fraca		
1977 - 1978	Fraca		
1979 - 1980	Fraca		
1982 - 1983	Forte		
1986 - 1988	Moderada		

1990 - 1993	Forte
1994 - 1995	Moderada
1997 - 1998	Forte
2002 - 2003	Fraca

Fonte: <http://www.climerh.rct-sc.br/elnino>, (2003).

As fases positivas e negativas do fenômeno ENOS são denominadas de El Niño e La Niña, respectivamente. Estes são fenômenos naturais que existem mais de 100 anos e continuarão existindo como fenômenos cíclicos, entretanto sem um período regular. Eventos La Niña apresentam maior variabilidade e ocorrem com uma frequência menor que eventos El Niño.

O surgimento da fase positiva (El Niño) está associado ao enfraquecimento dos ventos alísios e caracteriza-se pelo aquecimento das águas superficiais do Pacífico Tropical e pelo registro negativo do IOS (Figuras 2 e 3).



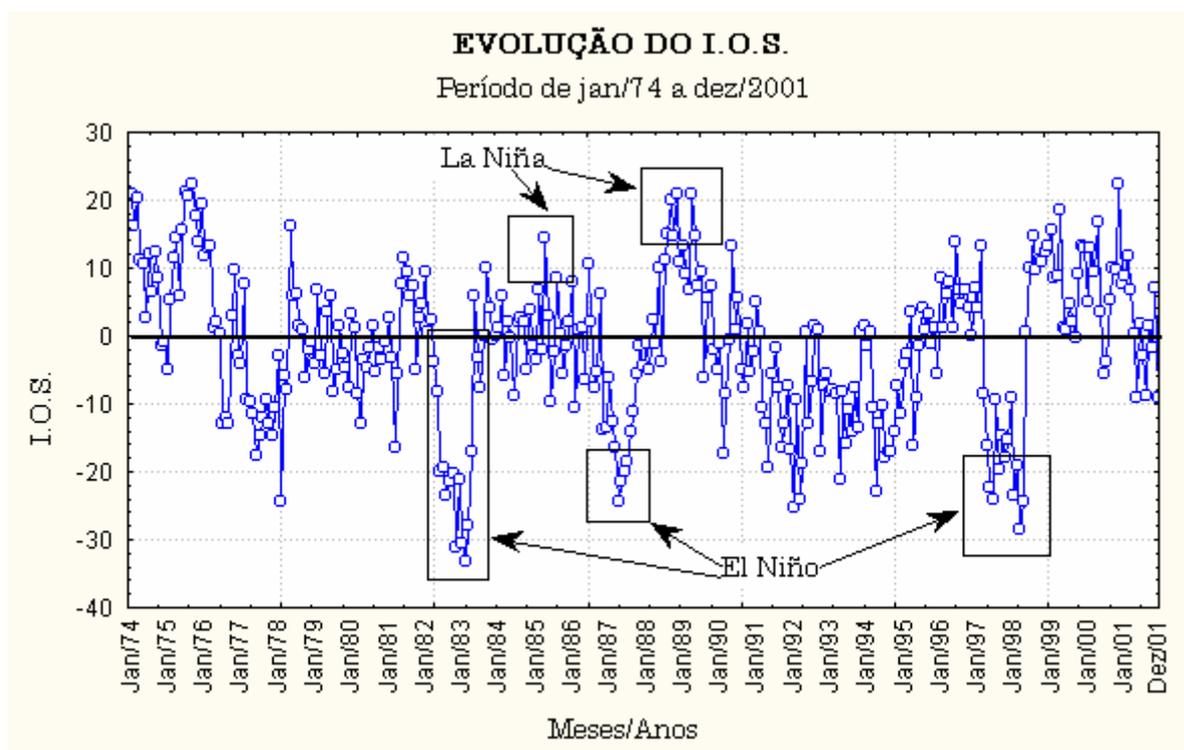
Fonte: <http://www.climerh.rct-sc.br/elnino>, (2003).

Figura 2 – Enfraquecimento da velocidade dos ventos alísios e aquecimento das águas no Pacífico Tropical.

A La Niña, fase negativa do ENOS, ocorre quando se verifica o resfriamento das águas superficiais do Pacífico Tropical junto com o aumento na intensidade dos ventos alísios, deixando-os com a velocidade acima da média climatológica (Figura 4). Além disso, quando ocorre esta fase do fenômeno, o IOS é positivo (Figura 3).

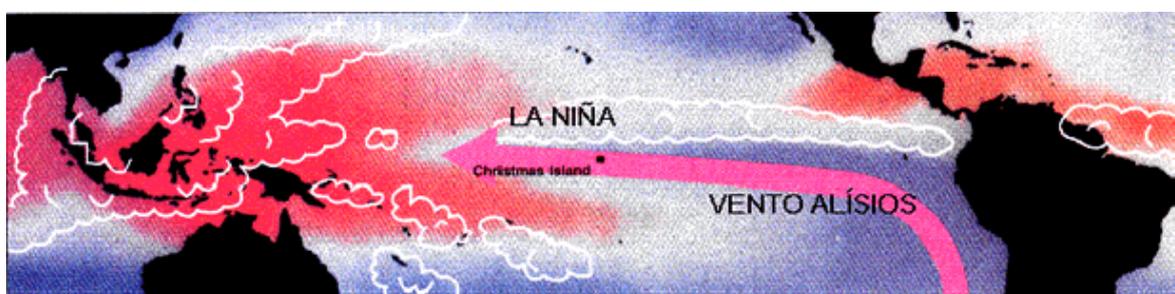
Os mais recentes episódios de La Niña ocorreram em 1975/1976, 1985, 1988/1989 e 1995/1996. 1988/1989 e 1995/1996.

Na Figura 3 estão selecionados alguns dos anos em que ocorreram eventos El Niño e La Niña, ressaltando-se porém, que os anos selecionados são os mais significativos para a área da Bacia do Ivaí.



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor, 2003.

Figura 3 – Medida do Índice de Oscilação Sul (IOS), destacando alguns períodos de El Niño e La Niña.

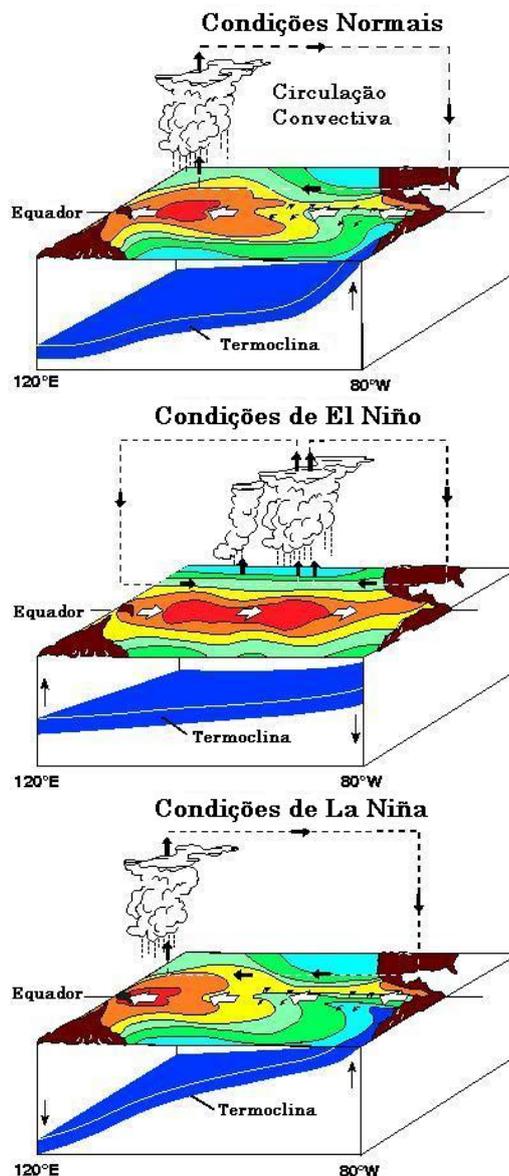


Fonte: <http://www.climerh.rct-sc.br/elnino> (2003).

Figura 4 – Intensificação da velocidade dos ventos alísios e resfriamento das águas no Pacífico Tropical.

O fenômeno ENOS (fase positiva) faz com que chova em grandes proporções no Pacífico Central, região onde geralmente não chove, afetando os padrões climáticos de várias partes do globo, Figura 5.

Os pescadores peruanos já conviviam com esse fenômeno que causava uma diminuição na quantidade de peixes na Costa do Peru, sempre na época do Natal, e por isso lhe deram o nome de El Niño (menino-Jesus, em espanhol), repassando essa cultura aos seus habitantes.



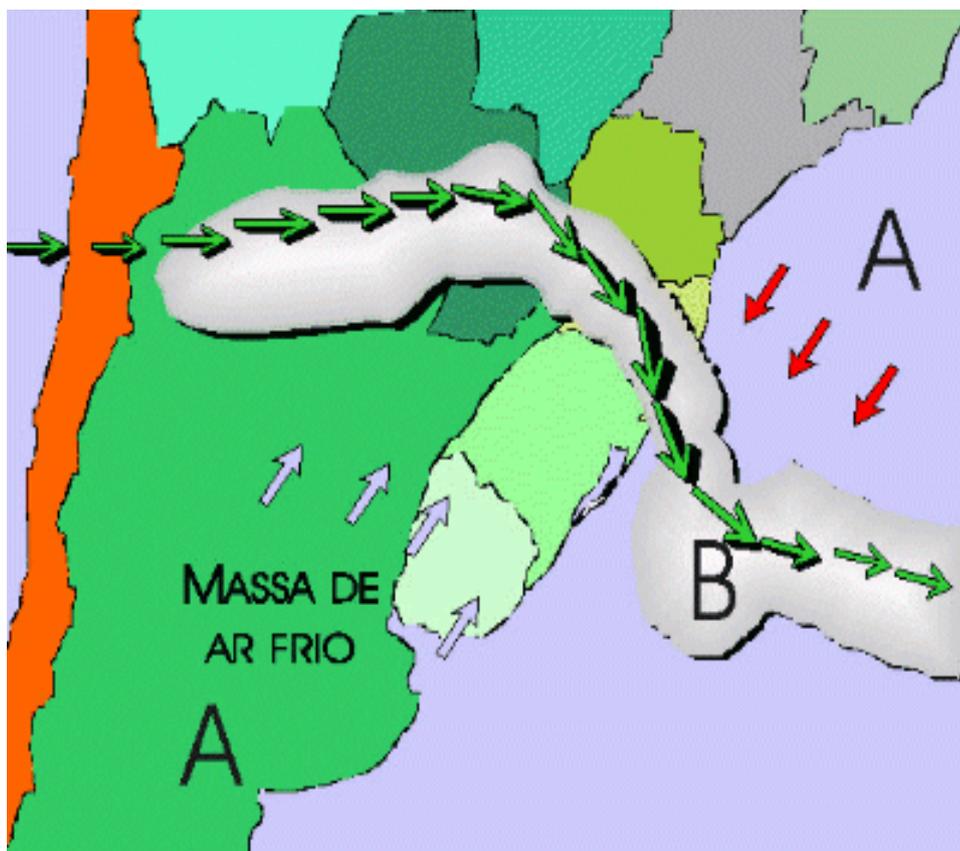
Fonte: <http://www.pmel.noaa.gov/tao/elnino> (2003).

Figura 5 – Comparação dos processos convectivos observados na região do Pacífico Tropical em anos normais e em anos de El Niño e La Niña.

O El Niño provoca o bloqueio das frentes frias no sul do continente sul-americano pelas correntes-de-jato, que são correntes que circulam a mais ou menos 12 km de altitude entre as latitudes 40° e 60° de ambos os hemisférios, no sentido oeste/leste. Assemelham-se a um tubo de ventos com velocidade de 240km/h na parte central e 80km/h na periférica

Além do El Niño, existem outros fatores que influenciam na climatologia de chuvas e enchentes nos estados do Paraná e Santa Catarina, como as temperaturas dos Oceanos Atlântico e Pacífico, na costa catarinense, por exemplo, que podem ser responsáveis pelo aumento da precipitação no litoral.

Durante o El Niño, com as águas quentes tomando conta de toda a extensão do oceano Pacífico, na altura da linha do Equador e produzindo gigantescas massas de ar aquecido, o excesso de ar quente aumenta sua força. Além disso, as correntes-de-jato passam a funcionar como verdadeiras barreiras de ar, que também impedem que as frentes frias, carregadas de chuvas, sigam seu trajeto normal em direção ao norte. As chuvas que deveriam ser distribuídas ao longo da costa leste da América do Sul acabam caindo todas num só lugar, já que as frentes frias são barradas e estacionam sobre a região entre o Norte da Argentina e o Sul do Brasil.



Fonte: www.climerh.rct-sc.br (2003).

Figura 6 – Intensificação do Jato Subtropical e conseqüente bloqueio dos sistemas frontais.

O El Niño faz com que os ventos em altos níveis, chamados de Jato Subtropical, tornem-se mais intensos que o normal em decorrência do aumento do gradiente de temperatura entre o Equador e os Pólos. O fortalecimento destes jatos cria um bloqueio para os sistemas frontais que chegam nos estados de Santa Catarina e Paraná, permanecendo estacionados sobre esta área (Figura 6). Desta forma, ocorre um aumento da precipitação (anomalia positiva) nesta região, principalmente na primavera do ano em que o fenômeno se inicia e no outono-inverno do ano seguinte, abrangendo mais intensamente as áreas próximas ao oceano (GRIMM *et al.*, 1997).

O fenômeno não se comporta de maneira regular, possuindo intensidades e conseqüências diferentes para as áreas que sofrem a sua influência. Nos Anos de El Niño chove acima da média na Região Sul do Brasil.

Anomalias positivas na TSM (Temperatura da Superfície do Mar) dos Oceanos Pacífico e Atlântico podem influenciar na precipitação em toda a região Sul do Brasil. Nos invernos de anos de El Niño as temperaturas médias são maiores que a média. As maiores enchentes do século passado (1911 e 1983) ocorridas em diversas regiões do mundo foram em anos de El Niño, (CPTEC/INPE, 1998).

2.3.2. Resgate Histórico

O fenômeno conhecido por El Niño, se refere ao aquecimento anormal das águas superficiais nas porções central e leste do Oceano Pacífico, nas proximidades da América do Sul, mais particularmente na costa do Peru. A corrente de águas quentes que ali circula, normalmente, em direção sul no início do verão somente recebe o nome de El Niño quando a anomalia térmica atinge proporções muito elevadas (em torno de 4 a 6°C). Em termos sazonais o fenômeno ocorre com mais frequência no período que antecede o Natal, o que explica a origem do nome, que significa, em espanhol, "o menino", uma alusão ao menino Jesus, que nasceu num 25 de dezembro.

O El Niño se faz notar com maior evidência nas costas peruanas, pois as águas frias provenientes do fundo oceânico (ressurgência) e da Corrente Marinha de Humboldt são ali interceptadas por águas quentes provenientes do norte e oeste. Esta alteração regional assume dimensões continentais e planetárias à medida que provoca desarranjos de toda ordem em vários climas da Terra.

O El Niño é mais conhecido, sobretudo popularmente, como sendo um fenômeno climático. Esta compreensão, parcialmente incorreta, decorre da forte influência das condições oceânicas no comportamento climático, donde se fala da interação oceano-atmosfera. O Anti-El Niño (também chamado La Niña), ao contrário do El Niño, é representado pelo resfriamento anormal das águas do

Pacífico e também desempenha consideráveis impactos nas atividades humanas.

Nas últimas duas décadas, cientistas que estudaram e estudam as variações climáticas do planeta, descobriram que o fenômeno El Niño não ocorre sozinho; as variações de temperatura no Pacífico estão acopladas a variações de pressão atmosférica, conhecidas como "oscilações sulinas".

Essas oscilações foram descobertas em 1923 pelo climatologista britânico Gilbert Walker, que estava tentando entender por que a estação chuvosa conhecida como monção deixa de ocorrer na Índia em certos anos. Walker mostrou que existiam padrões irregulares de oscilação da pressão sobre o Pacífico que se propagavam de leste a oeste. Essa é a direção oposta do aquecimento das águas oceânicas que ocorre durante o El Niño.

O aquecimento das águas que afeta os pescadores peruanos está ligado com a estação chuvosa na Índia e no Sudeste Asiático por meio da interação entre a dinâmica dos oceanos e da atmosfera. Esse acoplamento dos oceanos com a atmosfera é um exemplo perfeito de como certos problemas científicos requerem um tratamento que envolve vários componentes ao mesmo tempo.

O fenômeno acoplado do El Niño com a Oscilação Sul ocorre, historicamente, com uma frequência média de quatro anos. Nos últimos 12 ou 13 anos, em média, o fenômeno deve ter ocorrido em torno de três vezes, no entanto, ele ocorreu seis vezes desde 1984, o dobro do número esperado. Mais ainda, sua última ocorrência foi a mais dramática: enquanto normalmente a variação de temperatura é de 1°C ou de 1,5°C, no ciclo de 97 a 98 a temperatura subiu 4°C acima da média, (<http://www.climerh.rct-sc.br/elnino>, 2003).

2.3.3. Situação de Normalidade (La Niña)

Os ventos alísios de NE e SE sopram dos Trópicos para a ZCIT – Zona de Convergência Intertropical – um anel de ar úmido que envolve a Terra próximo à linha do equador. A ZCIT oscila entre as latitudes 10° N e 5° S, região onde os ventos alísios se encontram. Esse fenômeno (alísios/contra alísios) é chamado célula de Hadley. Os alísios são responsáveis pela renovação das águas superficiais do oceano. Encarregam-se de deslocar as águas, normalmente mais quentes, do Pacífico Central em direção ao Sul do Continente Asiático, abrindo caminho para que a corrente marítima fria e profunda que chega do Pólo Sul, a Humboldt, venha à tona. Nos anos em que a situação está dentro dos padrões normais, os ventos alísios ajudam a manter essas águas quentes superficiais do Pacífico presas na região da Austrália e Indonésia. Nestas circunstâncias, o mar aquece o ar, bombeando vapor para a atmosfera, o ar sobe, a umidade forma densas nuvens e fortes chuvas se precipitam sobre essa região, nas chamadas áreas de baixa pressão.

Livre dessa umidade o ar segue seu trajeto em direção às altas camadas da atmosfera, se resfria e desce sobre o oceano, nas proximidades das costas sul-americanas, criando uma área de altas pressões, onde as chuvas são raras. Dali ele é carregado próximo a superfície de volta à Indonésia, onde tudo começa de novo. Este deslocamento do ar das áreas de alta pressão para as de baixa pressão atmosférica sobre o Pacífico Equatorial é denominado Célula de Walker.

2.3.4. Situação de El Niño

Sabe-se que o evento El Niño é um fenômeno oceanográfico que provoca modificações nos padrões climáticos de quase toda a Terra e se manifesta em ciclos de 2 a 7 anos, a partir do aquecimento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico, na altura da linha do equador terrestre.

O El Niño começa a adquirir força em novembro ou dezembro e, geralmente, conclui sua atividade no meio do ano seguinte.

Com a manifestação do El Niño muda todo o mecanismo de funcionamento do clima na região do Pacífico, com reflexos no resto do planeta. Os ventos alísios diminuem a sua intensidade. Sem a força desses ventos, a bolsa de água aquecida acumulada na superfície do Pacífico no Sudeste da Ásia consegue se libertar, esparramando-se pelo Pacífico, ao longo da linha do Equador, até as costas do Peru. A água quente toma conta da superfície do oceano enquanto a corrente marítima fria (Humboldt) fica presa nas profundezas.

No seu deslocamento rumo à América do Sul, as águas quentes levam com elas o sistema climático da sua região de origem. As formações chuvosas da Indonésia são deslocadas para o meio do Pacífico, dando início a uma espécie de reação em cadeia que empurra todos os sistemas climáticos dos trópicos para leste.

2.3.5. Possíveis Origens do Fenômeno El Niño

As pesquisas desenvolvidas até o presente apontam quatro possíveis origens do fenômeno: **1)** A tese dos oceanógrafos, segundo a qual a origem do El Niño é interna ao próprio Oceano Pacífico. Para eles o fenômeno seria resultante do acúmulo de águas quentes na porção oeste deste oceano devido a uma intensificação prolongada dos ventos de leste nos meses que antecedem o El Niño, o que faz com que o nível do mar se eleve ali em alguns centímetros. Com o enfraquecimento dos alísios de sudeste, a água desliza para leste bloqueando o caminho das águas frias provenientes do sul. **2)** A tese dos meteorologistas, para quem a origem do fenômeno é externa ao Oceano Pacífico, pois o estudo da atmosfera tropical mostra uma propagação em direção leste das anomalias de pressão em altitude. Esta propagação estaria

relacionada a uma acentuação das quedas térmicas sobre a Ásia Central e à redução da intensidade da monção de verão na Índia. O resultado consiste na formação de condições de baixas pressões mais expressivas sobre o Oceano Índico. Os ventos alíseos do leste do Índico e do oeste do Pacífico tornam-se, assim, menos ativos e criam condições para a formação do El Niño. 3) A tese das Erupções Vulcânicas sustenta a crença de que o fenômeno do El Niño é derivado de erupções submarinas e/ou continentais. Coincidentemente, os eventos de aquecimento oceânico ocorridos em 1982, 1985 e 1991 estiveram relacionados a erupções no México (El Chichón), na Colômbia (El Nevado del Ruiz) e nas Filipinas (Pinatubo), respectivamente. A influência das erupções vulcânicas continentais sobre o El Niño estaria ligada, sobretudo às cinzas vulcânicas injetadas na Troposfera o que gera alteração do balanço de radiação na superfície e perturba a circulação atmosférica. 4) Por último, cogita-se também da ligação do fenômeno com os ciclos solares de onze anos.

Estas teses, além de outras de menor difusão, revelam o estágio de elevada especulação dos conhecimentos relativos à origem do El Niño. Pode-se inclusive supor que o fenômeno seja produto desse conjunto de fatores interrelacionados.

2.3.6. Conseqüências do El Niño sobre o Território Brasileiro

Os efeitos do El Niño vêm afetando o clima do país desde o início do Século XX, haja vista as temperaturas amenas durante o inverno de 1997 e as altas temperaturas em dezembro de 1997 e início de janeiro de 1998 no Sul e Sudeste. As chuv.,as excessivas no Sul em outubro e novembro de 1997 e a estiagem em partes da Amazônia n 2º semestre de 1997.

Estudos indicam que principalmente três regiões no Brasil (três quartos do semi-árido do Nordeste, norte e leste da Amazônia, sul do Brasil e vizinhanças) são afetadas de maneira pronunciada pelas mudanças na

circulação atmosférica durante episódios de El Niño. A Região Sul do Brasil é afetada por aumento de precipitação, particularmente durante a primavera no primeiro ano e posteriormente o fim do outono e início do inverno no segundo ano. O norte e o leste da Amazônia e o Nordeste do Brasil são afetados pela diminuição da precipitação, principalmente, no último, entre fevereiro e maio, quando se tem a estação chuvosa do semi-árido. O Sudeste do Brasil apresenta temperaturas mais altas, tornando o inverno mais ameno. Já para as demais regiões do país os efeitos são menos pronunciados e variam de um episódio para o outro, (CPTEC/INPE, 1998).

Sobre o Nordeste, as anomalias de precipitação foram, em geral, negativas nos meses da estação chuvosa do semi-árido. No Sul, analisando-se 10 episódios, as anomalias de precipitação foram predominantemente positivas, principalmente na primavera do primeiro ano e outono do segundo ano.

Em 1997, os efeitos do fenômeno El Niño sobre o Brasil começaram a ser detectados a partir de julho, com as temperaturas mais altas que o normal em toda a Região Sul e Sudeste. Esse padrão continuou sendo observado nos meses subseqüentes. Durante o mês de dezembro e início de janeiro as temperaturas estiveram acima da normal climatológica na maioria do Sul, em todo Sudeste, Centro-Oeste e sul do Nordeste. Com relação às chuvas, em 1997 os efeitos do El Niño foram perceptíveis a partir de agosto, quando as chuvas situaram-se acima da média sobre o sul do País, com outubro e novembro sendo os meses mais chuvosos naquela região do país. Em outubro observaram-se as maiores anomalias positivas de precipitação sobre o Sul, recebendo o noroeste do Rio Grande do Sul chuvas até 300% acima da média climatológica. Houve inundações localizadas nas bacias dos rios Uruguai e Iguçu. Grandes extensões da Amazônia, notadamente o centro-norte e leste receberam chuvas abaixo da média.

As variações da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), na região conhecida como Niño 3 (5° N-5° S; 90°-150° W), têm alta correlação com os parâmetros atmosféricos sobre o Brasil. A evolução das anomalias de TSM nessa região para alguns anos de El Niño é mostrada na Figura 7. Comparando-se esse episódio com os de 1972/73, 1982/83, 1986/87, 1991/92, e 1993/94, nota-se que a evolução do presente evento é ímpar no sentido do aumento rápido e precoce da TSM. Desde 1950, o maior valor observado de TSM média na região foi 3,6° C acima da média, em janeiro de 1983. Esse valor foi superado em novembro de 1997, ficando em 3,78° C acima da média climatológica. Em dezembro de 1997, as anomalias foram ainda maiores. Há indícios de que na primeira metade de janeiro as anomalias de TSM começaram lentamente a declinar naquela região, (CPTEC/INPE, 1998).

Chuvas excessivas no sul do Brasil, secas em partes da Amazônia e inverno quente no Sudeste do Brasil em 1997, as temperaturas muito altas de início de verão no Sul, Sudeste e Centro-Oeste foram atribuídos ao intenso episódio El Niño de 97/98.

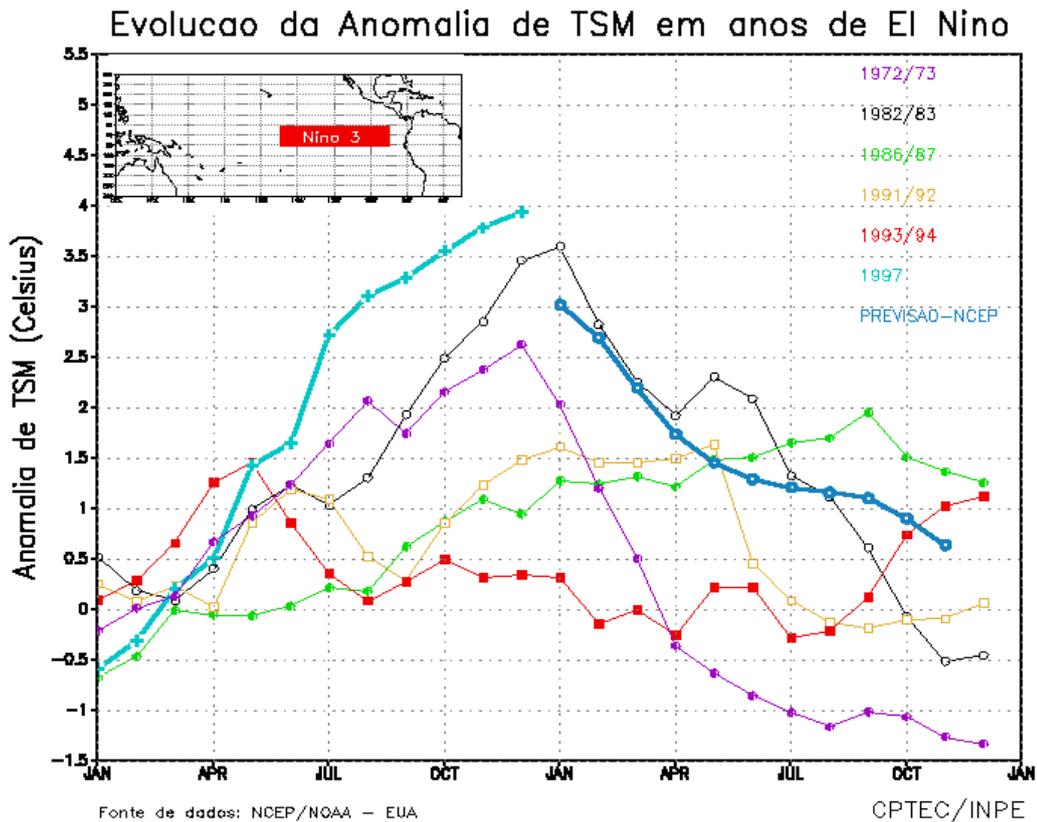


Figura 7 - Evolução da anomalia de temperatura da superfície do mar (TSM) em anos de El Niño (1972-73, 1982-83, 1986-87, 1991-94, 1997) e previsão do modelo acoplado oceano-atmosfera do NCEP/NOAA-EUA para a região do Niño 3.

As previsões do modelo dinâmico oceânico do Centro Nacional de Previsões Ambientais (NCEP) dos Estados Unidos da América, do modelo estatístico do NCEP e de modelos de outros Centros Meteorológicos mostram uma constante diminuição das anomalias de TSM a partir de janeiro de 1997, tornando-se próximas à média climatológica entre julho e outubro de 1998. A evolução prevista da TSM do modelo dinâmico oceânico do NCEP para a região do Niño 3 pode ser vista na Figura 7.

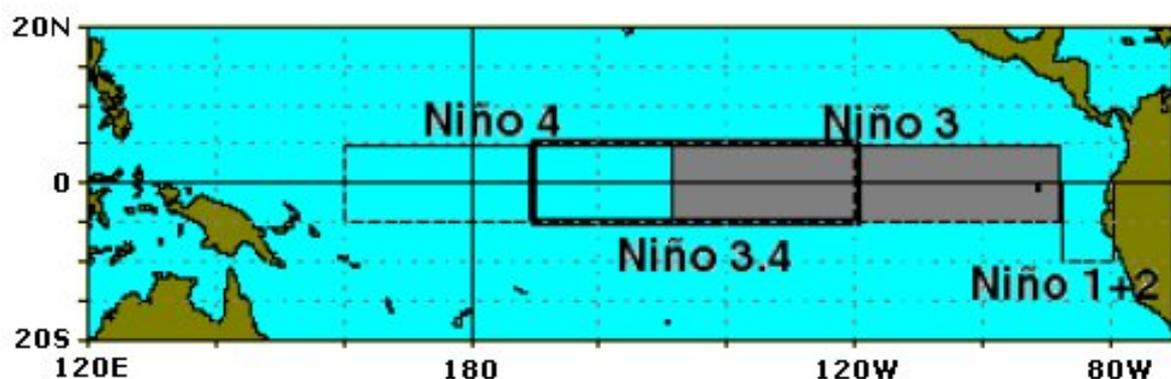
2.3.7. Interação Oceano/ Atmosfera

Os mecanismos físicos envolvidos no acoplamento oceano-atmosfera sobre a região tropical ainda não são muito bem entendidos. O que se tem como consenso por parte da comunidade científica é que os padrões anormais

observados no campo das anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM), surgem da dinâmica interna do próprio oceano. Padrões que também são forçados pelos processos dinâmicos e termodinâmicos que ocorrem na atmosfera que por sua vez, agem mecanicamente sobre os oceanos tropicais redistribuindo as anomalias de TSM que, por conseguinte, através dos fluxos de calor (evaporação, processos convectivos, formação de nuvens, etc.) forçam, simultaneamente, a atmosfera e provocam mudanças no campo de vento em baixos níveis.

