

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
MESTRADO EM GEOGRAFIA

EDILAINE VALÉRIA DESTEFANI

## **REGIME HIDROLÓGICO DO RIO IVAÍ – PR**

Maringá  
2005

EDILAINE VALÉRIA DESTEFANI

## **REGIME HIDROLÓGICO DO RIO IVAÍ – PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de concentração Análise Regional e Ambiental, do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho

Co-orientador: Prof. Dr. José Cândido Stevaux

Maringá  
2005

Dedico este trabalho

Aos meus pais Estefano Destefani e Elza Miloch Destefani

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Edvard Elias de Souza Filho, meus sinceros agradecimentos pela orientação demonstrada na elaboração deste trabalho e pela amizade durante os anos de graduação;

Ao professor José Cândido Stevaux pela amizade e conhecimentos transmitidos nas orientações;

À CAPES pela concessão da bolsa, que permitiu a mim, tempo integral de dedicação para os estudos e sem a qual não seria possível atingir meus objetivos acadêmicos;

A Andrelina Laura dos Santos, funcionária da Agência Nacional de Águas - ANA, a Mário Sérgio Fernandes funcionário da ITAIPU BINACIONAL e a Edson Nagashima Sakae funcionário da Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - SUDERHSA, pela atenção e fornecimento dos dados e informações hidrológicas do rio Ivaí;

Aos professores Drs. Paulo Fernando Soares e Astrid Meira Martoni do Departamento de Engenharia Civil, pelas discussões e orientações no tratamento das informações hidrológicas;

Aos secretários Adamir, João e Miriam do Departamento de Geografia e Aparecida da secretaria do Programa da Pós-Graduação, pela atenção e atendimento nos trabalhos burocráticos;

A técnica do laboratório de sedimentologia do GEMA, Maria Moraes pela orientação, cooperação e paciência na instrução das atividades laboratoriais que não foram aplicadas no desenvolvimento desse trabalho mas, outros anteriores que me guiaram para este caminho;

Aos amigos e colegas do Grupo de Estudos Multidisciplinares do Meio Ambiente (GEMA) – pela amizade, discussões científicas, conhecimentos transmitidos e pelos momentos de descontração;

As minhas amigas Claudia Priori, Marlene Aparecida Bossi, Lígia Cristina Turozi, Patrícia de Sousa, Rose Batalioto e Telma Bataliotti, pela grande amizade, carinho, companheirismo, risos, conselhos, incentivos e por comporem minha família durante toda a minha caminhada acadêmica;

Ao meu irmão Emerson Mário Destefani, que é um exemplo de determinação e atitude, meu agradecimento pelo afeto e carinho;

Um agradecimento todo especial ao meu esposo Leandro César Cunha, meu grande amor, que me acompanhou durante essa trajetória e a tantas outras que engendraram a esta, seu carinho, companheirismo e dedicação oferecidos, a compreensão nas horas que tive que estar ausente

para dedicar-me aos estudos, o seu incentivo que me impulsionou nos momentos difíceis, me fez mais forte para vencer os desafios e conquistar a vitória;

Aos meus pais Estefano Destefani e Elza Miloch Destefani a quem dedico não apenas este trabalho, mas agradeço por toda a educação, dedicação, carinho, amor, afeto... meus exemplos de força, coragem e determinação, toda a minha gratidão e amor...

E finalmente a Deus... Àquele que não existem palavras suficientes para agradecer...

## SÚMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REGIME HIDROLÓGICO: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES.....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>CONCEITOS, MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS PARA A ANÁLISE, CARACTERIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DO REGIME HIDROLÓGICO DOS SISTEMAS FLUVIAIS.....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>PESQUISAS DESENVOLVIDAS SOBRE O ESTUDO DO REGIME HIDROLÓGICO .....</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVAÍ: ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>21</b>
6.1	Geologia/geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Ivaí .....	21
6.2	O padrão de canal do rio Ivaí.....	24
6.3	Algumas considerações sobre a hidrodinâmica do sistema rio Ivaí.....	27
6.4	Clima .....	27
6.5	Vegetação natural.....	29
6.6	Histórico de ocupação e uso do solo: o caso do desmatamento.....	30
<b>7</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>33</b>
7.1	Monitoramento das vazões e rede hidrométrica .....	34
7.2	As estações de monitoramento das vazões do rio Ivaí.....	35
<b>8</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>38</b>
8.1	Variabilidade das vazões: periodicidade e estacionariedade.....	39
8.2	Frequência e curva de duração do fluxo .....	40
8.3	Recorrência .....	41
<b>9</b>	<b>O REGIME HIDROLÓGICO DO RIO IVAÍ.....</b>	<b>42</b>
<b>10</b>	<b>FREQÜÊNCIA E PERMANÊNCIA DAS VAZÕES NO CANAL FLUVIAL.....</b>	<b>50</b>
<b>11</b>	<b>AS VAZÕES DE ELEVADA MAGNITUDE.....</b>	<b>56</b>
11.1	As cheias do rio Ivaí .....	57
11.2	Recorrência das cheias .....	62
11.3	Caracterização das ondas de cheia.....	64
<b>12</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>84</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>86</b>
	<b>ANEXO.....</b>	<b>91</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo .....	20
Figura 2 - Unidades geológicas da bacia hidrográfica do rio Ivaí.....	22
Figura 3 - Perfil longitudinal do rio Ivaí .....	23
Figura 4 - Perfil transversal - seção Rio dos Patos.....	25
Figura 5 - Perfil transversal - seção Tereza Cristina .....	25
Figura 6 - Perfil transversal - seção Porto Espanhol.....	26
Figura 7 - Perfil transversal - seção Ubá do Sul.....	26
Figura 8 - Perfil transversal - seção Vila Rica.....	26
Figura 9 - Perfil transversal - seção Porto Bananeira.....	26
Figura 10 - Perfil transversal - seção Porto Paraíso do Norte .....	26
Figura 11 - Perfil transversal - seção Novo Porto Taquara .....	26
Figura 12 - Precipitação média na bacia hidrográfica do Ivaí.....	28
Figura 13 - Desvio padrão dos valores de precipitação na bacia hidrográfica do Ivaí.....	29
Figura 14 - Declividade do terreno na área da bacia hidrográfica do rio Ivaí.....	49

## LISTA DE FOTOS

Foto 1 - Rio Ivaí na seção de Porto Paraíso do Norte, segmento médio – (fase de cheia).....	24
Foto 2 – Estação fluviométrica de Porto Paraíso do Norte – segmento médio .....	36
Foto 3 – Vista parcial dos lances de réguas – estação Porto Paraíso do Norte no rio Ivaí.....	36

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Vazão média diária do rio dos Patos na estação Rio dos Patos, segmento superior – período 20/5/1930 – 30/9/2002 .....	42
Gráfico 2 – Vazão média diária do rio Ivaí na estação Tereza Cristina, segmento superior – período 7/8/1956 – 30/9/2002 .....	43
Gráfico 3 – Vazão média diária do rio Ivaí na estação Porto Espanhol, segmento superior – período 13/8/1965 – 30/6/2003 .....	43
Gráfico 4 – Vazão média diária do rio Ivaí na estação Ubá do Sul, segmento superior – período 16/4/1967 – 30/11/2002 .....	44
Gráfico 5 – Vazão média diária do rio Ivaí na estação Vila Rica, no segmento médio – 15/8/1985 – 30/9/2003.....	44
Gráfico 6 – Vazão média diária do rio Ivaí na estação Porto Bananeira, segmento médio – período 19/2/1974 – 30/4/2003 .....	45
Gráfico 7 – Vazão média diária do rio Ivaí na estação de Porto Paraíso do Norte, segmento médio – período 14/3/1953 – 13/12/2003 .....	45
Gráfico 8 – Vazão média diária do rio Ivaí na estação de Novo Porto Taquara, segmento inferior – período 8/7/1974 – 31/10/2002 .....	46
Gráfico 9 – Correlação vazões médias vs área de drenagem .....	48

Gráfico 10 - Curva de duração do fluxo – seção Rio dos Patos .....	52
Gráfico 11 - Curva de duração do fluxo – seção Tereza Cristina .....	52
Gráfico 12 - Curva de duração do fluxo – seção Porto Espanhol.....	53
Gráfico 13 - Curva de duração do fluxo – seção Ubá do Sul .....	53
Gráfico 14 - Curva de duração do fluxo – seção Vila Rica.....	54
Gráfico 15 - Curva de duração do fluxo – seção Porto Bananeira .....	54
Gráfico 16 - Curva de duração do fluxo – seção Porto Paraíso do Norte.....	55
Gráfico 17 - Curva de duração do fluxo – seção Novo Porto Taquara .....	55
Gráfico 18 - Vazões máximas anuais, seção Rio dos Patos – período 1930 - 2002.....	57
Gráfico 19 - Vazões máximas anuais, seção Tereza Cristina – período 1956 - 2002 .....	58
Gráfico 20 - Vazões máximas anuais, seção Porto Espanhol – período 1965 - 2003 .....	58
Gráfico 21 - Vazões máximas anuais, seção Ubá do Sul – período 1967 - 2002.....	59
Gráfico 22 - Vazões máximas anuais, seção Vila Rica – período 1985 - 2003.....	59
Gráfico 23 - Vazões máximas anuais, seção Porto Bananeira – período 1974 - 2003.....	60
Gráfico 24 - Vazões máximas anuais, seção Porto Paraíso do Norte – período 1953 - 2003 ..	60
Gráfico 25 - Vazões máximas anuais, seção Novo Porto Taquara – período 1974 - 2002 .....	61
Gráfico 26 - Recorrência das vazões máximas anuais – seção Rio dos Patos.....	63
Gráfico 27 - Recorrência das vazões máximas anuais para as seções do rio Ivaí.....	64
Gráfico 28 - Cheia Tipo A – ano de 1983 .....	66
Gráfico 29 - Cheia Tipo A – ano de 1998 .....	66
Gráfico 30 - Cheia Tipo B – ano de 1987 .....	67
Gráfico 31 - Cheia Tipo B – ano de 1989 .....	67
Gráfico 32 - Cheia Tipo B – ano de 1999 .....	68
Gráfico 33 - Cheia Tipo C – ano de 1985 .....	68
Gráfico 34 - Cheia Tipo C – ano de 1995 .....	69
Gráfico 35 - Onda da cheia de mai/jun de 1992, com um pico máximo de cheia para a estação Porto Paraíso do Norte ao invés de Novo Porto Taquara que por sua vez, configura um amortecimento de pico da cheia .....	70
Gráfico 36 - Correlação área de drenagem vs vazão média das cheias anuais.....	70
Gráfico 37 - Recorrência das cota fluviométricas, estação Rio dos Patos .....	75
Gráfico 38 - Recorrência das cotas fluviométricas, estação Tereza Cristina .....	76
Gráfico 39 - Recorrência das cotas fluviométricas, estação Porto Espanhol .....	77
Gráfico 40 - Recorrência das cotas fluviométricas, estação Ubá do Sul.....	78
Gráfico 41 - Recorrência das cotas fluviométricas, estação Vila Rica.....	79
Gráfico 42 - Recorrência das cotas fluviométricas, estação Porto Bananeira.....	80
Gráfico 43 - Recorrência das cotas fluviométricas, estação Porto Paraíso do Norte .....	81
Gráfico 44 - Recorrência das cotas fluviométricas, estação Novo Porto Taquara .....	82
Gráfico 45 - Vazão média mensal – estação Rio dos Patos.....	91
Gráfico 46 - Vazão média mensal – estação Tereza Cristina .....	91
Gráfico 47 - Vazão média mensal – estação Porto Espanhol .....	92
Gráfico 48 - Vazão média mensal – estação Ubá do Sul.....	92
Gráfico 49 - Vazão média mensal – estação Vila Rica .....	93
Gráfico 50 - Vazão média mensal – estação Porto Bananeira.....	93
Gráfico 51 - Vazão média mensal do rio Ivaí – estação Porto Paraíso do Norte .....	94
Gráfico 52 - Vazão média mensal do rio Ivaí – estação Novo Porto Taquara .....	94

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Declividade dos segmentos do rio Ivaí .....	23
Tabela 2 - Evolução do desmatamento no estado do Paraná.....	32
Tabela 3 - Características das estações fluviométricas do rio Ivaí .....	37
Tabela 4 - Situação das séries históricas das vazões registradas no rio Ivaí .....	37
Tabela 5 - Características da seção do rio Ivaí onde se localizam as estações fluviométricas.	38
Tabela 6 - Coeficiente de variação com base nas vazões médias diárias .....	46
Tabela 7 - Período de ocorrência e frequência das cheias máximas anuais .....	47
Tabela 8 - Período de ocorrência e frequência das cheias máximas anuais (continuação) .....	47
Tabela 9 - Eventos El Niño definidos a partir da anomalia da temperatura da superfície do mar, para a região El Niño (1+2) e excedendo valores de 0,4°C positivo.....	62

## LISTA DE SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas

DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

IAP - Instituto Ambiental do Paraná

IAPAR - Fundação Instituto Agrônômico do Paraná

IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A

SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento  
Ambiental

SUVALE - Superintendência do Vale do São Francisco

## RESUMO

O rio Ivaí com uma área de drenagem de 36.587 km<sup>2</sup> e um percurso de 680 km, é a segunda maior bacia hidrográfica interiorana do estado do Paraná, com considerável importância agrícola e potencial hidrelétrico. Embora seja um rio extremamente importante no que se refere ao aspecto ambiental, ecológico, humano e econômico, é um sistema fluvial praticamente desconhecido e informações sobre seu regime hidrológico são imprescindíveis no entendimento do funcionamento da bacia. Portanto o objetivo deste trabalho foi a caracterização do regime hidrológico do rio, considerando a periodicidade, a estacionariedade, a frequência, a permanência e a recorrência como parâmetros de análise, por meio das informações de vazões e cotas registradas nas estações fluviométricas de Rio dos Patos, Tereza Cristina, Porto Espanhol, Ubá do Sul, Vila Rica, Porto Bananeira, Porto Paraíso do Norte e Novo Porto Taquara, distribuídas em seu segmento superior, médio e inferior. Os resultados mostraram que as características físicas da bacia e do canal do rio Ivaí e em destaque o regime de precipitações, condicionam um regime hidrológico de baixa periodicidade, porém estacionário. Para a maioria das seções, as vazões que ocorrem com maior frequência e permanência oscilam em torno do valor médio. Em relação às vazões de elevada magnitude, as cheias extraordinárias mais críticas apresentam uma recorrência de 22 anos em média. As cheias por sua vez, ocorrem em reciprocidade a eventos de precipitações intensas. Os dados observados permitiram concluir que o regime hidrológico do rio Ivaí é controlado pelo escoamento superficial, e que o fluxo de base é incapaz de manter fluxos próximos ao das vazões médias.

**Palavras-chave:** rio Ivaí, regime hidrológico, vazões.

## ABSTRACT

The Ivaí River drains an area of 36.587 km<sup>2</sup> and it stretches for 680 km and thus is the second biggest river basin in Paraná state. It is important because of its immense hydroelectric and agricultural potential. Although it is an extremely important river system concerning environmental, ecological, human and economical aspects, it is practically unknown and it is a must to understand its hydrological regime to understand how this river basin works. This work was aimed at characterizing the features of the river's hydrologic regime. We took into consideration its regularity, stationarity, frequency, permanence/intermittence and recurrence. Information about the quotas and discharge of this river were gathered from river stations located at: Rio dos Patos, Tereza Cristina, Porto Espanhol, Ubá do Sul, Vila Rica, Porto Bananeira, Porto Paraíso do Norte and Novo Porto Taquara, which are distributed along the river segment (upper, middle and lower segment). Results showed that the physical features of Ivaí River's basin canal and mainly the precipitation regime, contribute to a hydrological regime of low periodicity, however stationary. At most river sections, the most frequent and permanent discharges oscillate around their average values. Concerning high-magnitude discharges, we must say that extraordinary floods, at least the most critical ones, have a recurrence interval of 22 years in average. Floods in turn, occur reciprocally during intense precipitation events. Based on the collected data, we concluded that River Ivaí hydrological regime is controlled by the superficial draining, and that the base flow is incapable to keep flowing close to the discharges average values.