Este mecanismo de realimentação "feedback", sob certas condições, produz instabilidades no sistema acoplado. O fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um exemplo da manifestação dessa instabilidade. Portanto, o ENOS pode ser definido como um fenômeno de escala global associado a um forte acoplamento oceano-atmosfera que se manifesta sobre o Oceano Pacífico Tropical, no qual consiste de uma componente oceânica (El Niño) e uma componente atmosférica (Oscilação Sul).

Comumente, as pesquisas efetuadas na área de climatologia que buscam uma possível correlação do fenômeno ENOS com a variabilidade climática na região Sul do Brasil, utiliza os valores da TSM do Niño 1+2. Entretanto, o Niño 3.4 não deve ser descartado, pois sua localização pode oferecer uma correlação eficaz para explicar a dinâmica da precipitação no Sul do Brasil.

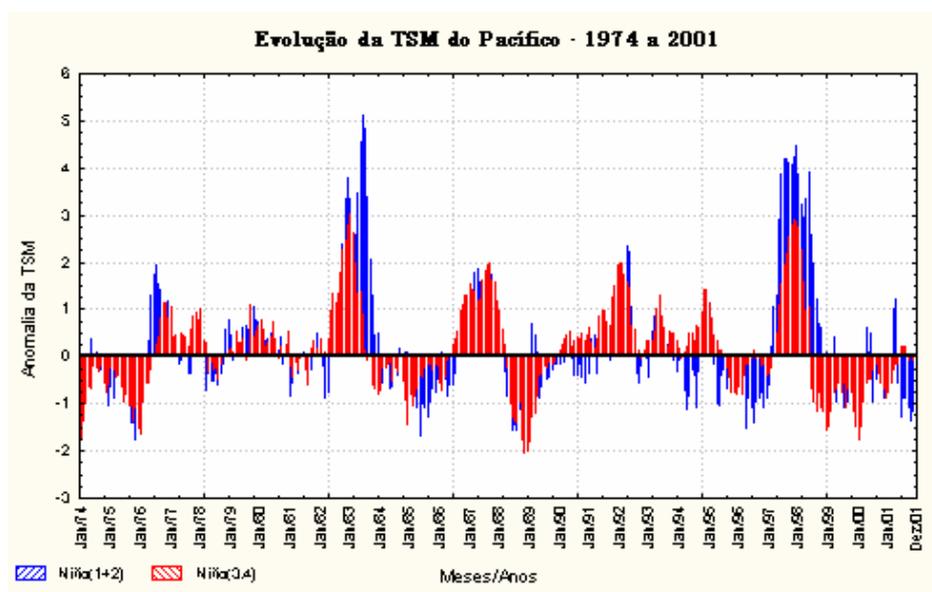


Fonte: <http://www.funceme.br> (2003).

Figura 8 - Localização das áreas de atuação do fenômeno El Niño sobre o Pacífico Tropical

A Figura 9 mostra a evolução da anomalia da TSM do Pacífico, tanto no Niño 1+2 quanto no Niño 3.4, sendo a semelhança no comportamento temporal evidente.

Dessa forma, confirma-se a possibilidade de se tentar uma correlação com os dados de anomalia das duas regiões de ocorrência do ENOS, pois o comportamento, sendo parecido, leva-se à dedução de que a influência da circulação atmosférica no aquecimento/resfriamento das águas do Oceano Pacífico é a mesma nas duas regiões.



Fonte: gráfico elaborado pelo autor, 2003.

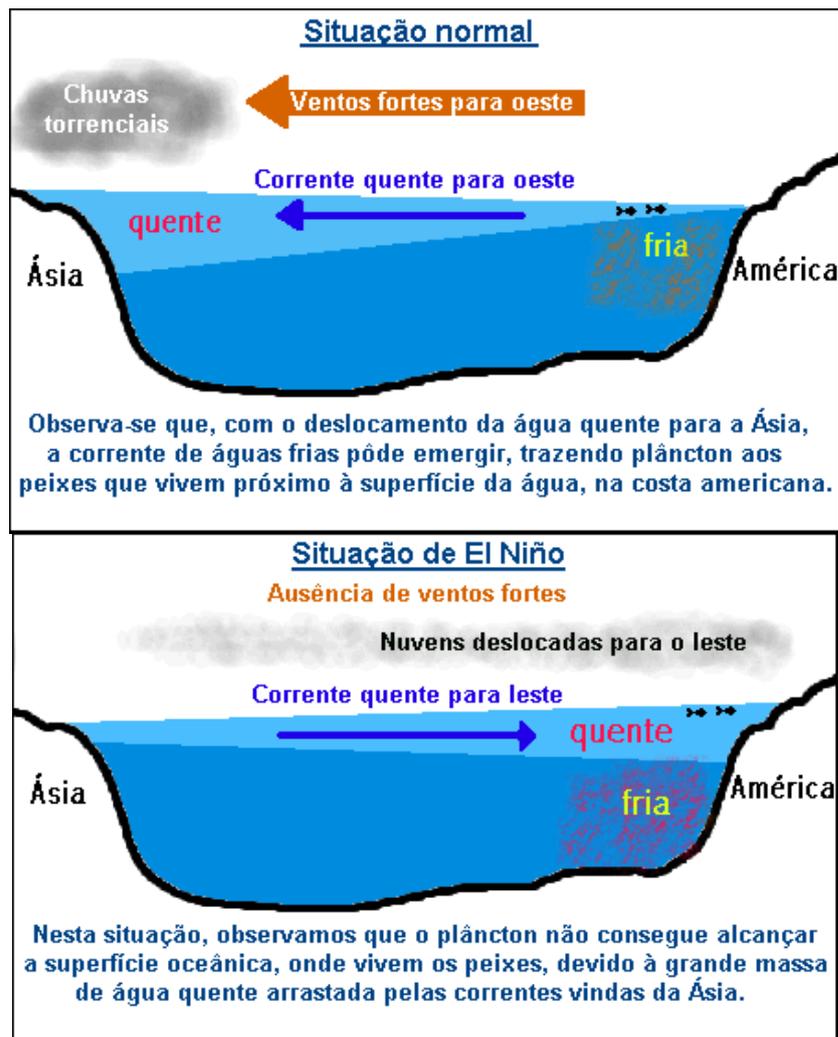
Figura 9 – Evolução temporal da anomalia da TSM do Oceano Pacífico – 1974 a 2001.

Durante a ocorrência do fenômeno El Niño as interações oceano-atmosfera de grande escala que se processam na bacia do Pacífico Tropical, provocam modificações na circulação geral da atmosfera, isto é, na Célula de Walker e, conseqüentemente, desencadeiam adversidades climáticas (secas,

enchentes, temperaturas altas, entre outras) em diversas regiões continentais ao redor do globo. As principais características oceânicas e atmosféricas associadas ao El Niño são: sobre o Pacífico leste (principalmente na costa do Peru e Equador), onde há normalmente águas frias, aparecem águas mais quentes do que o normal; ventos alísios diminuem sensivelmente a sua intensidade; pressões no Pacífico leste ficam abaixo do normal, enquanto no Pacífico oeste as pressões ficam acima do normal; presença de águas quentes e convergência de umidade favorecem a formação de nuvens convectivas profundas sobre o Pacífico centro-leste. A circulação atmosférica (Célula de Walker) modifica-se totalmente, onde havia o ramo de ar ascendente (ar subindo), durante o El Niño passa a apresentar o ramo de ar descendente (ar descendo) que inibe a formação de nuvens. Sobre o Pacífico leste (Peru e Equador) onde havia o ramo de ar descendente (ar descendo), durante o El Niño passa a apresentar o ramo de ar ascendente (ar subindo) que é favorável à formação de nuvens. Sobre a bacia do Atlântico Equatorial, incluindo o leste da Amazônia e semi-árido nordestino aparece a predominância de um ramo de ar descendente (ar descendo) que inibe a formação de nuvens. Daí tem-se a explicação física do porque o fenômeno El Niño está associado com chuvas abaixo do normal, principalmente no norte do semi-árido nordestino, que inclui o Estado do Ceará, (CPTEC/INPE, 1998).

Ainda não há consenso entre os cientistas sobre as razões que provocam El Niño, mas o seu mecanismo já é bem conhecido. Em períodos normais, os ventos no oceano Pacífico sopram fortemente do leste (América do Sul) para oeste (Ásia). As correntes marítimas quentes do Pacífico equatorial têm essa mesma direção. Isto provoca uma elevação de até 60cm no nível do oceano na costa das Filipinas em relação à do Panamá, além de uma temperatura da água até 8°C mais elevada na costa asiática. Este excesso de temperatura facilita a evaporação e causa as chuvas intensas normalmente observadas na Indonésia.

A temperatura na superfície oceânica é mais baixa no litoral sul-americano porque a corrente marítima de Humboldt leva águas frias da região antártica para a equatorial. A corrente de Humboldt também arrasta plâncton, ou seja, animais e outros seres microscópicos, que servem de alimento aos peixes. Por isso, observa-se uma população de peixes muito grande nessa região do Pacífico.



Fonte: Nass, (2003)

Figura 10 - Esquematização da comparação entre a situação normal e a situação de El Niño no Pacífico Equatorial

Entretanto, toda essa dinâmica é alterada em períodos de El Niño. As correntes marítimas quentes da região equatorial passam a se deslocar no sentido inverso, ou seja, em direção à costa peruana. Os ventos em direção ao

oeste tornam-se bastante fracos ou mesmo sopram na direção contrária, dependendo da força de El Niño.

O meteorologista sueco de origem norueguesa Jacob Bjerknes passou a pesquisar o fenômeno El Niño na década de 1960. Ele foi o cientista que primeiro registrou a elevação anormal de temperatura da superfície oceânica junto à costa do Peru. Foi ele também quem percebeu a relação entre esse fenômeno e a Oscilação Sul, explicando, assim, as secas na Ásia e na Austrália, (Nery, 1996).

2.3.8. Recomendações para a Agricultura

Em períodos de El Niño e La Niña algumas recomendações são bastantes difundidas nos meios de comunicação, principalmente os especializados em técnicas agrícolas, convém então salientar as principais: **a)** Utilizar sistema de cultivo mínimo e plantio direto; **b)** adotar a diversificação de culturas; **c)** utilizar cultivares mais tolerantes ao excesso de umidade e encharcamento (milho, por exemplo); **d)** evitar elevadas populações de plantas, não excedendo a recomendação técnica; **e)** supervisionar terraços e canais de escoamento para evitar pontos de ruptura; **f)** analisar alternativas locais de prevenção e redução de riscos, valorizando a experiência do agricultor e do técnico do município e **g)** realizar a semeadura das lavouras de forma escalonada ao longo das épocas recomendadas, segundo o zoneamento agroclimático, (<http://www.climerh.rct-sc.br>, 2003).

Para a agricultura no Sul do Brasil, o fenômeno La Niña não traz somente conseqüências negativas. Em relação à cultura do trigo (cultura de inverno), por exemplo, pode haver vantagens. Como anos de La Niña são geralmente caracterizados por chuva abaixo da média durante a primavera, isso pode reduzir a ocorrência de doenças da espiga do trigo e favorecer uma produção de grãos de boa qualidade.

No caso das culturas de verão, como o milho, feijão e soja, a ocorrência do fenômeno pode ser desfavorável caso ocorra um déficit hídrico em períodos críticos. O setor agrícola pode tomar as seguintes medidas de prevenção para diminuir os impactos do fenômeno: **a)** Intensificar o uso de práticas que mantenham mais umidade no solo, como o menor revolvimento possível e manutenção da palhada na superfície; **b)** Utilizar sistemas de cultivo mínimo e plantio direto; **c)** Realizar correção de solo, tornando-o o mais uniforme possível; **d)** Aplicar adubação recomendada, sem redução, de preferência em profundidades maiores; **e)** Adotar a diversificação de culturas; **f)** Utilizar cultivares com ciclos diferenciados quando possível; **g)** Utilizar cultivares mais tolerantes à seca; **h)** Evitar elevadas populações de plantas, não excedendo a recomendação técnica; **i)** Realizar a semeadura das lavouras de forma escalonada ao longo das épocas recomendadas, segundo o zoneamento agroclimático; **j)** Evitar queimadas em épocas críticas; **l)** Manter e revisar o sistema de irrigação; **m)** Analisar alternativas locais de prevenção e redução dos riscos, valorizando a experiência do agricultor e do técnico no município; e **n)** Plantar e semear com umidade suficiente no solo para garantir o estabelecimento da cultura, (<http://www.climerh.rct-sc.br>, 2003).

O fenômeno não se comporta de maneira regular, possuindo intensidades e conseqüências diferentes para as áreas que sofrem sua influência. Em anos de La Niña normalmente chove abaixo da média climatológica nos Estado do Sul do Brasil nos meses de outubro a dezembro. O La Niña não é o único causador de secas no sul do Brasil. Chuvas intensas e enchentes também ocorrem em anos de La Niña.

2.4. Variabilidade Climática

A característica do clima definida como variabilidade climática é muito estudada na atualidade, pois na maioria das vezes, as conseqüências oriundas da sua ocorrência são drásticas. A variabilidade da precipitação pluviométrica, principalmente, provoca enchentes e desastres que podem prejudicar regiões inteiras, em alguns casos até países inteiros. Obviamente que a variabilidade do clima por si só não pode ser responsabilizada por desastres de grande porte. Vários são os fatores associados que culminam no desastre, o principal deles é a falta de planejamento na ocupação antrópica.

A Organização Mundial de Meteorologia (OMM) propôs um quadro de definição para diferentes termos de variação climática, entre eles a variabilidade climática:

“...
- **variabilidade climática:** maneira pela qual os parâmetros climáticos variam no interior de um determinado período de registro, expressos através de desvio-padrão ou coeficiente de variação.” (OMM, 1966).

Como se vê a OMM, há quase 40 anos, possui uma definição para variações climáticas que é aceita por pesquisadores do mundo todo, entretanto as alterações climáticas são numerosas e as respostas ainda não são satisfatórias.

(Conti, 2000) salienta esta questão ao propor que os problemas oriundos de todas as mudanças climáticas são numerosos e difíceis, principalmente em virtude da inexistência de uma teoria sobre o clima mundial, sendo que o mecanismo das variações climáticas é pouco explicado, apesar do avanço nas técnicas de pesquisa serem notórios.

Nessa mesma linha de raciocínio, (Santos, 2000) também salienta que a variabilidade climática é responsável pelos desastres provocados por secas e enchentes em todo o território mundial, que persistem durante semanas, meses e até anos. A autora faz um breve resumo de como se analisa esta variabilidade climática:

“Existem várias técnicas para se medir a variabilidade, porém as duas comumente usadas nos estudos de precipitação são a variabilidade relativa e o coeficiente de variação. Assim, o coeficiente é considerado o mais expressivo quando os dados são normalmente distribuídos, enquanto o índice de variabilidade relativa é usado em situações onde os dados não são normalmente distribuídos. No geral, os totais anuais de precipitação são normalmente distribuídos, exceto em áreas onde a precipitação pluvial anual média seja inferior a 750mm.

Considera-se que a baixa variabilidade implica que a precipitação média de um determinado lugar é confiável, enquanto a alta variabilidade implica ambas flutuações em torno do valor médio.” (Santos, 2000, pág. 70).

Depreende-se então que o estudo das variações do clima é importante na análise da estrutura climática de qualquer região, pois possibilita o planejamento urbano e agrário a partir do estudo dessa variabilidade no decorrer de uma determinada escala temporal.

É óbvio que como a própria definição do termo já deixa claro, não existe uma constância na ocorrência dessa variabilidade. Entretanto, pode-se presumir a probabilidade de sua ocorrência, além de se poderem explicar processos de formação e ocupação de determinadas áreas, a partir do estudo da variabilidade climática.

A variabilidade pluviométrica que é o tema abordado neste estudo é uma das principais causadoras de desastres naturais, como secas e enchentes, sem contar a ocorrência e aumento de processos erosivos.

Estudos realizados vêm demonstrando que uma das principais causas da variabilidade climática no Sul do Brasil, principalmente a precipitação pluvial, advém da ocorrência do fenômeno El Niño. (Trenberth, 1995), entre outros, denomina o El Niño-Oscilação Sul (ENOS), como um fenômeno de grande escala, caracterizado por anomalias no padrão de temperatura da superfície do Oceano Pacífico tropical que ocorrem de forma simultânea com anomalias no padrão de pressão atmosférica nas regiões de Darwin e Taiti.

Andrade e Nery (2002), efetuaram uma análise preliminar da distribuição pluviométrica na bacia do Rio Ivaí e concluíram que a distribuição temporal da precipitação pluviométrica nesta região está fortemente vinculada à ocorrência

dos eventos El Niño e La Niña. A variabilidade pluviométrica na bacia apresenta uma correlação significativa com os períodos, segundo (Trenberth, 1995), em que ocorreram tais eventos.

Nery *et al.*, (1994), buscaram uma explicação para a variabilidade pluviométrica no Estado do Paraná e concluíram que o fenômeno ENOS exerce uma significativa influência na distribuição pluviométrica temporal, enquanto a orografia desempenha um papel de forçante da precipitação pluviométrica neste Estado. A bacia do Ivaí deve ser analisada como parte integrante da região paranaense, que possui as características acima mencionadas.

Studzinski (1995), realizou a correlação da precipitação da região Sul do Brasil com os Oceanos Atlântico Tropical e Pacífico, onde descobriu que os dois oceanos desempenham um papel importante na precipitação nos Estados do Sul, entre eles o Paraná. Esse estudo concluiu também que as variações interanuais das anomalias nessa região estão fortemente relacionadas com o fenômeno El Niño.

Souza (2002), ao propor uma regionalização das chuvas para o Estado do Paraná, verificou que a região litorânea e a Centro-Oeste do Estado possuem uma maior quantidade de precipitação, bem como, uma maior variabilidade interanual. A autora realizou também, uma correlação das anomalias da precipitação pluviométrica com o índice da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) dos Oceanos Pacífico e Atlântico, concluindo que o primeiro apresenta uma relação significativa com a precipitação no Paraná, já o segundo não exerce uma influência tão marcante.

Nimer (1979) ao estudar a climatologia do Brasil, definiu a precipitação pluviométrica da Região Sul como sendo bastante homogênea, mas ressaltou que o litoral e a região oeste paranaenses apresentavam uma maior

variabilidade, proporcionada pela frente polar. Este autor ainda salienta que a circulação atmosférica, principalmente o sistema de correntes perturbadas, exerce influência sobre a quantidade de chuva de toda a região sul do Brasil. Sua conclusão foi de que a orografia desempenha um papel preponderante na faixa litorânea, enquanto a combinação da frente polar com as correntes perturbadas define o ciclo das chuvas na área continental da região.

Baldo *et al.*, (2000) realizaram a correlação da TSM com a precipitação no Estado de Santa Catarina, além de relacionar períodos de anomalia da precipitação no Estado com a ocorrência de El Niño e La Niña. Eles concluíram que a relação existe, apesar de não ser tão significativa para toda a área que estudaram.

2.5. Influência e distribuição da água no planeta

A precipitação atua como fonte controladora do balanço hídrico, pois chuvas regulares propiciam uma infiltração maior, enquanto as chuvas torrenciais ocasionam um aumento no escoamento superficial, concentrando a água do sistema nos rios e reservatórios.

A água é uma substância abundante na superfície terrestre, tanto que aproximadamente dois terços do planeta Terra é constituído de água, enquanto somente um terço é de terras emersas. Nos rios, a água atua como excelente dispersor de elementos, que vão desde partículas iônicas até cascalhos e blocos, provocando erosões em muitas regiões do planeta. Deve-se ressaltar que é a água que sustenta a vida na Terra, produzindo biomassa pela reação entre CO₂ e H₂O, através da fotossíntese, (Riccomini *et al.*, 2000).

O ciclo hidrológico é que controla a distribuição da água no planeta Terra, por conseqüência irá definir a quantidade de evaporação, evapotranspiração, condensação e precipitação pluviométrica, entre outros

fenômenos que fazem parte deste processo. Entretanto, para o tema aqui abordado, basta citar estes, com especial atenção para a precipitação pluviométrica que é o objeto de estudo deste trabalho.

2.6. Bacias Hidrográficas

A área objeto de estudo do ciclo hidrológico comumente é a bacia hidrográfica, que por definição, é a área de captação de água da precipitação, demarcada por divisores topográficos, onde toda a água captada converge para um único ponto de saída.

A bacia hidrográfica permite várias possibilidades de análise. Neste contexto, o balanço hídrico é um método bastante utilizado, principalmente para se diagnosticar o excesso ou déficit de água no sistema. A expressão básica da hidrologia para o balanço hídrico é: $P - E - Q \pm \Delta S = 0$, onde P corresponde ao volume de água precipitado sobre a área da bacia; E é o volume que voltou à atmosfera por evaporação e transpiração e Q ao volume total de água escoado pela bacia, durante um intervalo de tempo. O termo ΔS refere-se a variações positivas e negativas do volume armazenado no interior da bacia, (Riccomini *et al.*, 2000). Entretanto, essa não é a única expressão para se realizar um balanço hídrico. Outros autores apresentam maneiras diferentes de se efetuar o referido cálculo.

As bacias hidrográficas brasileiras são grandes fontes dos recursos hídricos disponíveis no mundo, representando cerca de 53% da água doce da América do Sul e 12% da vazão total mundial dos rios.

A maior bacia hidrográfica brasileira é a do Amazonas, representando 72% da vazão nacional, seguidas das bacias do Paraná (6,3%), Tocantins (6%), Parnaíba-Atlântico Norte (3%), Uruguai (2,5%) e Atlântico Sul e São Francisco (ambas com 1,7%). Esta classificação está relacionada à vazão dos rios que

compõem cada uma das bacias, que conforme foi apresentado anteriormente, está diretamente relacionado à quantidade de precipitação e seu escoamento para os rios, (Hirata, 2000).

A bacia hidrográfica do Ivaí faz parte da bacia do Paraná, ou seja, pertence à 2ª maior bacia hidrográfica brasileira. Considerando que a bacia Amazônica é um caso especial, por se tratar da maior concentração fluviométrica do mundo, pode-se dizer que o Rio Ivaí está localizado dentro de uma das maiores bacias hidrográficas do mundo.

Só a título de ilustração, pela Tabela II é possível verificar a razão de se afirmar que o Ivaí está dentro de uma das maiores redes de drenagem do mundo. O Brasil está quase que totalmente inserido em uma região úmida, se comparada com o restante do mundo e ainda, ocupa o primeiro lugar nas descargas dos rios, em nível mundial.

Tabela II – Descarga dos rios dos países mais ricos e mais pobres em água do planeta.

País	Descarga Média dos Rios (km ³ /s)	País	Descarga Média dos Rios (km ³ /s)
Brasil	6.220	Malta	15
Rússia	4.059	Gaza	46
EUA (incluindo Alasca)	3.760	União dos Emirados Árabes	500
Canadá	3.290	Líbia	600
China	2.800	Singapura	600
Indonésia	2.530	Jordânia	680
Índia	1.850	Israel	750
Colômbia	1.200	Chipre	900
Peru	1.100		
Comunidade Econômica Europeia (15 países)	1.171		

Fonte: Hirata (2000).

2.7. Métodos e escalas de abordagem

Ao se estudar qualquer fenômeno geográfico, a escala de abordagem a ser utilizada deve ser escolhida criteriosamente, propiciando a clareza na análise dos resultados obtidos.

Com relação a métodos e escalas climáticas, Sant'Anna Neto (1998), faz uma referência histórica a alguns dos precursores deste tema, tais como: Claval, Bertrand, Ribeiro e Monteiro, que trataram a escala de análise com seriedade e propuseram metodologias específicas.

Existem duas maneiras distintas de se utilizar escalas de abordagem, uma é a espacial e a outra é a temporal. A escala temporal, quando se trata de fenômenos climáticos, deve ser escolhida segundo o objeto a ser estudado, entretanto, o período de 30 anos é considerado como sendo o mínimo para se tratar aspectos ligados à Climatologia. Por exemplo, ao se estudar fenômenos climáticos de uma área, é impossível realizar um diagnóstico confiável se os dados se referem a alguns poucos anos, quanto maior o tempo de coleta de dados, mais confiável será esta análise, (Ayoade, 1996).

O período de 30 anos foi proposto e aceito pela comunidade científica desde o início do século XX, com as teorias Hann e outros pesquisadores desta área do conhecimento.

Já no que se refere à escala espacial, a área de estudo também deve ser eleita de acordo com o objetivo e objetos de estudo. Nesse sentido a escala de geossistema é a melhor a ser utilizada, pois se pode analisar uma série de dados e fenômenos da paisagem com a maior riqueza de detalhes possíveis, buscando a necessária inter-relação entre eles.

O geossistema, que pode ser definido como um método de abordagem geodinâmica, não pode ser tratado somente como uma escala de grandeza e sim de interação, pois normalmente áreas homogêneas da natureza são definidas como geossistemas homogêneos. Uma área homogênea deve sempre ser tratada como ponto de partida para uma análise geossistêmica. Por exemplo, uma propriedade onde se produz arroz, situada numa planície alagada e onde a

população residente esteja voltada para a produção e o comércio de arroz, pode ser considerada uma área homogênea, e por tanto um geossistema.

Sotchava (1976) propôs uma divisão taxonômica para a análise geossistêmica que permite se usar qualquer objeto da geografia, biologia ou ecologia como instrumento de pesquisa. Segundo esta concepção o geossistema poderia englobar três formas de análise: a planetária, a regional e a topológica, tendo cada uma delas suas especificidades, estando, no entanto, uma inserida na outra.

Sant'Anna Neto, (1998), ao tratar deste tema, enfatiza que na análise de processos (segundo os tipos ou classes de tempo, a variabilidade e a tendência têmporo-espacial) os agentes que regulam os sistemas habituais devem ser considerados e principalmente os seus episódios excepcionais. O autor salienta ainda, que a topografia, o solo, a drenagem e o regime hídrico interagem com os padrões climáticos dentro de um geossistema, dando uma configuração única para a paisagem.

A bacia hidrográfica pode ser classificada como um geossistema. Por isso todas as afirmações de Sant'Anna Neto, baseadas nas idéias dos precursores da sistematização do estudo da climatologia geográfica, fazem sentido na análise e estudo de uma bacia.

A variável climática abordada neste estudo é a precipitação pluviométrica, que sozinha já causa um impacto considerável na dinâmica da paisagem desse geossistema, influenciando todo o balanço hídrico e condições do solo/relevo. Por isso sua caracterização é importante, buscando inclusive subsídios para planejamentos de ocupações antrópicas.

2.8. Características geofísicas do Estado do Paraná

O Estado do Paraná apresenta uma característica muito peculiar em seus aspectos geoambientais, pois está localizado no espaço transicional entre as regiões tropical e subtropical.

Os fenômenos climáticos, bióticos, hidrológicos e até pedológicos, apresentam características que são comuns em regiões tropicais e subtropicais. No aspecto climático, mais precisamente, existem três observações a serem feitas: **a)** as correntes perturbadas do sul atuam com frequência; **b)** correntes marítimas de leste, tépidas e úmidas são notadas e **c)** o centro de baixa pressão no Chaco proporciona o surgimento de correntes quentes e úmidas. Esses fatores determinam, entre outros fenômenos, a entrada e o choque de frentes, o que pode ocasionar aumento ou diminuição na precipitação pluviométrica na região, (Nimer, 1979).

Ao estudar a dinâmica da paisagem no Estado do Paraná, Troppmair (1988), citando vários autores que o antecederam em pesquisas desta região, propõe uma definição geral bastante coerente para a explicação dos fenômenos físicos que condicionam a precipitação pluviométrica em toda a região paranaense, que é a seguinte:

“No inverno dominam as massas polares com baixas temperaturas e baixa umidade, vindas da porção sul do continente ou após terem transpostas os Andes, enquanto no verão dominam as massas tropicais marítimas, formando as correntes de norte e nordeste, com sucessivos avanços e recuos acompanhados de instabilidade pré e pós-frontais, originando chuvas pesadas quase que diárias.

Nos meses de transição, especialmente no outono, predominam as correntes de oeste formando a linha de instabilidade tropical originando chuvas convectivas, que caem no período da tarde.

Generalizando, podemos afirmar que a precipitação distribui-se sobre todos os meses do ano, não existindo uma estação tipicamente seca.

Na hidrologia, o regime dos rios acompanha, com certo atraso, a distribuição das chuvas apresentando uma vazão bastante regular se comparado com os rios de regiões tropicais e, especialmente com os das áreas semi-áridas.” (Troppmair, 1988, pág. 68).

Toda essa dinâmica pode ser utilizada como padrão de referência ao se estudar a bacia hidrográfica do Ivaí, que ocupa aproximadamente 30% do território paranaense, além de cortar o Estado desde Prudentópolis (Sudeste) até Guaíra (Noroeste).

Outra característica geofísica marcante é a vegetação paranaense, pois foi amplamente devastada. Dos aproximadamente 180.000 km² de vegetação primitiva que existia no início do século XX, hoje existe apenas cerca de 40.000 km² de vegetação residual, isto incluindo as áreas que são florestadas graças a incentivos de projetos de reflorestamento existentes, além das áreas de proteção ambiental, o que não deixou esses números serem ainda mais alarmantes.

A ocorrência de chuvas e a evapotranspiração das plantas estão diretamente relacionadas, além de ambas influenciarem no volume de água disponível nos rios. Parte desse volume também irá evaporar, segundo o mecanismo do ciclo hidrológico.

O Rio Ivaí nasce no segundo planalto paranaense, numa área de vegetação de campo, avança por uma região onde predomina a mata subtropical e deságua no Rio Paraná, já no terceiro planalto e com predominância da mata tropical. Isto significa que uma vez ocupando uma área de aproximadamente 30% do Estado do Paraná e tendo às suas margens os três tipos de vegetação existentes no Estado, fica lógico concluir que a área de sua bacia hidrográfica deve ter acompanhado o processo de devastação vegetal ocorrido em todo o Estado do Paraná.

Quanto à densidade demográfica, o que se nota é que em 1960 a região apresentava um total populacional em torno de 1.000.000 de habitantes, em 1970 apresentava 1.600.000 habitantes (IPARDES, 1976) e no ano de 2000 existiam cerca de 1.500.000 habitantes residentes nos municípios pertencentes à área de drenagem do Rio Ivaí (Camargo, 2001), ou seja, na década de 60 notou-se um aumento significativo na população, já no decorrer dos 28 anos que estão em análise a população se manteve relativamente estável. Esses dados indicam uma provável estabilidade no desmatamento, amenizado inclusive por projetos de reflorestamento surgidos no período.

2.9. Distribuição pluviométrica em áreas tropicais

A distribuição sazonal da precipitação no planeta ocorre de forma bastante diversa. No caso específico das áreas tropicais o que se nota é um verão chuvoso com inverno mais moderado, em alguns casos até extremamente seco, o que normalmente condiciona as atividades agrícolas, provocando inclusive uma pequena influência na temperatura local. Esta definição do comportamento da precipitação pluviométrica tropical também se aplica a regiões limítrofes, como é o caso do presente estudo.

A precipitação pluviométrica também exerce influência significativa no ciclo das plantas tropicais, pois é fator condicionante de sua germinação e crescimento, bem como, pode alterar a umidade do solo e sua estrutura físico-química, tornando-o mais ou menos propício ao desenvolvimento de determinadas plantas.

Segundo a classificação dos principais regimes de precipitação pluvial sazonal apresentada por (Ayoade, 1996), se pode associar dois regimes com a área da bacia do Rio Ivaí: 1) precipitação pluvial de savana que é amplamente convectiva e ocorre durante o verão; e 2) precipitação pluvial continental, principalmente no verão. Existem outros regimes que devem causar chuvas na região, como as “chuvas orográficas”, por exemplo, mas sua influência não é tão determinante.

O mesmo autor também faz alusão a variações diurnas na precipitação e conclui que é muito pouco estudada. Para a região analisada neste trabalho, interessa que o máximo de precipitação diurna, nas regiões continentais, geralmente ocorrem no final da manhã ou da tarde, fenômeno bastante comum na área estudada, principalmente no verão.

A variabilidade da precipitação deve ser amplamente estudada na região dos trópicos, pois sua intensidade pode propiciar um melhor planejamento econômico e até social. Nas áreas secas e subúmidas, a variabilidade tende a ser maior, já nas regiões úmidas dos trópicos e nas médias latitudes é menor. Entretanto, os danos causados nas áreas úmidas são bem maiores, pois esta variação influencia a safra agrícola mundial, só para citar um exemplo (Ayoade, 1996).

Geralmente a quantidade de precipitação e sua variabilidade têm uma relação inversa, ou seja, quanto menor a precipitação maior a variabilidade temporal. Outra análise a ser feita é quanto à confiabilidade no comportamento médio da precipitação. Estudos comprovam que quanto menor a variabilidade, maior é a confiabilidade na regularidade da distribuição temporal e espacial das chuvas.

2.10. Precipitação pluviométrica no Sul do Brasil

A região sul do Brasil é uma das regiões do globo terrestre mais privilegiadas em relação à distribuição da precipitação pluviométrica. Sua distribuição temporal e espacial é bastante uniforme, sendo que as médias anuais variam de 1250mm a 2000mm, em quase todo o seu território.

Os principais fatores dinâmicos e estáticos que explicam a uniformidade da precipitação no Sul do Brasil são: 1) os sistemas de circulação causadores de chuva atuam com frequência anual bem parecida sobre toda a região sul. Somente o Oeste do Paraná e Santa Catarina, sofrem um ligeiro decréscimo na quantidade de precipitação, em virtude da diminuição na frequência das correntes perturbadas de Sul (S) que é recompensada pela frequência das correntes perturbadas de Oeste (W); 2) o relevo exerce pouca influência na precipitação, com exceção apenas da região da Serra do Mar, no caso do Estado do Paraná (Nimer, 1979).

As correntes perturbadas de S e W são as principais formadoras de frentes que ocasionam chuvas na área de estudo. Afirmativa esta facilmente explicável, pois a área estudada (bacia do Rio Ivaí) se insere na Região Sul e no Paraná mais especificamente, apresentando as mesmas características, ou pelo menos algumas delas.

O regime de distribuição temporal da precipitação no Estado do Paraná apresenta uma uniformidade bem marcada, ou seja, não fica evidente a separação entre período chuvoso e período seco, o que não significa a ausência destes períodos, mas a amplitude entre os dois não é muito grande, como geralmente acontece em outras regiões. Por esta razão fica difícil se prever qual será o trimestre mais chuvoso na região sul-brasileira. Apenas em algumas localidades específicas como o Noroeste e Norte do Estado do Paraná, é possível determinar-se de forma mais eficiente os períodos chuvoso e seco, sendo que esta diferenciação se dá em virtude da região estar inserida numa área sub-tropical, com características de clima tropical e não temperado, como acontece no restante do estado e principalmente no resto da Região Sul (Nimer, 1979).

O autor acima efetuou um trabalho pioneiro e que norteou muitas pesquisas que se sucederam. Entretanto, suas afirmações já foram contestadas, confirmadas ou atualizadas por vários pesquisadores. Por exemplo, a questão orográfica exerce influência em todo o Estado do Paraná, isto foi comprovado, inclusive, durante as primeiras análises realizadas no decorrer deste trabalho.

Só para citar um exemplo de região com período chuvoso e seco bem definidos, pode-se analisar o caso do Nordeste brasileiro, onde a época das chuvas, que geralmente é curta, chove muito, enquanto no resto do ano quase não se verifica marcada precipitação pluviométrica.

Dessa forma, a caracterização pluviométrica da Região Sul está tipicamente ligada às características do clima temperado. Única exceção se

verifica no Noroeste do Estado do Paraná, onde ocorre uma faixa de transição do clima temperado para o tropical, o que acarreta maiores índices de seca do que o resto da região. Contudo, praticamente todo o Estado do Paraná se insere em uma área de transição o que possibilita a ocorrência de fenômenos atípicos em algumas localidades.

Deve-se ressaltar também, que todas as observações feitas se baseiam em “normais climatológicas”, ou seja, o estudo do comportamento médio da precipitação, o que não impede a ocorrência de anomalias ou casos extremos, proporcionando uma diferenciação sazonal.

Kousky *et al.*, (1983), concluíram que o excesso de chuvas no Sul do Brasil estaria relacionado com o El Niño, além da intensificação do jato subtropical associado com uma situação de bloqueio na troposfera superior, sobre a América do Sul, impedindo a passagem dos sistemas frontais que tenderiam a estacionar sobre a região sul brasileira.

Sendo assim, é incontestável a influência que a TSM do Pacífico e, conseqüentemente, o fenômeno ENOS (fase fria ou quente) exerce sobre o clima do Sul do Brasil. A bacia do Rio Ivaí, como sendo parte integrante desta região, deve ser estudada a partir dessa correlação.

A chuva se espalha pelo globo terrestre de forma heterogênea, sem uma freqüência bem definida e segundo padrões de circulação atmosférica bastante complexos. Entretanto, nota-se uma distribuição pluviométrica que depende, basicamente de quatro fatores: latitude, distância do oceano, ação do relevo e efeito das correntes marítimas.

Seguindo essa teoria, pode-se observar uma tendência global que é a seguinte: **a)** a região equatorial é a que recebe maior quantidade de chuva no decorrer do ano. Isso se deve ao fator latitude, devido principalmente, à maior

incidência de radiação solar, o que aumenta a evapotranspiração; **b)** as médias latitudes também recebem uma taxa significativa de precipitação, o que se credita ao fato de ser uma área de baixa pressão; **c)** nas latitudes em torno de 30° e nos pólos, verifica-se uma sensível diminuição na quantidade de chuva precipitada; **d)** existe uma relação direta entre a distribuição das chuvas e a localização de centros de alta e baixa pressão **e)** as correntes marítimas por sua vez, influenciam as costas oceânicas, as quais tendem a serem mais chuvosas em sua área ocidental nas baixas latitudes, enquanto as orientais recebem menos precipitação. Já nas médias e altas latitudes o fenômeno se inverte. **f)** as correntes quentes estimulam a evaporação e a condensação, enquanto as frias estabilizam o ar, chegando a influenciar na existência de vastas regiões desérticas, (Conti e Furlan, 1995).

A bacia do Rio Ivaí, pela sua localização geográfica, deveria sofrer também de alguns desses fatores, como a teoria dos centros de alta e baixa pressão, mas qual a significância dessa influência? Essa área se localiza numa região de transição de baixa latitude para média, tendo características tanto de clima temperado quanto subtropical. O encontro de massas de ar são freqüentes nessa região, o que provoca precipitação, mas existem situações de bloqueio que as impedem. Dessa forma, a explicação da distribuição pluviométrica na área de estudo através dessas teorias não é satisfatória.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Na região Sul do Brasil localiza-se o Estado do Paraná, sendo que a bacia hidrográfica do Rio Ivaí está localizada dentro deste Estado entre as coordenadas -22°54'S a -25°33'S e -50°44'W a -52°42'W, possuindo uma área de

drenagem de 36.622Km², percorrendo uma extensão de aproximadamente 680km (Figura 11).

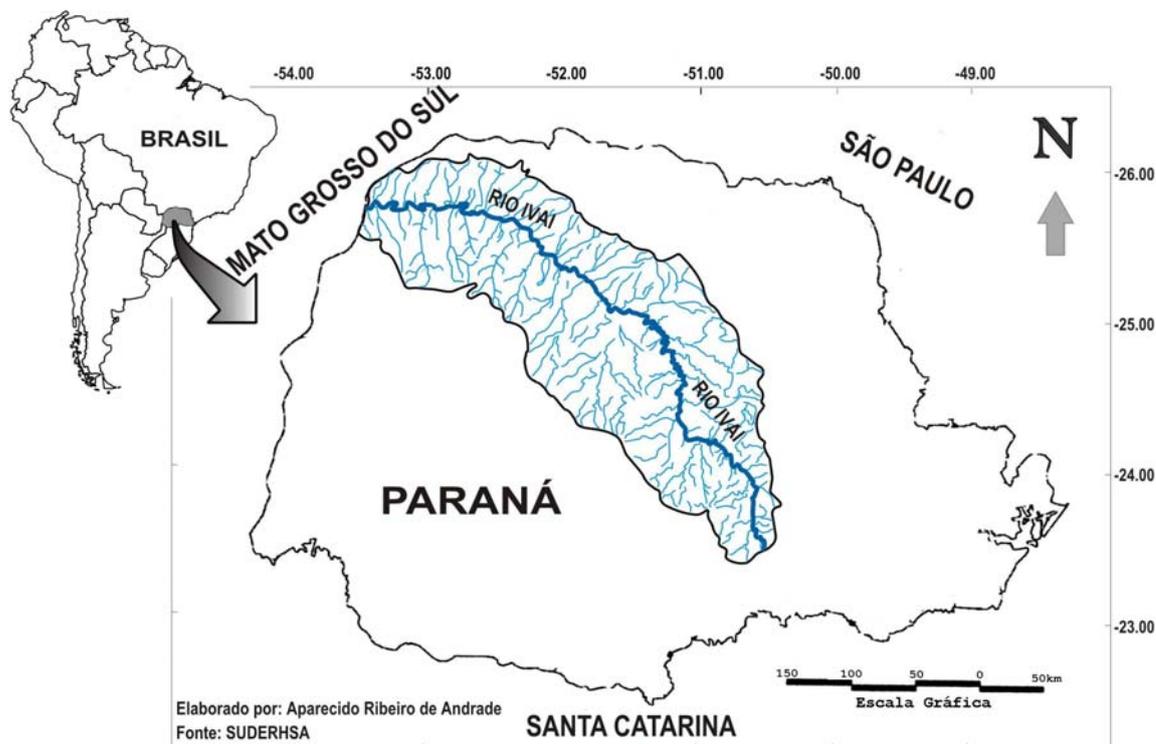


Figura 11 – Localização Geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí

Maack (1981), realizou trabalhos geomorfológicos em todo o Estado do Paraná, fazendo, principalmente, uma análise geográfica pioneira dos diversos fatores naturais de várias regiões do Estado, inclusive na área da bacia do Rio Ivaí. Desta forma, várias informações obtidas por este emérito pesquisador serão utilizadas como referência neste estudo.

Os formadores do rio Ivaí partem dos contrafortes da serra da Esperança e da Serra da Ribeira, na região sudeste do Estado do Paraná, em cotas superiores a 1.000m de altitude. O rio Ivaí percorre aproximadamente 680Km, até desaguar na margem esquerda do rio Paraná, próximo à ponte de montante da Ilha dos Bandeirantes.

A área de drenagem da bacia do rio Ivaí começa na transição do primeiro para o segundo planalto paranaense, próximo ao município de Prudentópolis, na região sudeste do Estado do Paraná, com cotas altimétricas em torno de 800 metros, percorre o segundo planalto e deságua no Rio Paraná, no noroeste do terceiro planalto, com cotas em torno de 400m de altitude.

Sua área de drenagem é a segunda maior do Paraná, perdendo somente para o Rio Iguaçu, que apresenta aproximadamente 55.000km² de área. Dimensões estas que levam a bacia do Ivaí a ocupar cerca de 20% do território paranaense.

As temperaturas predominantes no decorrer da sua área de drenagem, aliadas aos tipos de vegetação e comportamento pluviométrico, dão características de Clima Sub-Tropical na nascente e Clima Tropical na foz do Rio Ivaí. Pode-se notar uma aparência de área de transição climática, o que é a característica do Paraná como um todo.

Em todo o seu curso, o Rio Ivaí apresenta larguras que variam de 100 a 120 metros e apresenta uma profundidade média de 6 metros. Apenas 146km da sua extensão total, são navegáveis (da foz até a corredeira do Ferro), apresentando algumas cachoeiras, dentre as quais sobressaem as das Abóboras e Raufadeira, além dos Saltos de Ubá, da Fogueira, dos Pousos, da Bulha, das Bananeiras e Visconde do Rio Branco. Seus principais afluentes são: Ivaizinho, Ubazinho, Alonso, Bom, Mandaguari, Keller, Convés, Bandeirantes, São João, das Marrecas, Pitanga, Borboleta, Corumbataí, Mourão e das Antas, (Camargo, 2001).

4. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS

A Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - SUDERHSA, órgão do Governo do Estado do Paraná, cedeu dados de precipitação pluviométrica diários, mensais e anuais de 111 estações de coleta de dados espalhadas por toda a área da bacia do Ivaí.

Os dados de todas as estações foram analisados subjetivamente quanto à sua espacialidade e temporalidade, buscando-se eleger as séries mais completas e com maior período, levando-se em conta uma significativa distribuição espacial. Compararam-se as séries, quando possível, com outras já existentes no banco de dados da área de Meteorologia, DFI/UEM. Quando não foi possível tal monitoramento, tratou-se de, sistematicamente, observar os resultados em relação às tendências centrais, tais como média, desvio padrão, mediana, dentre outras.

Ao final foram selecionadas 19 séries de precipitação, considerando a distribuição temporal e espacial das séries climatológicas, durante o período de 1974 a 2001, pois as outras 92 séries restantes não apresentaram um grau de confiabilidade satisfatório, tanto pela distribuição temporal muito curta ou irregular, quanto pela coerência dos dados.

Fez-se análise estatística utilizando diversos parâmetros, tais como: média, desvio-padrão e mediana. Calculou-se também anomalias e amplitudes.

Para a realização desses cálculos foram utilizados os seguintes *softwares*: *Statística*, *Excel* e *Surfer*. Neste último também se escolheu o método de interpolação Kriging, que oferece uma melhor distribuição espacial das isolinhas da variável estudada, Figura 12 e Tabela III.

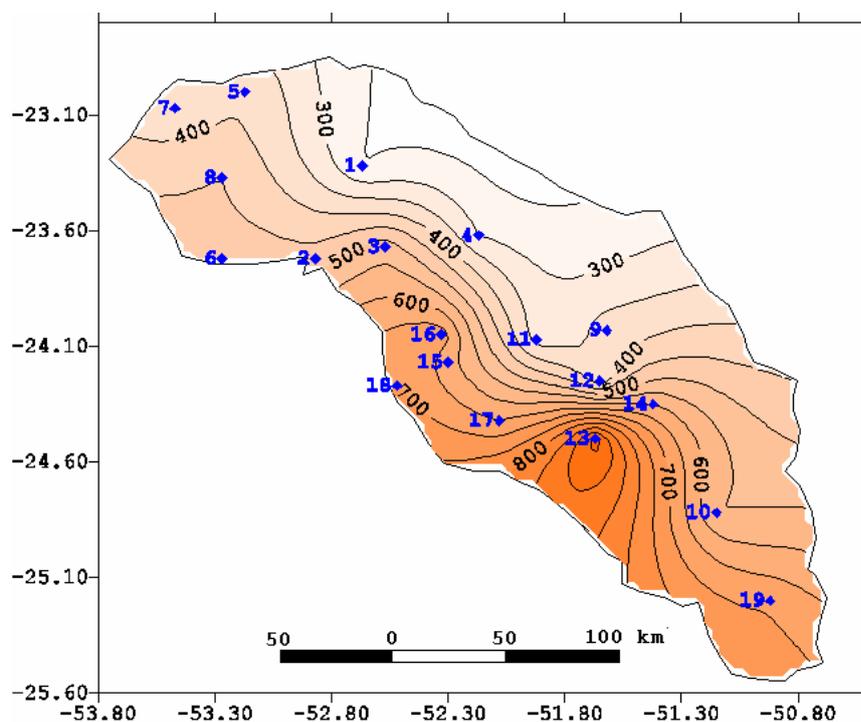


Figura 12 – Localização das estações pluviométricas dentro da área da bacia do Rio Ivaí, com as isolinhas de altitude.

Tabela III – Estações pluviométricas com suas respectivas latitudes, longitudes e altitudes.

Nº	Estação	Município	Latitude	Longitude	Altitude
1	Porto Paraíso do Norte	Paraíso do Norte	23°19'00"	52°40'00"	250m
2	Tapejara	Tapejara	23°43'00"	52°52'00"	470m
3	Cianorte	Cianorte	23°40'00"	52°34'59"	530m
4	Sítio Floresta	Ivatuba	23°37'00"	52°10'59"	300m
5	Santa Isabel do Ivaí	Loanda	23°00'00"	53°10'59"	400m
6	Umuarama	Umuarama	23°43'59"	53°16'59"	480m
7	Querência do Nore	Querência do Norte	23°04'59"	53°28'59"	360m
8	Douradina	Douradina	23°22'00"	53°16'59"	450m
9	Ubá do Sul	Lidianópolis	24°02'59"	51°37'00"	380m
10	Tereza Cristina	Prudentópolis	24°49'59"	51°09'00"	550m
11	Barra do Ribeirão Tavares	São João do Ivaí	24°04'00"	51°55'59"	330m
12	Ivaiporã	Ivaiporã	24°15'00"	51°39'00"	360m
13	Manoel Ribas	Manoel Ribas	24°30'00"	51°40'00"	972m
14	Porto Espanhol	Rio Branco do Ivaí	24°21'00"	51°25'00"	600m
15	Barragem Mourão	Campo Mourão	24°06'00"	52°19'59"	615m

16	Campo Mourão	Campo Mourão	24°01'59"	52°20'59"	680m
17	Iretama	Iretama	24°25'00"	52°05'59"	650m
18	Mamborê	Mamborê	24°16'59"	52°31'00"	702m
19	Rio dos Patos	Prudentópolis	25°12'00"	50°55'59"	690m

O *software Spring* foi utilizado para a confecção do mapa hipsométrico da área de estudo, realizado com curvas de 100 metros, Figura 13.

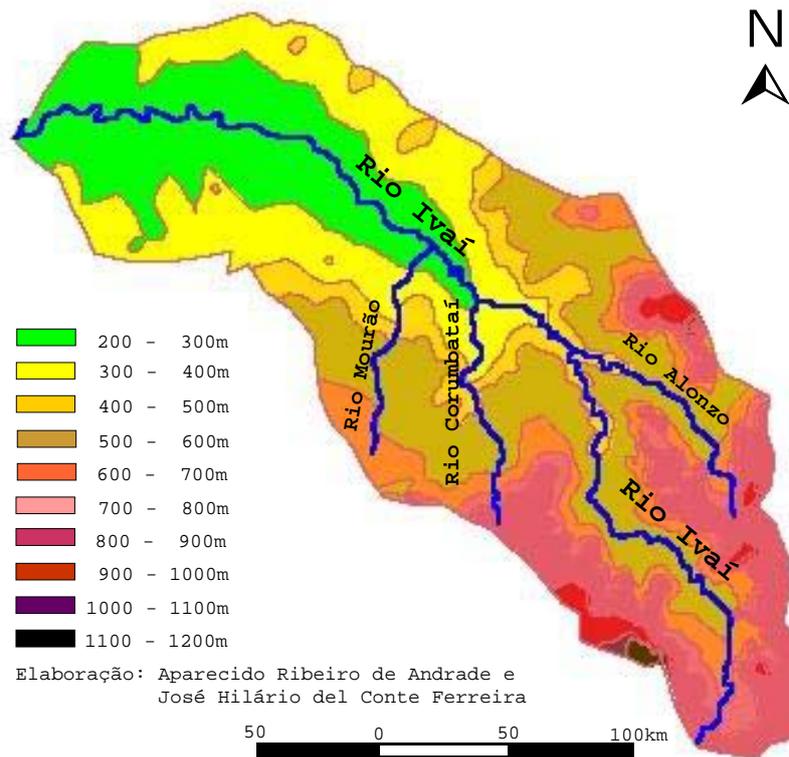


Figura 13 – Mapa hipsométrico da área de estudo – Bacia do Rio Ivaí

Calculou-se o total areal de precipitação pluviométrica mensal e anual para todas as estações localizadas na área de estudo.

Foram efetuados cálculos estatísticos para alguns períodos selecionados (geralmente anos de anomalia intensa), conforme o interesse despertado nas análises da evolução temporal da precipitação pluviométrica de todo o período estudado, que foram utilizados em diversas etapas do trabalho.

4.1. Cálculo da média, do desvio padrão, da mediana e da amplitude

A média foi calculada para todas as séries de dados obtidos, buscando-se avaliar a evolução média temporal e espacial da precipitação pluviométrica. A expressão utilizada para os cálculos realizados foi $\bar{X} = \sum_{i=1}^N X_i$.

O desvio padrão foi calculado para todas as séries de dados obtidos, desde os valores diários até os anuais. A expressão que define o desvio padrão é dada

$$\text{por } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}.$$

O cálculo da mediana também foi utilizado para todas as estações dentro da área estudada. A expressão que define o cálculo da mediana é a seguinte:

$$\text{Mediana} = L_i + I \left[\frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \right], \text{ onde } L_i \text{ é o limite inferior do intervalo onde se}$$

situaria a mediana; F_{i-1} é a frequência acumulada até o intervalo imediatamente anterior ao que contém a mediana e f_i é a frequência absoluta do intervalo onde se encontra a mediana; I é a amplitude dos intervalos e N é o número total de dados.

A amplitude para a pluviometria foi calculada selecionando-se os totais mensais de todo o período estudado para cada uma das estações utilizadas, depois foi feita a subtração entre o maior valor encontrado e o menor.

4.2. Cálculo da anomalia

No cálculo que propiciou a determinação de valores de anomalia da precipitação utilizou-se a expressão $(X_i - \bar{X})$, onde X_i é o valor da precipitação mensal ou anual e \bar{X} é a média da precipitação em todo o período estudado.

4.3. Índice padronizado de anomalia

Um índice de anomalia da precipitação foi elaborado, onde a distribuição espacial é desconsiderada e a evolução temporal realçada. Este índice consiste em se totalizar os dados de todas as estações envolvidas na análise para um determinado ano ou período. Depois se efetua o cálculo da média aritmética simples de todo o período analisado e em seguida calcula-se a anomalia para cada ano ou período, para finalmente se gerar o índice dividi-se a anomalia pela média.

Tanto o índice descrito acima, quanto o procedimento de (Kraus, 1977), que envolve, basicamente, normalizações, médias aritméticas e análise de variância, foram utilizados na tentativa de correlacionar a precipitação pluviométrica com a anomalia da TSM do Pacífico e o índice de Oscilação Sul.

4.4. Análise de Cluster

Para efetuar a regionalização utilizaram-se métodos de classificação não hierárquicos. Estes métodos de classificação indicam uma amostra de um grupo localizando e juntando as amostras similares. Há diversos métodos de classificação, não hierárquico, tais como: de ligação simples e ligação média, de agrupamento por variância mínima e o método de Ward. Mesmo existindo algum grau de subjetividade a eleição do método deve ser a mais objetiva possível (Lewis e Torres, 1992). Para realizar o agrupamento das estações estudadas, utilizou-se a sistemática dos diferentes métodos de análise multivariada, chegando-se ao método de Ward, com distância euclidiana.

4.5. Definição do Método de Ward

No caso de uma tabela $T(n,p)$ de variáveis quantitativas, a estratégia de agregação do “crescimento mínimo do momento de ordem dois” é chamado de método de Ward. O princípio de funcionamento deste método pode ser

apresentado como uma generalização multidimensional do modelo de análise de variância.

$$\text{SCD}_{\text{tot}} = \text{SCD}_{\text{res}} + \text{SCD}_{\text{fac}} \quad (1)$$

SCD_{tot} é a soma dos quadrados dos desvios das observações à média geral; SCD_{res} é a soma dos quadrados dos desvios das observações em cada grupo, com respeito à média do grupo para todos os grupos, e SCD_{fac} é a soma dos quadrados dos desvios das observações em cada grupo, com respeito à média geral.

Se a tabela $T(n,p)$ contém uma só variável e são distinguidos \mathbf{K} grupos nas observações da expressão (1) resulta que:

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_k)^2 + \sum_{k=1}^K n_k (x_k - \bar{x})^2 \quad (2)$$

A inércia total é decomposta em uma soma de inércia intraclasses e da inércia interclasses. Se a tabela $T(n,p)$, contém mais de uma variável e se distinguem \mathbf{K} grupos de observações, se substitui em (2) os desvios relativamente à média pelo quadrado das \mathbf{s} distâncias euclidianas relativamente ao centro de gravidade.

$$\sum_{i=1}^n d_{(i,G)}^2 = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{n_k} d_{[i,G_k]}^2 + \sum_{k=1}^K n_k d_{(G_k,G)}^2 \quad (3)$$

Sendo: G uma coordenada variando de 1 a p , de acordo com a expressão

$$\bar{x}_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n_x} x_{ip}; \quad G_k \text{ uma outra coordenada, cujo termo geral é } \bar{x}_{kp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n_k} x_{ip} \text{ e a}$$

coordenada i , cuja definição é $\{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}\}$. Estas coordenadas serão

calculadas com as respectivas distâncias euclidianas que sendo substituídas em (3) resultarão na equação (4).

$$\sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^P (x_{i p} - \bar{x}_p)^2 = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{n_k} \sum_{p=1}^P (x_{i p}^k - \bar{x}_{k p})^2 + \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P n_k (\bar{x}_{k p} - \bar{x}_p)^2 \quad (4)$$

Se as observações apresentarem grupos bem diferenciados, as inércias intragrupos devem ser baixas e inércias intergrupos devem ser elevadas. A partir daí, como critério de agregação deve-se minimizar o crescimento da inércia intragrupos resultante da agregação dos dois grupos numa nova classe (Everity, 1991).

4.6. Cálculo do balanço hídrico

Foram efetuados os balanços hídricos com base nos dados de 05 postos pluviométricos com dados de temperatura disponíveis.

O balanço hídrico pode ser feito por vários métodos, optou-se, neste estudo, pelo método de (Thorntawaite-Mather, 1955), por ser necessário apenas três variáveis: a temperatura média, a precipitação e a latitude (utilizada para determinar o número de horas de insolação) e de uma constante que é a capacidade de armazenamento de água no solo – CAD. Cada uma das estações utilizadas está identificada na Figura 14 e sua descrição na Tabela IV.

Tabela IV – Relação das estações utilizadas para realizar o balanço hídrico

Ordem	Estação	Município	Latitude	Longitude	Altitude
1	Estação Criação Estado	Paranavaí	23° 04' 59"	52° 25' 59"	480m
2	Cianorte	Cianorte	23° 40' 00"	52° 34' 59"	530m
3	Umuarama	Umuarama	23° 43' 59"	53° 16' 59"	480m
4	Campo Mourão	Campo Mourão	24° 01' 59"	52° 20' 59"	680m
5	Rio dos Patos	Prudentópolis	25° 12' 00"	50° 55' 59"	690m

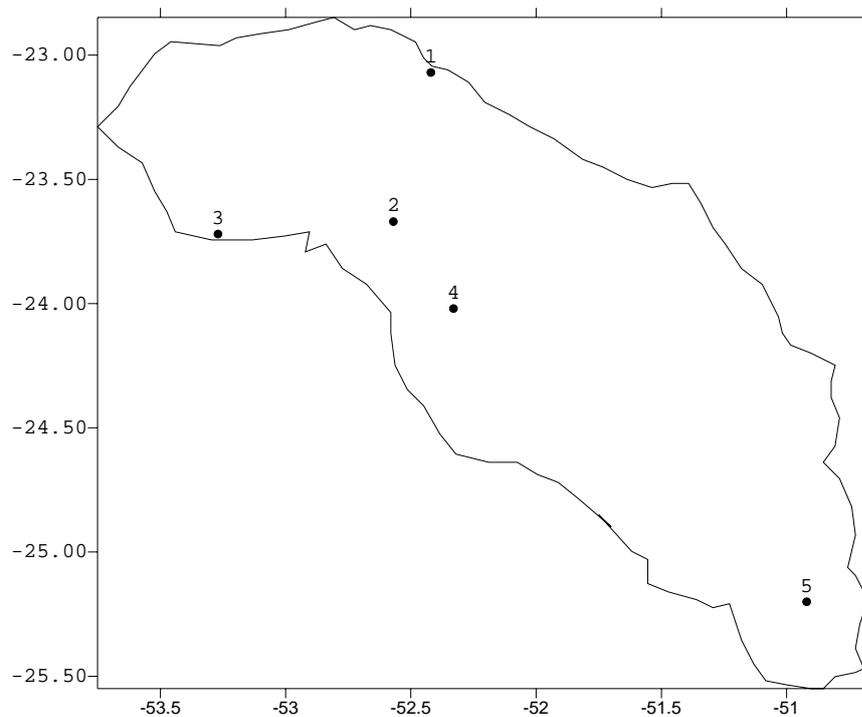


Figura 14 - Localização das estações meteorológicas utilizadas para realizar o balanço hídrico

Foi utilizado o valor de 100mm para o CAD – Capacidade de Campo, (Sentelhas *et al.*, 1999). Para a elaboração do balanço hídrico, para cada uma das estações, utilizou-se a planilha *Excel* elaborada por (Rolim *et al.*, 1998). Costuma-se representar o balanço hídrico de uma região por meio dos valores mensais de precipitação (P) e evapotranspiração potencial (EP) e real (EPR) plotados ao longo dos meses.

A partir da série de dados, foram selecionados os anos mais significativos para a confecção dos balanços hídricos (1978, 1982, 1983, 1985, 1988, 1997 e 1998). Anos estes obtidos através da análise do comportamento médio da precipitação no decorrer do período estudado.

As correlações entre os resultados dos balanços hídricos e anomalia da TSM do Pacífico foram feitas pelo *software Statistica (versão 5.0)*.

4.7. Análise fluviométrica

Finalmente, foram utilizados dados de fluviometria (vazão) de 05 estações fluviométricas da ANEEL localizadas dentro da área de estudo, as únicas que apresentaram dados regulares dentro do período estudado (Figura 15 e Tabela V).