**Key words:** River Ivaí, hydrological regime, discharges.

## 1 INTRODUÇÃO

O rio Ivaí localizado na região sul do Brasil é um dos principais rios do estado do Paraná. Sua bacia hidrográfica, a segunda maior do estado, drena ambientes distintos que se diferenciam pelas características geológicas e geomorfológicas, além de estar localizado na faixa de transição do clima tropical para subtropical. Este conjunto de características pode refletir em particularidades em relação ao escoamento fluvial do rio e por essa razão, já se justificaria um estudo do seu regime hidrológico.

A bacia hidrográfica do rio Ivaí, também se destaca pelo potencial agrícola em decorrência de solos férteis e bem desenvolvidos na área dominada por rochas basálticas. Para a maior parte de sua bacia destaca-se a produção de cereais como soja, milho, trigo e em menor quantidade a cana-de-açúcar e a atividade agropastoril. Suas várzeas são palco de extração de argila, matéria-prima que movimenta as inúmeras olarias da região. Além disso, o rio possui um perfil longitudinal com locais de alta declividade, o que o coloca como alvo de implantação de usinas hidrelétricas.

Tais aspectos fazem da mesma uma das áreas mais produtivas economicamente do estado e também uma das bacias que pode estar comprometendo significativamente seu regime hidrológico.

Embora o rio Ivaí apresente uma considerável importância ambiental e econômica, existe uma carência de estudos e este rio é praticamente desconhecido. Recentemente a atenção de um grupo de pesquisadores da Universidade Estadual de Maringá foi voltada para esta bacia, e tais estudos necessitam de um conhecimento preliminar da dinâmica hidráulica do rio.

Sendo assim, a proposta geral desta dissertação de mestrado é realizar uma caracterização e análise do regime hidrológico do rio Ivaí, ação necessária para gerar importantes informações que servirão de subsídio para o manejo adequado desse recurso natural e para o desenvolvimento de futuras pesquisas na área de geografia, geomorfologia, sedimentologia, ecologia, hidrologia etc.

Nesse sentido, os objetivos específicos deste trabalho são:

- Caracterizar e analisar a variabilidade do regime hidrológico verificando-se sua periodicidade e estacionariedade;
- Estabelecer o tempo de permanência de determinadas vazões que ocorrem no canal nas seções que dispõem de estações fluviométricas;

- Caracterizar e analisar a magnitude das cheias e identificar sua recorrência;
- Correlacionar as cotas fluviométricas com a morfologia do canal verificando-se a possível existência de transbordamentos e seu período provável de retorno.

## 2 REGIME HIDROLÓGICO: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Os rios apresentam a forma mais visível de escoamento da água fazendo parte integrante do ciclo hidrológico e alimentado por meio das águas superficiais e subterrâneas (CHRISTOFOLETTI, 1981). A vazão ou débito é a principal grandeza que caracteriza um rio, sendo a quantidade de água que passa através de uma seção transversal, por unidade de tempo. A unidade de medida mais utilizada para expressar a vazão é em metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ). As vazões também podem ser examinadas por meio da altura do nível da água, onde se mede a altura atingida pela água em relação a um datum ou nível de referência (VILLELA; MATTOS, 1975) e geralmente é expressa em metros (m) ou centímetros (cm).

As vazões que escoam em um curso d'água são consideradas estocásticas (TUCCI, 2002) sendo variáveis no tempo e no espaço. Essa variabilidade representada pela subida e descida das águas consideradas no decorrer de um ano civil (janeiro a dezembro) ou um ano hidrológico (ciclo de vazante-cheia-vazante) corresponde ao *regime fluvial* ou *regime hidrológico*.

A variabilidade do regime hidrológico é controlada por diversos elementos que formam a bacia hidrográfica ou fatores que nela ocorrem, tais como: condições climáticas (precipitação; evapotranspiração; radiação solar); geologia; geomorfologia; solos; cobertura vegetal; uso do solo e ações antrópicas (TUCCI, 2002).

Como o regime das vazões é caracterizado pela variação do nível das águas, interessa para o seu conhecimento o estudo do comportamento das vazões diárias, médias, mínimas e máximas. A vazão diária é a média aritmética das vazões medidas no decorrer de um dia. A distribuição das vazões diárias é importante para identificar períodos sazonais. Rios localizados em regiões de clima com estação bem definida a identificação é mais fácil e rápida. Por outro lado, nas regiões em que as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, existe dificuldade na identificação dos períodos de cheia e estiagem. Por esse motivo é comumente utilizado a média das vazões diárias ocorrido em um mês, ou seja, a vazão média mensal é um indicador das características do ano hidrológico ou dos períodos sazonais da bacia hidrográfica revelada pela variabilidade dos meses ao longo do ano (TUCCI, 2002). Os valores de vazão média mensal assumem importância para o abastecimento de água, produção de energia elétrica, irrigação, navegação etc.

As vazões mínimas são consideradas as de estiagem sendo representadas pelos valores mais baixos da série histórica. Entretanto a vazão mínima mensal é o valor mais inferior de

cada mês e não é necessariamente uma vazão correspondente a um período de estiagem. Geralmente a vazão mínima é aplicada para avaliação da demanda mínima que um rio pode oferecer.

As vazões máximas são de grande interesse para o estudo de cheias e inundações, sendo as vazões mais elevadas que ocorrem em uma seção do rio. Villela e Mattos (1975) explicam que nem toda cheia causa inundações, sendo que a enchente é caracterizada por uma vazão grande de escoamento e as inundações são consideradas quando ocorre extravasamento das águas do canal. A vazão média de enchente corresponde a média das cheias anuais sendo utilizada como um indicador da fase de inundação de um rio.

### **3 CONCEITOS, MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS PARA A ANÁLISE, CARACTERIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DO REGIME HIDROLÓGICO DOS SISTEMAS FLUVIAIS**

A análise e caracterização do regime hidrológico de um sistema fluvial, podem ser obtidas através de duas vertentes principais, ou seja, amparado por uma base teórica conceitual e por meio de tratamento estatístico. Tanto um quanto outro, constituem-se como parâmetros de análise que se complementam.

Em relação a base teórica, diversos parâmetros conceituais podem ser considerados na interpretação das informações hidrológicas e tornam-se ao mesmo tempo, um ponto de referência para a análise, demonstrando a *natureza* dos dados hidrológicos. Os parâmetros mais comuns são a *periodicidade*, a *estacionariedade*, a *frequência*, a *duração* e a *recorrência*.

A *periodicidade* representa uma forma de variação regular ou oscilatória das vazões, com mudanças diárias, sazonais ou seculares, relacionando-se a vazões que se repetem em intervalos de tempo regulares.

A *estacionariedade* é a situação na qual não ocorrem modificações nas características estatísticas da série de dados ao longo do tempo (TUCCI, 2002). Uma série pode não ser estacionária se houver a introdução de modificações na bacia hidrográfica que podem causar modificações no regime de vazões.

A *frequência* se refere ao número de vezes que se repete uma vazão de determinada magnitude em uma seção do canal durante um determinado intervalo de tempo.

Chow (1964) salienta que a análise de frequência do ponto de vista prático, é somente um procedimento de ajuste dos dados hidrológicos a um modelo matemático de distribuição, permitindo a interpretação de processos físicos dos fenômenos hidrológicos auxiliando no entendimento do regime de um rio.

É importante destacar que em geral o conhecimento do regime de vazões de um rio baseia-se na análise e tratamento de dados coletados no passado, ou seja, vazões que já ocorreram, por essa razão Tucci (2002) ressalta que a frequência é a probabilidade de ocorrência de diferentes magnitudes de vazões. Portanto, a frequência assim como a maioria dos resultados estatísticos são considerados uma *análise probabilística*.

A *duração* é o número de dias ou a porcentagem de tempo que uma determinada magnitude de vazão permanece no canal de um curso d'água. Para Rocha (2002) é uma específica condição de fluxo associado a um período de tempo.

A duração das vazões é estimada elaborando-se a *curva de duração* ou *curva de permanência* do fluxo e também está relacionado a frequência com que ocorrem vazões de diferentes magnitudes.

A *recorrência* é o intervalo médio de tempo que uma vazão de dada magnitude pode ser igualada ou excedida.

Em relação ao tratamento estatístico aplicado para analisar o regime hidrológico, destaca-se primeiramente a representação gráfica das séries históricas das informações hidrológicas por meio de fluviogramas. Pode ser elaborado uma hidrógrafa ou hidrograma construindo-se gráficos da informação de vazão ou um cotograma a partir dos dados de nível d'água, tais informações são organizadas em função do tempo de ocorrência. Esses gráficos mostram a variabilidade da vazão ou da altura d'água do rio numa escala temporal que pode ser organizada em valores diários, mensais ou anuais, por isso facilitam a identificação de períodos de enchentes e estiagens, podendo fornecer a definição da sazonalidade do regime hidrológico.

A variabilidade do regime fluvial pode ser examinada e detalhada com maior precisão quando parâmetros estatísticos são atribuídos à representação gráfica. Chow (1964) indica o desvio médio, o desvio padrão, a variância, a amplitude e o coeficiente de variação como parâmetros de distribuição auxiliares na avaliação da variabilidade de um evento hidrológico em questão.

A ocorrência ou caracterização das vazões não pode ser determinada no momento imediato em que ocorre, mas pode ser prevista e conhecida por meio de tratamento estatístico baseado em métodos probabilísticos que de acordo com Tucci (2002) ajustam os valores da

amostra (por ex. informações das séries históricas) a uma função matemática, que procura retratar a distribuição dos valores.

A maioria das técnicas matemáticas e estatísticas direcionadas ao estudo dos eventos hidrológicos são aplicados no sentido de expressar os fenômenos em termos quantitativos baseado em sua *freqüência e probabilidade de ocorrência*. Seguindo essa idéia, Lanna (1997) ressalta que os dados registrados no passado que exprimem a forma como ocorreram os eventos, deverão ocorrer de forma semelhante no futuro, caso não existam modificações nos processos de formação das vazões.

A freqüência de ocorrência das vazões é conhecida a partir do método da curva de permanência ou também denominada curva de duração do fluxo. Para isso, são utilizados as séries de vazões diárias, mensais ou anuais e determinado o número de vezes em que ocorrem determinados valores de vazão dentro de intervalos pré-definidos. A freqüência é transformada em porcentagem e acumulada do menor para o maior valor de vazão. O resultado é apresentado de forma gráfica, no qual cada valor de vazão tem uma correspondente porcentagem de tempo referente àquela seção do canal em que foi medida a vazão. O conhecimento da freqüência com que ocorrem vazões iguais ou superiores a um determinado valor, além de estabelecer o regime de um rio mostra a potencialidade de sua utilização (VILLELA; MATTOS, 1975) e a distribuição dos fluxos (CHRISTOFOLETTI, 1981).

O intervalo de recorrência ou período de retorno é um dos procedimentos mais utilizados para estudar as vazões máximas ou enchentes. Os valores das descargas máximas anuais são tratadas através de métodos estatísticos de distribuição, sendo os principais: distribuição log-normal, distribuição Gumbel Tipo I e II (valores extremos), distribuição de Person III, distribuição Gamma entre outros. Essas funções matemáticas permitem ajustar os dados a uma curva de distribuição, que nada mais é do que uma curva de freqüência, que indica a relação da magnitude da vazão e sua provável freqüência de ocorrência (SILVA, 2002). Assim estabelece-se o intervalo de recorrência para cada cheia como sendo o intervalo de tempo que decorre entre duas cheias de igual magnitude (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Christofoletti (1981), Morisawa (1968), Dunne e Leopold (1998), Leopold, Wolman e Miller (1964) indicaram a equação 1 para calcular o intervalo de recorrência. Entretanto, esta equação não ajusta os dados adequadamente em uma curva, mostrando quebras, visto que as distribuições supra mencionadas permitem tratar os dados relacionando parâmetros como desvio padrão, média, valores logaritmos e variância ajustando os valores a erros resultando desse modo num tratamento estatístico mais refinado.

$$Ir = \frac{(n+1)}{m} \quad (1)$$

Sendo:

$Ir$  intervalo de recorrência

$n$  número total de eventos considerados

$m$  número de ordem do evento organizado numa escala em ordem decrescente

Lambert (1990) propõe a elaboração do período de retorno das cheias considerando dados do nível d'água (cotas). A curva de distribuição é organizada a partir da equação 2. Este método é semelhante ao indicado anteriormente. No entanto, são utilizadas informações de cota, pois de acordo com Lambert (1990) as cotas são de entendimento mais fácil para as pessoas que não possuem conhecimento da área de hidrologia. Junto a disposição da curva em escala logarítmica são traçadas linhas retas sobre os pontos que podem apresentar quebras na inflexão da curva que segundo o autor correspondem a cota de transbordamento do canal.

$$f = \frac{r}{n} \quad (2)$$

Sendo:

$f$  recorrência das cheias

$r$  ordem do evento

$n$  número de anos (n) da série histórica

Richter et al (1997) e Poff et al (1997) apresentaram uma metodologia para o estudo da variabilidade do regime de vazões dos sistemas fluviais considerando a magnitude, a frequência, a duração, a periodicidade e a taxa de alteração como parâmetros de análise. São utilizados 32 índices hidrológicos como Indicadores de Alterações Hidrológicas (IAH) e a taxa de Aproximação da Variabilidade do fluxo pode ser estimada através da Taxa de Aproximação da Variabilidade Natural (TAV). A fundamentação básica deste método é a relação do regime de fluxo aos processos ecológicos do ecossistema fluvial. O método pode ser aplicado para avaliar mudanças no comportamento das vazões caso o sistema tenha sofrido interferências devido a construção de obras de engenharia.

Alguns parâmetros estatísticos conceituais e técnicos supra mencionados para analisar o regime hidrológico dos sistemas fluviais foram apontados por Gustard (1996). Baseando-se em outros autores, Gustard (1996) também apresenta uma classificação do regime hidrológico

com base no clima, no potencial de evaporação e temperatura e no conceito de região hidrológica onde se compara diversas bacias com características semelhantes.

Com o desenvolvimento dos sistemas informatizados o estudo das vazões de um sistema fluvial adquiriu novas perspectivas. A variabilidade temporal e espacial pode ser aprimoradamente analisada, a partir dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs). Softwares integram modelos hidráulicos e hidrológicos aos SIGs (MENDES, 1996) incorporando informações espaciais do sistema fluvial junto aos dados estatísticos de vazões, permitindo uma representação mais verdadeira do ambiente e do evento hidrológico, principalmente a partir da construção de Modelos Digitais do Terreno (MDT), ou simulando eventos auxiliando na previsão dos efeitos destes no ambiente. Áreas de risco (inundações) passaram a ser mapeadas introduzindo uma cartografia informativa (LAMBERT; GHOLAMI; PRUNET, 1998). O mapeamento por sua vez, pode reunir vários métodos e técnicas, associando uma análise da geomorfologia do ambiente ao regime hidrológico, através do sensoriamento remoto e imagens digitais (HUDSON; COLDITZ, 2003).

#### **4 PESQUISAS DESENVOLVIDAS SOBRE O ESTUDO DO REGIME HIDROLÓGICO**

Apesar do Brasil ser um dos países de maior potencial hídrico do mundo são poucos os trabalhos tendo por objeto de estudo o conhecimento do regime de vazões em seus vários aspectos quantitativo ou qualitativo.

Alguns trabalhos menos recentes (anterior a década de 80) realizaram uma abordagem do estudo das vazões num contexto técnico seja para o aproveitamento hidrelétrico, para a previsão de demanda mínima do sistema, como discussão metodológica entre outros (SUVALE, 1972a e b), (RAMOS, 1973), (UEHARA, 1973), (SÃO PAULO, 1980), (BRASIL, 1985a e b), (BRASIL, 1974).