O objetivo principal da análise destes dados de fluviometria na área de estudo (bacia do Rio Ivaí), foi definir um comportamento padrão para a evolução temporal e espacial da vazão do rio principal.

Além desse objetivo, foram efetuadas correlações da fluviometria com a TSM do Pacífico, buscando uma possível explicação para o aumento ou diminuição no volume de água transportado, de acordo com a ocorrência dos fenômenos El Niño ou La Niña.

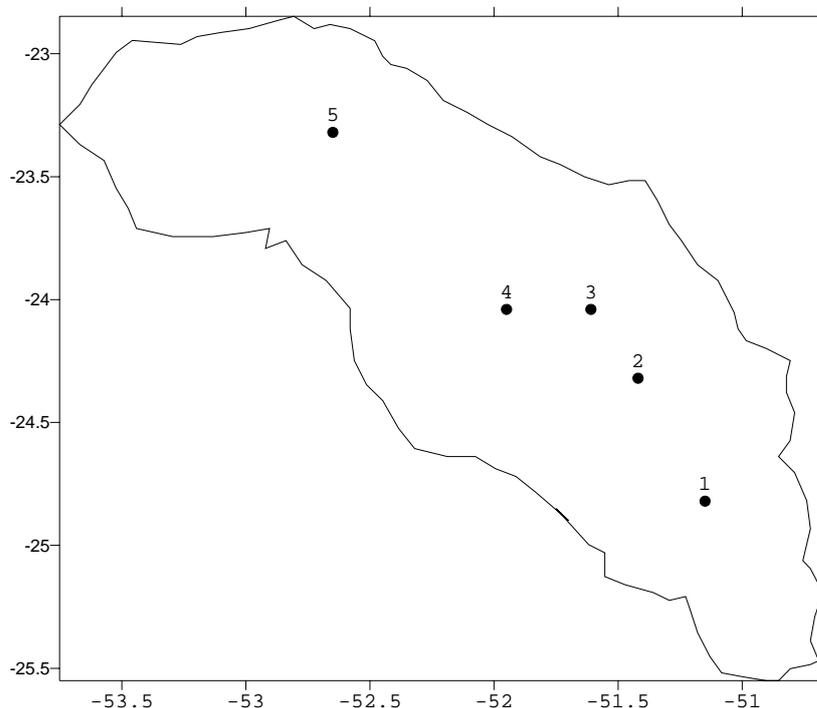


Figura 15 - Localização das estações fluviométricas dentro da área de estudo

Tabela V – Relação das estações fluviométricas utilizadas

Ordem	Estação	Município	Latitude	Longitude	Altitude
-------	---------	-----------	----------	-----------	----------

1	Tereza Cristina	Prudentópolis	24° 49' 59"	51° 09' 00"	550 m
2	Porto Espanhol	Rio Branco do Ivaí	24° 19' 59"	51° 25' 59"	413 m
3	Ubá do Sul	Lidianópolis	24° 02' 59"	51° 37' 00"	380 m
	Barra Ribeirão	Corumbataí	24° 02' 59"	51° 57' 00"	310 m
4	Raposo Tavares				
	Porto Paraíso do Norte	Paraíso do Norte	23° 19' 23"	52° 39' 52"	250 m
5	Norte				

4.8. Correlação linear entre a precipitação, a TSM, o IOS e resultados do Balanço Hídrico

Depois de efetuados todos os cálculos de evolução temporal, distribuição espacial, anomalias e gerados o índice de anomalia, bem como, obtidos os resultados de déficits e excedentes hídricos, utilizou-se a correlação linear entre estes resultados e a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Pacífico equatorial. Também foram correlacionados estes resultados com o Índice de Oscilação Sul (IOS).

Esses cálculos de correlação linear foram efetuados através do *software*

Statistica, utilizando a expressão $\rho = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y}$, onde ρ é a

correlação linear entre a série pluviométrica x e a série pluviométrica y . σ_x é

o desvio padrão da série pluviométrica x e σ_y é o desvio padrão da série y . O

Statistica define também critérios de significância através da equação

$$t = \sqrt{\frac{i - \rho}{N - 1}}.$$

Foi efetuada também a correlação linear entre dados de precipitação pluviométrica e a distância (em centímetros) entre as estações (séries) de dados, utilizando os mesmos critérios descritos acima.

Para a definição da distância entre as estações foi utilizada a Figura 12 como referência escalar, ou seja, a distância medida em centímetros corresponde a

escala gráfica proposta no mapa de localização das estações representado pela referida figura.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Distribuição temporal da precipitação pluviométrica

5.1.1. Evolução anual da pluviometria média

Nas Figuras 16 e 17 é possível visualizar a distribuição temporal da precipitação pluviométrica na bacia do Rio Ivaí. Pode-se observar que o ano de 1983 apresenta precipitação pluviométrica marcadamente superior dentro do período de estudo.

A Figura 16 mostra o comportamento anual da precipitação pluviométrica, onde é possível observar a variabilidade existente de ano para ano, no decorrer do período estudado. Pode-se destacar que o comportamento anual é relativamente homogêneo, pois a maioria dos anos em que a curva se afasta de forma mais evidente de 1600mm, são anos considerados anômalos para a região sul do Brasil, principalmente influenciados pela ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, (Trenberth, 1997). Deve-se ressaltar que o valor médio anual da precipitação para toda área estudada é 1609mm, já o desvio padrão é 346mm (Figura 16).

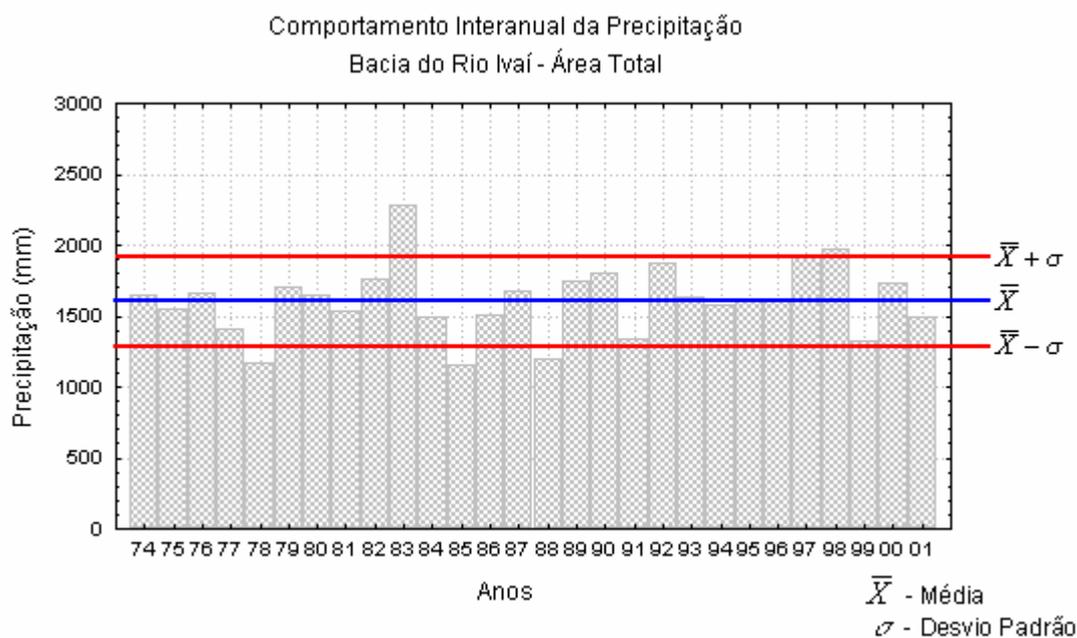


Figura 16 – Média das 19 estações estudadas: valores totais anuais

5.1.2. Comportamento médio mensal da pluviometria média

Com base nos totais mensais de precipitação elaborou-se um gráfico do comportamento médio mensal da precipitação pluviométrica da bacia do rio Ivaí (Figura 17). Esses valores médios foram obtidos através do cálculo da média para cada mês de todo o período (1974 a 2001). Cálculo este que consistiu em se efetuar a média aritmética dos valores mensais de precipitação de todos os meses do ano (janeiro a dezembro). Possibilitando a análise temporal e desconsiderando a distribuição espacial da área de estudo.

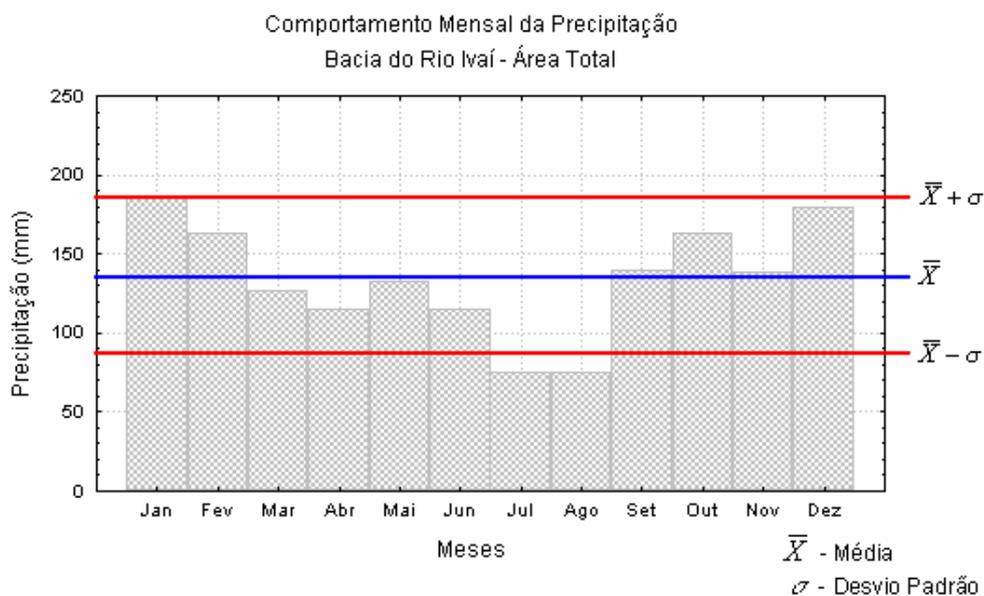


Figura 17 – Distribuição mensal da Precipitação Pluviométrica – 1974 a 2001

Deve-se ressaltar que o valor médio mensal da precipitação para a área de estudo é 134mm dentro de todo o período estudado (1974 a 2001). Obviamente que o desvio padrão é considerado alto, pois o conjunto de amplitude dos dados agrupados em uma mesma matriz é relevante nesta análise. No cálculo do desvio padrão mensal foi utilizada uma matriz contendo 6384 dados mensais, que variam de 0 a 748mm.

5.1.3. Delimitação dos períodos chuvoso e seco

Usando a mesma técnica utilizada na Figura 16, traçaram-se linhas para ressaltar o valor médio que é 134mm e o desvio padrão de 90mm, através das quais é possível verificar os meses com menor e maior média mensal de precipitação. O ano hidrológico normalmente adotado para a região de estudo é de outubro a setembro, esperando-se que o período chuvoso seja de outubro a março e o período seco de abril a setembro. Entretanto, a delimitação de período chuvoso ou seco não pôde ser feita tão facilmente, o que se nota na Figura 17, onde os meses mais chuvosos e secos não se agrupam precisamente em um determinado semestre.

Por isso definiu-se os três meses mais chuvosos como período chuvoso (Janeiro, Fevereiro e Dezembro) e os três meses mais secos de período seco (Junho, Julho e Agosto), conforme Figura 17. Isso se explica em virtude de alguns meses, dentro de um determinado semestre considerado seco, apresentarem pluviometria maior do que outros meses que estão num semestre considerado chuvoso.

5.2. Distribuição espacial da precipitação pluviométrica

As Figuras 18, 19, 20 e 21, apresentam as isolinhas da mediana, média e desvio padrão para dados anuais e amplitude mensal da região estudada. Os cálculos de média e mediana não apresentaram valores significativamente diferentes e pode-se observar precipitações menores a jusante da bacia (1300mm), enquanto a montante a precipitação média total anual chega a 1750mm, Figuras 18 e 19.

A dispersão está representada na Figura 20, (cálculo realizado através do desvio padrão que mostra a variabilidade em torno da média), mostrando que a variabilidade é mais significativa a montante da bacia, com maiores valores nessa região. O desvio padrão mostra uma dispersão em torno da média de 220mm anuais a jusante e cerca de 400mm a montante da área estudada. Fica evidente a existência de uma determinada variabilidade espaço-temporal, entretanto não chegando a ser tão significativa, uma vez que esses valores só representam cerca de 20% da normal climatológica (1300 a 1750mm por ano).

Através da Figura 21 pode-se observar que a amplitude da precipitação da bacia apresenta valores máximos de 540mm e mínimos de 420mm mensais, o que revela uma distribuição espacial relativamente homogênea e o comportamento temporal mais significativo, pois existem meses em que não chove (0mm) e outros em que chove mais de 500mm.

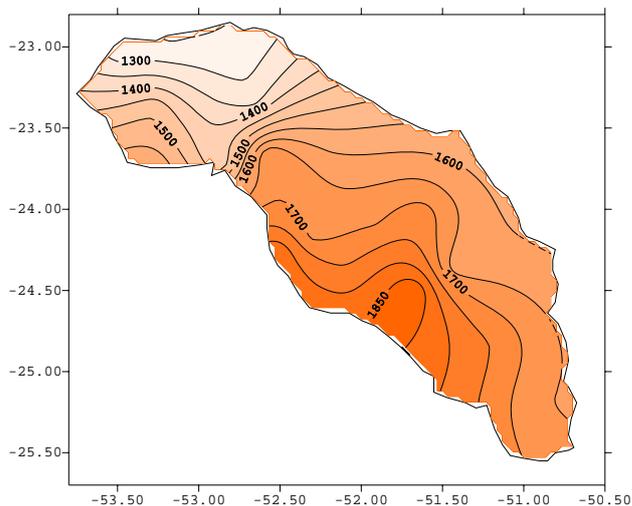


Figura 18 – Isolinhas da mediana do total anual da precipitação – 1974 a 2001

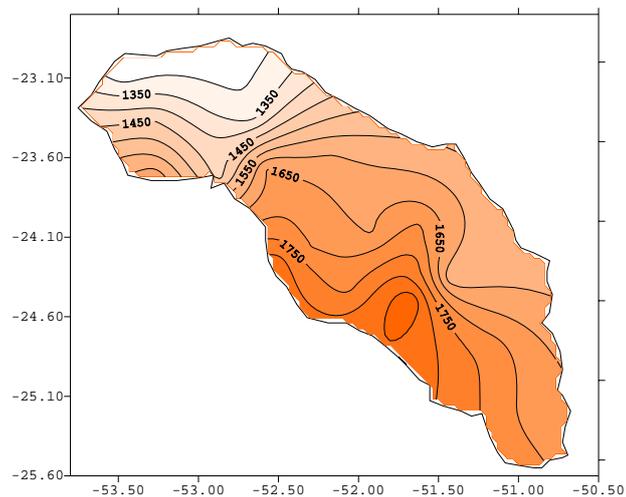


Figura 19 – Isolinhas da média total anual da precipitação – 1974 a 2001

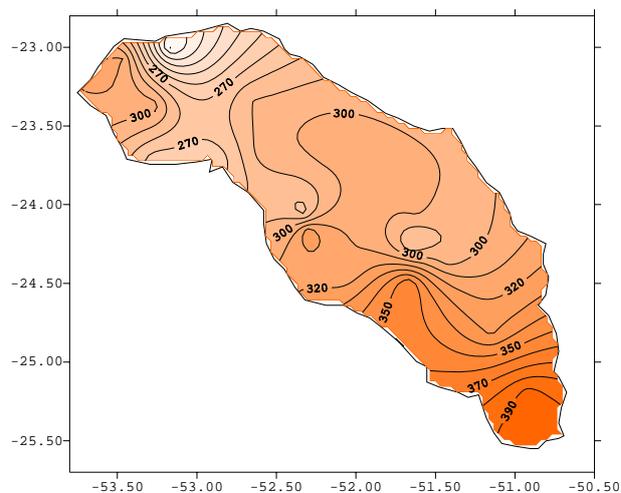


Figura 20 – Isolinhas do desvio padrão do total anual da precipitação – 1974 a 2001

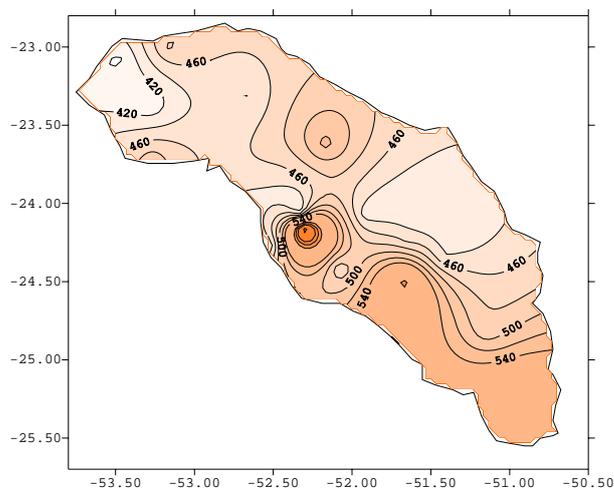


Figura 21 – Isolinhas da Amplitude Mensal da Precipitação – 1974 a 2001

Todas as análises estatísticas utilizadas confirmam que a distribuição espacial da pluviometria na bacia é relativamente homogênea, destacando-se apenas que a área localizada na parte centro-sul (estações 15, 16, 17 e 18) da bacia

apresenta uma maior variabilidade, mostrando também que nesta área a precipitação é maior. Sendo assim, a variabilidade espacial existe, porém não é tão significativa.

5.3. Classificação das áreas homogêneas da bacia do Ivaí

Os grupos homogêneos obtidos a partir da análise multivariada foram calculados com base na Tabela III. Utilizou-se o método de Ward com distância euclidiana, gerando quatro grupos similares para a área de estudo.

O dendograma obtido através do método acima está representado na Figura 22, onde é possível notar que o corte subjetivo realizado determinou a existência de quatro grupos homogêneos.

Os quatro grupos estão geograficamente divididos da seguinte forma: grupo I (região sul); grupo II (região centro-sul); grupo III – que representa o maior porção do toda a área estudada (região nordeste) e grupo IV (região noroeste), Figura 23.

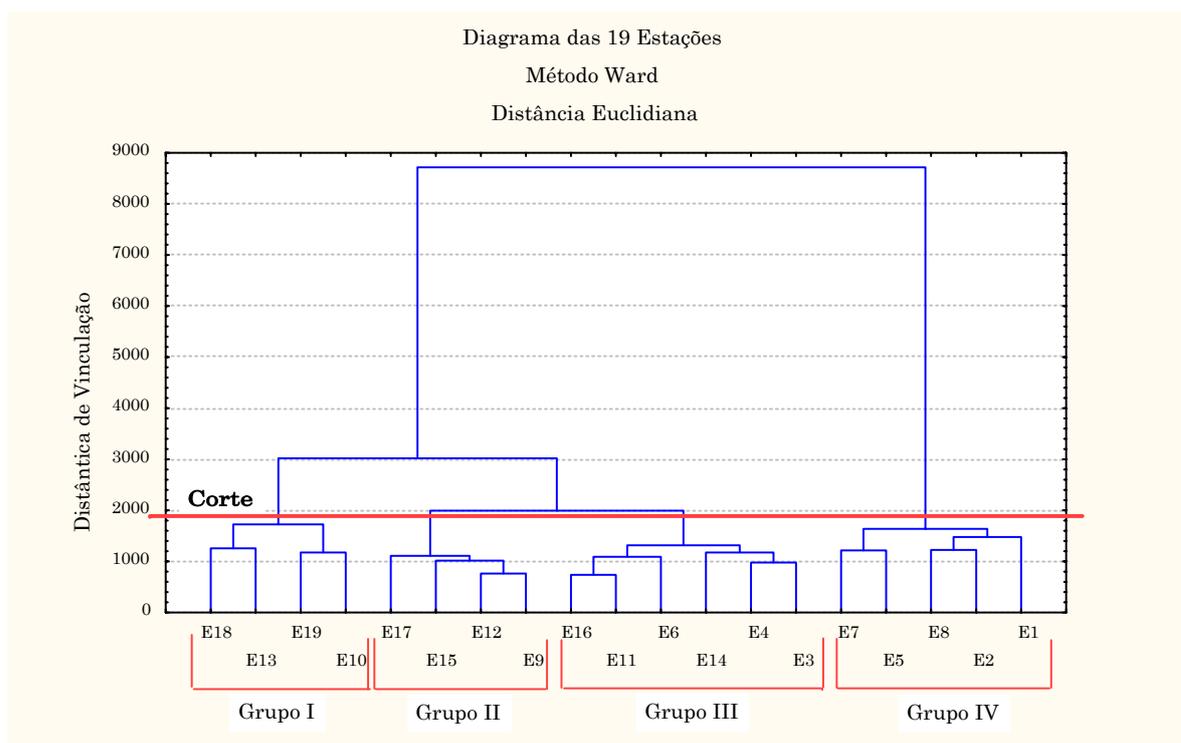


Figura 22 – Dendograma dos grupos homogêneos, segundo o método de Ward

Deve-se enfatizar que os grupos homogêneos definem um comportamento similar a jusante da bacia, outro a montante e duas áreas de transição em seu médio curso.

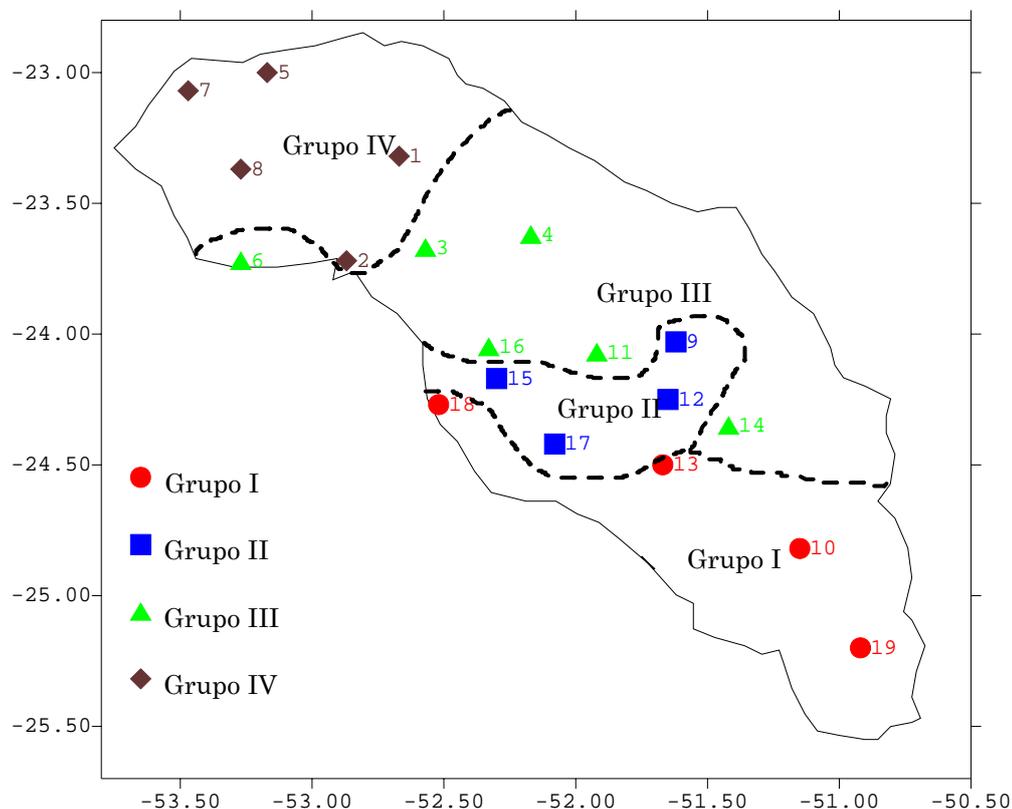


Figura 23 – Classificação dos postos pluviométricos segundo os grupos similares

5.4. Análise interanual da precipitação dos grupos homogêneos

Foram elaborados gráficos para 02 estações de cada grupo homogêneo obtido, que mostram o comportamento da precipitação pluviométrica em todo o período de estudo (1974 a 2001), buscando-se um comparativo da variabilidade interanual entre os grupos, figuras 24 a 31.

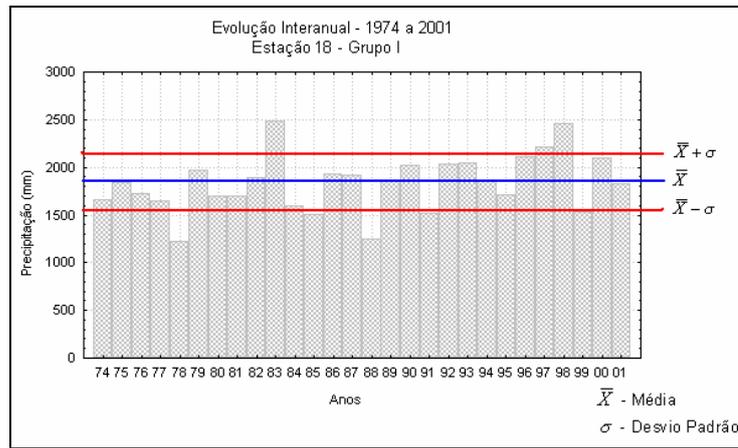


Figura 24 – Evolução interanual da precipitação para a Estação 18 do grupo I – período de 1974 a 2001

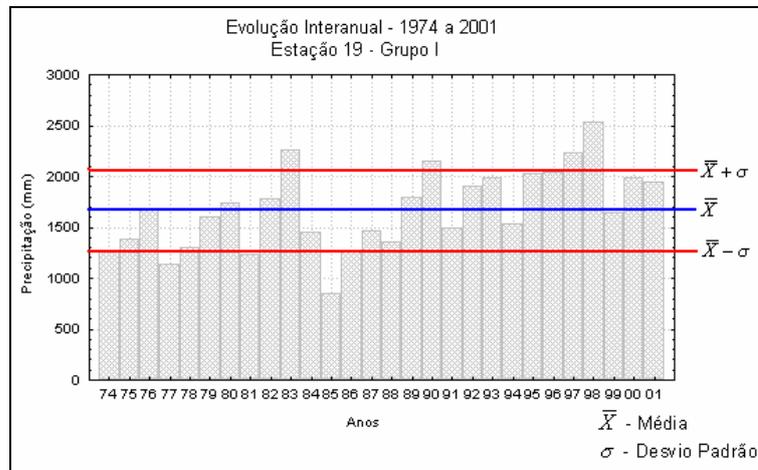


Figura 25 – Evolução interanual da precipitação para a Estação 19 do grupo I – período de 1974 a 2001

Ao se analisar as Figuras 24 e 25 (estações do Grupo D), nota-se que os anos fora do desvio padrão são 1977, 1978, 1981, 1983, 1985, 1988, 1990, 1997 e 1998, dos quais somente 1977, 1981 e 1990, não apresentam relação com a análise efetuada para toda a área de estudo, Figura 16.

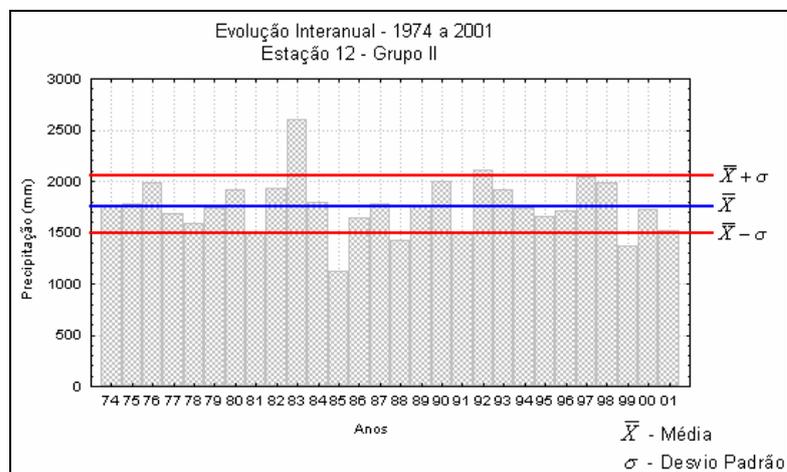


Figura 26 – Evolução interanual da precipitação para a Estação 12 do grupo II – período de 1974 a 2001

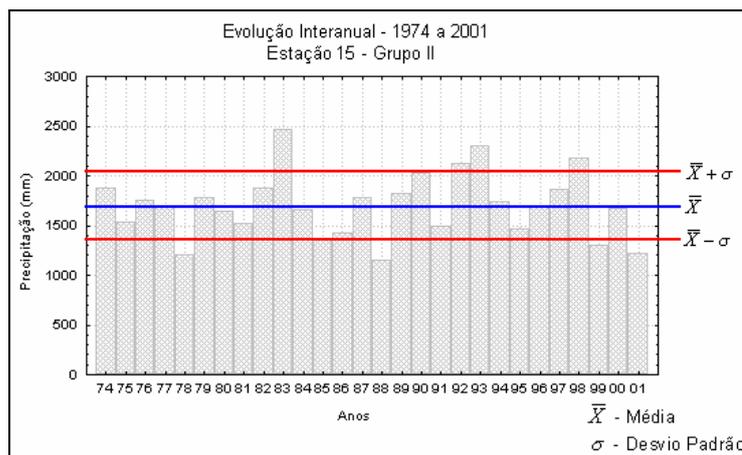


Figura 27 – Evolução interanual da precipitação para a Estação 15 do grupo II – período de 1974 a 2001

Nas Figuras 26 e 27 (estações do Grupo II), nota-se que os anos fora do desvio padrão são 1978, 1983, 1985, 1988, 1993, 1997, 1998, 1999 e 2001, dos quais somente 1993, 1999 e 2001 não apresentam relação com a análise efetuada para toda a área de estudo, Figura 16.

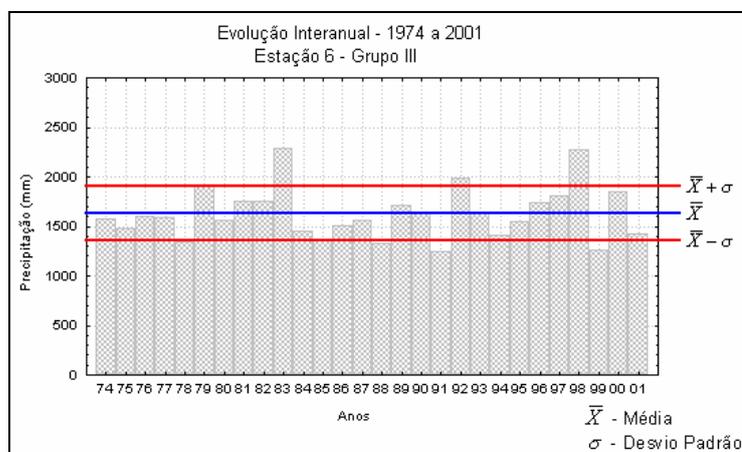


Figura 28 – Evolução interanual da precipitação para a Estação 6 do Grupo III – período de 1974 a 2001

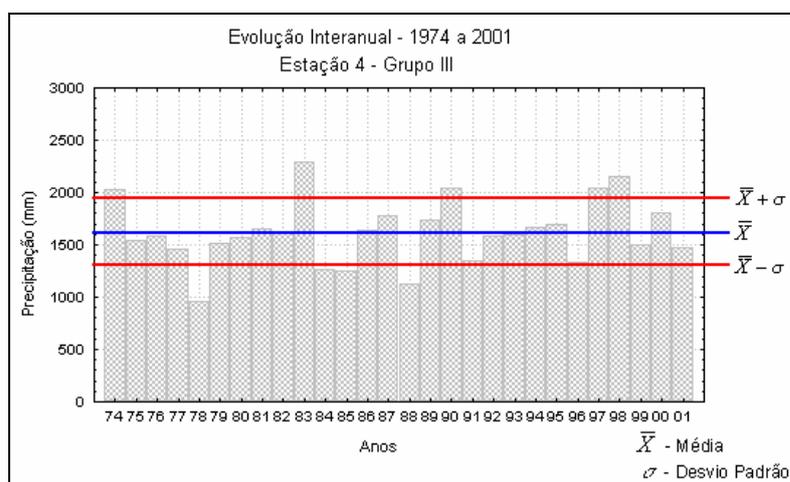


Figura 29 – Evolução interanual da precipitação para a Estação 4 do Grupo III – período de 1974 a 2001

Os gráficos apresentados nas Figuras 28 e 29 (estações do Grupo III), mostram que os anos de 1974, 1978, 1983, 1984, 1985, 1988, 1990, 1993, 1997, 1998 e 1999, estão fora do desvio padrão e somente 1974, 1984, 1993 e 1999 não apresentam relação com a análise efetuada para toda a área de estudo, Figura 16.

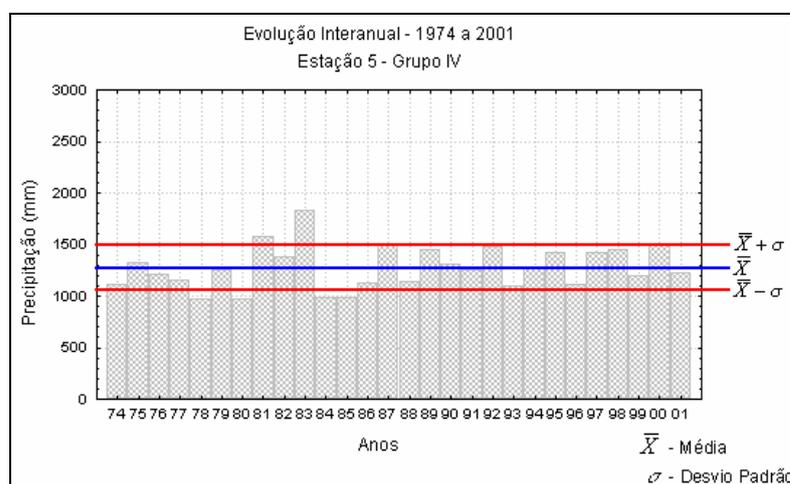


Figura 30 – Evolução interanual da precipitação para a Estação 5 do grupo IV – período de 1974 a 2001

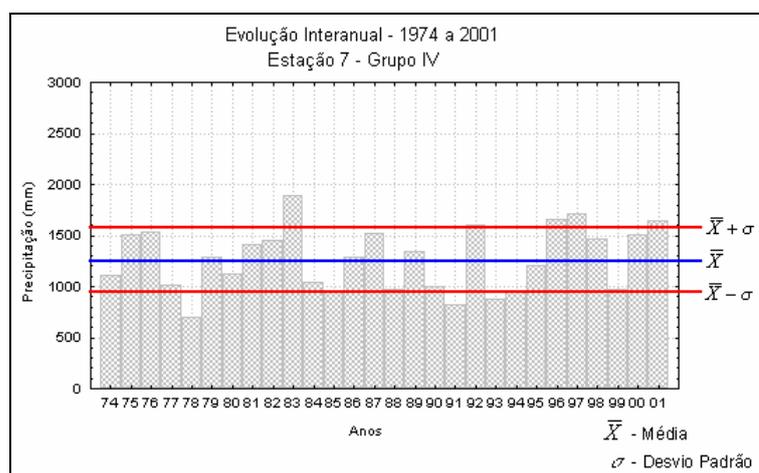


Figura 31 – Evolução interanual da precipitação para a Estação 7 do grupo IV – período de 1974 a 2001

Finalmente, apresentam-se os gráficos das Figuras 30 e 31 (estações do Grupo IV), onde se verifica que os anos de 1978, 1981, 1983, 1984, 1985, 1991, 1996 e 1997, estão fora do desvio padrão e os anos de 1981, 1984, 1991 e 1996 não apresentam relação com a análise efetuada para toda a área de estudo, Figura 16.

Dessa forma, fica evidente que os grupos homogêneos, apesar de apresentarem uma variabilidade entre si, como se era esperado, apresentam também uma relação clara com o comportamento da evolução interanual da precipitação pluviométrica para toda a área de estudo, pois os principais anos com marcada variabilidade quase sempre são os mesmos, principalmente os anos de ocorrência de El Niño ou La Niña significativos (1983, 1985, 1988 e 1998).

Outro aspecto a ser abordado é a variabilidade espacial, pois as estações do grupo I, situadas a montante da bacia, apresentam valores médios de precipitação mais elevados, em torno de 2000mm anuais (Figuras 24 e 25). Já nas estações do Grupo IV, situadas a jusante da bacia, os valores médios são menores, em torno de 1400mm anuais (Figura 30 e 31).

As estações do grupo II e III, localizadas no médio curso do Rio Ivaí, apresentam valores médios anuais intermediários, oscilando em torno de 1700mm anuais.

5.5. Índice padronizado da anomalia anual

O estudo da variabilidade interanual foi efetuado também através do índice padronizado calculado para toda a região estudada e para cada uma das regiões homogêneas, obtidas através da análise tipológica de cluster, no período de 1974 a 2001, com o objetivo de localizar áreas ou anos onde os fenômenos El Niño e La Niña provocaram anomalia da precipitação significativa, nas regiões obtidas.

O índice padronizado, também denominado de índice de anomalias normalizadas, ressalta os valores de precipitação pluviométrica positiva e negativa.

Dessa forma as Figuras 32, 33, 34, 35 e 36 mostram os gráficos de evolução do índice de anomalia para todo o período estudado para a área total e para cada um dos grupos homogêneos.

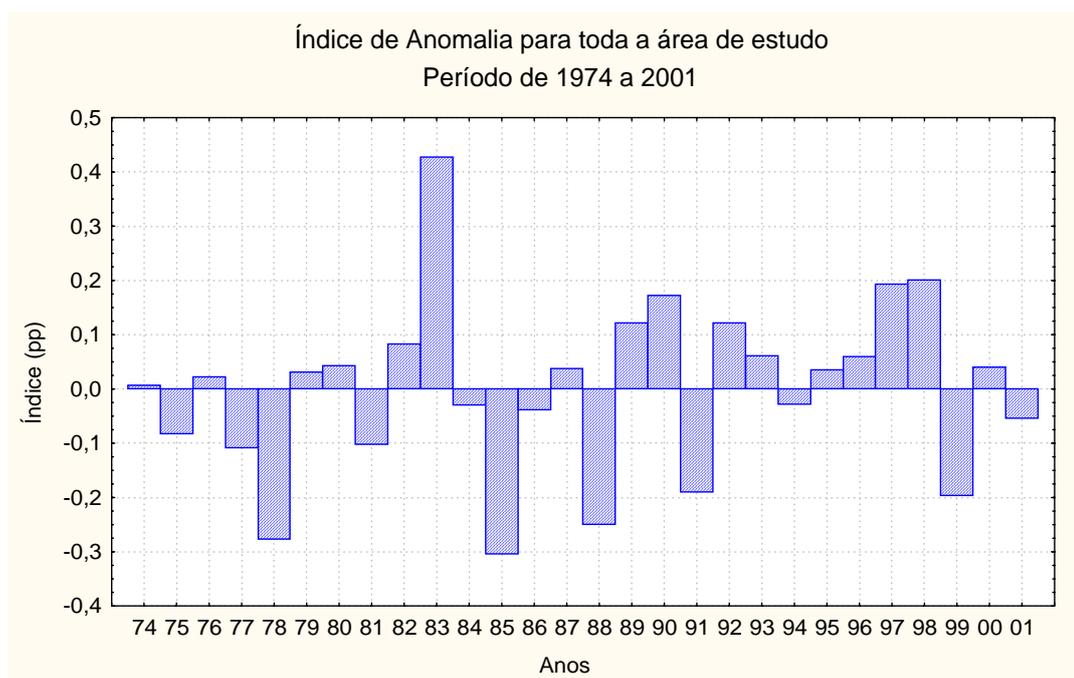


Figura 32 – Índice padronizado anual para toda a área estudada – 1974 a 2001

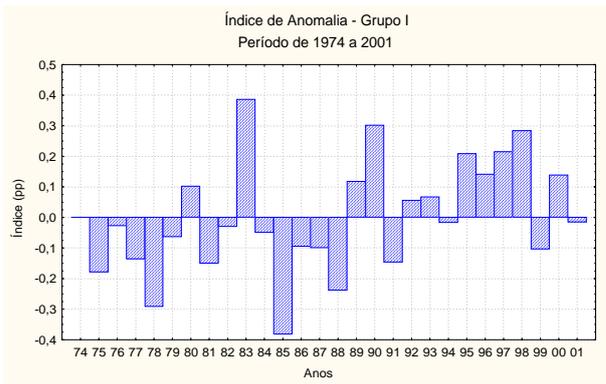


Figura 33 – Índice padronizado anual para o grupo I – 1974 a 2001

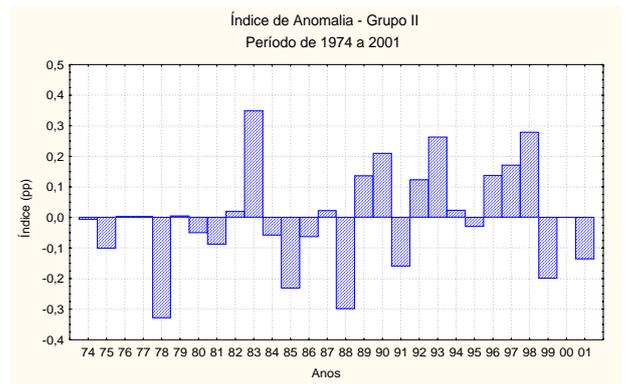


Figura 34 – Índice padronizado anual para o grupo II – 1974 a 2001

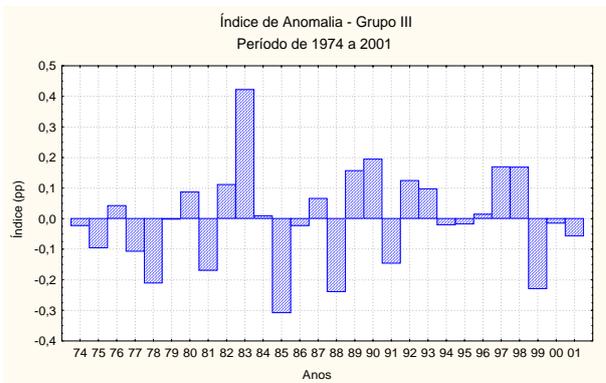


Figura 35 – Índice padronizado anual para o grupo III – 1974 a 2001

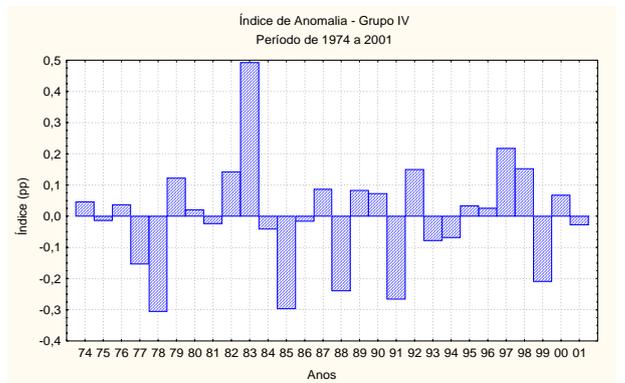


Figura 36 – Índice padronizado anual para o grupo IV – 1974 a 2001

O que fica claro na análise das figuras 32 a 36, é que não existe significativa variabilidade entre a evolução anual do índice padronizado da área total e os grupos homogêneos separadamente. Em todas as figuras nota-se uma significativa anomalia positiva no índice para os anos de 1982, 1983, 1997 e 1998. Já nos anos de 1978, 1985, 1988 e 1992 a variabilidade é negativa, o que demonstra uma forte correlação com a ocorrência do fenômeno ENOS, tanto na sua fase positiva (El Niño), quanto na negativa (La Niña).

5.6. Análise temporal e a influência do El Niño e La Niña

Na Tabela VI, apresenta-se a classificação de alguns eventos El Niño e La Niña, (Trenberth, 1997), podendo-se observar que esses fenômenos não têm o

mesmo período de duração. A classificação desta tabela foi utilizada para confeccionar as isolinhas de alguns eventos importantes.

Tabela VI – El Niño e La Niña definidos a partir da temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico para a região do El Niño (1+2) e excedendo valores de 0.4°C (positivo ou negativo).

El Niño (1+2)	Duração/Meses	La Niña (1+2)	Duração/Meses
Mar/65 a jan/66	11	Mar/66 a set/66	7
Mar/69 a jan/70	11	Jun/67 a jul/68	14
Fev/72 a fev/73	13	Mar/70 a dez/71	22
Mai/76 a jan/77	9	Abr/73 a fev/74	11
Jun/79 a jan/80	8	Out/74 a jan/76	16
Jul/82 a dez/83	18	Jan/85 a dez/85	12
Out/86 a dez/87	15	Abr/88 a dez/88	9
Nov/91 a jun/92	8	Mai/89 a set/89	5
Fev/93 a jun/93	5	Mar/94 a set/94	7
Out/94 a fev/95	5	Abr/95 a ago/95	5
Mar/97 a out/98	20	Abr/96 a jan/97	10
		Jun/99 a jan/2000	8
		Jun/2000 a jan/2001	8

Fonte: Trenberth, 1997, adaptada e atualizada.

As Figuras 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43 e 44 apresentam as isolinhas de anomalia da precipitação para os anos de 1978, 1982, 1983, 1985, 1988, 1992, 1997 e 1998, respectivamente. O que se pretende é provar a correlação existente entre a variabilidade interanual e a ocorrência de anomalias positivas (El Niño) ou anomalias negativas (La Niña).

Os anos de 1982/83, 1992 e 1997/98 destacam-se com valores de precipitação pluviométrica significativamente maiores que os valores médios do período de estudo, Figura 16. Estes anos foram classificados de anos de El Niño intenso, Figuras 38, 39, 42, 43 e 44.

Já os anos de 1985 e 1988, anos de significativo evento La Niña apresentaram valores abaixo da média climatológica da bacia, Figuras 40 e 41. Na Figura 37 (ano de 1978), embora não seja um ano classificado de La Niña, apresentou precipitação pluviométrica abaixo da média climatológica, sugerindo

alguma outra dinâmica para explicar a variabilidade da precipitação neste ano. Entretanto, esta dinâmica não foi diagnosticada, pois foge dos objetivos deste trabalho. Pretende-se então, buscar essa explicação num futuro próximo.

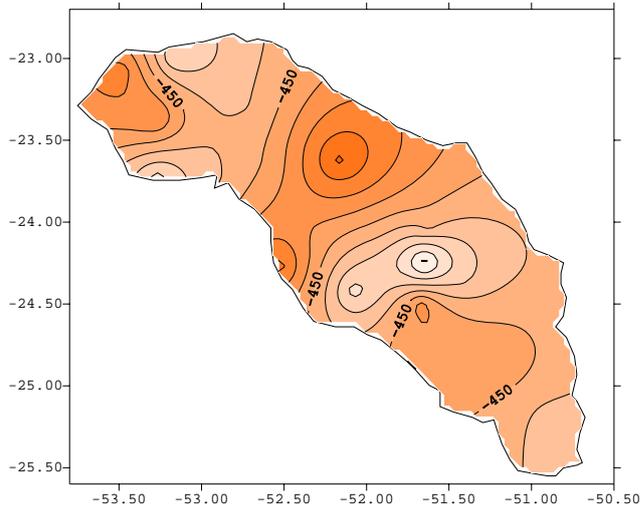


Figura 37 – Isolinhas de anomalia do ano de 1978 – Anomalia negativa sem explicação na bibliografia consultada

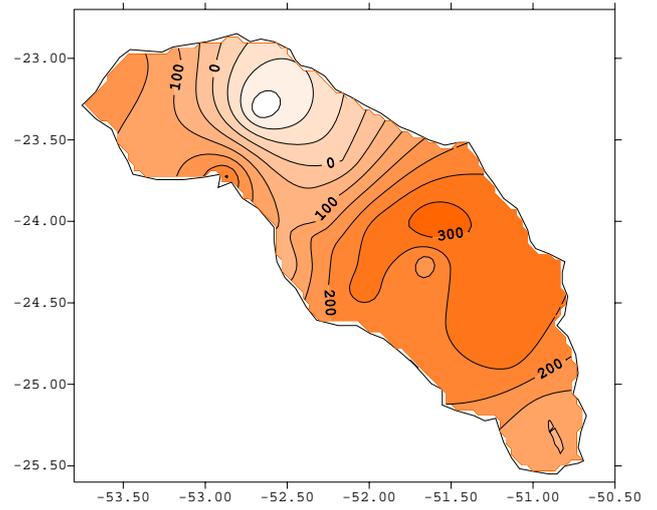


Figura 38 – Isolinhas de anomalia do ano de 1982 – Ano de El Niño intenso

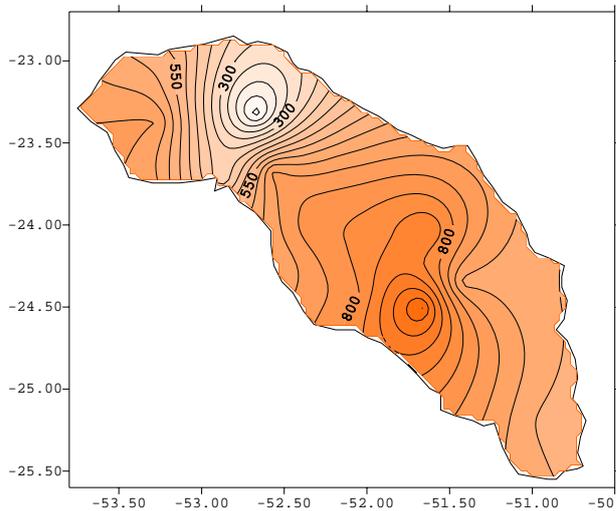


Figura 39 – Isolinhas de anomalia do ano de 1983 – Ano de El Niño intenso

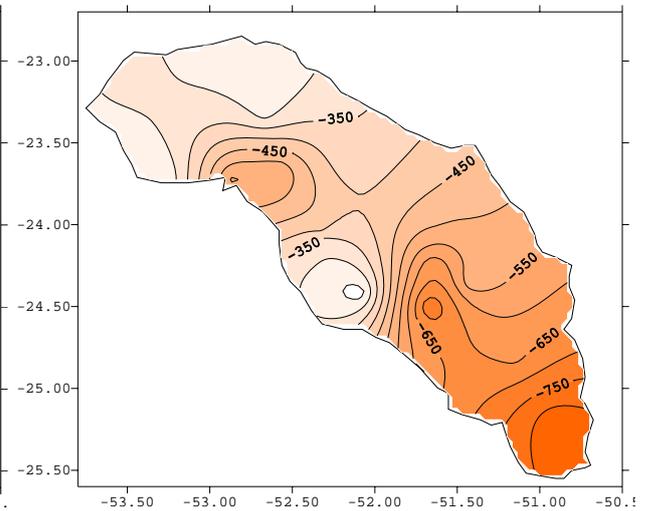


Figura 40 – Isolinhas de anomalia do ano de 1985 - Ano de La Niña intenso

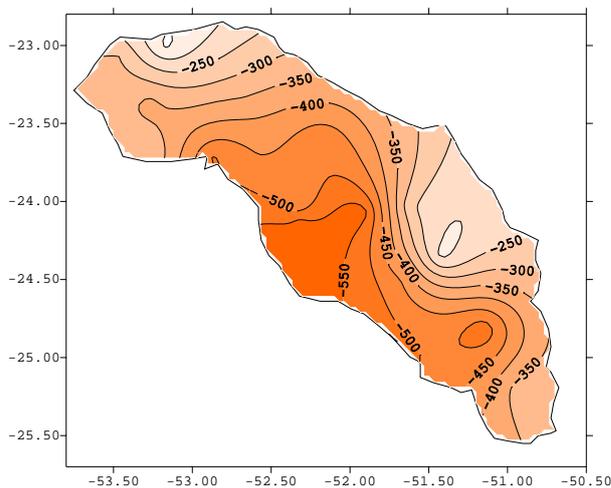


Figura 41 – Isolinhas de anomalia do ano de 1988 - Ano de La Niña intenso

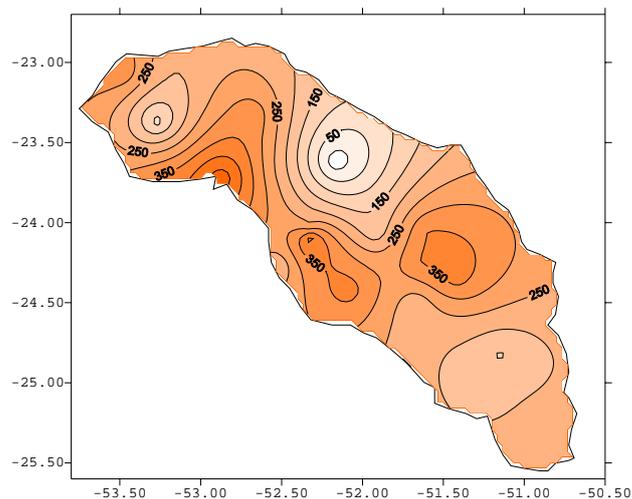


Figura 42 – Isolinhas de anomalia do ano de 1992 – Ano de El Niño intenso

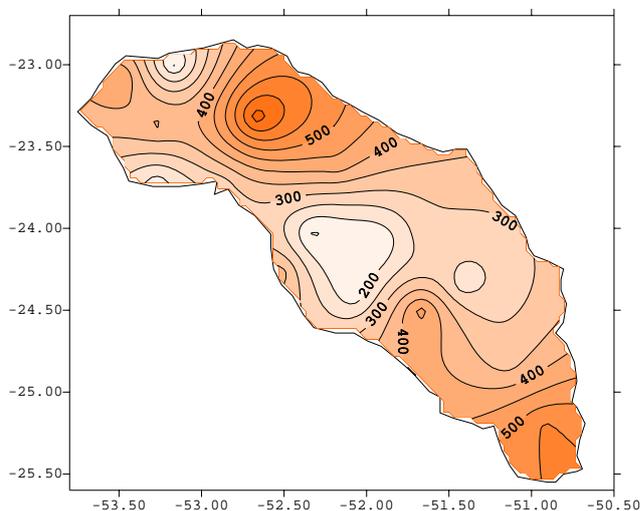


Figura 43– Isolinhas de anomalia do ano de 1997 – Ano de El Niño intenso

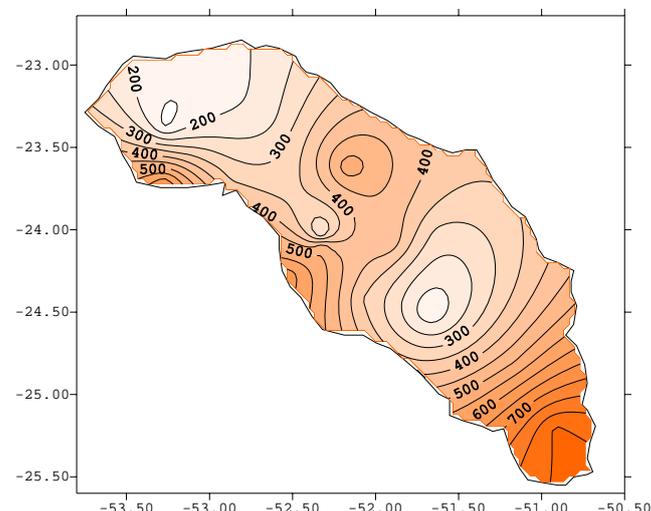


Figura 44 – Isolinhas de anomalia do ano de 1998 - Ano de El Niño intenso

De acordo com os períodos definidos por Trenberth (Tabela III), foram calculados os valores para alguns eventos de El Niño e La Niña, que foram visualizados na Figura 16, onde se pode observar máximos de precipitação (geralmente anos de El Niño) e mínimos de precipitação (geralmente anos de La Niña), como apresentado nas Tabelas VII a XI.

Tabela VII – Ano de 1978 (Valores abaixo da média, mas sem ocorrência de La Niña)

Estação	Nº Meses	Média Mensal	Mediana Mensal	Total Anual	Mínimo Mensal	Máximo Mensal	Desvio Padrão
---------	----------	--------------	----------------	-------------	---------------	---------------	---------------

		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	12	75	85	910	5	164	44
2	12	86	78	1034	14	228	62
3	12	98	66	1187	10	197	76
4	12	79	62	953	4	214	61
5	12	81	63	972	0	213	70
6	12	112	99	1348	42	184	52
7	12	58	63	700	3	119	35
8	12	74	68	896	9	151	55
9	12	107	104	1294	10	246	74
10	12	103	94	1237	1	240	60
11	12	102	76	1235	1	217	69
12	12	132	122	1586	0	294	93
13	12	113	96	1367	0	258	73
14	12	102	98	1225	0	260	69
15	12	100	83	1211	0	205	70
16	12	98	99	1186	2	221	62
17	12	121	112	1456	0	220	78
18	12	101	86	1218	4	232	65
19	12	108	94	1298	0	220	60

Tabela VIII – El Niño do período de julho de 1982 a dezembro de 1983

Estação	Nº Meses	Média Mensal (mm)	Mediana Mensal (mm)	Total Anual (mm)	Mínimo Mensal (mm)	Máximo Mensal (mm)	Desvio Padrão (mm)
1	18	92	80	1673	14	257	62
2	18	136	113	2465	33	312	100
3	18	147	110	2655	35	332	101
4	18	145	125	2620	3	379	113
5	18	126	84	2280	14	299	97
6	18	150	110	2709	12	377	102
7	18	131	73	2372	15	374	112
8	18	138	101	2501	25	357	101
9	18	178	181	3211	4	350	115
10	18	173	143	3131	29	482	137

11	18	170	162	3065	21	311	118
12	18	169	158	3048	5	384	124
13	18	184	197	3329	18	426	129
14	18	163	141	2944	8	403	125
15	18	165	159	2979	18	385	111
16	18	158	144	2855	41	393	111
17	18	180	131	3249	18	461	144
18	18	174	117	3139	11	387	129
19	18	153	107	2756	26	348	112

Tabela IX – La Niña do período de janeiro de 1985 a dezembro de 1985

Estação	Nº Meses	Média Mensal (mm)	Mediana Mensal (mm)	Total Anual (mm)	Mínimo Mensal (mm)	Máximo Mensal (mm)	Desvio Padrão (mm)
1	12	86	66	1040	8	207	62
2	12	73	66	878	35	135	31
3	12	93	73	1120	28	268	70
4	12	103	75	1244	32	215	69
5	12	82	64	986	2	189	58
6	12	114	93	1376	29	243	66
7	12	78	78	946	12	161	50
8	12	95	94	1141	20	190	48
9	12	99	114	1198	30	148	43
10	12	90	79	1087	7	291	70
11	12	101	82	1213	5	211	61
12	12	93	74	1123	23	157	50
13	12	95	85	1144	20	242	68

Tabela IX - Tabela IX – La Niña do período de janeiro de 1985 a dezembro de 1985

Estação	Nº Meses	Média Mensal (mm)	Mediana Mensal (mm)	Total Anual (mm)	Mínimo Mensal (mm)	Máximo Mensal (mm)	Desvio Padrão (mm)
14	12	86	101	1042	8	133	40
15	12	114	60	1371	22	226	85
16	12	105	59	1271	23	285	87
17	12	125	68	1508	19	352	121
18	12	125	101	1507	31	285	85
19	12	70	68	844	13	171	41

Tabela X – La Niña do período de abril de 1988 a dezembro de 1988

Estação	Nº Meses	Média Mensal (mm)	Mediana Mensal (mm)	Total Anual (mm)	Mínimo Mensal (mm)	Máximo Mensal (mm)	Desvio Padrão (mm)
1	9	75	47	678	0	259	84
2	9	75	70	683	0	177	64
3	9	95	79	861	0	250	100
4	9	75	62	677	0	156	67
5	9	102	101	922	48	158	36
6	9	107	92	971	0	327	109
7	9	83	40	748	0	231	88
8	9	94	54	848	0	226	94
9	9	105	74	945	0	339	112
10	9	20	0	185	0	185	61
11	9	87	63	784	0	215	84
12	9	99	65	891	0	283	98
13	9	116	48	1045	0	347	123
14	9	107	84	969	0	302	99
15	9	82	73	738	0	213	77
16	9	93	55	837	0	235	93
17	9	97	50	874	0	299	117
18	9	105	71	948	1	258	102
19	9	107	100	964	14	306	88

Tabela XI – El Niño de março de 1997 a outubro de 1998

Estação	Nº Meses	Média Mensal (mm)	Mediana Mensal (mm)	Total Anual (mm)	Mínimo Mensal (mm)	Máximo Mensal (mm)	Desvio Padrão (mm)
1	20	134	93	2692	17	346	102
2	20	132	116	2650	14	386	104
3	20	161	146	3223	19	384	117
4	20	168	147	3372	15	423	113
5	20	107	67	2141	7	267	82
6	20	168	149	3361	15	493	126
7	20	123	100	2470	16	316	95
8	20	130	142	2618	10	316	99
9	20	161	150	3232	15	427	106

10	20	176	186	3523	45	319	90
11	20	162	161	3257	21	343	109
12	20	164	137	3299	33	375	107
13	20	180	207	3601	0	398	114
14	20	152	150	3054	13	295	97
15	20	167	147	3355	26	426	117
16	20	153	143	3068	31	398	109
17	20	163	151	3267	40	369	101
18	20	199	194	3983	38	415	113
19	20	199	219	3992	45	372	108

Pode-se destacar os anos de 82/83 e 1985 (Tabelas VIII e IX), onde se nota um aumento na precipitação no primeiro período e um decréscimo no segundo, ou seja, no El Niño 82/83, que foi um dos mais fortes ocorridos até então, conforme comprova a bibliografia, a precipitação aumenta. Já no La Niña de 1985, o que se vê é o fenômeno inverso, ou seja, a quantidade de precipitação pluviométrica diminui.