O conhecimento do regime de vazões de um sistema fluvial pode apresentar diferentes abordagens segundo um contexto hidrológico, geomorfológico, geográfico, ecológico entre outros que dependerá do profissional que está desenvolvendo a pesquisa, dos seus objetivos ou até mesmo dos métodos e conceitos empregados para a análise das informações.

Martoni (1998) realizou uma análise das vazões no trecho superior do rio Paraná que estende-se de Porto São José ao Porto 18. A autora analisou e caracterizou as vazões diárias,

mensais, mínimas e máximas a partir da variabilidade do regime e de sua duração e frequência. Foram consideradas também a contribuição das bacias situadas a montante da área de estudo para as vazões e a distribuição das vazões no sistema de canais e ilhas.

As vazões do trecho superior do rio Paraná próximo a região de Porto Rico, também foram analisados por Rocha (2002) dentro de um contexto ecológico do sistema fluvial. Relacionando parâmetros como magnitude do fluxo, frequência, duração, periodicidade e taxa de alteração, aplicados as vazões diárias de duas estações fluviométricas, foi possível estabelecer a taxa de alteração do regime hidrológico referente ao período do regime de vazões natural e o controlado por barragens.

Sob a ótica da geomorfologia fluvial, o regime de vazões do alto rio Paraná foi considerado por Fernandez e Souza Filho (1995) para analisar a influência da frequência e duração das vazões diárias, de margens plenas e das cheias em três períodos distintos de níveis d'água, estendidos entre a década de 60 a 90, no comportamento da variação de área de um conjunto de ilhas. Os dados de vazão foram relacionados a modificação das áreas das ilhas condicionadas por processos de sedimentação e erosão, detalhes estes obtidos por meio de fotografias aéreas.

O regime de cheias dos rios Paraná e Ivinhema foram analisados por Meurer (2003) a partir da proposta metodológica de Lambert (1990). Os dados de cota do nível d'água foram correlacionados à geomorfologia do ambiente fluvial e parâmetros como intensidade e frequência auxiliaram a análise. A abrangência espacial das cheias foram analisadas através de imagens de satélite. As informações obtidas das imagens integradas aos resultados da análise das cotas possibilitaram o mapeamento e visualização da propagação das cheias e do avanço das inundações no canal e na área da planície aluvial.

As vazões do rio Araguaia no estado de Goiás foram alvo do estudo de Silva (2002). Através de hidrogramas diários foi possível analisar a oscilação dos picos e identificar períodos sazonais do regime. Verificou-se também a permanência dos fluxos no canal inclusive de margens plenas. As cheias foram analisadas pelo seu período de retorno e classificadas pelas características dos picos de vazões e por perda de água na planície aluvial.

Clarke, Tucci e Collischonn (2003) avaliaram a variabilidade temporal do regime hidrológico da bacia do rio Paraguai em território brasileiro correlacionando-se os dados de vazão e de cota aos de precipitação, identificando uma diminuição das vazões em função da redução da intensidade das precipitações no período de 1960 até 1970 que pode ser explicada pela ocorrência de períodos de estiagem (sem chuva) mais longos.

## 5 A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVAÍ: ÁREA DE ESTUDO

Inserida na região sul do Brasil, a bacia hidrográfica do rio Ivaí é a segunda maior bacia do estado do Paraná e está situada entre as coordenadas geográficas 22°56'17" - 25°35'27" de latitude sul e 50°44'17" - 53°41'43" de longitude oeste. Com uma área de 36.587 km<sup>2</sup> e um percurso de 680 km (Figura 1), o rio Ivaí é afluente da margem esquerda do curso superior do rio Paraná e apresenta uma vazão média de 363 m<sup>3</sup>/s.

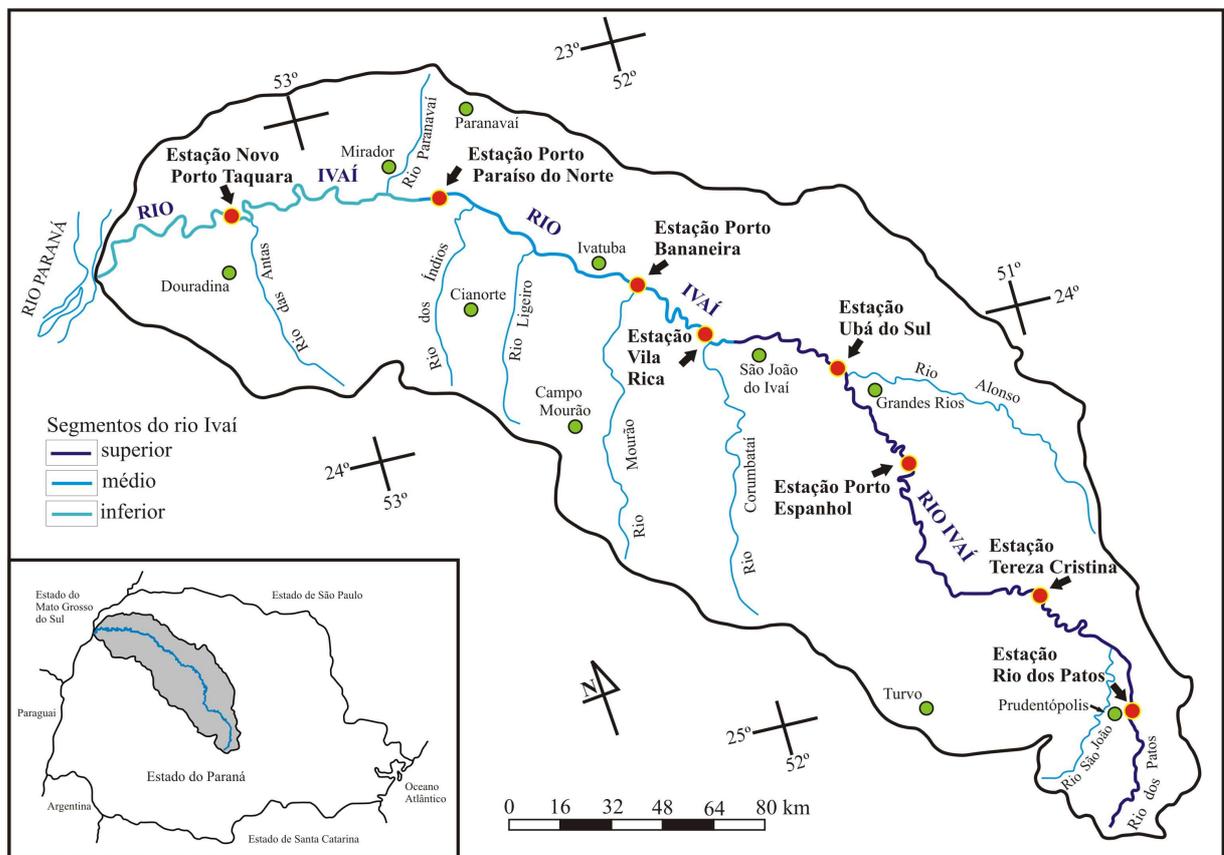


Figura 1 - Localização da área de estudo

Fonte: PARANÁ (1997)

Sua nascente forma-se no sudeste do estado pelo do rio dos Patos e São João na Serra da Boa Esperança no segundo planalto, ambos a mais de 800 m de altitude. O rio Ivaí só recebe este nome a partir da junção deste dois rios no terceiro planalto. Suas águas deságuam no rio Paraná a aproximadamente 230 m de altitude.

Constituída por uma densa rede de drenagem a bacia hidrográfica do rio Ivaí compreende centenas de afluentes, sendo os principais da margem direita os rios Alonso ou do Peixe e Paranavaí e os da margem esquerda os rios Corumbataí, Mourão, Ligeiro e dos Índios.

## 6 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A caracterização dos aspectos físicos que retratam a área de estudo é de suma importância para compreensão do comportamento do regime hidrológico do rio Ivaí. Os fatores como geologia, geomorfologia, vegetação, clima, tipo de uso do solo entre outros, podem influenciar no escoamento pluvial e conseqüentemente no fluvial e determinar características ao regime do rio. A seguir, será apresentado uma caracterização da área de estudo conforme os fatores mais importantes.

### 6.1 Geologia/geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Ivaí

A bacia hidrográfica do rio Ivaí apresenta características geológicas (Figura 2) e geomorfológicas diversificadas, uma vez que o rio Ivaí escoar por litologias diferentes, e drena ambientes morfo-topográficos distintos. Considerando-se então os fatores físicos que configuram a bacia como a geologia, a geomorfologia, a topografia e a declividade do rio no sentido longitudinal (Figura 3 e Tabela 1), pode ser definido três segmentos:

- **O segmento superior:**

Apresenta um percurso de mais ou menos 440 km e se estende da nascente até pouco mais da confluência do rio Ivaí com o seu afluente o rio Alonso. Neste segmento, o rio Ivaí apresenta as declividades mais elevadas de toda a bacia principalmente no trecho de sua nascente formado pelo rio dos Patos até o rio São João, que nascem em região serrana no segundo planalto, a mais de 900 m de altitude. Nos três primeiros quilômetros o rio dos Patos passa de uma altitude de 950 para 800 m apresentando um desnível abrupto de 150 m e uma declividade de aproximadamente 5%, passando a um trecho menos íngreme com uma queda de 190 m e declividade de 0,13% nos próximos 80 km até a estação fluviométrica Rio dos Patos situada a 690 m de altitude. Novamente o rio dos Patos sofre uma queda abrupta de cerca de 190 m com declividade em torno dos 1,36% após um percurso de apenas 14 km até a confluência com o rio São João a 500 m de altitude. Desse ponto em diante inicia-se o rio Ivaí e as declividades tornam-se mais suaves apresentando-se neste trecho entre 0,04%. Até a estação fluviométrica de Ubá do Sul o rio Ivaí apresenta um desnível de 120 m num percurso de 290 km e termina o segmento superior com um desnível de 80 m distribuídos em 54 km com apenas 0,01% de declive.

Neste segmento, o rio apresenta declividade relativamente baixa, com trechos isolados de grande declividade e corredeiras bem marcadas, como é o caso do Salto Ariranha PARANÁ (1982).

O rio dos Patos (e o Ivaí) escoam em seu segmento superior sobre um substrato de rochas sedimentares da Bacia do Paraná (argilitos, folhelhos, siltitos, calcários entre outras). Sobre este substrato geológico assenta-se um relevo movimentado mais dissecado formado por topos planos. Assim o rio corta um relevo de “serra”, em degraus, constituídos por morros testemunhos e cadeias de mesetas (MAACK, 1981), o que faz com que o rio Ivaí apresente diversos locais de saltos e corredeiras principalmente nos trechos em que o rio corta intrusões de diabásio. Ao final do segmento, o rio Ivaí corta a escarpa da serra da Boa Esperança passando para o Terceiro Planalto e iniciando-se seu escoamento por rochas basálticas.

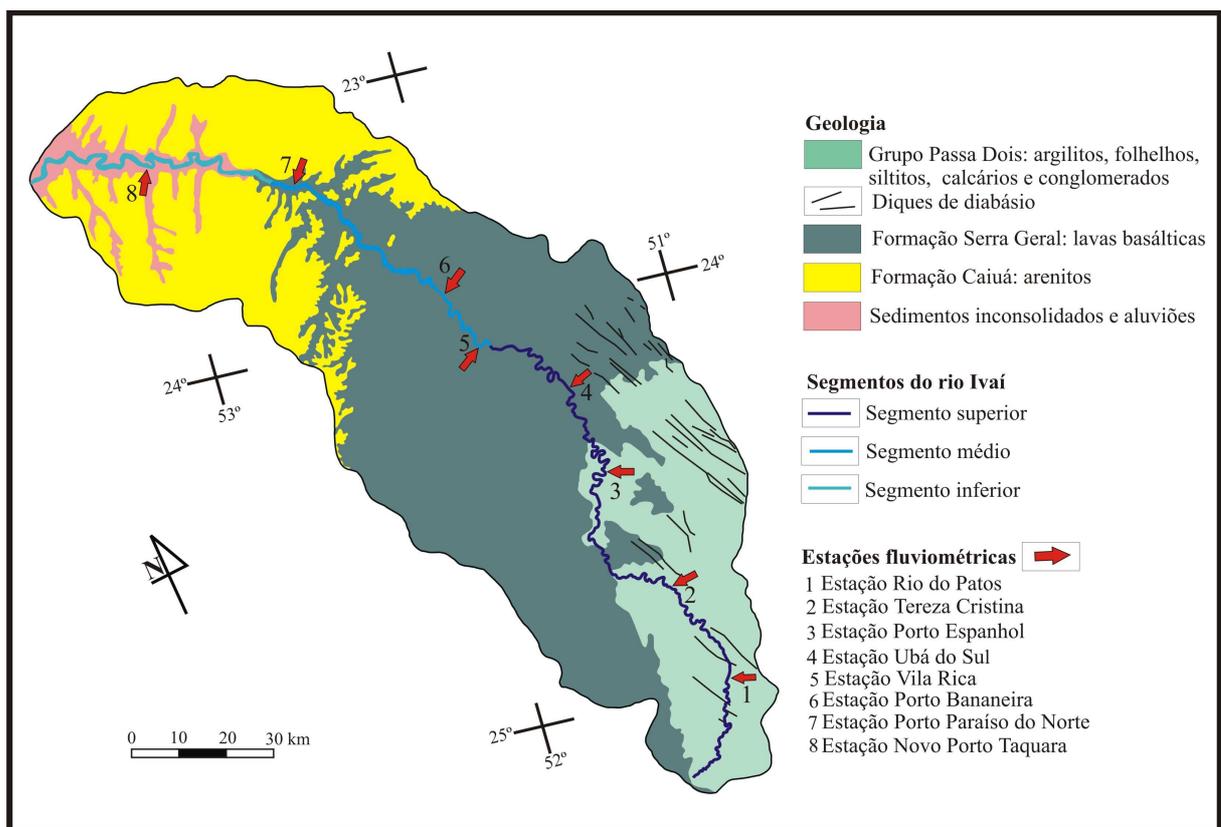


Figura 2 - Unidades geológicas da bacia hidrográfica do rio Ivaí  
Fonte: PARANÁ (1998); MINEROPAR (2000)

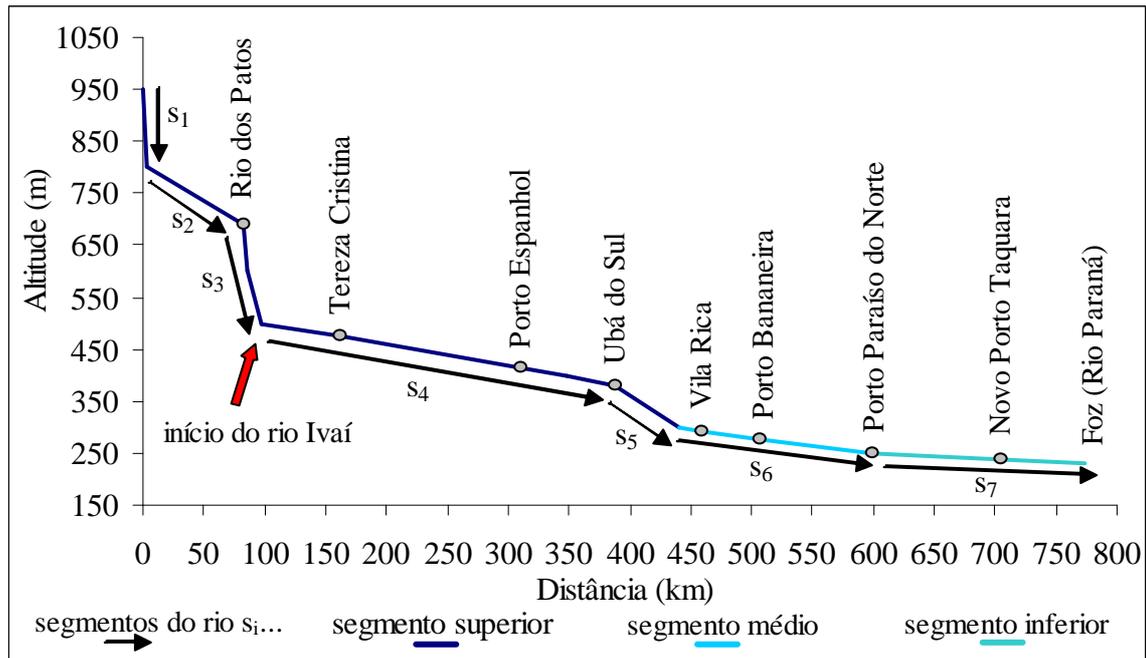


Figura 3 - Perfil longitudinal do rio Ivaí

Tabela 1 - Declividade dos segmentos do rio Ivaí

Segmentos do rio	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	s <sub>3</sub>	s <sub>4</sub>	s <sub>5</sub>	s <sub>6</sub>	s <sub>7</sub>
Declividade	5%	0,13%	1,36%	0,04%	0,1%	0,03%	0,01%

- **Segmento médio:**

Das proximidades da estação fluviométrica Vila Rica até pouco mais da estação fluviométrica Porto Paraíso do Norte estende-se o segmento médio entre altitudes de 300 a 250 m em um percurso de aproximadamente 170 km. A declividade deste segmento é de apenas 0,03% tornando-se bastante reduzida em direção jusante apresentando um desnível de 50 m.