A Figura 17 apresenta o comportamento mensal da precipitação, através do qual é possível delimitar os meses mais chuvosos e os meses mais secos dentro do período estudado (1974 a 2001). Esta figura apresentou também, os períodos chuvoso e seco da região, ficando determinado que os meses de dezembro, janeiro e fevereiro seriam chamados de período chuvoso, enquanto que os meses de junho, julho e agosto seriam o período seco.

5.7. Análise dos balanços hídricos

A partir dos dados de temperatura e precipitação das estações meteorológicas apresentadas na Figura 14 e na Tabela IV, foram elaborados os balanços hídricos para cada uma das estações. Os anos de 1978, 1983, 1985, 1988, 1997 e 1998, foram constatados como sendo os mais significativos, Figuras 45 a 72.

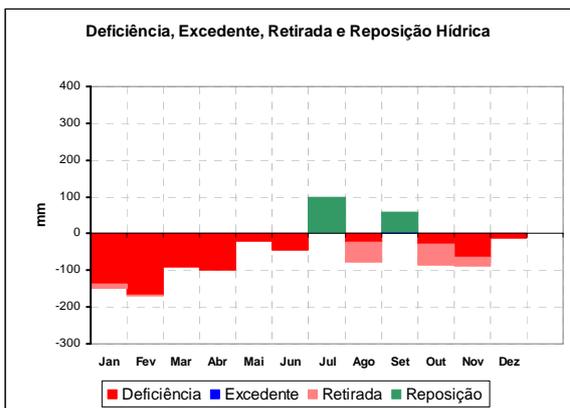


Figura 45 - Balanço hídrico da estação de Paranavaí – ano de 1978

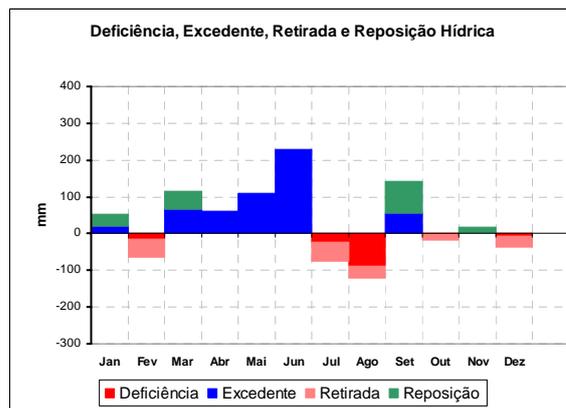


Figura 46 - Balanço hídrico da estação de Paranavaí – ano de 1983

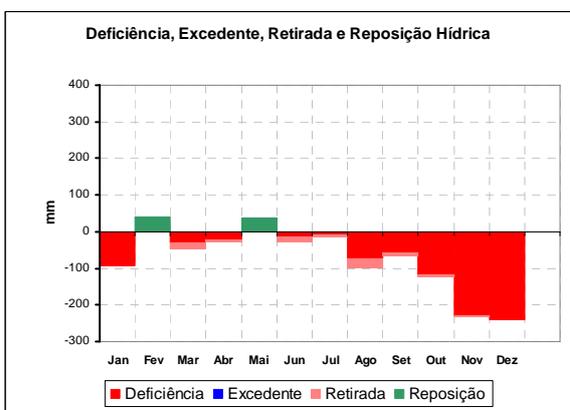


Figura 47 - Balanço hídrico da estação de Paranavaí – ano de 1985

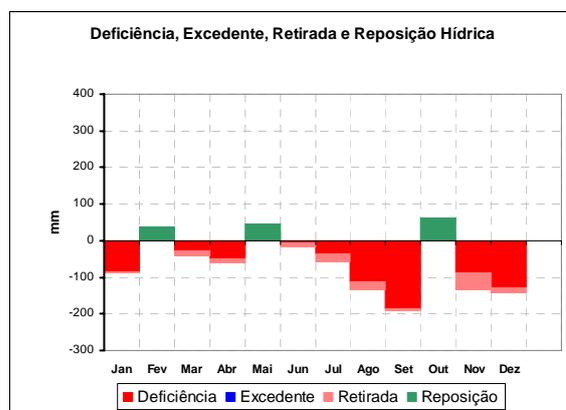


Figura 48 - Balanço hídrico da estação de Paranavaí – ano de 1988

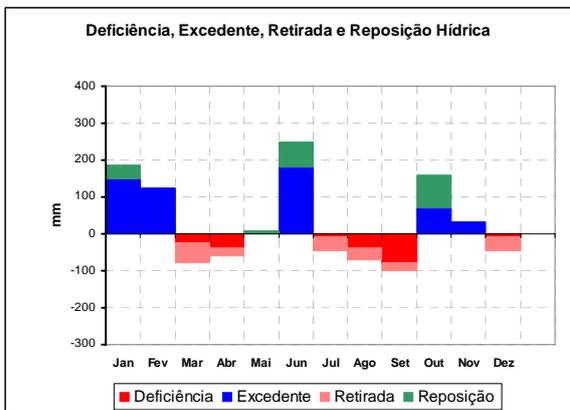


Figura 49 - Balanço hídrico da estação de Paranavaí – ano de 1997

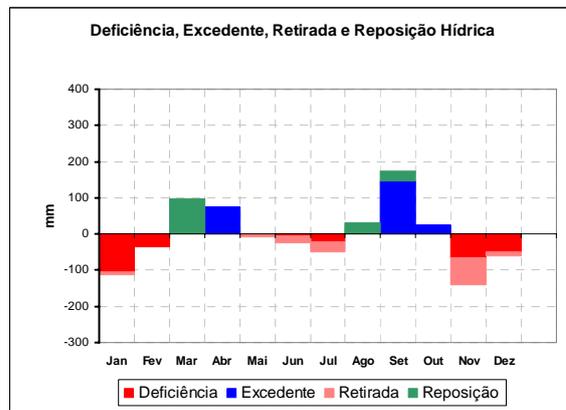


Figura 50 - Balanço hídrico da estação de Paranavaí – ano de 1998

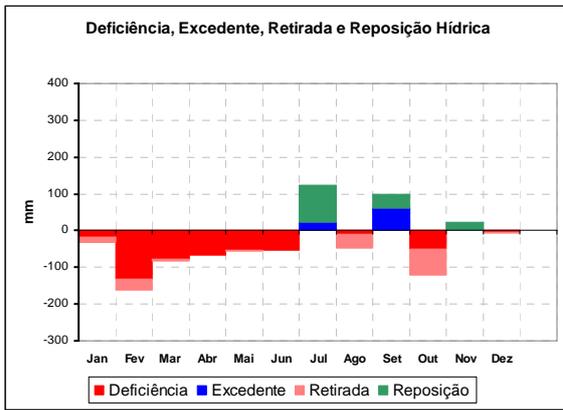


Figura 51 - Balanço hídrico da estação de Cianorte – ano de 1978

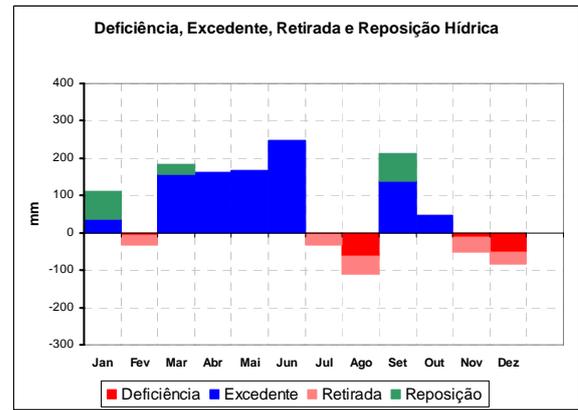


Figura 52 - Balanço hídrico da estação de Cianorte – ano de 1983

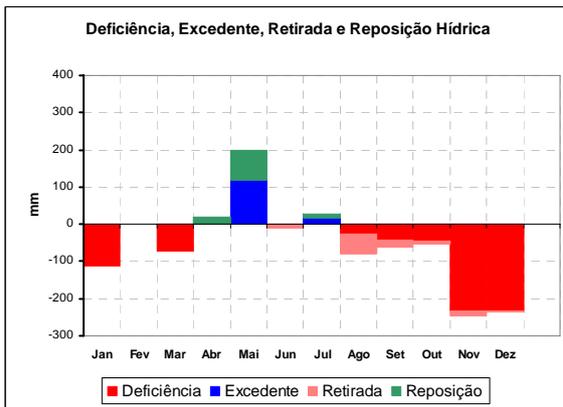


Figura 53 - Balanço hídrico da estação de Cianorte – ano de 1985

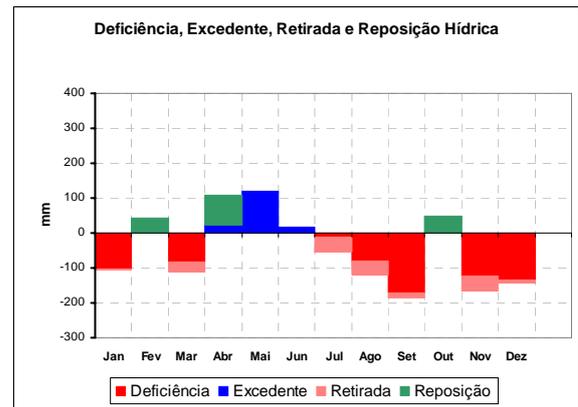


Figura 54 - Balanço hídrico da estação de Cianorte – ano de 1988

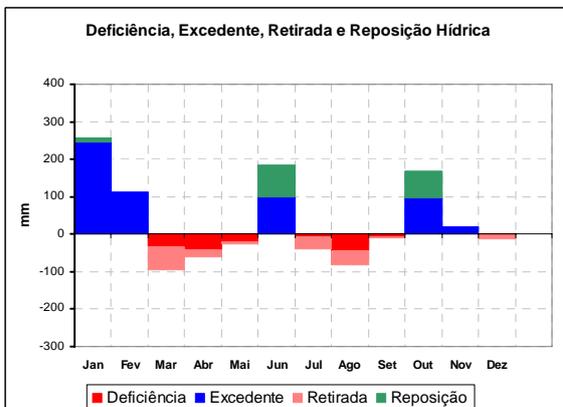


Figura 55 - Balanço hídrico da estação de Cianorte – ano de 1997

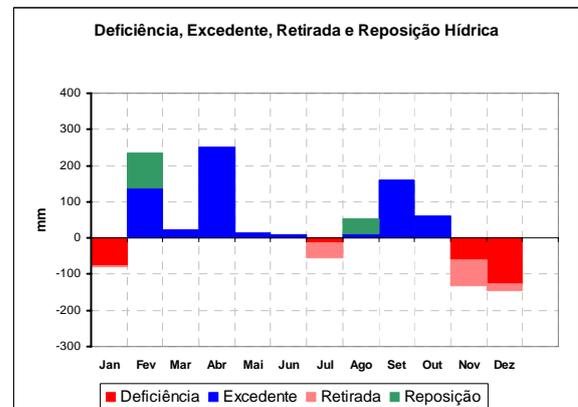


Figura 56 - Balanço hídrico da estação de Cianorte – ano de 1998

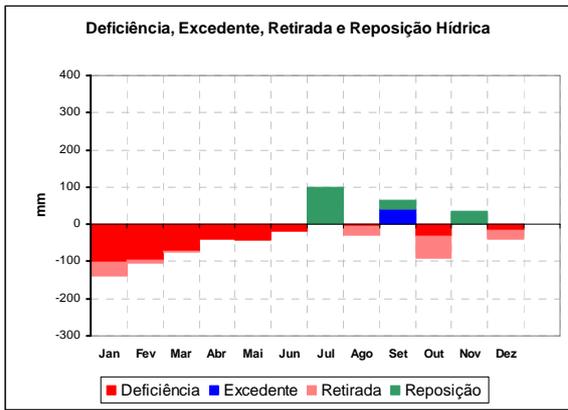


Figura 57 - Balanço hídrico da estação de Umuarama – ano de 1978

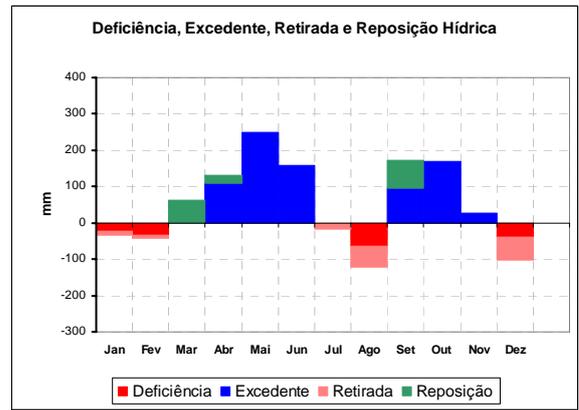


Figura 58 - Balanço hídrico da estação de Umuarama – ano de 1983

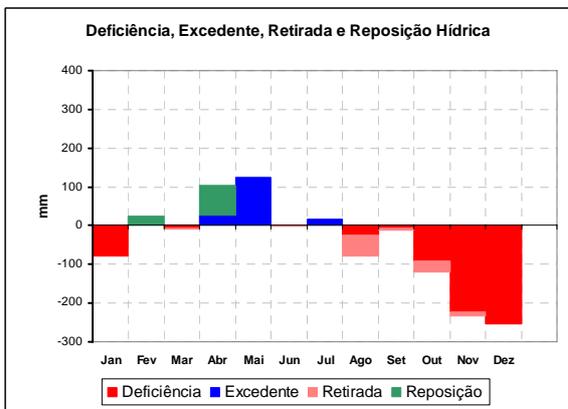


Figura 59 - Balanço hídrico da estação de Umuarama – ano de 1985

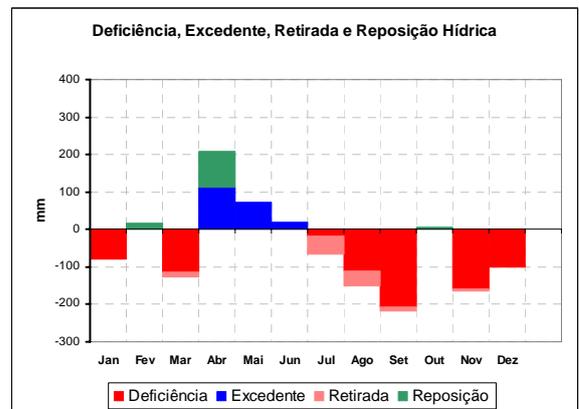


Figura 60 - Balanço hídrico da estação de Umuarama – ano de 1988

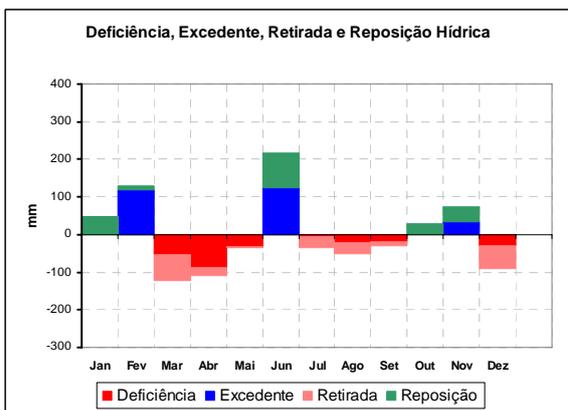


Figura 61 - Balanço hídrico da estação de Umuarama – ano de 1997

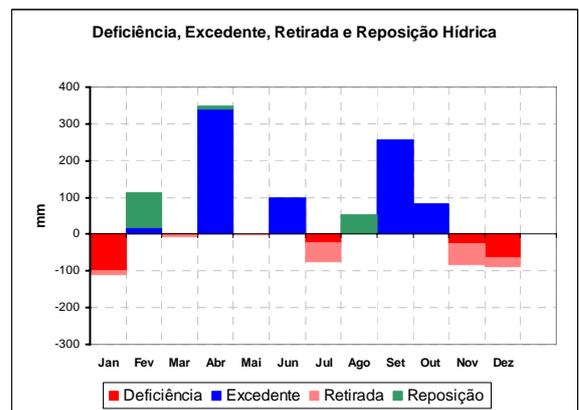


Figura 62 - Balanço hídrico da estação de Umuarama – ano de 1998

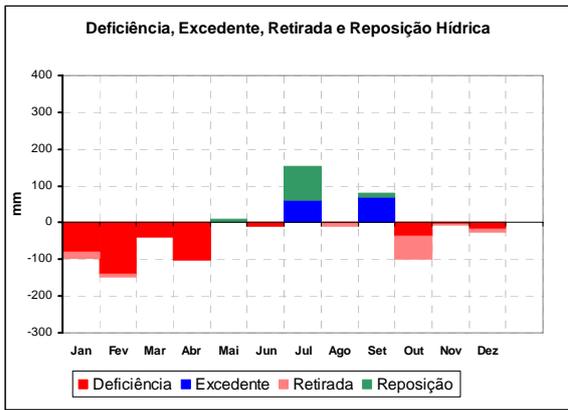


Figura 63 - Balanço hídrico da estação de Campo Mourão – ano de 1978

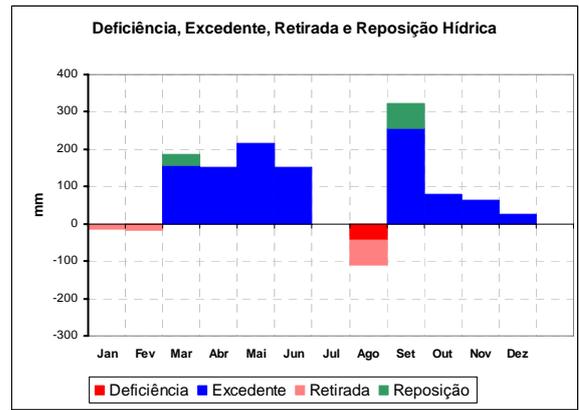


Figura 64 - Balanço hídrico da estação de Campo Mourão – ano de 1983

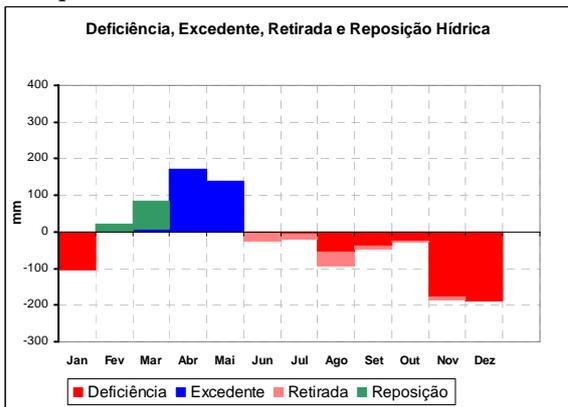


Figura 65 - Balanço hídrico da estação de Campo Mourão – ano de 1985

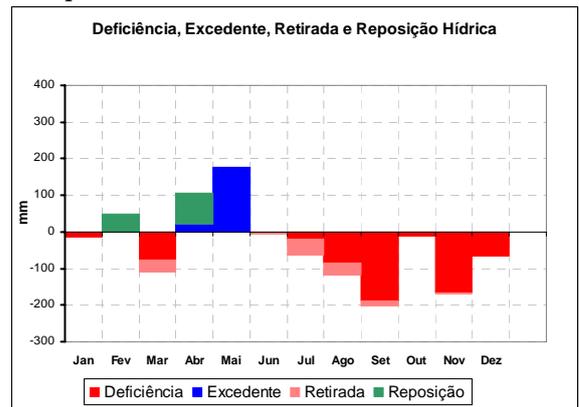


Figura 66 - Balanço hídrico da estação de Campo Mourão – ano de 1988

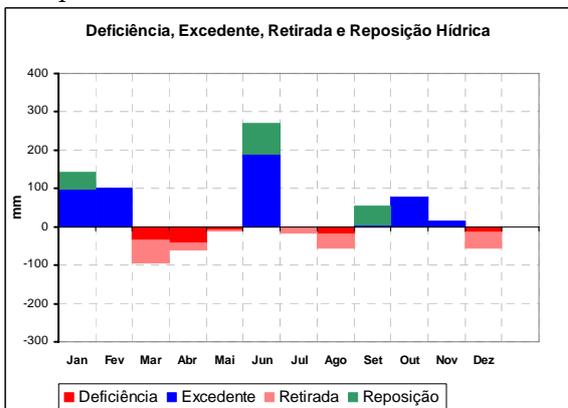


Figura 67 - Balanço hídrico da estação de Campo Mourão – ano de 1997

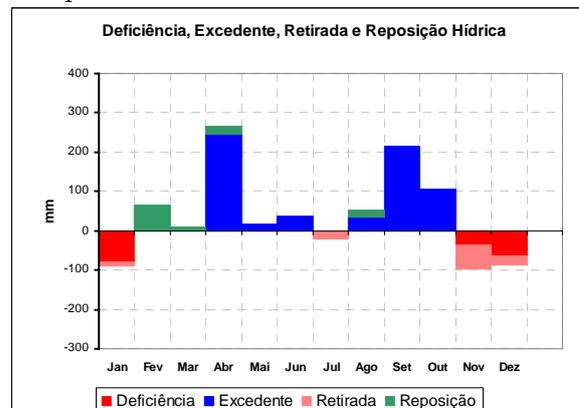


Figura 68 - Balanço hídrico da estação de Campo Mourão – ano de 1998

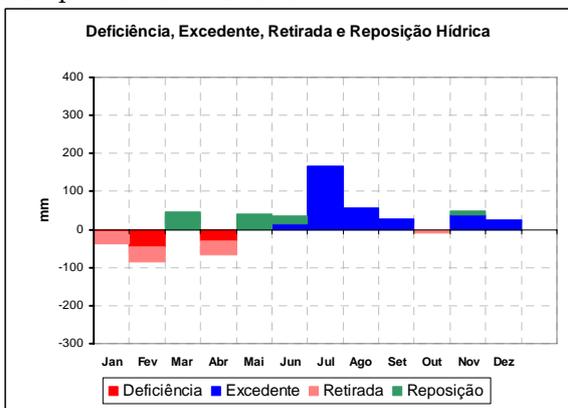


Figura 69 - Balanço hídrico da estação de Prudentópolis – ano de 1978

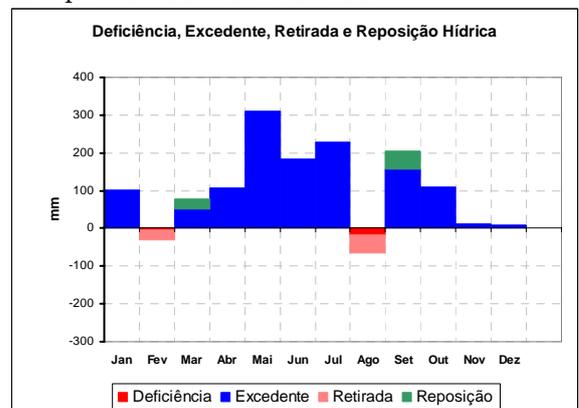


Figura 70 - Balanço hídrico da estação de Prudentópolis – ano de 1983

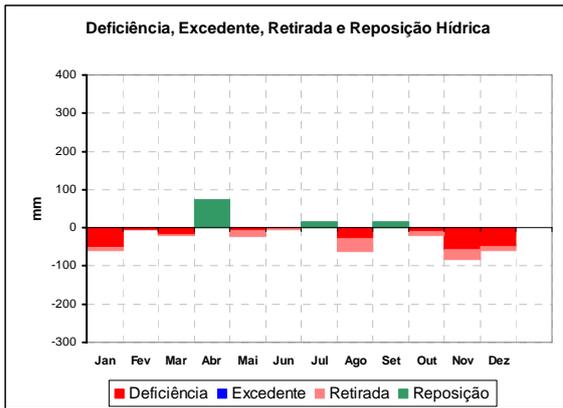


Figura 71 - Balanço hídrico da estação de Prudentópolis – ano de 1985

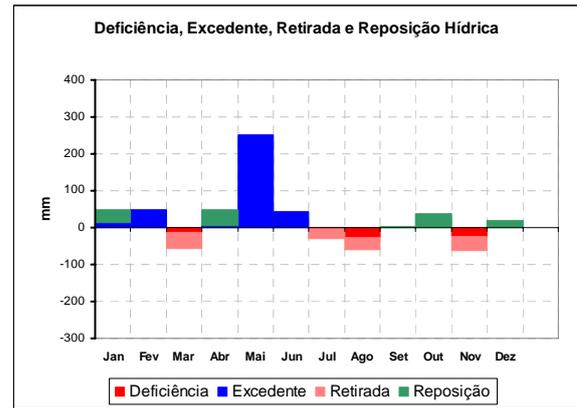


Figura 72 - Balanço hídrico da estação de Prudentópolis – ano de 1988

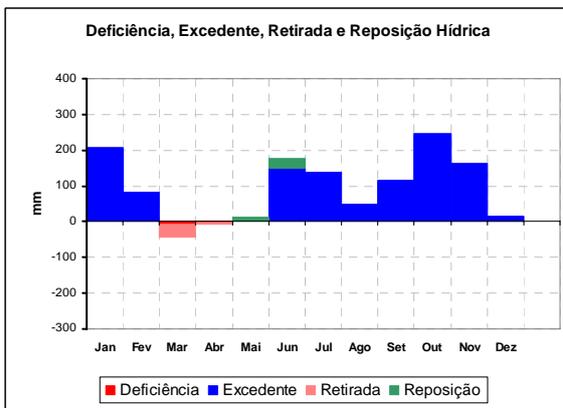


Figura 73 - Balanço hídrico da estação de Prudentópolis – ano de 1997

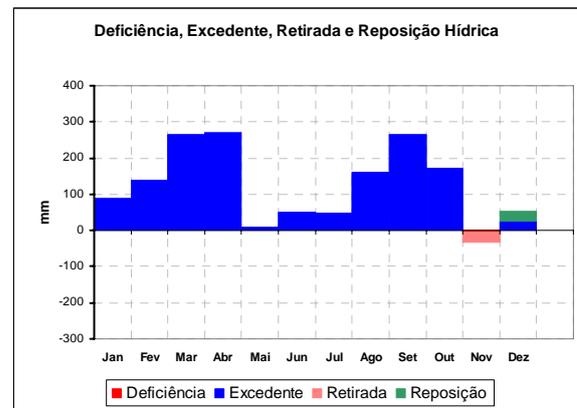


Figura 74 - Balanço hídrico da estação de Prudentópolis – ano de 1998

Analisando os gráficos dos balanços nota-se que todas as estações apresentam um excedente hídrico acentuado nos anos de 1983, 1997 e 1998 (Figuras 46, 49, 50, 52, 55, 56, 58, 61, 62, 64, 67, 68, 70, 73 e 74), períodos em que ocorreram El Niño significativo. Nas Figuras 47, 48, 53, 54, 59, 60, 65, 66, 71 e 72, estão representados os anos de 1985 e 1988 (anos de La Niña), onde ocorreram déficits hídricos em quase todas as estações analisadas.

Quanto ao ano de 1978 (Figuras 37, 51, 57, 63 e 69), apesar de não ser ano de La Niña, as análises efetuadas demonstram ser um ano de anomalia negativa na precipitação, o que é comprovado pelo resultado do balanço hídrico, que apresenta um déficit hídrico significativo.

Ao se analisar a distribuição espacial dos resultados dos balanços, nota-se que as estações localizadas a jusante da bacia (Paranavaí, Cianorte e Umuarama), apresentam um déficit hídrico menor do que as estações localizadas a montante (Campo Mourão e Prudentópolis). Comprovando que existe uma maior concentração pluviométrica a montante. Existe ainda, no caso do balanço hídrico, a possibilidade da permeabilidade do solo ajudar ou prejudicar a infiltração da água.

5.7.1. Correlação dos resultados dos balanços hídricos com a TSM

Depois de realizados os balanços hídricos, foi possível selecionar os valores de déficit e excedente hídrico para cada uma das estações e para os anos considerados mais significativos.

Como todos os resultados até então mostraram que os anos de 1978, 1982, 1983, 1985, 1988, 1997 e 1998 foram os que apresentaram variabilidade mais significativa, estes foram selecionados para efetuar a correlação com a anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Pacífico equatorial.

O objetivo dessa correlação é provar se existe influência da TSM do Pacífico com a variabilidade hídrica apresentada na área de estudo, Tabela XII.

Os dados foram selecionados com defasagem de até 03 meses, buscando-se uma possível correlação defasada entre o resfriamento/aquecimento das águas do Oceano Pacífico e o déficit/excedente hídrico ocorrido na área das estações utilizadas.

Tabela XII - Correlação da Anomalia da TSM do Pacífico com resultado do Balanço Hídrico

Estação de Campo Mourão						
Anos	1978	1983	1985	1988	1997	1998
Normal	-0.19	0.13	-0.60	0.17	-0.24	0.03
Defasado (-1)	-0.18	0.07	0.00	0.32	-0.09	0.08
Defasado (-2)	0.16	0.29	0.30	0.36	0.01	-0.02
Defasado (-3)	0.01	0.40	0.48	0.50	-0.06	0.23
Estação de Cianorte						

Anos	1978	1983	1985	1988	1997	1998
Normal	0.09	0.48	-0.76	-0.11	-0.39	0.26
Defasado (-1)	-0.08	0.32	-0.25	0.32	-0.20	0.41
Defasado (-2)	-0.18	0.33	-0.04	0.41	0.24	0.35
Defasado (-3)	-0.58	0.27	0.35	0.63	0.23	0.54

Estação de Paranavaí						
Anos	1978	1983	1985	1988	1997	1998
Normal	-0.14	0.45	-0.48	0.20	-0.36	-0.08
Defasado (-1)	-0.01	0.20	-0.14	0.44	-0.28	0.02
Defasado (-2)	-0.06	0.17	0.10	0.37	-0.18	0.16
Defasado (-3)	-0.26	0.20	0.49	0.21	-0.17	0.33

Estação de Prudentópolis						
Anos	1978	1983	1985	1988	1997	1998
Normal	-0.10	0.63	-0.39	0.23	0.12	0.11
Defasado (-1)	-0.24	0.43	-0.02	0.17	0.50	0.15
Defasado (-2)	-0.42	0.37	-0.02	0.23	0.57	0.17
Defasado (-3)	-0.43	0.14	0.54	0.24	0.54	0.28

Estação de Umuarama						
Anos	1978	1983	1985	1988	1997	1998
Normal	-0.03	0.30	-0.69	0.02	-0.02	0.04
Defasado (-1)	-0.16	0.13	-0.23	0.40	-0.19	0.22
Defasado (-2)	0.03	0.24	0.05	0.45	0.13	0.32
Defasado (-3)	-0.52	0.43	0.33	0.76	0.08	0.55

Valores em vermelho significam correlação significativa

A análise das estações individuais (balanço hídrico realizado através do método de Thornthwaite & Mather (1955)), demonstram a variabilidade interanual de um local para outro, necessitando, portanto, gerar um índice que explique melhor a variabilidade temporal, suavizando a espacial que não é tão importante nesta análise.

Entretanto, o que se notou foi que existe alguma correlação entre o resultado do balanço hídrico e a TSM, variando de ano para ano e de local para local.

5.8. Correlação linear da precipitação pluviométrica

5.8.1. Correlação da TSM com a precipitação

Através do cálculo do Índice de Krauss (1977) e do Índice Padronizado da Anomalia, obteve-se os valores da variabilidade temporal para a precipitação

pluviométrica da bacia do Ivaí, referente a todo o período estudado (1974 a 2001). Em seguida foram feitas correlações destes índices com a anomalia da TSM do Pacífico, Tabela XIII.

Tabela XIII - Correlação da precipitação pluviométrica com a TSM do Pacífico

Ano de 1978		
	Índice de Kraus	Índice de Anomalia
Normal	-0.13	-0.06
Def. 01 Mês	-0.13	-0.08
Def. 02 Meses	-0.12	-0.13
Def. 03 Meses	-0.22	-0.19
Período de 07/82 a 12/83		
	Índice de Kraus	Índice de Anomalia
Normal	0.34	0.35
Def. 01 Mês	0.19	0.20
Def. 02 Meses	0.16	0.13
Def. 03 Meses	0.10	0.06
Ano de 1985		
	Índice de Kraus	Índice de Anomalia
Normal	-0.34	-0.21
Def. 01 Mês	0.38	0.51
Def. 02 Meses	0.38	0.43
Def. 03 Meses	0.47	0.55
Período de 04/88 a 12/88		
	Índice de Kraus	Índice de Anomalia
Normal	0.45	0.60
Def. 01 Mês	0.72	0.76
Def. 02 Meses	0.30	0.29
Def. 03 Meses	0.09	-0.01
Período de 03/97 a 10/98		
	Índice de Kraus	Índice de Anomalia
Normal	0.02	0.00
Def. 01 Mês	0.05	0.03
Def. 02 Meses	0.11	0.05
Def. 03 Meses	0.31	0.26

Valores em vermelho indicam correlação significativa de acordo com os critérios do “software Statistica”

Os períodos escolhidos para a realização da correlação apresentada na Tabela XIII, são os apresentados na Tabela VI, com exceção do ano de 1978, que

foi escolhido por apresentar anomalia significativa, mas sem nenhuma explicação conhecida.

Os resultados obtidos através da correlação linear indicaram pouca influência da anomalia da TSM do Pacífico com a precipitação pluviométrica da área de estudo. Contudo, isto demonstra apenas que os índices gerados não possuem significativa correlação, ou seja, não foi possível encontrar explicação para a correlação através destes índices.

5.8.2. Correlação do IOS com a precipitação

A correlação linear da precipitação pluviométrica total mensal com o Índice de Oscilação SUL (IOS) foi efetuada, escolhendo-se anos de maior variabilidade dentro do período estudado, da mesma forma que foi realizada no item 5.8.1., Tabela XIV.

Tabela XIV - Correlação da Precipitação Total com o IOS

Ano de 1978			
Normal	Def. 01 Mês	Def. 02 Meses	Def. 03 Meses
0.28	0.17	0.65	0.04
Período de 07/82 a 12/83			
Normal	Def. 01 Mês	Def. 02 Meses	Def. 03 Meses
0.10	-0.05	-0.50	-0.56
Ano de 1985			
Normal	Def. 01 Mês	Def. 02 Meses	Def. 03 Meses
0.46	0.23	0.10	-0.24
Período de 04/88 a 12/88			
Normal	Def. 01 Mês	Def. 02 Meses	Def. 03 Meses
0.39	0.04	0.55	0.51
Período de 03/97 a 10/98			
Normal	Def. 01 Mês	Def. 02 Meses	Def. 03 Meses
-0.16	-0.21	0.06	0.16

Valores em vermelho indicam correlação significativa de acordo com os critérios do “software Statística”
Def. - Defasagem

Os resultados obtidos através da correlação linear mostram que o IOS possui uma significativa influência no comportamento pluviométrico da região da bacia do Ivaí, principalmente no ano de 1978 e no período de 07/82 a 12/83.

Contudo, a correlação apresenta uma variabilidade significativa de ano para ano e de evento para evento, indicando que a influência do IOS não é o único fator a explicar o comportamento da precipitação pluviométrica da região.

5.9. Análise da evolução da vazão do rio Ivaí

Os dados de vazão foram analisados através de gráficos de evolução interanual durante o período de estudo (1974 a 2001), Figuras 75 a 79.

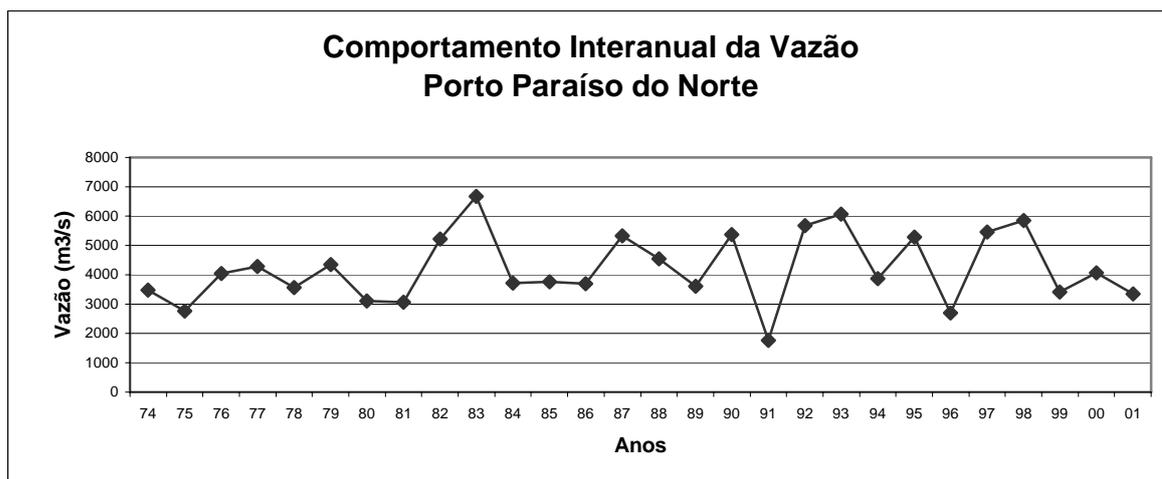


Figura 75 – Evolução interanual da vazão da estação Porto Paraíso do Norte – 1974 a 2001



Figura 76 – Evolução interanual da vazão da estação Raposo Tavares – 1974 a 2001

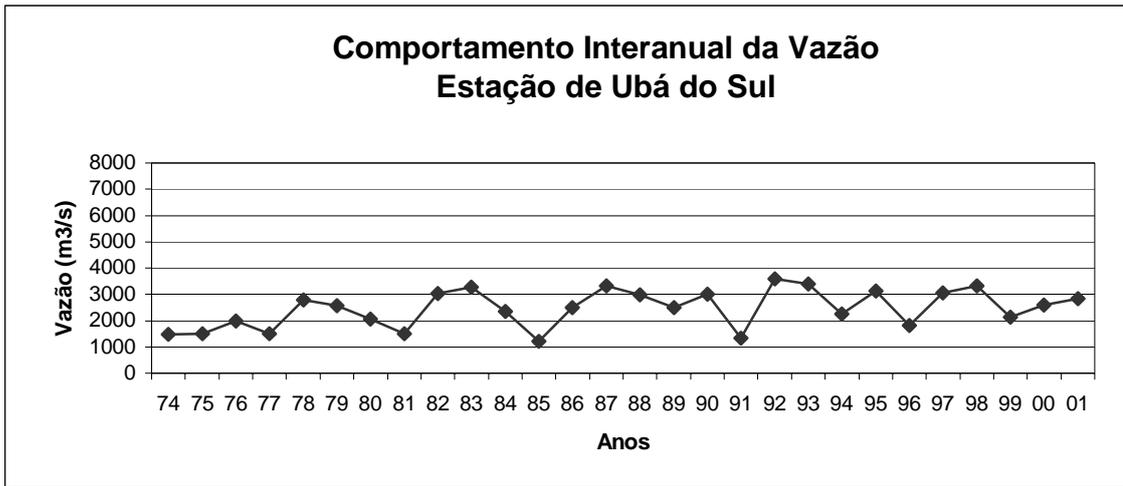


Figura 77 – Evolução interanual da vazão da estação Ubá do Sul – 1974 a 2001

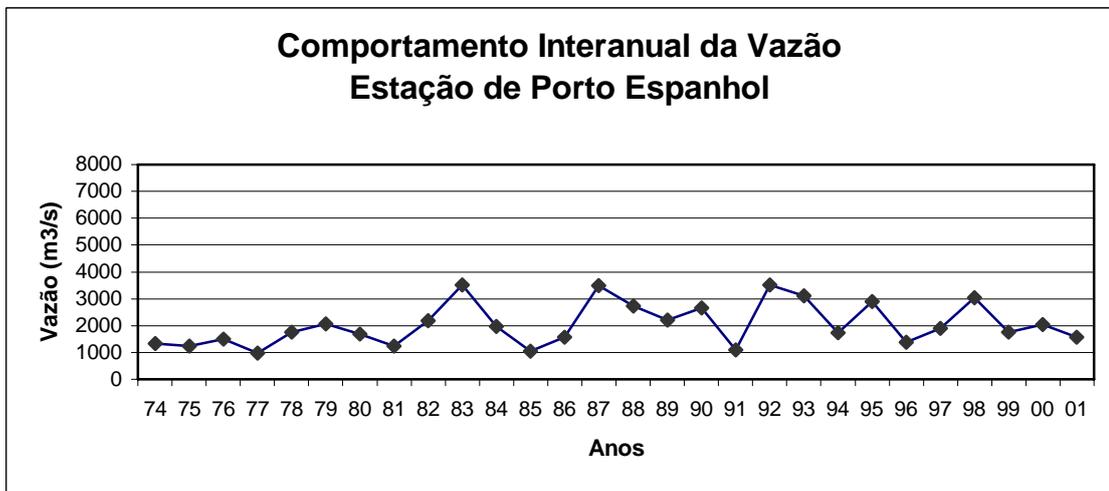


Figura 78 – Evolução interanual da vazão da estação Porto Espanhol – 1974 a 2001



Figura 79 – Evolução interanual da vazão da estação Tereza Cristina – 1974 a 2001

Os gráficos da evolução interanual dos dados fluviométricos apresentam uma evolução temporal muito parecida, ou seja, os máximos de vazão sempre ocorrem nos mesmos períodos, principalmente nos anos de 82/83 e 97/98. Da mesma forma os mínimos ocorrem nos mesmos períodos, principalmente nos anos de 1978, 1985, 1988 e 1991. Os períodos/anos de máximo são anos de El Niño, enquanto que os de mínimo são períodos de La Niña, com exceção do ano de 1978.

As Figuras 75 a 79 mostram também a distribuição espacial notando-se que a estação mais a montante da bacia (estação Tereza Cristina) é a que apresenta menor vazão, enquanto a estação Paraíso do Norte (localizada a jusante da bacia) apresenta a maior vazão. Já as outras três estações, localizadas no médio curso do rio Ivaí, apresentam valores de vazão intermediários. Mostrando-se que a vazão tende a aumentar no sentido montante para jusante, como ocorre em quase todas as redes de drenagem do mundo.

5.9.1. Correlação da anomalia da TSM com o índice de anomalia da fluviometria

Através dos dados de fluviometria mensal foi calculado o índice padronizado de anomalia, seguindo o mesmo procedimento utilizado para calcular o índice padronizado para a pluviometria.

Dessa forma foi possível efetuar a correlação da anomalia da TSM do Pacífico com índice padronizado de anomalia obtido, Tabela XV.

Tabela XV - Correlação da anomalia da TSM do Pacífico com a vazão rio Ivaí

Estação de Tereza Cristina

	Ano de 1978	jul/82 a dez/83	Ano de 1985	abr/88 a dez/88	mar/97 a out/98
Normal	-0.11	0.65	-0.18	0.28	-0.03
Def (-1)	-0.27	0.58	0.34	0.60	0.01
Def (-2)	-0.37	0.40	0.19	0.68	0.20
Def (-3)	-0.39	0.18	0.42	0.40	0.44

Estação de Porto Espanhol

	Ano de 1978	jul/82 a dez/83	Ano de 1985	abr/88 a dez/88	mar/97 a out/98
Normal	-0.25	0.64	-0.30	0.16	-0.05
Def (-1)	-0.31	0.55	0.21	0.62	0.00
Def (-2)	-0.36	0.36	0.22	0.72	0.17
Def (-3)	-0.34	0.19	0.48	0.50	0.42

Estação de Ubá do Sul

	Ano de 1978	jul/82 a dez/83	Ano de 1985	abr/88 a dez/88	mar/97 a out/98
Normal	-0.21	0.58	-0.35	0.12	-0.07
Def (-1)	-0.34	0.41	0.15	0.63	-0.01
Def (-2)	-0.36	0.26	0.31	0.72	0.16
Def (-3)	-0.37	0.21	0.54	0.44	0.41

Estação de Ribeirão Raposo Tavares

	Ano de 1978	jul/82 a dez/83	Ano de 1985	abr/88 a dez/88	mar/97 a out/98
Normal	-0.05	0.43	-0.37	0.19	-0.03
Def (-1)	-0.21	0.33	0.15	0.66	-0.02
Def (-2)	-0.21	0.24	0.45	0.69	0.08
Def (-3)	-0.28	0.19	0.44	0.32	0.30

Porto Paraíso do Norte

	Ano de 1978	jul/82 a dez/83	Ano de 1985	abr/88 a dez/88	mar/97 a out/98
Normal	-0.17	0.59	-0.57	0.05	-0.08
Def (-1)	-0.34	0.50	-0.01	0.59	-0.06
Def (-2)	-0.32	0.35	0.30	0.73	0.08
Def (-3)	-0.34	0.25	0.45	0.49	0.31

**Valores em vermelho indicam correlação significativa de acordo com os critérios do “software Statistica”
Def. – Defasagem.**

A fluviometria responde de maneira mais clara a variabilidade de evento para evento, ainda que apresente significativa variabilidade interanual. Nota-se que todas as estações fluviométricas analisadas apresentam correlação significativa com a anomalia TSM, variando de período para período.

5.10. Análise dos dias chuva para os anos com variabilidade significativa

As Figuras 80, 81, 82, 83, 84 e 85 apresentam a quantidade de dias de chuva anual. Buscando uma possível explicação para a variabilidade nos dias de chuva anual, foram traçadas isolinhas para a média do número de dias de chuva no período de 1974 a 2001, bem como para os anos de 1982, 1983, 1997 e 1998 (El Niño) e 1985 (La Niña).

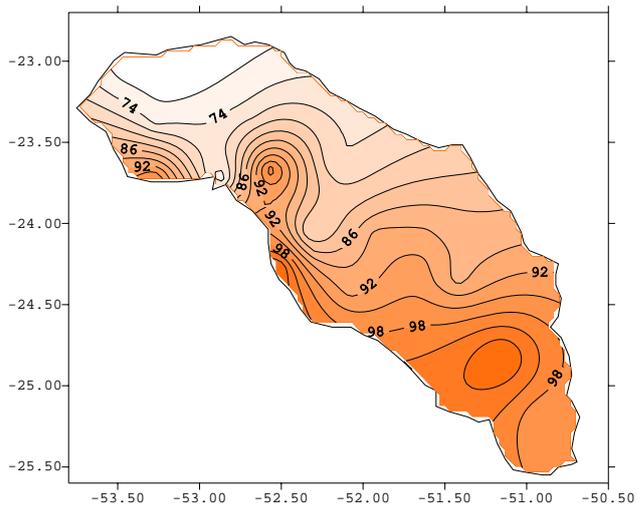


Figura 80 – Isolinhas do total anual do número dias de chuva– 1974 a 2001

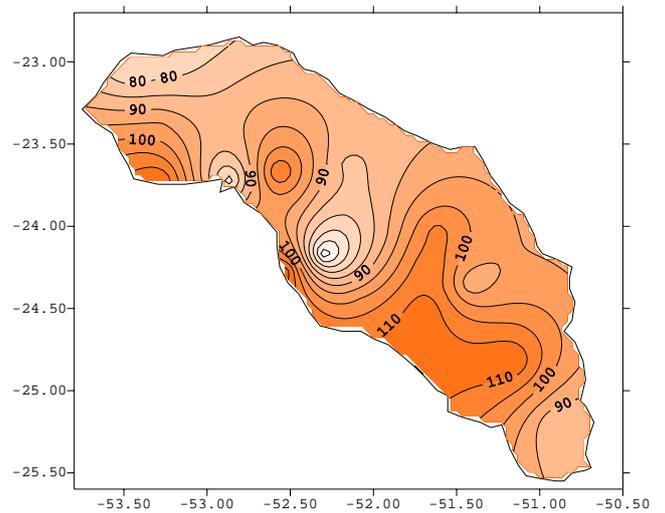


Figura 81 – Isolinhas do número de dias de chuva para o ano de 1982 (El Niño)

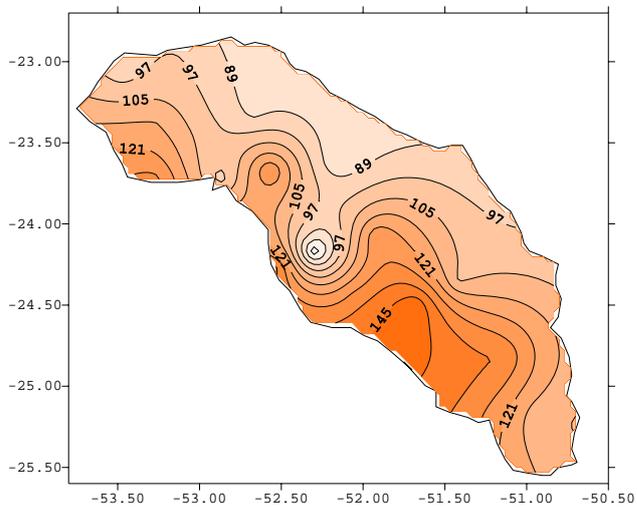


Figura 82 – Isolinhas do número de dias de chuva para o ano de 1983 (El Niño)

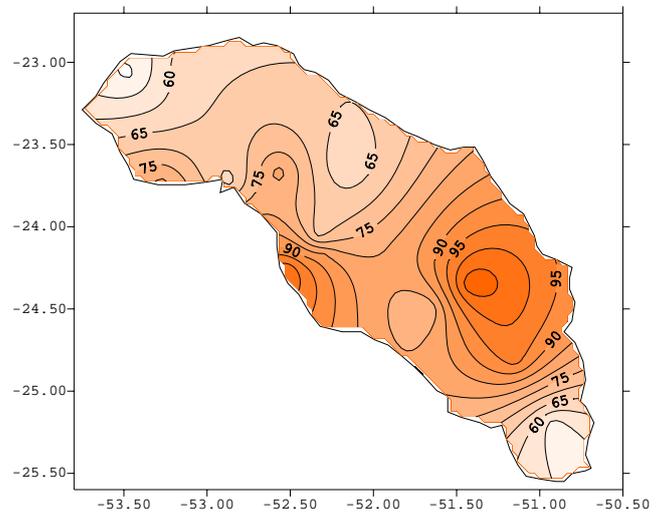


Figura 83 – Isolinhas do número de dias de chuva para o ano de 1985 (La Niña)

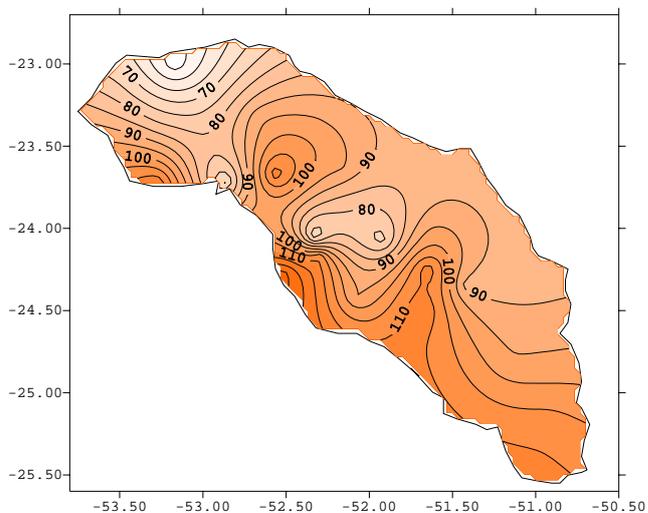


Figura 84 – Isolinhas do número de dias de chuva para o ano de 1997 (El Niño)

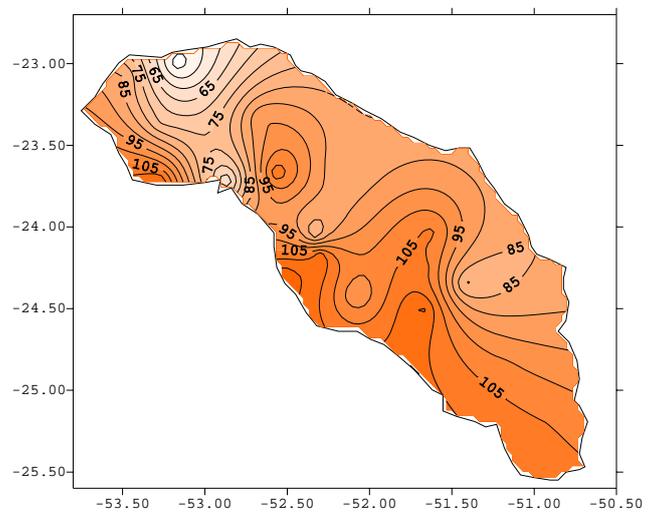


Figura 85 – Isolinhas do número de dias de chuva para o ano de 1998 (El Niño)

Ao se analisar as Figuras 80 a 85 que apresentaram as isolinhas do número de dias de chuva para todo período (1974 a 2001) e para alguns anos específicos (1982, 1983, 1985, 1997 e 1998), nota-se que na média do período (Figura 80) tem-se em torno de 100 dias de chuva por ano, enquanto nos anos de 1982, 1983, 1997 e 1998 (Figuras 81, 82, 84 e 85), chega-se até 135 dias de chuva, ou seja, houve mais dias de chuva do que o normal. Já no ano de 1985 (Figura 83), a quantidade de dias de chuva está um pouco abaixo do normal, não chegando a 100 dias de chuva no ano.

5.11. Análise dos dias de chuva para os períodos chuvoso e seco

A partir da definição dos períodos chuvoso e seco (análise da Figura 16) e com base nos cálculos da frequência de dias de chuva para toda a região da bacia estudada, foi possível elaborar as Figuras 86, 87, 88, 89, 90 e 91 que representam a quantidade de dias de chuva para cada mês dos períodos chuvoso e seco.

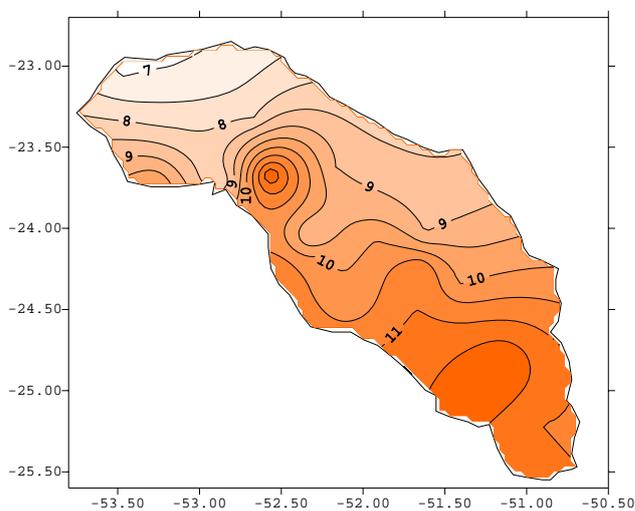


Figura 86 – Isolinhas da frequência de dias de chuva para o mês de dezembro – 1974 a 2001 (mês chuvoso)

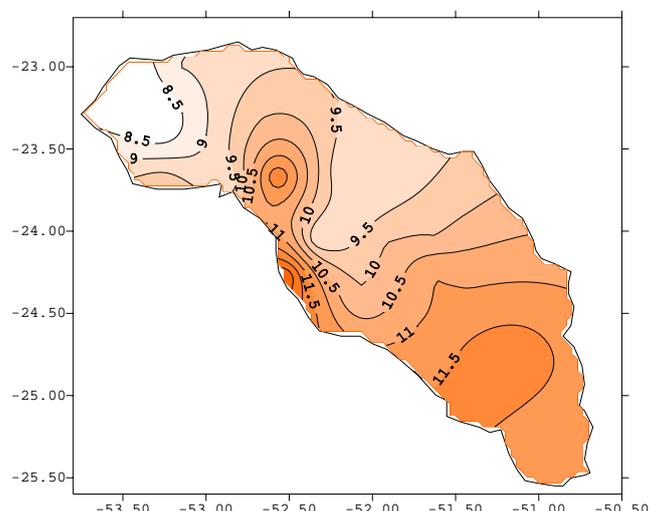


Figura 87 – Isolinhas da frequência de dias de chuva para o mês de janeiro – 1974 a 2001 (mês chuvoso)

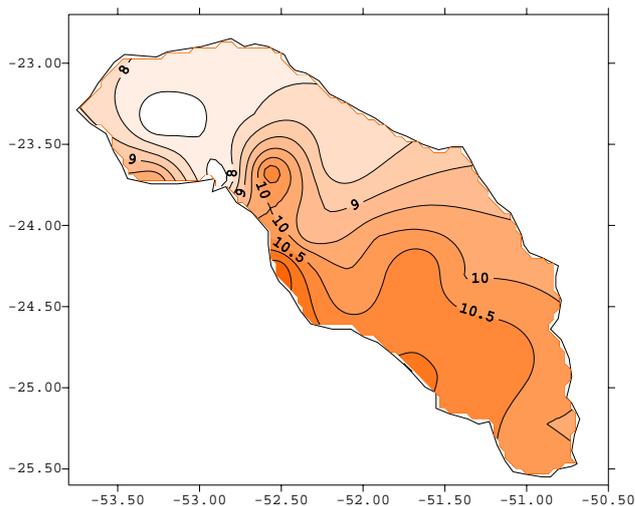


Figura 88 – Isolinhas freqüência de dias de chuva para o mês de fevereiro – 1974 a 2001 (mês chuvoso)

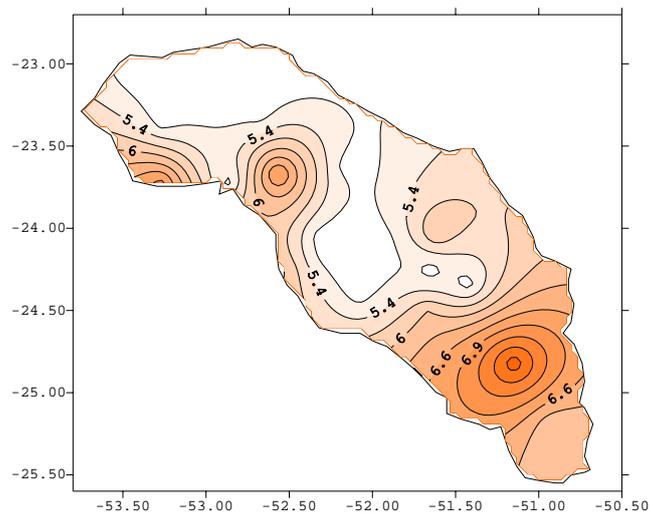


Figura 89 – Isolinhas da freqüência de dias de chuva para o mês de junho – 1974 a 2001 (mês seco)

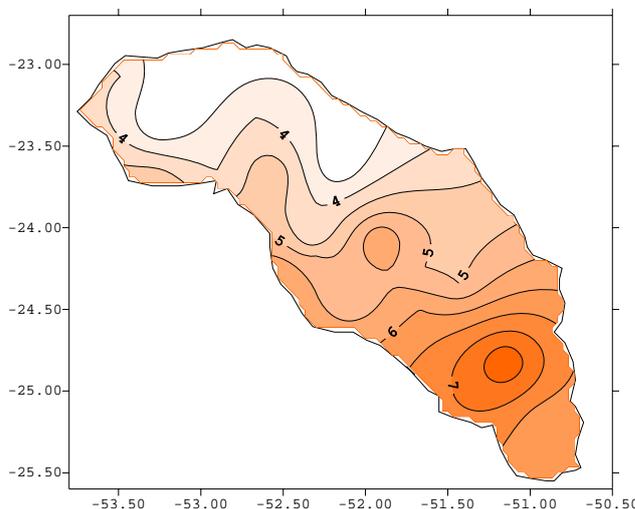


Figura 90 – Isolinhas da freqüência de dias de chuva para o mês de julho – 1974 a 2001 (mês seco)

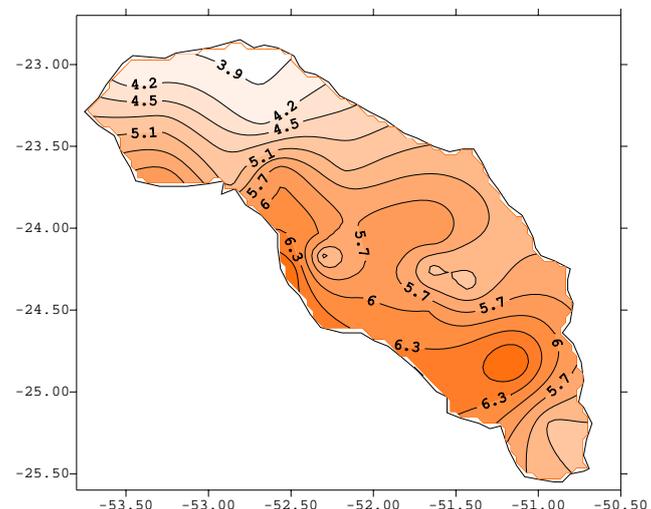


Figura 91 – Isolinhas da freqüência de dias de chuva para o mês de agosto – 1974 a 2001 (mês seco)

Ao se analisar as Figuras 86, 87 e 88, que representam o período chuvoso, constata-se a média de 6 a 12 dias de chuva por mês, distribuídas na bacia. Observa-se um aumento da freqüência de dias de chuva na região centro-sul da bacia, ou seja, confirma-se aqui o que foi notado nas isolinhas de mediana, média, desvio e amplitude. Aqueles parâmetros estatísticos utilizados apontaram para uma distribuição espacial parecida, com a concentração de valores pluviométricos mais elevados na região centro-sul da área estudada.

Nessa região onde a precipitação é mais significativa, estão localizados os Municípios de Campo Mourão (estações 15 e 16), Iretama (estação 17) e Mamborê (estação 18). Inclusive, essa significância foi possível notar em todas as figuras apresentadas, ou seja, todas as investigações realizadas delimitaram essa região como diferenciada. A variabilidade espacial encontrada concentra-se geralmente nessa região da bacia hidrográfica.