O rio Ivaí neste segmento corta as rochas resistentes do basalto da Formação Serra Geral (JK), correndo por patamares e mesetas de um relevo menos enérgico, com morros tornando-se cada vez mais arredondados em direção jusante. As corredeiras, rasos e pequenos saltos ainda são presentes até as proximidades do município de Ivatuba. Deste ponto até a *Corredeira de Ferro*, o trecho é marcado por corredeiras importantes como a do Ferro e a do Índio separadas por remansos de gradiente suave (PARANÁ, 1982).

- **O segmento inferior:**

Em um percurso de 164 km e entre altitudes de 250 a 230 m delimitou-se o segmento inferior do rio Ivaí que se estende do início da planície à sua foz. Neste segmento o rio Ivaí

passa a escoar sobre os arenitos da Formação Caiuá (K) e dos sedimentos aluvionares da planície. O desnível neste trecho é de apenas 20 m e a declividade é de aproximadamente 0,01%, mostrando que o rio Ivaí corre pela topografia mais suave da bacia, compreendendo um relevo de chapadas e colinas bastante suaves, ao longo do qual seu curso está praticamente desprovido de cachoeiras.

A planície aluvionar apresenta trechos diferenciados considerando-se sua largura e relacionamento genético conforme apontado em PARANÁ (1982). Os primeiros vestígios de planície podem ser observados em pequenos terraços aluvionares a montante de corredeiras e saltos. Seguindo para jusante até a Corredeira de Ferro a planície alarga-se um pouco configurando uns 3 a 5 km de largura. Por mais 75 km rumo a foz a planície se alarga até chegar a ter de 6 a 10 km. Desse ponto em diante até atingir a foz, a planície apresenta sua porção mais ampla e encontra-se geneticamente relacionada com o rio Paraná.

## 6.2 O padrão de canal do rio Ivaí

O rio Ivaí (Foto 1) percorre diferentes direções até a sua foz. De sua nascente (trecho então formado pelo Rio dos Patos) passando pelo início propriamente dito do rio Ivaí até a estação de Ubá do Sul a direção geral é sul – norte. Desse ponto até a estação de Porto Paraíso do Norte o rio segue a direção noroeste e daí em diante até desaguar no rio Paraná a direção é oeste.



Foto 1 - Rio Ivaí na seção de Porto Paraíso do Norte, segmento médio – (fase de cheia)

O rio Ivaí em seu percurso desenvolve um padrão bastante irregular mostrando-se sinuoso, configurando curvas irregulares e muitas vezes com quebras abruptas formando “cotovelos”. Essa sinuosidade apresenta uma maior ou menor amplitude e frequência que parece estar na dependência da geologia e geomorfologia da bacia.

No segmento montante a sinuosidade do curso é alta e as curvas são menos extensas do que no segmento jusante, sendo separadas por curtos trechos retilíneos. No segmento médio, a sinuosidade é semelhante, mas com menor número de curvas, e raio maior. No segmento jusante a sinuosidade aumenta novamente e o rio passa a apresentar características de canais meandantes, exibindo curvas ora mais abertas, ora mais fechadas e de maior extensão. Contudo, o padrão não é ativo, pois o rio corre sobre substrato rochoso, e possui margens estáveis (SANTOS, 2004).

Maack (1981) ressalta que na junção do rio Alonso com o Ivaí, o rio passa a entalhar seu leito até sua foz no rio Paraná. De fato, nota-se que o rio Ivaí além de apresentar um padrão de canal meandrante o mesmo também se apresenta encaixado, o que é visualizado pelas características não apenas da configuração do canal, mas pela forma do leito e margens (Figura 4 a 11). Os perfis transversais nas seções que dispõe de estações fluviométricas, mostram que o rio Ivaí, na maioria das seções, apresenta um canal com leito bastante regular. As margens são significativamente íngremes e altas na maioria das seções e somente algumas destas apresentam poucos patamares e menor altura. Esses detalhes do leito e das margens mostram que o rio Ivaí apresenta um canal com meandros que se aprofundam no substrato rochoso. Portanto, pode-se aferir que tais características definem o padrão de canal do rio Ivaí como *meandrante encaixado*.

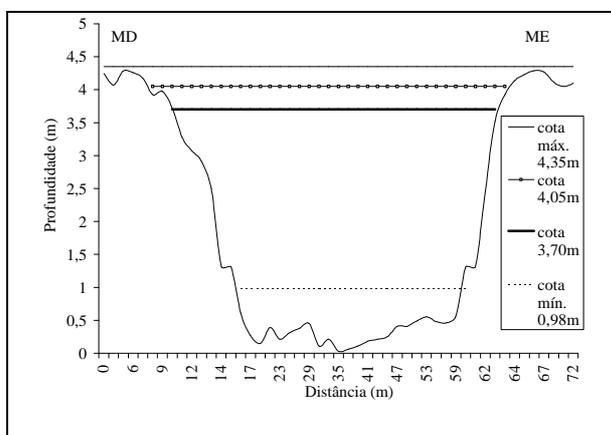


Figura 4 - Perfil transversal - seção Rio dos Patos

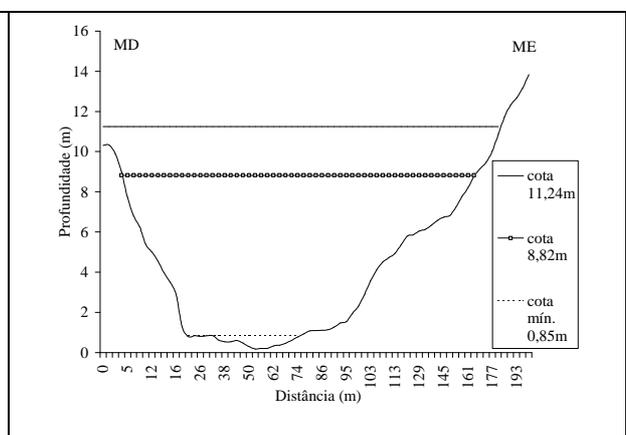


Figura 5 - Perfil transversal - seção Tereza Cristina

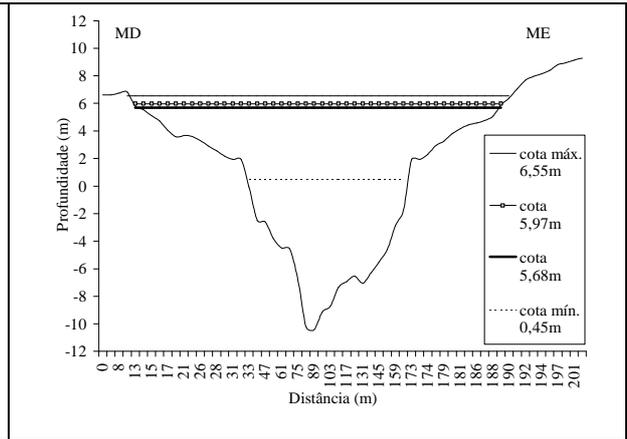
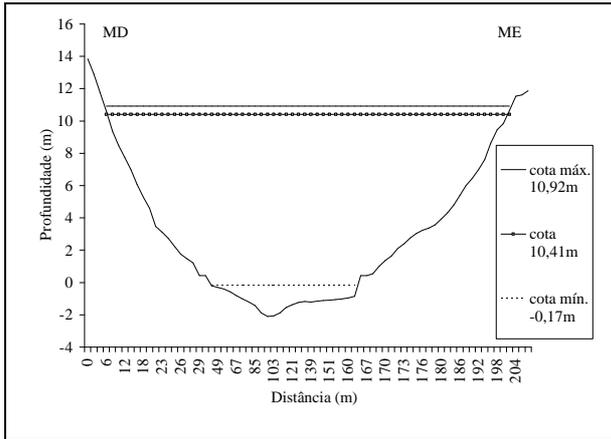


Figura 6 – Perfil transversal – seção Porto Espanhol      Figura 7 - Perfil transversal - seção Ubá do Sul

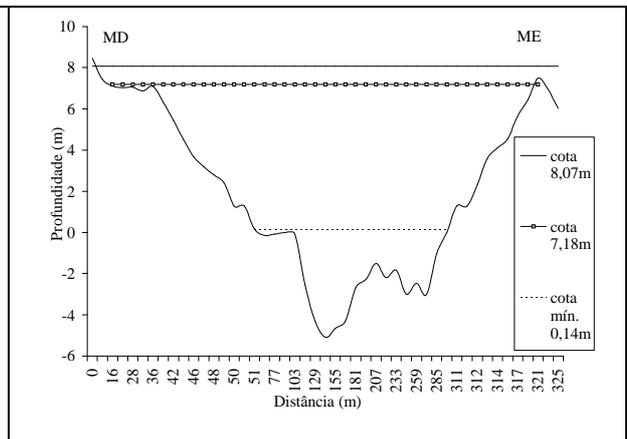
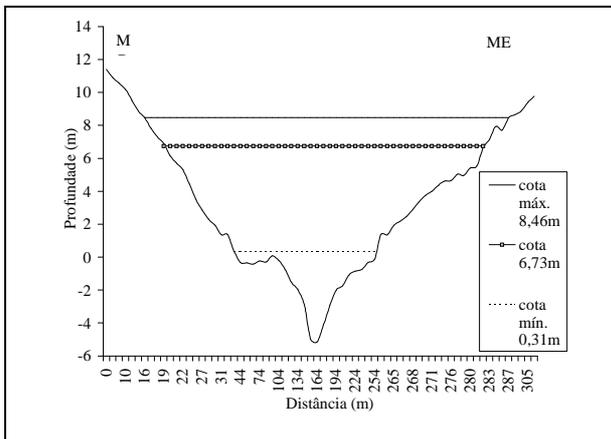


Figura 8 - Perfil transversal - seção Vila Rica      Figura 9 - Perfil transversal - seção Porto Bananeira

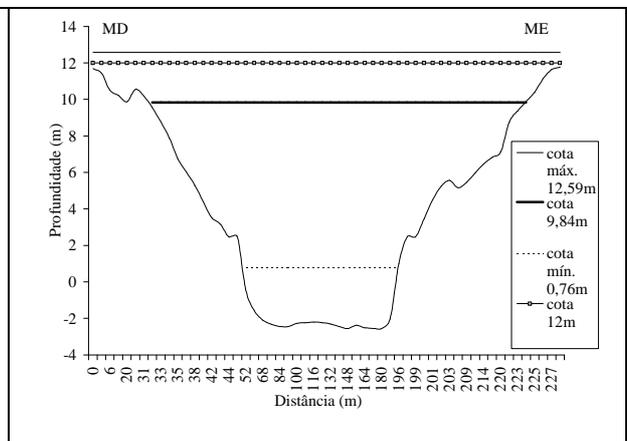
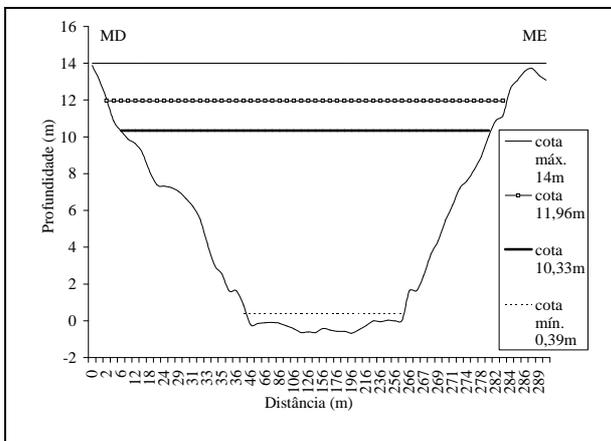


Figura 10 - Perfil transversal - seção Porto Paraíso do Norte      Figura 11 - Perfil transversal - seção Novo Porto Taquara

### 6.3 Algumas considerações sobre a hidrodinâmica do sistema rio Ivaí

No que tange à dinâmica erosiva e sedimentar, fatores importantes para o entendimento da geomorfologia fluvial, o rio Ivaí exibe determinadas características que demonstram uma maior tendência a ser erosivo, pois os afloramentos de rocha na base das margens podem ser visualizados por diversas vezes e o leito rochoso do rio é facilmente visto durante o período de estiagem.

Depósitos de sedimentos por sua vez, são mais difíceis de serem encontrados. Um depósito “consagrado” seria o *Porto de Areia* próximo ao município de Mirador, a jusante da estação de Porto Paraíso do Norte, que realiza a extração de areia numa área de remanso. Estudos realizados na parte baixa do canal do rio Ivaí apontam que não existe um aluvionamento significativo e recente ao longo do rio (PARANÁ, 1982).

Todavia, Wilson Júnior, Rodrigues e Santos (1980) realizaram estudos hidráulico-sedimentológicos na parte baixa do rio Ivaí entre a estação de Novo Porto Taquara a foz. Os autores constataram que existe deposição de sedimentos no fundo do canal constituídos principalmente por areia média na porção central do canal e silte e areia em quantidade bem reduzida próximo as margens. Os sedimentos transportados em suspensão por sua vez mostraram-se bastante finos.

Um recente estudo realizado por Biazin (2005 – em elaboração) revela a formação de diferentes formas de leito num trecho localizado na parte baixa do rio Ivaí com variação da granulometria da margem direita para a esquerda. De acordo com a autora, na margem direita o leito é rochoso, mas foram encontrados em diferentes períodos depósitos de areia média a fina, no centro do canal predomina areia média e na margem esquerda areia fina com lama (silte/argila).

### 6.4 Clima

Pela posição geográfica, a bacia do rio Ivaí na direção norte a sul encontra-se em uma área de transição do clima de características tropicais para subtropicais.

Conforme a classificação de Köppen as condições climáticas que ocorrem na bacia podem ser estabelecidas como:

[a montante da bacia o clima é Cfb], subtropical úmido sem estação seca, verões frescos e ocorrência de geadas severas e freqüentes. A média das temperaturas dos meses mais quentes é inferior a 22°C e dos meses mais frios é inferior a 18°C. [O restante da bacia o clima é Cfa], subtropical úmido com tendência de concentração de chuva nos meses de verão sem estação seca definida. A média das temperaturas dos meses mais quentes é superior a 22°C e dos meses mais frios é inferior a 18°C (PARANÁ, 1987, p.16).

No que tange à distribuição da pluviosidade, em quase toda a bacia o clima se assemelha ao subtropical, verificando-se uma homogeneidade temporal na distribuição das chuvas, sendo que as máximas e mínimas anuais podem ocorrer em qualquer época do ano. Apenas a porção norte-noroeste da bacia o clima apresenta qualidades mais tropicais concentrando parte das chuvas na estação do verão e diminuindo no inverno.

Andrade (2002) realizou um estudo sobre a variabilidade das precipitações na bacia hidrográfica do Ivaí, constatando que sua distribuição temporal e espacial não apresenta muita variação. A variabilidade apresenta-se mais perceptível somente em anos anômalos, em virtude dos fenômenos El Niño e La Niña. Os índices mais elevados de precipitação média total ocorrem a montante e na porção centro sul da bacia (1750 mm) com uma diminuição para jusante (1350 mm). Os valores do desvio padrão em relação a precipitação oscilam entre um máximo de 390 mm próximo a nascente e um mínimo de 270 mm nas proximidades da foz, mostrando que a dispersão dos valores é baixa o que indica pouca variabilidade da quantidade das chuvas que precipitam na área da bacia (Figuras 12 e 13).

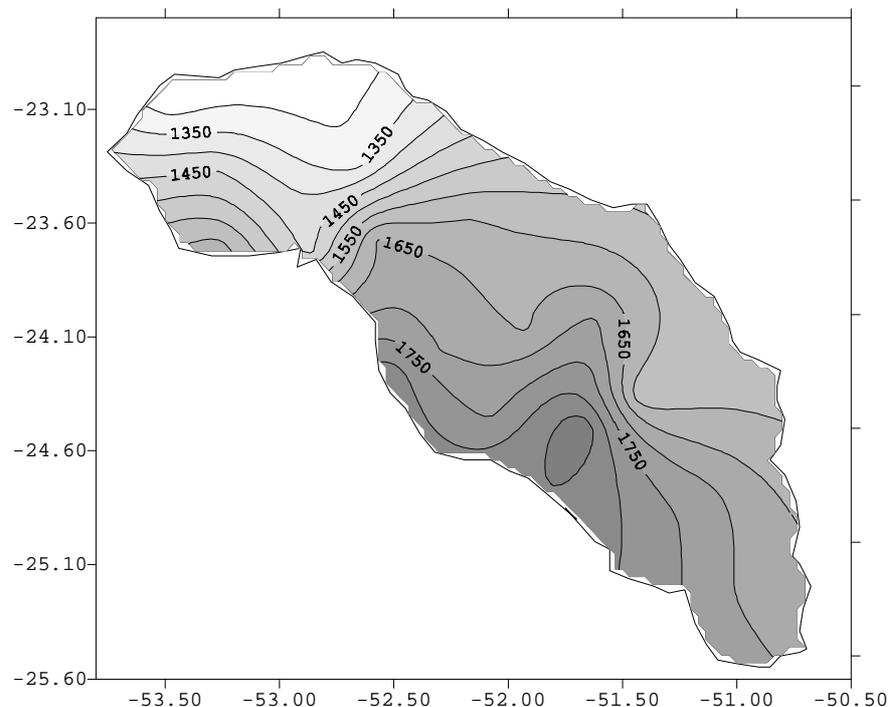


Figura 12 - Precipitação média na bacia hidrográfica do Ivaí  
Fonte: ANDRADE (2002)

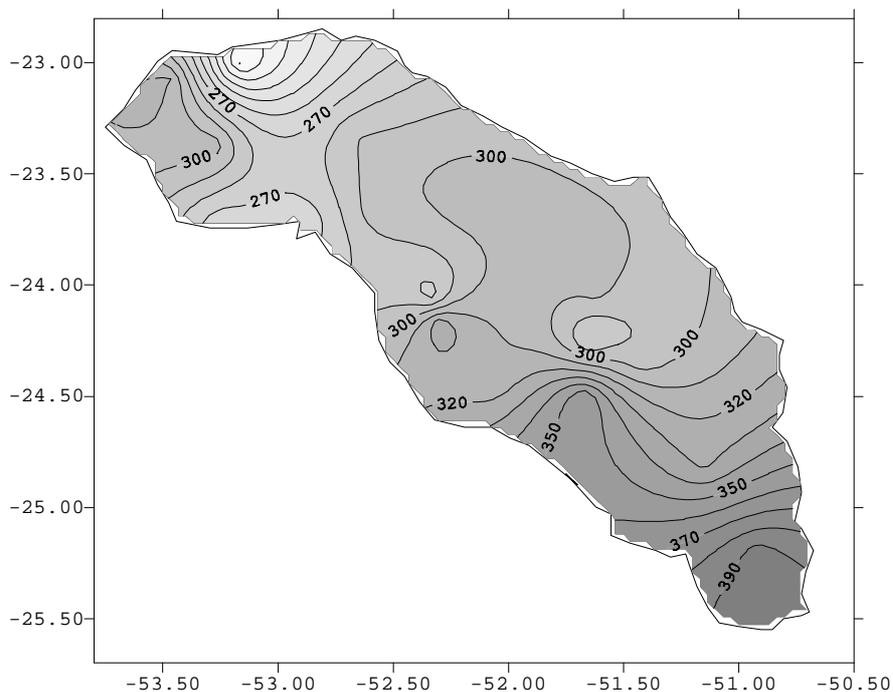


Figura 13 - Desvio padrão dos valores de precipitação na bacia hidrográfica do Ivaí  
Fonte: ANDRADE (2002)

## 6.5 Vegetação natural

De modo geral, a bacia hidrográfica do rio Ivaí exibe uma vegetação de florestas de caráter tropical e subtropical, sendo portanto, a latitude e a altitude um dos fatores geográficos importantes para o desenvolvimento de determinadas espécies que permitem diferenciar a mata em determinadas áreas da bacia. Pela classificação do IBGE (1993) as formações vegetais que cobrem a bacia são a *Floresta Ombrófila Mista* e a *Floresta Estacional Semidecidual*.

A montante da bacia constitui-se a Floresta Ombrófila Mista, que corresponde a uma mescla de matas da Floresta Estacional Semidecidual de características tipicamente subtropicais e de espécies de pinheiros entre os quais a araucária (*Araucária Angustifolia* - pinheiro símbolo do estado do Paraná). Esta formação vegetal recobre áreas de altitudes mais elevadas acima de 500 m e temperaturas mais amenas com média em torno dos 18°C e pluviosidade entre 1800 mm anuais (IAPAR, 1978), condições de clima Cfb.

A partir da junção do rio Ivaí com o rio Alonso mais precisamente na passagem do segundo para o terceiro planalto até a foz do rio Ivaí, a bacia é dominada pela Floresta Estacional Semidecidual. Esse tipo de mata tem ocorrência na área dominada pelo clima Cfa,

mas adquire aspectos diferentes em três porções da bacia, basicamente devido ao tipo de solo e das condições climáticas (MAACK, 1981).

Principalmente no segmento médio essa floresta “está relacionada ao clima de duas estações, uma chuvosa e outra seca na área tropical (ao norte da bacia), com temperatura média entre os 22°C, ou com curto período seco acompanhado de uma acentuada baixa térmica na área subtropical (ao sul da bacia), com temperatura média em torno dos 15°C” (IBGE, 1993). Por causa dessa diferença de temperatura e intensidade das chuvas, ao norte a floresta apresenta características tropicais pois está associada a temperaturas mais quentes e menor umidade. Em contrapartida ao sul, a mesma formação vegetal mostra características subtropicais pois o desenvolvimento de muitas espécies está influenciado pela predominância de temperaturas mais amenas e chuvas mais abundantes.

No segmento jusante a Floresta Estacional Semidecidual apresenta características tropicais aparentando-se menos exuberante por se desenvolver em solos mais arenosos na área de ocorrência da Formação Caiuá. Já a mata tropical de maior exuberância se assenta sobre solos argilosos em área de ocorrência de basalto.

A floresta Estacional Semidecidual caracteriza-se por perder parte das folhas na estação seca e/ou fria. Entre as principais espécies destaca-se a madeira de lei peroba (*Aspidosperma polyneuron*).

## **6.6 Histórico de ocupação e uso do solo: o caso do desmatamento**

Atualmente, o mosaico de vegetação natural da bacia hidrográfica do Ivaí, assim como de todo o estado do Paraná, encontra-se modificado. O processo de colonização, ocupação e uso do solo estabelecido no estado através dos ciclos econômicos da madeira, do café e recentemente o das culturas comerciais (soja, trigo etc), não contemplaram a preservação da vegetação a se destacar as florestas tropicais/subtropicais e as matas com araucária. A “filosofia” que permeava o processo era o de obter lucro a qualquer preço. A população que foi ocupando as terras do estado estava “hipnotizada” e ao mesmo tempo receberam “incentivos” pela quantidade abundante de madeira de boa qualidade e pelas aparentemente “inesgotáveis” terras roxas.

A mudança da paisagem no estado iniciou-se pela eliminação das florestas na faixa litorânea avançando em direção ao Primeiro Planalto e posteriormente de modo rápido para o

Segundo e Terceiro Planalto. No início da segunda metade do século XIX, os imigrantes europeus passaram a ocupar o interior do estado e a realizar a derrubada da mata num processo apenas de subsistência. Contudo, Nosella e Alcântara (2004) apontam a abertura da estrada da Graciosa em 1873 ligando Curitiba a Antonina e a construção da ferrovia Curitiba – Paranaguá em 1885 como empreendimentos que facilitaram o transporte da madeira incentivando sua comercialização. Com isso, a exploração madeireira acentuou-se rapidamente com o aumento do número de serrarias que foram sendo gradativamente construídas ao longo das estradas e ferrovias, além disso, conforme apontado por Hüebelin (2004) por volta da década de 1930 houve um crescente uso de caminhões. Esses fatores facilitaram em muito o transporte das madeiras ocasionando a interiorização do desmatamento no estado do Paraná.

Também, por volta dos anos de 1940 - 50 havia as empresas estrangeiras de colonização das terras e de construção de ferrovias que, muitas vezes, faziam acordos com o governo recebendo o direito de explorar uma determinada faixa de terra, ou explorava criminosamente as matas demonstrando mais interesse de explorar a madeira do que colonizar ou construir (HÜEBLIN, 2004). Assim, em meio a esse processo, extensas porções de matas com araucária foram devastadas nas regiões sudoeste, oeste e noroeste do Paraná. Nesse período, nessas regiões incluindo também o norte do estado a exuberante floresta foi quase totalmente derrubada e substituída por culturas comerciais (CAMPOS, 1999).

Conforme a vegetação primária foi desaparecendo, as mesmas terras foram sendo ocupadas por essas culturas comerciais a se destacar primeiramente a cultura do café que, em decorrência da ótima aceitação no mercado de produtos exportáveis e do preço favorável no mercado externo, obteve uma expansão extraordinária e rapidamente tornou-se o principal produto de exportação do Brasil até os anos de 1960. Na região norte as lavouras de café adaptaram-se muito bem ao clima, ao tipo de solo e a topografia suave constituídas por extensas áreas aplanadas, representando uma das regiões mais produtivas dessa cultura no país.

Entretanto, no final da década de 50 ocorreu uma superprodução de café que, associada à concorrência no mercado internacional com a África e Estados Unidos culminou numa crise de exportação e conseqüentemente econômica. O governo por sua vez, por volta de 1962 e 1967 para manter os preços internacionais do produto, implementou uma política de erradicação dos cafezais, junto a esse processo, anos depois, as lavouras de café foram prejudicadas por sucessivas geadas que acabou exterminando centenas de hectares de

cafezais. Assim após anos de “glória” dos cafeeiros, a década de 70 “marca o fim” do apogeu do café.

Segundo Moro (1991), com o declínio da cultura do café iniciou-se um processo de substituição de culturas cedendo espaço para as pastagens num primeiro momento e depois pela cultura associada da soja e do trigo.

Nesse sentido, a introdução gradativa nos últimos 30 anos e aceleradamente entre os anos de 1970 a 1985 dessas culturas comerciais foi acompanhada pelo processo de modernização da agricultura paranaense (MORO, 1991), que, da mesma forma como ocorreu com o café, acabou ganhando destaque como produto de exportação como se tem verificado atualmente.

Realizando-se um balanço geral, o processo de ocupação e uso do solo ocorrido no estado foi acompanhado de uma intensa destruição da cobertura florestal. O estado do Paraná até o final do século XIX apresentava 83% de sua área ocupado por florestas e atualmente restam apenas 7%, sendo que na região noroeste remanescem apenas 1% (CAMPOS, 1999). Esses dados, por sua vez, dão idéia da amplitude das mudanças e das perdas em termos ambientais que foram gerados no estado do Paraná. As exuberantes florestas pode nos dias de hoje ser observada apenas em manchas que foram instituídas como área de preservação ou em áreas de afloramentos rochosos. A Tabela 2, fornece uma idéia quantitativa e visual da evolução do desmatamento no estado do período de 1500 a 1995.

Tabela 2 - Evolução do desmatamento no estado do Paraná

ANO	COBERTURA FLORESTAL (ha)	PERCENTUAL (%)
(*)1500	17.000.000	85,00
(**)1895	16.782.400	83,41
(**)1930	12.902.400	64,13
1937	11.802.400	59,60
(**)1950	7.983.400	39,68
1955	6.913.600	34,90
1960	5.563.600	28,10
(**)1965	4.813.600	23,92
(***)1980	3.413.447	16,97
(****)1990	1.848.475	9,19
(*****)1994	1.712.814	8,60
(****)1995	1.769.449	8,79

*FONTES: HOME PAGE DO INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ*

*(\*) Cobertura Florestal primitiva original - Estimativa*

*(\*\*) Maack, 1968*

*(\*\*\*) FUPEF, 1984*

*(\*\*\*\*) SOS MATA ATLÂNTICA/INPE/ISA, 1998*

*(\*\*\*\*\*) IAP, 1994*

Fonte: IAP (2004)

A bacia hidrográfica do rio Ivaí drena as áreas que mais sofreram com o desmatamento no estado. A porção média e baixa da bacia por apresentar características físicas adequadas para a agricultura principalmente do tipo mecanizada apresenta-se hoje como a área mais desprovida de vegetação florestal. A vegetação primária da área subtropical situada da porção média a montante da bacia encontra-se mais preservada porque a cultura do café não se desenvolveu muito bem nas regiões onde as geadas são freqüentes, da mesma forma que a agricultura mecanizada não é possível de ser introduzida nas áreas de relevo mais acidentados e íngremes e, dependendo do tipo de cultura, não se adapta às temperaturas mais amenas típicas do clima subtropical da maior parte da região sul do país.

Dentro do contexto abordado, fica evidente que o processo de uso e ocupação do solo adotado no estado do Paraná e notado principalmente na região norte e noroeste que são regiões que compõe a maior parte da bacia do rio Ivaí, pode ter conduzido algum tipo de modificação em relação aos recursos hídricos. A retirada da vegetação deixa o solo sem proteção e o escoamento pluvial pode se acentuar ocasionando mudanças na vazão no que se refere à magnitude dos picos de descarga. Processo como este pode ter se acentuado a partir da introdução das culturas temporárias como a soja e o trigo que devido ao seu ciclo de desenvolvimento entre crescimento e colheita expõe o solo uma a duas vezes ao ano, além de ser uma planta de menor porte e que oferece uma menor proteção ao solo do que as matas e os cafezais. Como é uma agricultura intensiva e que utiliza máquinas para preparo do solo, a remoção do mesmo leva a uma perda maior de solo durante os períodos de chuva intensificando o assoreamento nos cursos d'água.

## **7 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Antes de prosseguir com a descrição dos métodos aplicados para o tratamento das informações, é interessante destacar como é realizada a operação de uma estação fluviométrica, os critérios considerados na escolha do local de implantação da estação e algumas de suas características.

## 7.1 Monitoramento das vazões e rede hidrométrica

O conhecimento das vazões de um rio depende da aquisição dos valores de descarga ou da altura do nível da água em várias seções do canal, pois os cursos d'água exibem segmentos geológico e morfologicamente distinto de sua nascente até a foz, que influenciam nas características quantitativas e qualitativas das vazões no que se refere ao volume de água, picos de descarga entre outros. Por isso, são estabelecidas ao longo dos cursos d'água várias estações fluviométricas ou postos hidrométricos equipados com aparelhos para medição de variáveis hidrológicas como vazão, precipitação, evapotranspiração, temperatura etc.

Segundo Deffune (1991), um posto hidrométrico é uma seção de um rio em que são obtidos de modo sistemático vazões ao longo de um período por meio da instalação e operação de dispositivos e aparelhos como régua linimétrica ou linígrafos (aparelho que grava continuamente as variações do nível da água automaticamente).