Já nas Figuras 89, 90 e 91, foi representado o período seco, o qual apresenta uma variabilidade de dias de chuva que vai de 3 a 8 dias, considerando também sua distribuição espacial. Novamente se confirma a tendência de aumento em direção à região centro-sul da bacia.

Através da representação acima, ficou clara a definição de período chuvoso e seco, pois no período chuvoso chove no mínimo seis dias por mês, enquanto no período seco o máximo de dias de chuva não chega a oito dias.

5.12. Análise dos períodos chuvoso e seco através da correlação da distância entre as estações pluviométricas

A correlação linear feita entre a distância das estações de dados e os resultados da correlação pluviométrica, mostram que o período seco apresenta uma menor dispersão da precipitação em relação à distribuição espacial do que o período chuvoso (Figuras 92 e 93).

As Figuras 92 e 93 mostram também que o período seco tem uma correlação altamente significativa com a distribuição espacial das estações, enquanto no período chuvoso esta correlação é menos significativa.

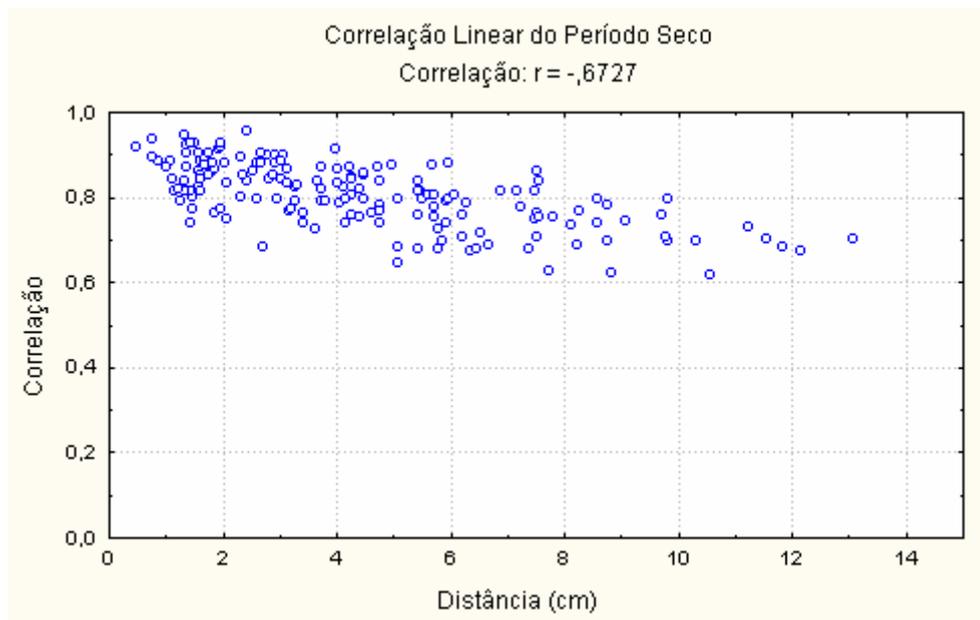


Figura 92 – Correlação linear da precipitação pluviométrica com a distância entre as estações (período seco)

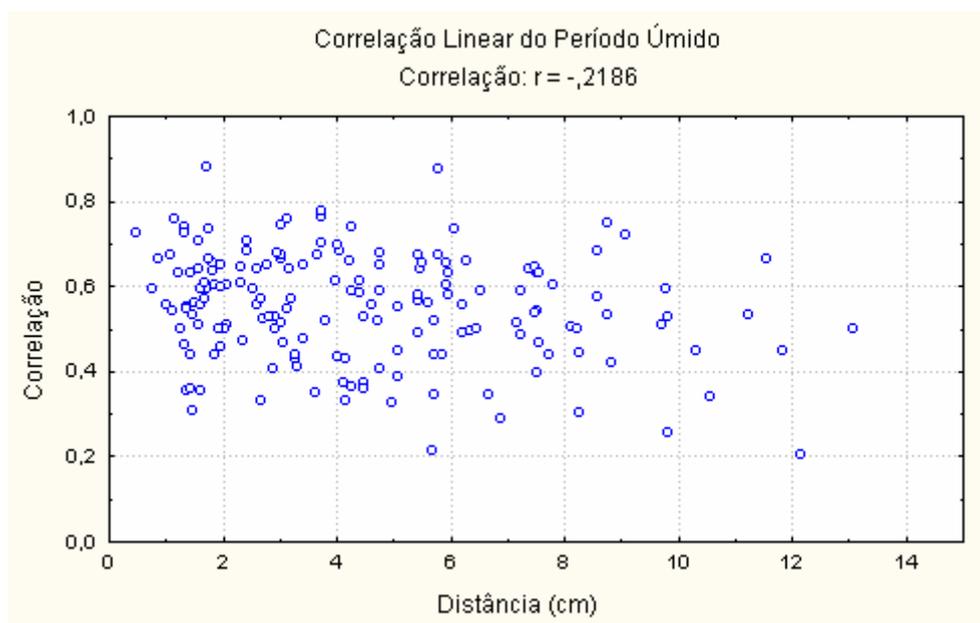


Figura 93 – Correlação linear da precipitação pluviométrica com as distâncias entre as estações (período úmido)

O período seco apresenta uma correlação significativa e com pouca variabilidade por se tratar de chuvas mais homogêneas, que tem sua gênese nos sistemas frontais. Já no período úmido (período de primavera/verão) as chuvas são convectivas, originadas a partir de complexos convectivos de mesoescala.

Os dois padrões das Figuras 92 e 93 mostram que a precipitação pluviométrica na bacia é explicada, principalmente, por processos convectivos no

verão (período chuvoso) e por entradas de sistemas frontais que provocam chuvas mais homogêneas sobre a bacia (período seco).

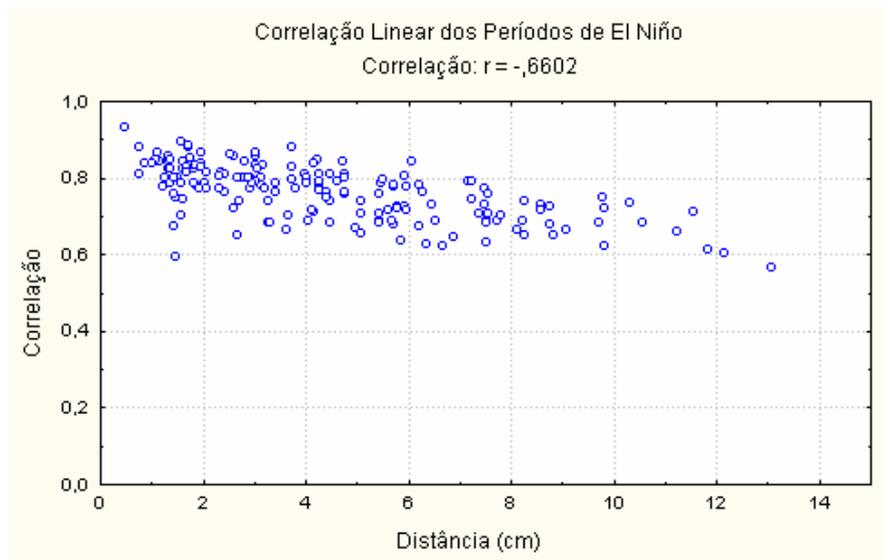


Figura 94 – Correlação linear da precipitação pluviométrica com as distâncias entre as estações (todos os períodos de El Niño, segundo a Tabela VI) para os anos estudados – 1974 a 2001.

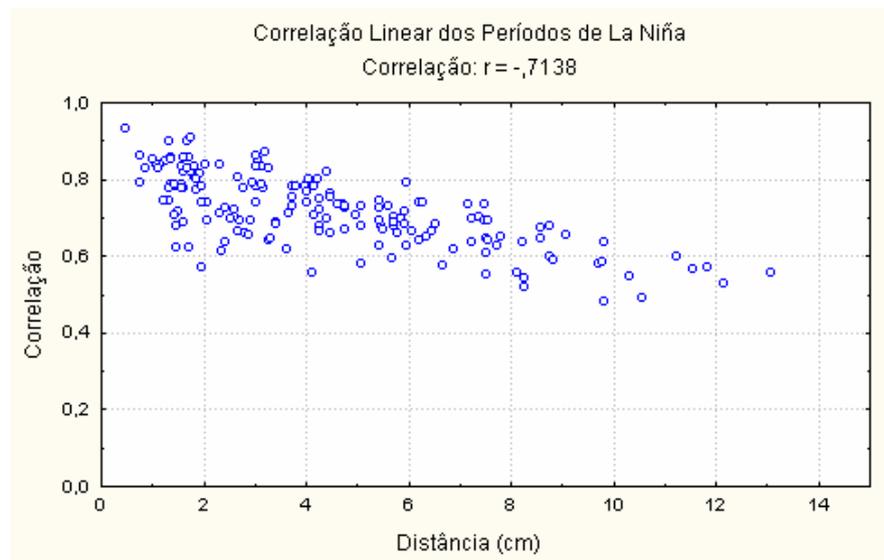


Figura 95 – Correlação linear da precipitação pluviométrica com as distâncias entre as estações (todos os períodos de La Niña, segundo a Tabela VI) para os anos estudados – 1974 a 2001.

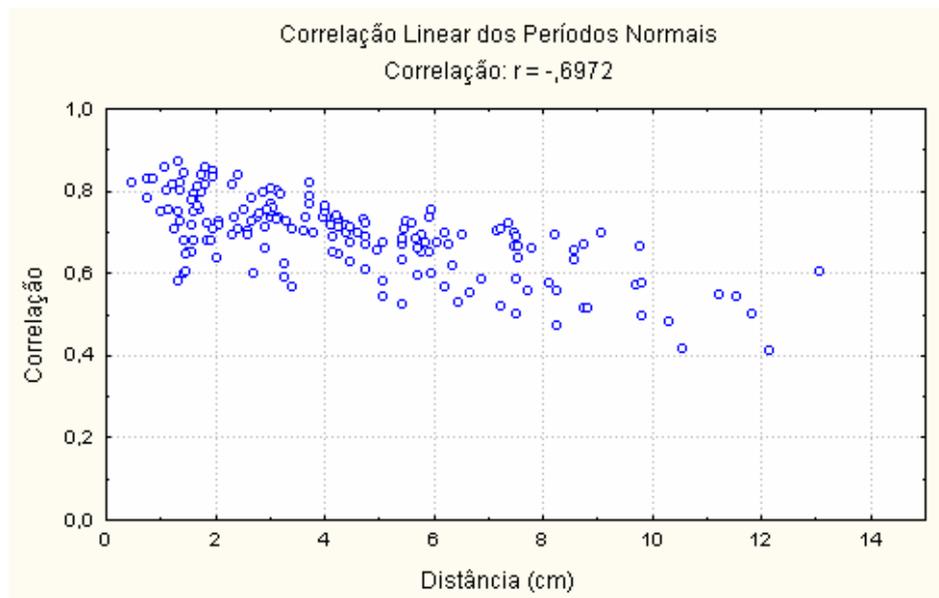


Figura 96 – Correlação linear da precipitação pluviométrica com as distâncias entre as estações (períodos considerados normais) para os anos estudados – 1974 a 2001.

As figuras 94, 95 e 96, apresentam o ajuste linear nos gráficos de correlação da precipitação (variável dependente) em relação a distância entre as estações, para os períodos de El Niño (Figura 94), La Niña (Figura 95) e normais (Figura 96), dentro do período estudado (1974 a 2001). Observou-se que o coeficiente de correlação para esse ajuste foi significativo, embora negativamente, para os períodos de El Niño ($r=-0,66$), para os períodos de La Niña ($r=-0,71$) e para os períodos normais ($r=-0,69$).

Seguindo o mesmo procedimento foram elaborados gráficos para os períodos de El Niño (jul/82 a dez/83 e mar/97 a out/98) e La Niña (jan/85 a dez/85 e abr/88 a dez/88) mais significativos, dentro do período e da área de estudo, Figuras 97 a 100.

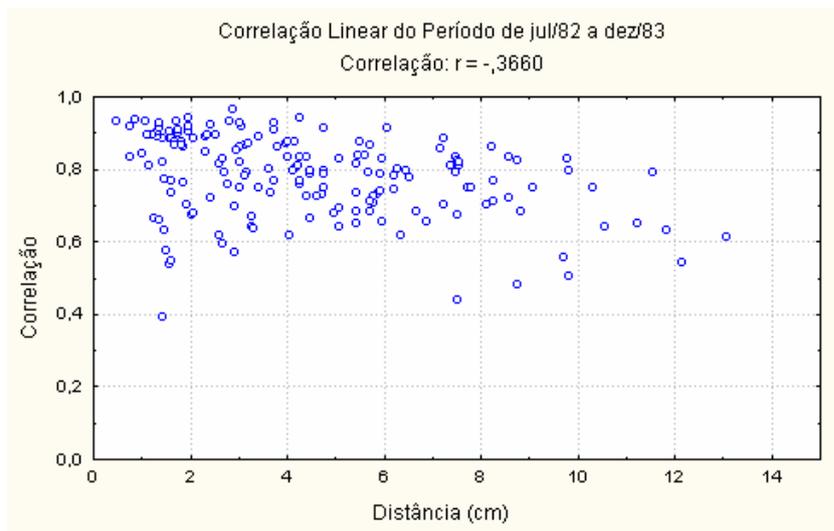


Figura 97 – Correlação linear da precipitação pluviométrica com as distâncias entre as estações - período de jul/82 a dez/83 (El Niño).

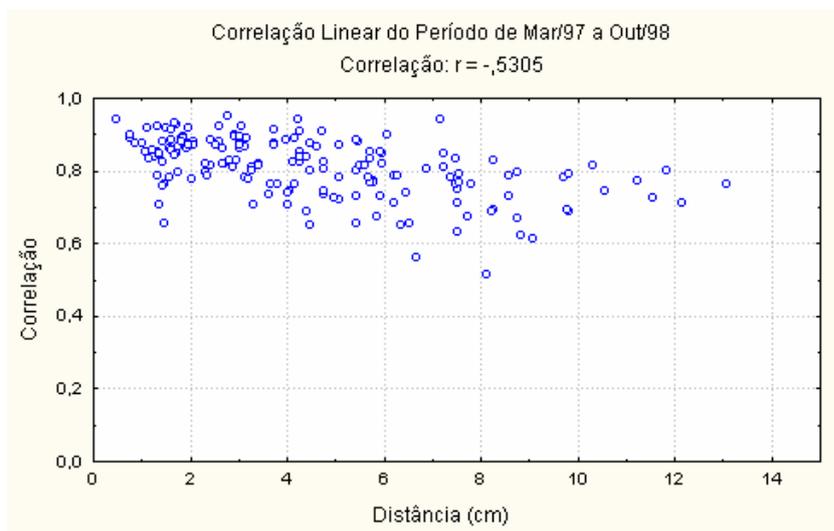


Figura 98 – Correlação linear da precipitação pluviométrica com as distâncias entre as estações - período de mar/97 a out/98 (El Niño).

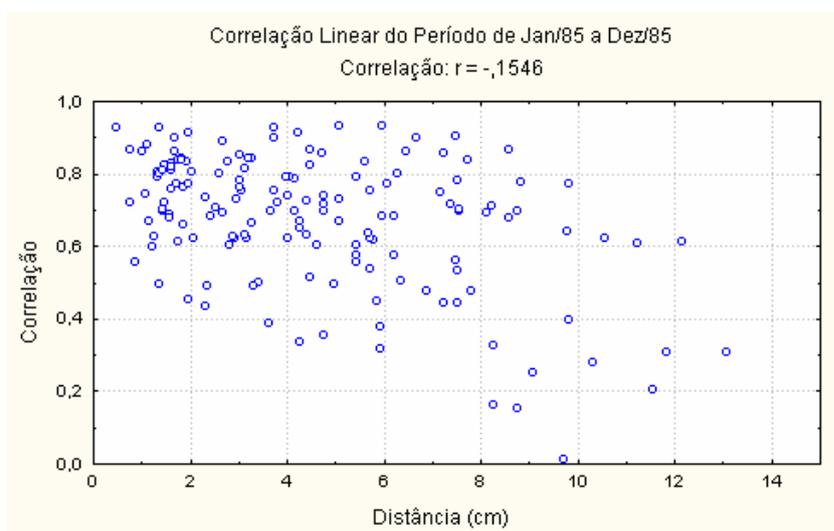


Figura 99 – Correlação linear da precipitação pluviométrica com as distâncias entre as estações - período de jan/85 a dez/85 (La Niña).

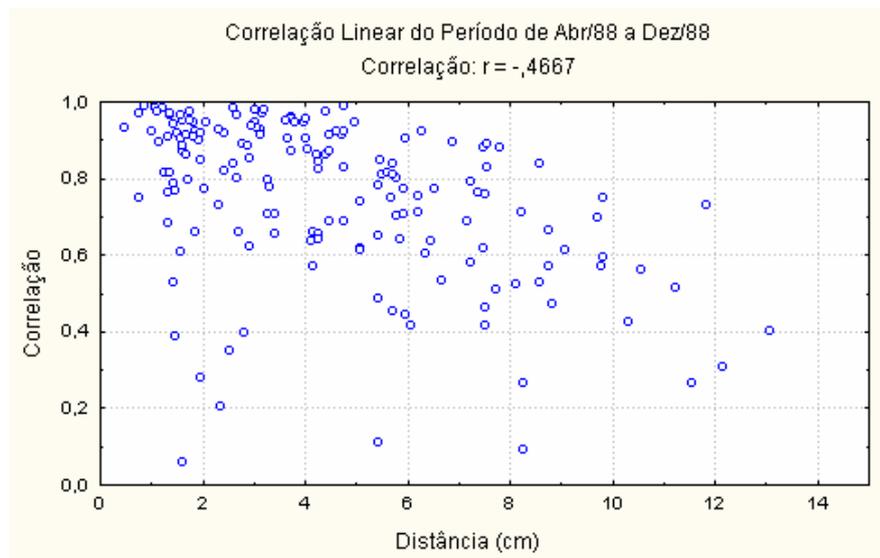


Figura 100 – Correlação linear da precipitação pluviométrica com as distâncias entre as estações – período de abr/88 a dez/88 (La Niña).

Ao se analisar as Figura 97 e 98, nota-se que o comportamento da correlação linear nos períodos de El Niño são similares ao período úmido (Figura 93), comprovando que os períodos que ocorrem o evento El Niño, a precipitação é mais intensa e homogênea em toda a área estudada.

Já nos períodos de La Niña (Figuras 99 e 100), nota-se o inverso, ou seja, as características são praticamente as mesmas do período seco (Figura 92), ressaltando que chove menos nesses períodos, além da distribuição espacial ser mais heterogênea, com chuvas mais localizadas.

Enfim, da mesma forma que os resultados apresentados nas figuras 94, 95 e 96, a correlação sempre é negativa. Entretanto, nas Figuras 97 a 100, esta correlação nem sempre é significativa, apesar de mostrar com maior clareza a diferenciação entre períodos de El Niño (chuvosos) e períodos de La Niña (secos).

CONCLUSÕES

A bacia hidrográfica do Rio Ivaí apresenta uma definição de períodos chuvoso e seco, apesar de não ser tão marcada. Os meses mais chuvosos geralmente se

concentram no trimestre dezembro/janeiro/fevereiro, enquanto os meses mais secos são junho/julho/agosto.

Quanto à distribuição interanual, sua precipitação pluviométrica é homogênea, pois a grande maioria dos anos estudados se encontram dentro do desvio-padrão encontrado. Ocorre uma significativa variabilidade somente em anos considerados anômalos, explicados principalmente pela ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña. O que fica bem marcado é a ocorrência de máximos de precipitação nos anos de 1982, 1983, 1992 e 1998 e de mínimos nos anos de 1978, 1985 e 1988.

As ocorrências dos fenômenos El Niño e La Niña podem explicar essa variabilidade pluviométrica, pois os anos de máximos e mínimos, na sua maioria, são considerados anos da ocorrência de tais fenômenos, com significativa influência em toda a dinâmica da região sul do Brasil.

As isolinhas de mediana, média, desvio padrão e amplitude mostram a distribuição espacial da precipitação pluviométrica na região estudada de forma bem clara. Nota-se que todos os parâmetros estatísticos utilizados, confirmam que a pluviometria aumenta na direção jusante para montante, com uma concentração da precipitação pluviométrica na região centro-sul da bacia, mais precisamente próximo aos municípios de Campo Mourão (estações 15 e 16), Iretama (estação 17) e Mamborê (estação 18). O que demonstra uma influência orográfica, pois as cotas altimétricas dos postos pluviométricos são superiores.

Analisando a frequência de dias de chuva para explicar a variabilidade pluviométrica aqui estudada, confirma-se a tendência de maior concentração na frequência de chuva na região centro-sul da bacia.

Quanto aos meses mais chuvosos e mais secos, nota-se que o trimestre dezembro/janeiro/fevereiro, apresenta maior número de dias de chuva do que o

trimestre junho/julho/agosto, o que confirma a delimitação dos períodos chuvoso e seco.

A frequência do total de dias de chuva também foi utilizado na explicação para o comportamento interanual da precipitação, e o resultado foi positivo, ou seja, a conclusão feita através dos parâmetros estatísticos descritos foi a mesma para os dias de chuva. Chove mais do que a média normal da região nos anos considerados anômalos (1982, 1983, 1985, 1988, 1997 e 1998).

A análise dos dados de vazão do rio Ivaí demonstraram maiores vazões a jusante da bacia, enquanto na região a montante estes valores são marcadamente inferiores, como ocorre em praticamente todos os rios do mundo. Através da correlação linear dos dados de vazão com a anomalia da TSM, foram obtidos resultados com índices significativos, demonstrando a existência de influência da TSM com a variabilidade da vazão na bacia.

Os balanços hídricos calculados para a área de estudo demonstram excedentes hídricos na região a montante da bacia, enquanto a região a jusante geralmente apresenta déficit hídrico. Estas observações são mais evidentes ainda, quando analisados os anos considerados de anomalia significativa. Comprovando a variabilidade têmporo/espacial da pluviometria na bacia.

Finalmente, ao se correlacionar o resultado da correlação da precipitação de cada uma das estações e a distância medida entre elas, nota-se resultados significativos, que explicam a variabilidade temporal e espacial da pluviometria para períodos específicos. Ficando claro, que a região a jusante sofre influência do Trópico de Capricórnio e da Massa Tropical Continental, enquanto a montante, a orografia associada com a continentalidade determina um significativo aumento da precipitação.

BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, A. R. e NERY, J. T. (2002), Análise Preliminar da Precipitação Pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí. Anais do XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, p. 1120-1125. Foz do Iguaçu, PR.

AYOADE, J. O. (1996), *Introdução à Climatologia para os Trópicos*, 4ª Edição, Rio de Janeiro, Bertrand do Brasil, 332pp.

BALDO, M.C., ANDRADE, A.R., MARTINS, M. L. O. F., NERY J. T. (2000), *Análise da precipitação pluvial do Estado de Santa Catarina Associada com a Anomalia da Temperatura da Superfície do Oceano Pacífico*. Revista Brasileira de Agrometeorologia. v. 8, nº 2, p. 283-293, Santa Maria-RS.

BJERKNES, J. (1969). *Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific*. Monthly Weather Review, 97, 163-172.

CAMARGO, J.B. (2001), *Geografia Física, Humana e Econômica do Paraná*. 4ª Edição, Ideal Indústria Gráfica, Maringá, 182pp.

CONTI, J.B. (2000). Considerações sobre Mudanças Climáticas Globais. **In:** SANT'ANNA NETO, J.L. e ZAVATINI, J. A. (Organizadores). *Variabilidade e Mudanças Climáticas: Implicações ambientais e socioeconômicas*. EDUEM, Maringá, p. 17-28.

CONTI, J.B. e FURLAN, S.A. (1995). Geoeecologia: O Clima, os Solos e a Biota. **IN:** ROSS, J. L. S. (organizador). *Geografia do Brasil*. Editora da Universidade de São Paulo – EDUSP, p. 67-198.

CPTEC/INPE (1998). Relatório elaborado pelo CPTec-INPE em 15 de janeiro de 1998 - Sumário Executivo. www.cptec.inpe.br.

CPTEC/INPE, 1997. El Niño se estabelece durante maio. Infoclima - Boletim de Informações climáticas- www.cptec.inpe.br. Ano 3 número especial.

CPTEC/INPE. 1998. O El Niño: consequências do fenômeno sobre o território brasileiro e perspectivas para 1998. <http://www.cptec.inpe.br>.

EVERITT, B.S., GRAHAM, D. 1991. *Applied Multivariate Data Analysis*. Edward Arnold. USA, British Library Cataloguing in Publication Data. ISBN.

FERREIRA, J.H.D. (2000). Relação de parâmetros meteorológicos do Estado do Paraná associados com índice da Oscilação Sul. Dissertação de Mestrado em Geografia. Departamento de Geografia da UEM. Maringá, 67pp.

GRIMM, A. M., GUETTER, A. K., CARAMORI, P.H. 1997. El Niño no Paraná: O que pode esperar em cada região. Uma análise científica. SIMEPAR-Informativo, n.1.

HIRATA, R. (2000). Recursos Hídricos. *In*: TEIXEIRA, W., TOLEDO, M.C.M., FAIRCHILD, T.R., TAIOLI, F. (Organizadores). *Decifrando a Terra*. Oficina de Textos (USP), São Paulo, p. 421-444.

<http://www.climerh.rct-sc.br/elniño>. (2003). Site pesquisado no dia 22/04/2003

<http://www.funceme.br>. (2003). Site pesquisado no dia 22/04/2003.

<http://www.rainhadapaz.br>. (2003). Textos adaptados pelo professor Diógenes Henrique. Site pesquisado no dia 22/04/2003.

IPARDES (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social), (1976). Comparação entre as Áreas Municipais do Estado do Paraná. Curitiba, 58pp.

KOURSKY, V.E., GAN, M.A. e VIRJI, H. (1983). Low latitude upper tropospheric cyclonic vortices in the South Atlantic; their origin, characteristics and effects on tropical convection over Eastern Brazil. INPE, São José dos Campos. (Pub. INPE 2729).

KRAUS, E. B., (1977). Subtropical droughts and cross-equatorial transports. *Monthly Weather Review*, v. 105, p. 1009-1018.

- LEWIS, J. P. e TORRES, P. S. (1992). Análise Multivariada, introdução y su aplicación a la Biología y Ecología. Rosário Publicación, Rosário. 1ª Edición, 87p.
- MAACK, R. (1981). *Geografia Física do Estado do Paraná*. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio editora.
- NASS, D. P. (2003). http://www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/el_nino.html. Revista Eletrônica de Ciências - Número 16.
- NERY, J. T. (1996). Estudio Climático de la Precipitación del Brasil Meridional Asociados con Extremos Extrarregionales. (Tesis Doctoral). Buenos Aires – Argentina.
- NERY, J.T.; SILVA, E.S.; MARTINS, M.L.O.F. (1994). *Estudo da variabilidade pluviométrica do Estado do Paraná*. **Revista UNIMAR**. 16(3): 505-524.
- NIMER, E. (1979), *Climatologia do Brasil*. Superintendência dos Recursos Naturais e Meio Ambiente, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Série Recursos Naturais e Meio Ambiente, Rio de Janeiro: IBGE. N. 24, 421pp.
- OMM (Organization Meteorologique Mondiale) (1966). Technic note, 79, Genève.
- PARANÁ. Atlas Geográfico do Estado do Paraná. Curitiba: Secretaria do Estado e da Agricultura e do Abastecimento/Instituto de Terras, Cartografias e Florestas, 1987.
- PROHASKA, F. J. (1976). Climates of Central and South America. World Survey of Climatology, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- RICCOMINI, C., GIANNINI, P.C.F., MANCINI, F. (2000). Rios e Processos Aluviais. *In*: TEIXEIRA, W., TOLEDO, M.C.M., FAIRCHILD, T.R., TAIOLI, F. (Organizadores). *Decifrando a Terra*. Oficina de Textos (USP), São Paulo, p. 191-214.

ROLIM, G. S., SENTELHAS, P. C., BARBIERI, V. Planilhas no ambiente Excel TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 6, n.1, p 133-137, 1998.

SANT'ANNA NETO, J.L. (1998). Clima e Organização do Espaço. *Boletim de Geografia*, 16(1):119-131, Maringá.

SANTOS, M.J.Z. (2000). Mudanças Climáticas e o Planejamento Agrícola. *In*: SANT'ANNA NETO, J.L. e ZAVATINI, J. A. (Organizadores). *Variabilidade e Mudanças Climáticas: Implicações ambientais e socioeconômicas*. EDUEM, Maringá, p. 65-80.

SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R.; MORIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; CARAMORI, P.H.; SWART, S. (1999). Balanços Hídricos Climatológicos do Brasil. ESALQ – USP.

SOTCHAVA, V.B. (1976). O Estudo dos Geossistemas. São Paulo, Métodos em Questão, 16, USP/IGEOG.

SOUZA, P. (2002). Análise e Regionalização das Chuvas no Estado do Paraná e sua Relação com o Índice de Oscilação do Pacífico e do Atlântico. Monografia de Bacharelado em Geografia. UEM, Maringá, 51pp.

STUDZINSKI, C.D.S. (1995), *Um estudo da precipitação na região Sul do Brasil e sua relação com os Oceanos Pacíficos e Atlântico Tropical e Sul*. Tese de Doutorado, **INPE**, São José dos Campos, 99pp.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. *The water balance. Publications in Climatology*. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p. 1955.

TRENBERTH, K. E. (1984). Some effects on finite sample size and persistence on meteorological statistics. Part. I: auto correlations. *Mon. Wea. Rev.*, 112:2359-2368.

TRENBERTH, K.E. (1995). General characteristics of the el Niño-Southern Oscillation. In: GLANTZ, M.H., KATZ, M.H. NICHOLLS, N. (Ed.). *Teleconnection linking worldwide climate anomalies*. New York: Academic Press, 467pp.

TRENBERTH, K.E. *The definition of El Niño*. Bull. Am. Meteorol. Soc., v.78, n.12, p.2771-2777, 1997.

TROPMAIR, H. (1988). Metodologia Simples para Pesquisa do Meio Ambiente. Graf Seft, Rio Claro, 35pp.

TROPMAIR, H. (1990). Perfil Fitoecológico do Estado do Paraná. Boletim de Geografia, 08(1):67-80, Maringá.

VAREJÃO-SILVA, M. A. (2001). *A Atmosfera em Movimento: Circulação Geral da Atmosfera*. **IN:** Meteorologia e Climatologia. 2ª Edição, Brasília:INMET, Gráfica e Editora Pax, p. 337-352.

WALKER, G. T.; BLISS, E. W. *World Weather IV*. Men. R. Meteorol. Soc., 4, 119-39, 1937.

WALKER, G. T.; BLISS, E. W. *World Weather V*. Men. R. Meteorol. Soc., 4, 53-4, 1932.