Além do uso de tais aparelhos, existem outras formas de se medir a vazão de um rio, empregando-se equações e utilizando-se o método consagrado da curva-chave. A curva-chave por sua vez, é elaborada cruzando os valores de vazão com a altura do nível d'água, para tanto, necessita-se de um longo período de monitoramento dessas duas variáveis. Desse modo, depois de elaborada a curva-chave geralmente realiza-se somente a leitura do nível da água (cotas fluviométricas) e a determinação do valor de vazão passa a ser gerado atribuindo o valor de cota à equação da curva-chave.

A determinação do local de instalação de uma estação fluviométrica deve obedecer, se possível, diversos critérios como: localização em trecho retilíneo sem interferência de meandros, ilhas e outros fatores que possam perturbar de modo significativo o escoamento; a seção transversal deve apresentar velocidade do fluxo estável e bem distribuída a qualquer altura do nível da água; a jusante do ponto as condições de escoamento deve ser semelhantes ao longo do tempo, para tanto é necessário uma seção de controle estável; de preferência a estação deve estar próximo a um observador e de pontos que facilitam a montagem de equipamentos para medir as vazões e cotas (CHEVALLIER, 1997), (DEFFUNE, 1994).

Numa bacia hidrográfica são instaladas as estações fluviométricas (medição da vazão e de outras variáveis referentes ao canal do rio) e estações pluviométricas (medição de precipitação) distribuídas na área da bacia. Essas estações são distribuídas de tal forma que compõem uma rede de coleta de informações hidrológicas denominada rede hidrometeorológica. O objetivo da rede é viabilizar o levantamento de informações necessárias à realização de estudos e na elaboração de projetos que necessitam o

conhecimento das disponibilidades hídricas e potenciais hidráulicos das bacias hidrográficas brasileiras, e a obtenção de vazões utilizados no planejamento (ANA, 2004).

A rede hidrometeorológica abrange todo o território brasileiro e está dividida em 14 áreas operacionais sendo gerenciada pela Agência Nacional de Águas (ANA). A agência tem sob seu domínio a administração da rede. Além da ANA, outros órgãos realizam a operação de diversas estações de monitoramento.

Parte dos dados hidrológicos são centralizados pela ANA e divulgados pelo Sistema de Informações de Recursos Hídricos pela Internet no site da ANA no ícone Hidro Web. Os dados podem também ser encontrados em publicações na forma de boletins fluviométricos.

## **7.2 As estações de monitoramento das vazões do rio Ivaí**

De acordo com informações publicadas pela SUDERHSA (PARANÁ, 1998) a bacia hidrográfica do Ivaí possui 17 estações fluviométricas sendo 11 distribuídas ao longo do rio Ivaí e outras 6 nos principais afluentes. Algumas dessas estações o órgão responsável é a ANA e a operadora é a SUDERHSA. Neste caso os dois órgãos possuem os dados hidrológicos disponíveis. Para outras estações tanto o órgão responsável quanto a operadora é de responsabilidade da SUDERHSA e somente este órgão possui os dados à disposição.

As estações fluviométricas em operação no rio Ivaí são: Rio dos Patos, São Pedro, Tereza Cristina, Porto Espanhol, Ubá do Sul, Vila Rica, Porto Bananeiras, Porto Paraíso do Norte (Foto 2 e 3), Tapira Jusante, Novo Porto Taquara. Dessas, a estação São Pedro foi excluída da análise por estar localizada muito próxima a estação Rio dos Patos não havendo necessidade de considerá-la. A estação Tapira Jusante por apresentar pouco período de monitoramento (dezembro de 1990 a outubro de 2002) acompanhado de muitas falhas (cerca de 10%) também foi excluída. Nesse sentido, foram tomadas oito estações fluviométricas para o estudo do regime hidrológico do rio Ivaí (Tabela 3).

Os pontos do rio em que as estações estão localizadas não são coletados apenas dados de vazão e cota. Outras informações hidrológicas são tomadas no local constituindo um banco de informações que contém dados de vazão e cota média, diária e mensal, mínima e máxima mensal, pluviosidade, sedimentologia e perfis transversais levantados em diferentes períodos.

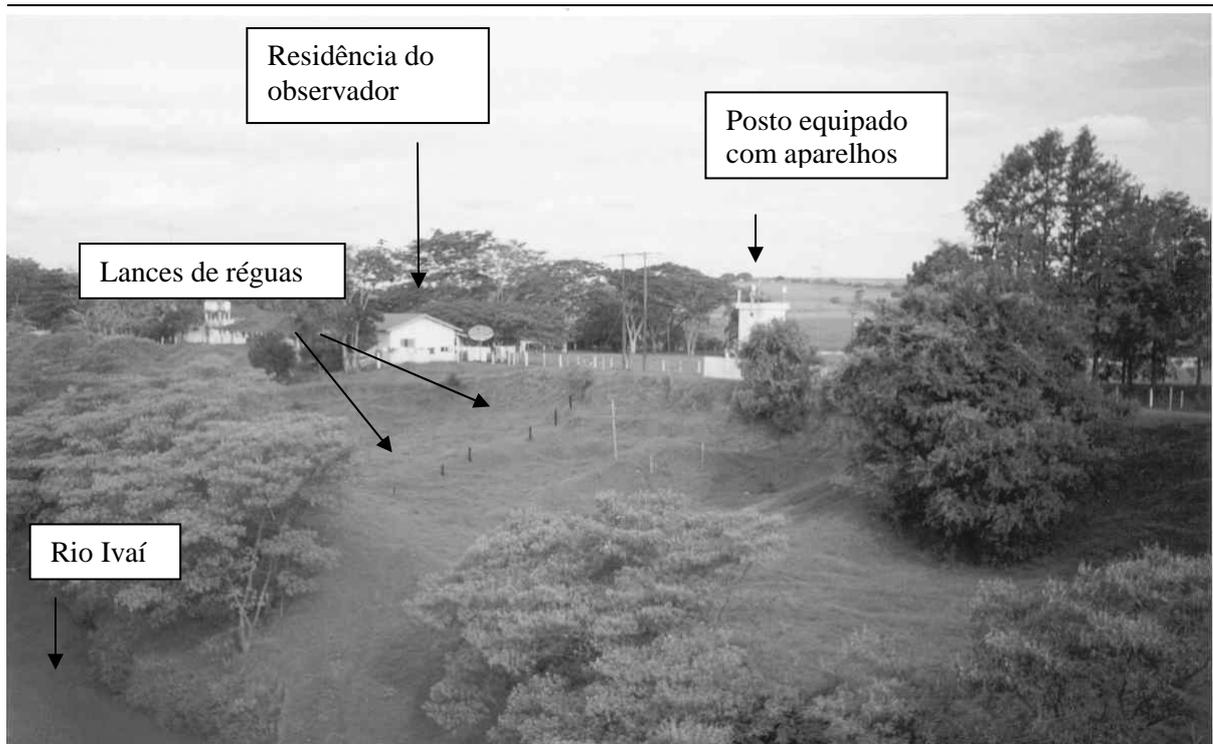


Foto 2 – Estação fluviométrica de Porto Paraíso do Norte – segmento médio



Foto 3 – Vista parcial dos lances de réguas – estação Porto Paraíso do Norte no rio Ivaí

Tabela 3 - Características das estações fluviométricas do rio Ivaí

código	nome da estação	coordenadas geográficas		altitude do posto (m)	área de drenagem (km <sup>2</sup> )
		latitude	longitude		
64620000	Rio dos Patos	-25°12'00"	-50°56'00"	690	1086
64625000	Tereza Cristina	-24°49'48"	-57°08'32"	424	3572
64645000	Porto Espanhol	-24°20'00"	-51°26'00"	413	8600
64655000	Ubá do Sul	-24°03'00"	-51°37'00"	380	12701
64660500	Vila Rica	-23°54'00"	-51°57'00"	290	19300
64675002	Porto Bananeiras	-23°40'00"	-52°07'00"	275	24200
64685000	Porto Paraíso do Norte	-23°19'00"	-52°40'00"	250	28427
64693000	Novo Porto Taquara	-23°12'00"	-53°19'00"	240	34432

Fonte: ANA (2004)

Obs: **Segmento superior**; **médio**; **inferior**

É importante conhecer as características das estações fluviométricas (Tabela 3) utilizadas no estudo, pois sua localização geográfica (Figura 1) e altitude podem ajudar a inferir explicações para muitas análises com relação ao regime de vazões ou outro elemento hidrológico em questão, como avanços de massas de ar, eventos de precipitações locais, evaporação, direcionamentos dos ventos entre outros.

As séries históricas de vazões do rio Ivaí apresentam um registro de dados satisfatório pois abrangem longos períodos de observação sendo algumas acompanhadas de falhas e outras com série completa (Tabela 4).

Tabela 4 - Situação das séries históricas das vazões registradas no rio Ivaí

estações	período de registro	interrupções
Rio dos Patos*	20/5/1930 – 30/9/2002	sem interrupções
Tereza Cristina*	07/8/1956 – 30/9/2002	1/3 – 30/4/78, 22/12/93 – 31/1/94, 1/3/94 – 9/5/94, jan/02
Porto Espanhol**	13/8/1965 – 30/6/2003	sem interrupções
Ubá do Sul**	16/4/1967 – 30/11/2002	12/5 – 3/6/67, 01 – 18/4/83, 1997,1998, 1999, 2000, 2001
Vila Rica**	15/8/1985 – 30/9/2003	Jan/93, 01/2/95, 08/2 – 18/4/95, out/02
Porto Bananeiras*	19/2/1974 – 30/4/2003	3 – 29/6/88, 18/1/95, 22/1 – 21/4/95, 27/4 – 31/5/95, 1 – 5/10/95, 8/10 – 30/11/95, 20 – 29/3/96
Porto Paraíso do Norte***	14/3/1953 – 13/12/2003	sem interrupções
Novo Porto Taquara*	8/7/1974 – 31/10/2002	1 – 7/6/83, 11 - 18/6/83, 23 – 28/6/83, 1/7 – 18/8/83, 22 – 29/8/83, 3108 – 18/9/83, 22 – 29/9/83, 1/10 – 30/11/90, 1/12 – 31/5/94, 1/12 – 31/12/94, jul/95, 2 – 30/9/95, 31/8/00

Fonte: \*ANA (2004); \*\*SUDERHSA (2003); \*\*\*ITAIPU BINACIONAL (2004)

No que se refere às características da seção e do leito (Tabela 5) onde estão instaladas as estações, verifica-se que a maioria estão localizadas em trecho reto o que diminui a existência de obstáculos para a medição das variáveis hidrológicas. No leito predomina material rochoso o que oferece estabilidade para a seção de medição.

Tabela 5 - Características da seção do rio Ivaí onde se localizam as estações fluviométricas

<b>estações</b>	<b>características do trecho/leito</b>
Rio dos Patos	trecho pouco curvo e o leito apresenta-se rochoso
Tereza Cristina	o trecho apresenta-se reto com leito arenoso-rochoso
Porto Espanhol	trecho reto
Ubá do Sul	trecho reto e leito rochoso
Vila Rica	trecho pouco curvo
Porto Bananeira	trecho reto
Porto Paraíso do Norte	trecho de configuração retilínea com leito rochoso
Novo Porto Taquara	trecho reto em início de curva, apresentando leito areno rochoso

Fonte: ANA (2004)

## 8 MATERIAL E MÉTODOS

Para o conhecimento do comportamento do regime hidrológico do rio Ivaí, o primeiro passo foi realizar um levantamento bibliográfico relacionado ao assunto e à área de estudo. Entretanto, a bibliografia disponível sobre este rio é mínima tendo em vista que apesar da importância que o rio Ivaí representa para o estado do Paraná a atenção destinada ao mesmo é pequena, pelo menos até o momento.

Através da bibliografia consultada sobre o assunto pode-se verificar o uso de parâmetros que auxiliam no entendimento do comportamento do regime fluvial em vários aspectos. Foram assim considerados alguns desses parâmetros como periodicidade, estacionariedade, frequência, duração e recorrência das vazões, como meio de facilitar a interpretação das informações.

A base de dados para a análise e caracterização do regime hidrológico foram as séries históricas de vazões e cotas (cedidos pela ANA, SUDERHSA e ITAIPU BINACIONAL) registradas através das oito estações fluviométricas distribuídas ao longo do rio. As informações utilizadas dessas séries foram de vazões diárias, médias mensais e máximas anuais, além de cotas diárias. Todos esses dados formaram um banco de informações extenso,

por isso foram tratados os dados e organizados/representados em forma gráfica, que permite analisar as informações de modo quantitativo e visual.

### 8.1 Variabilidade das vazões: periodicidade e estacionariedade

Para analisar a variabilidade do regime hidrológico, as informações de vazão diária foram organizadas em hidrogramas projetando-se as vazões em função do tempo. O intuito foi de observar o comportamento das vazões ao longo do tempo de registro verificando-se a existência de periodicidade e estacionariedade, assim como, a possível existência de anomalias. Hidrogramas de vazão média mensal também foram elaborados no sentido de facilitar a identificação de períodos sazonais.

A variabilidade das vazões também foi expressa pelo cálculo do coeficiente de variação, por fornecer valores numéricos que representam a dispersão dos dados e por ser amplamente utilizado em hidrologia. Para tanto, é necessário primeiramente conhecer a média e o desvio padrão da série histórica. De acordo com Barbetta (2002) a medida do desvio padrão fornece informações complementares à informação contida na média avaliando a dispersão do conjunto de valores. Para o cálculo do desvio padrão aplicou-se a equação 3:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}} \quad (3)$$

Sendo:

$\sigma$  desvio padrão

$Q$  vazão

$\bar{Q}$  vazão média

$n$  número de vazões registrados na série histórica

O cálculo do coeficiente de variação por sua vez, é expresso pelo inverso da vazão média da série histórica de vazões diárias pelo seu desvio padrão, assim tem-se a equação 4:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{Q}} \quad (4)$$

Sendo:

$C_v$  coeficiente de variação

## 8.2 Freqüência e curva de duração do fluxo

A freqüência representa o número de vezes que uma vazão de determinada magnitude ocorre na seção do canal em que foi registrado. Para analisar a freqüência foram elaborados curvas que relacionam uma determinada vazão com a respectiva porcentagem de tempo em que permanece no canal. Assim, considerando-se as séries de vazões diárias e aplicando-se a equação 5 de Sturges, define-se o número de classes e pela equação 6 estabelece-se a amplitude dos intervalos de classe. A freqüência deu-se, pois, pela contagem do número de ocorrências de vazões pertencentes a cada intervalo de classe.

A equação 5 é dada por:

$$m = 1 + 3,3 \cdot \log(n) \quad (5)$$

Sendo:

$m$  intervalo de classe

$n$  número de vazões registradas na série histórica

A equação que define a amplitude é dada por:

$$A = \frac{Q_{m\acute{a}x} - Q_{m\acute{i}n}}{m} \quad (6)$$

Sendo:

$A$  amplitude para os intervalos de classe

$Q_{m\acute{a}x}$  vazão máxima da série histórica

$Q_{m\acute{i}n}$  vazão mínima da série histórica

$m$  número de intervalos de classe

Para a elaboração da curva de duração do fluxo, as freqüências de ocorrência das vazões determinadas conforme o procedimento anterior foram organizadas e acumuladas em

ordem decrescente e transformadas em porcentagem. Assim estabeleceu-se uma relação entre vazão e porcentagem de tempo. Desse modo, a cronologia de ocorrência das vazões é ignorado.

Apesar de ter sido utilizada a equação 5 na definição dos intervalos de classe, foi necessário aumentar o número de classes diminuindo-se a amplitude a fim de tornar a curva de duração mais representativa. Isso leva a inferir que para rios que apresentam um comportamento do regime de vazões extremamente oscilatório com elevada amplitude entre valores máximos e mínimos a equação de Sturges não apresenta bons resultados.

### 8.3 Recorrência

A recorrência foi elaborada para as vazões máximas anuais ajustando os dados pela função matemática de Gumbel. Tal função foi escolhida por ser de uso mais prático e ser freqüentemente utilizada por hidrólogos e outros profissionais, além de apresentar resultados satisfatórios em relação ao tratamento de extremos. Para aplicação da função de Gumbel os valores são ordenados conforme a seqüência de magnitude numa escala crescente e aplicados a equação 7, que conforme apresentado no trabalho de Martoni (1998) pode ser expressa da seguinte maneira:

A distribuição de Gumbel tem como função densidade de probabilidades:

$$f_x(x) = \frac{1}{\beta^e} e^{-\left(\frac{x-a}{\beta}\right)} e^{-e^{-\left(\frac{x-a}{\beta}\right)}} \quad (7)$$

Conseqüentemente, a função cumulativa de probabilidades de não-excedência:

$$\text{FCP: } P[x \leq x] = F_x(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-a}{\beta}\right)}} = e^{-e^{-y}}, \quad \text{para } -\infty < x < +\infty$$

$$\text{Onde: } y = \frac{x-a}{\beta}$$

Sendo:

$y$  variável reduzida

$x$  é a variável ( $Q_{máx}$ )

$\alpha$  e  $\beta$  parâmetros da distribuição dos valores extremos do Tipo I, que podem ser estimados pelo método dos momentos

$\alpha$  parâmetro de locação (moda da distribuição)

$$\alpha = \bar{x} - 0,45 * \delta$$

$\beta$  parâmetro de mudança de escala ou parâmetro de escala (é proporcional ao desvio padrão)

$$\beta = \frac{\delta}{1,283}$$

$e$  2,71 (constante de Euler)

## 9 O REGIME HIDROLÓGICO DO RIO IVAÍ

A variabilidade do regime hidrológico de um rio pode ser avaliado por meio da periodicidade e estacionariedade de sua vazão. Para a análise desses parâmetros podem ser utilizados os fluviogramas das vazões médias diárias.

No caso do rio Ivaí, em que são analisadas oito estações fluviométricas, a variabilidade das vazões em cada uma delas pode ser observada nos fluviogramas que estão apresentados a seguir (Gráficos 1 a 8).

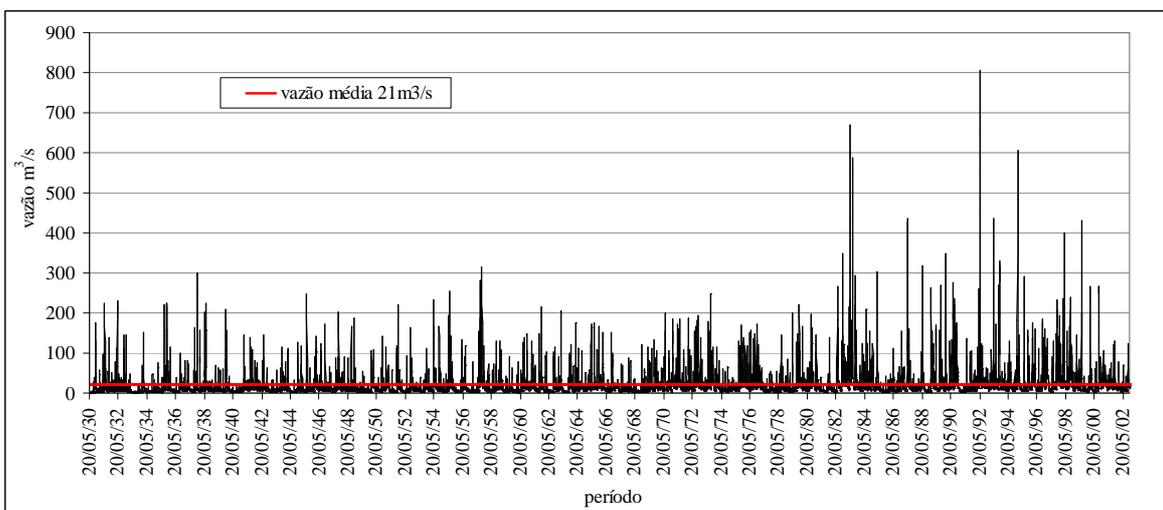


Gráfico 1 – Vazão média diária do rio dos Patos na estação Rio dos Patos, segmento superior – período 20/5/1930 – 30/9/2002

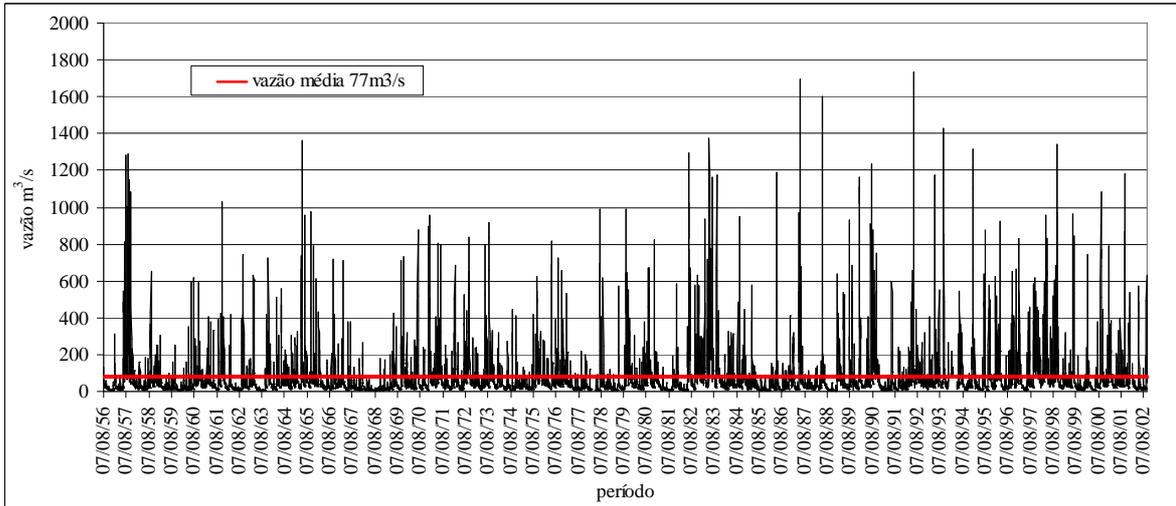


Gráfico 2 – Vazão média diária do rio Ivaí na estação Tereza Cristina, segmento superior – período 7/8/1956 – 30/9/2002

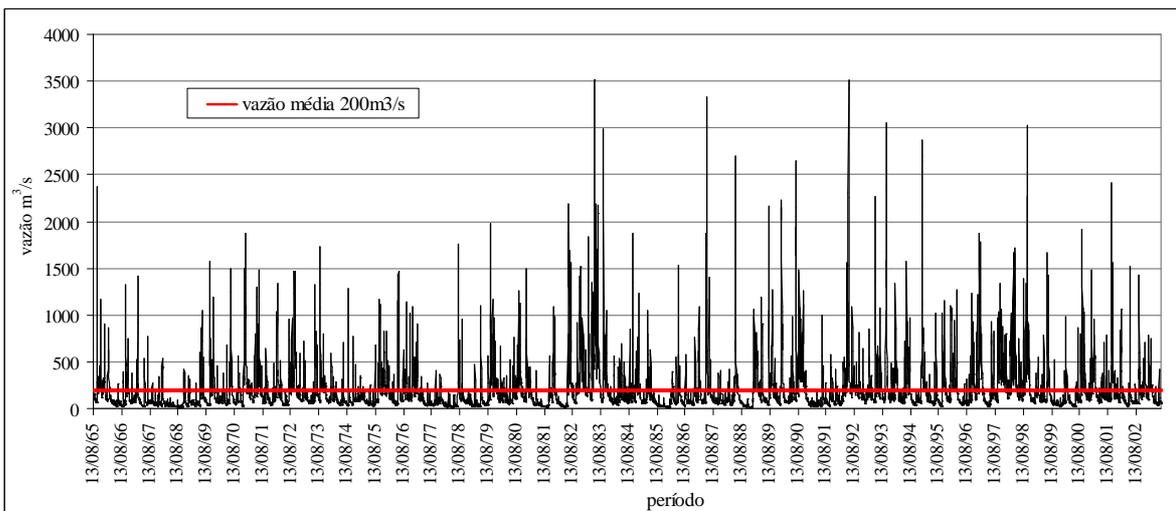


Gráfico 3 – Vazão média diária do rio Ivaí na estação Porto Espanhol, segmento superior – período 13/8/1965 – 30/6/2003

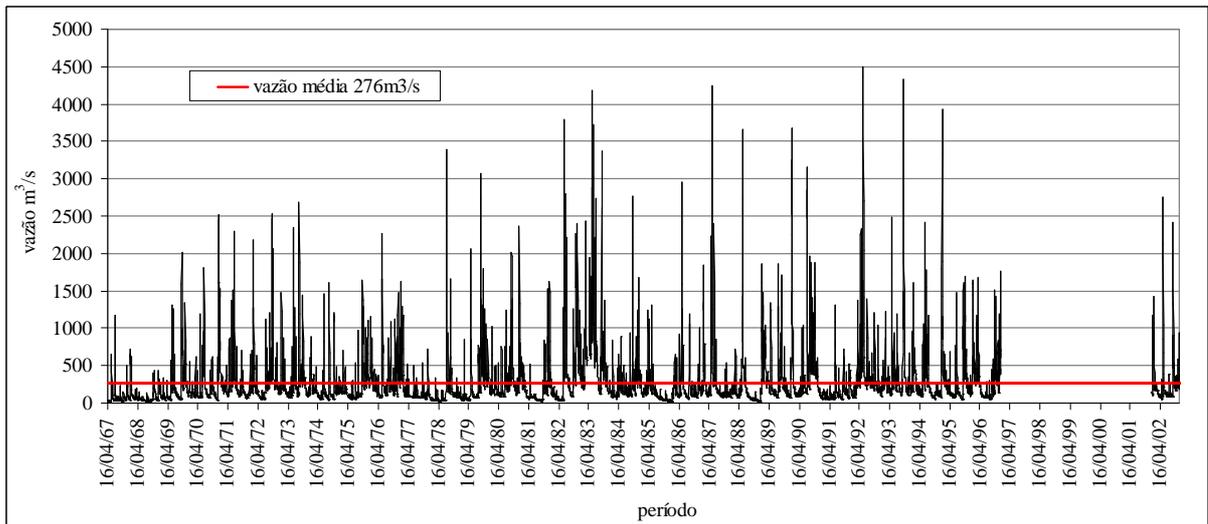


Gráfico 4 – Vazão média diária do rio Ivaí na estação Ubá do Sul, segmento superior – período 16/4/1967 – 30/11/2002

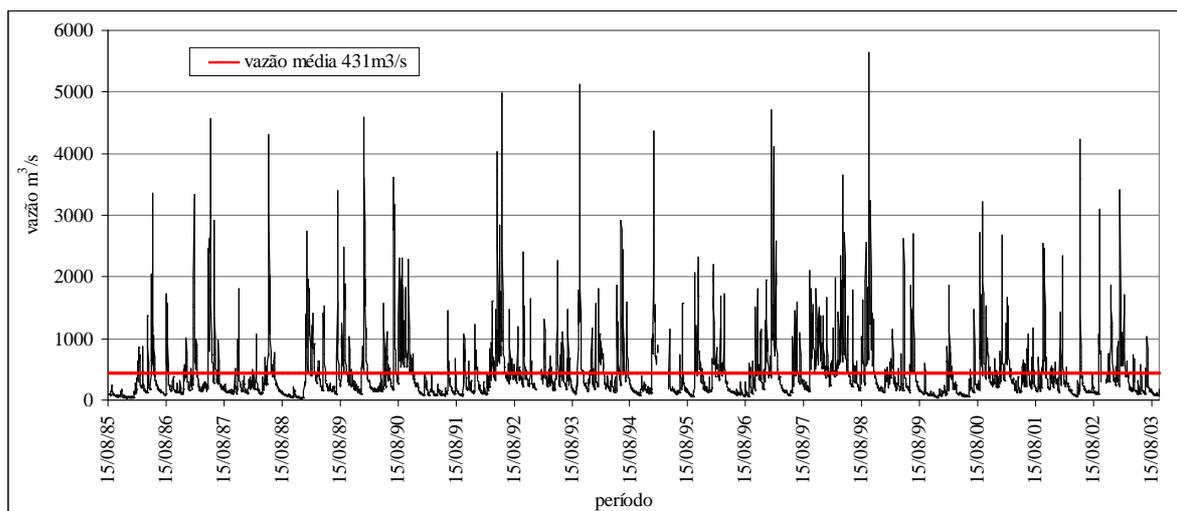


Gráfico 5 – Vazão média diária do rio Ivaí na estação Vila Rica, no segmento médio – 15/8/1985 – 30/9/2003

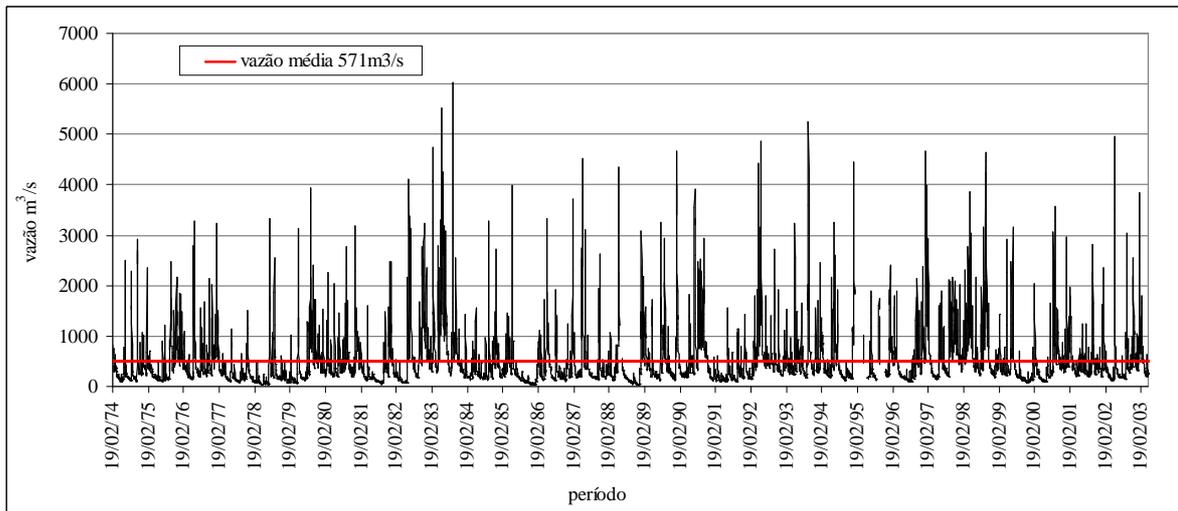


Gráfico 6 – Vazão média diária do rio Ivaí na estação Porto Bananeira, segmento médio – período 19/2/1974 – 30/4/2003

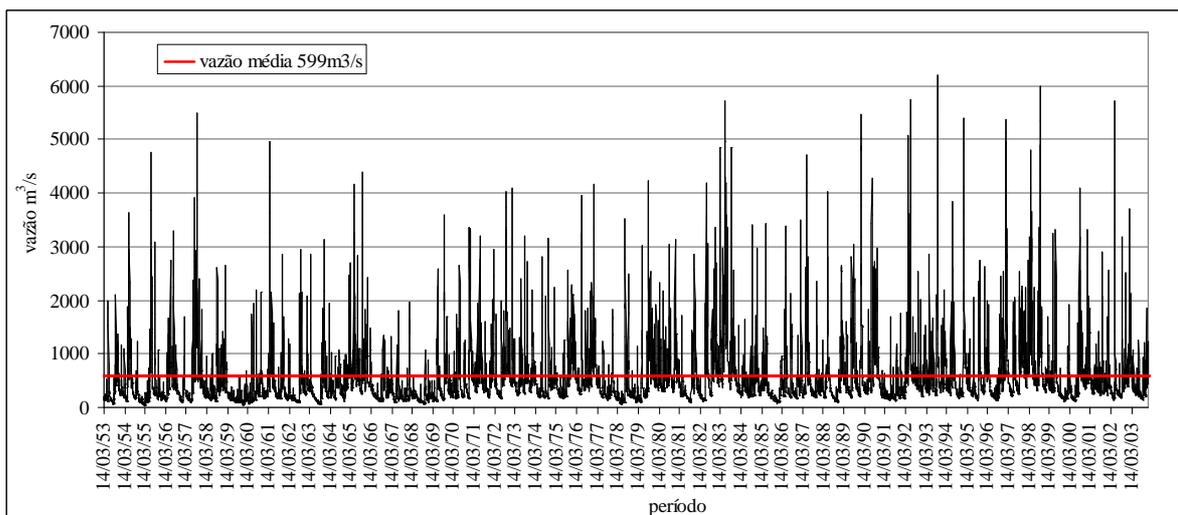


Gráfico 7 – Vazão média diária do rio Ivaí na estação de Porto Paraíso do Norte, segmento médio – período 14/3/1953 – 13/12/2003

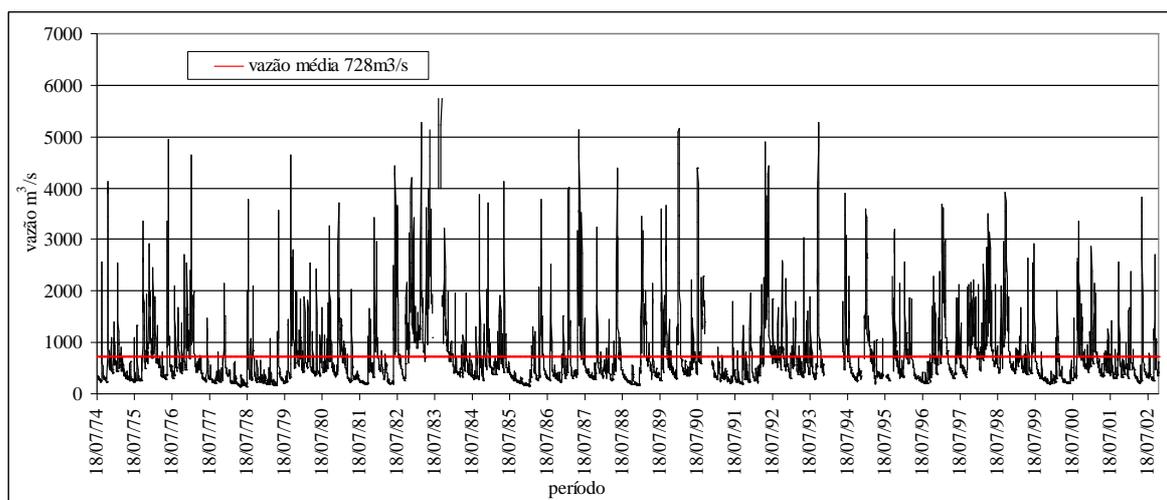


Gráfico 8 – Vazão média diária do rio Ivaí na estação de Novo Porto Taquara, segmento inferior – período 8/7/1974 – 31/10/2002

Os fluviogramas mostram que o regime hidrológico do rio Ivaí caracteriza-se por apresentar uma variabilidade significativa das vazões, marcadas por mudanças rápidas de sua magnitude. Na (Tabela 6) os coeficientes apresentam valores mais elevados a montante e diminuem gradualmente em direção jusante, o que é considerado normal, pois com o aumento da área de drenagem e da contribuição das vazões a oscilação tende a apresentar um leve amortecimento e a amplitude entre os picos de descida e subida torna-se menor.

Tabela 6 - Coeficiente de variação com base nas vazões médias diárias

<b>Estações</b>	<b>Coeficiente de variação</b>
Rio dos Patos	1,63
Tereza Cristina	1,61
Porto Espanhol	1,32
Ubá do Sul	1,32
Vila Rica	1,17
Porto Bananeiras	1,09
Porto Paraíso do Norte	0,94
Novo Porto Taquara	0,96
<b>MÉDIA</b>	<b>1,25</b>

A oscilação intensa entre máximos e mínimos se mantém ao longo das séries históricas e não possuem um período definido de ocorrência. Isso significa que períodos de

estiagem e ondas de cheia podem ocorrer em qualquer mês do ano e mudam de um ano para outro, ou seja, o rio não mostra um período sazonal definido de cheia e de estiagem, e por isso, o regime de vazões do rio Ivaí caracteriza-se como de baixa periodicidade. As cheias por sua vez para a maioria das estações, ocorrem preferencialmente nos meses de janeiro, maio e junho, pois conforme pode ser observado na Tabela 7 e 8, são nesses meses que ocorrem as cheias máximas anuais com maior frequência. Contudo, isso não revela um período sazonal de cheia para o rio Ivaí, mas mostra apenas o mês em que ocorre seu pico máximo durante o ano. Outros picos muitas vezes de magnitude minimamente inferior antecedem e sucedem o pico máximo (dependendo do tipo da onda de cheia) ou, ocorrem em vários outros meses do ano e também podem ser considerados como cheias, além disso, mesmo o pico máximo tem uma ocorrência muito forte durante outros meses.

Tabela 7 - Período de ocorrência e frequência das cheias máximas anuais

Rio dos Patos		Tereza Cristina		Porto Espanhol		Ubá do Sul	
mês	freqüência	mês	freqüência	mês	freqüência	mês	Freqüência
out	16	mai	8	mai	8	mai	7
jun	9	jun	7	set	6	jan	6
mai	7	set	6	jan	5	jun	5
nov	7	out	6	out	5	out	4
jan	6	jan	4	jun	4	dez	4
jul	6	ago	4	dez	4	jul	2
set	6	jul	3	jul	2	set	2
fev	5	nov	3	ago	2	ago	1
mar	3	dez	3	fev	1	fev	0
abr	3	fev	2	mar	1	mar	0
dez	3	abr	1	abr	1	abr	0
ago	2	mar	0	nov	0	nov	0

Tabela 8 - Período de ocorrência e frequência das cheias máximas anuais (continuação)

Vila Rica		Porto Bananeira		Porto Paraíso do Norte		Novo Porto Taquara	
mês	freqüência	mês	freqüência	mês	freqüência	mês	Freqüência
jan	6	jan	6	mai	9	jan	6
mai	5	mai	6	jan	8	mai	6
jun	3	jun	5	jun	7	set	5
set	3	set	5	set	7	out	4
jul	1	out	3	out	6	jun	3
out	1	dez	3	ago	4	dez	3
fev	0	jul	2	dez	4	jul	2
mar	0	fev	0	fev	2	fev	0
abr	0	mar	0	abr	1	mar	0
ago	0	abr	0	jul	1	abr	0
nov	0	ago	0	nov	1	ago	0
dez	0	nov	0	mar	0	nov	0

A delimitação dos períodos sazonais é importante no sentido de projetar estudos da biota, hidro-morfológico da planície e para aplicação de metodologias para coleta de informações que estão relacionadas às diferenças hidrodinâmicas estabelecidas nos períodos de cheia e vazante.

A precipitação por sua vez, é a variável mais importante a definir um padrão sazonal para um sistema fluvial, pois é a principal entrada de água na bacia hidrográfica. Se o regime pluviométrico da bacia apresentar uma distribuição temporal e espacial homogênea durante o ano é bem provável que assim será a tendência do regime fluvial, não apresentando uma sazonalidade definida.

Desse modo, mesmo analisando a distribuição média mensal das vazões (Gráficos 45 a 52 em anexo), a delimitação de um período de cheia e estiagem não é prática, pois se nota que os meses que caracterizam a ocorrência de cheia e vazante não são agrupados durante um semestre ou trimestre. Para a região onde se insere a bacia hidrográfica do Ivaí, teoricamente o período sazonal padronizado para os sistemas fluviais seria de outubro a março, como período de cheia, e de abril a setembro como de vazante, mas para o rio Ivaí essa padronização praticamente não é válida. Apesar da variabilidade com que as vazões ocorrem, esse comportamento se mantém semelhante ao longo do tempo indicando um regime hidrológico estacionário sem expressivas mudanças.

Espacialmente, a vazão média registrada nas estações apresenta um aumento da magnitude das vazões à medida que aumenta a área de drenagem mostrando um regime hidrológico regularmente normal (Gráfico 9).

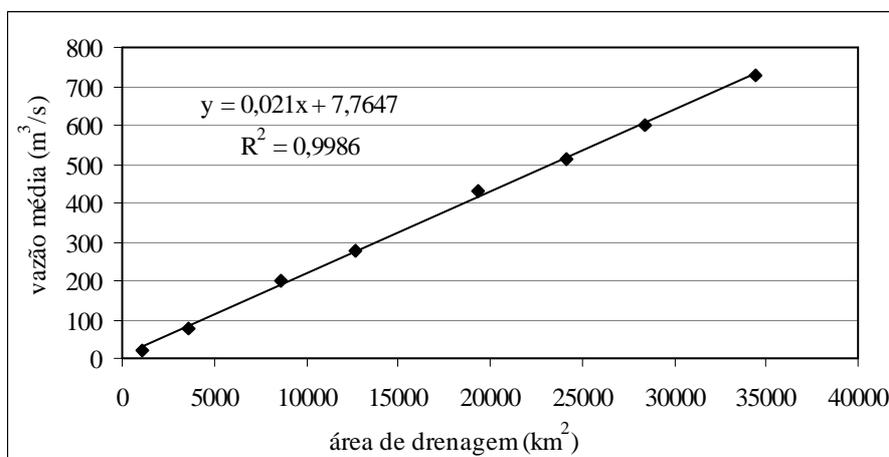


Gráfico 9 – Correlação vazões médias vs área de drenagem

As séries de vazões diárias do rio Ivaí visualizado através do hidrograma mostram picos pontiagudos e próximos uns aos outros. De acordo com Villela e Mattos (1975), os rios que possuem essa característica em relação ao escoamento fluvial, apresentam uma resposta rápida de escoamento pelo fato da bacia constituir vertentes com uma qualidade de rocha e solo impermeáveis, fazendo com que as chuvas ao precipitar na bacia, escoem numa quantidade e velocidade rápida até o canal do rio, formando portanto, picos de vazões agudos e de subida rápida.

Além disso, a bacia hidrográfica do rio Ivaí pela sua própria geologia e principalmente geomorfologia, caracteriza declividades acentuadas do terreno que podem ser visualizadas na Figura 14 elaborada por Santos et al (2004). Nessa figura, observa-se que no segmento médio a montante as vertentes são mais íngremes com declividade de até 20 a mais de 40% num setor da bacia na maioria das vezes mais estreito refletindo num escoamento pluvial rápido e pronunciado até o canal do rio.

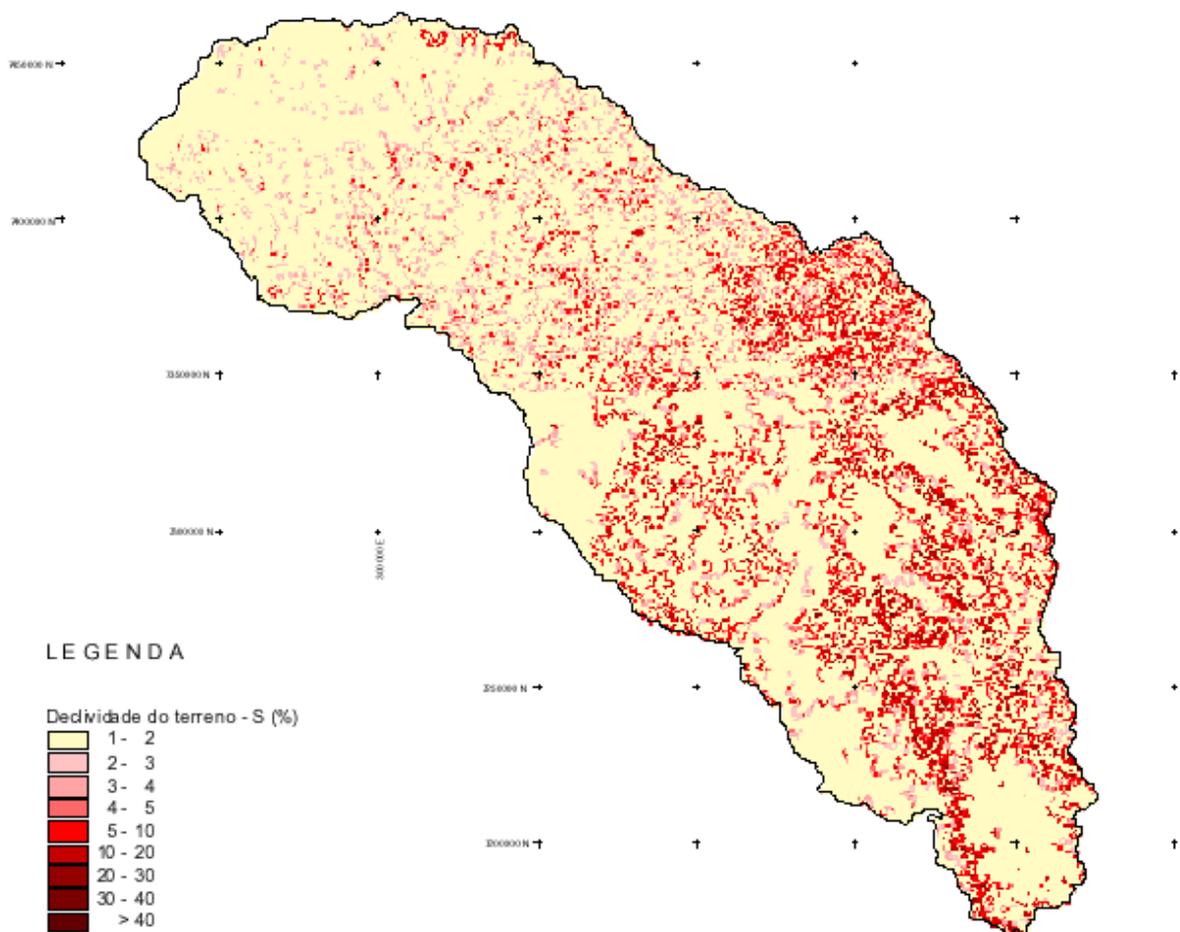


Figura 14 - Declividade do terreno na área da bacia hidrográfica do rio Ivaí  
Fonte: Santos et al (2004)

Outro fator a considerar é a forma alongada e de certo modo estreita que a bacia do Ivaí apresenta no sentido longitudinal do rio. As bacias com essa configuração originam picos maiores de cheia, pois o escoamento pluvial tem um espaço menor para percorrer até alcançar o canal do rio (VILLELA; MATTOS, 1975).

Deve ser considerado também que o rio Ivaí escoar por rochas resistentes tanto quando se trata do basalto como do arenito. O afloramento de rocha na base das margens do curso é comum e a maior parte de seu leito é formado por rochas (Tabela 4). Esta conformação do rio colabora na ocorrência de picos de descarga pontiagudos e com elevada amplitude entre fases de águas altas e baixas, pois as águas não tem por onde extravasar, a não ser quando ocorrem episódios de cheias extremas nos locais em que o rio possui margens de menor altura e/ou em seções menos encaixadas.

Pode-se inferir ainda que estando o rio fluindo em material rochoso é bem provável que a contribuição do lençol freático na manutenção do escoamento fluvial durante os períodos de estiagem é baixa, uma vez que nesses períodos os valores das vazões são muito inferiores a média e declinam drasticamente.

Diante das considerações apontadas, o comportamento que o rio Ivaí mostra nas fases de águas baixas e altas é reflexo do tipo de escoamento pluvial e fluvial condicionado pelas próprias características físicas da bacia e dos eventos de precipitação distribuídos temporalmente e espacialmente na área de sua bacia hidrográfica.

## **10 FREQUÊNCIA E PERMANÊNCIA DAS VAZÕES NO CANAL FLUVIAL**

O conhecimento da frequência com que ocorrem vazões de diferentes magnitudes, assim como o seu tempo de permanência no canal é relevante para se conhecer a potencialidade do sistema fluvial necessário na planificação de obras e usos. Além disso, o trabalho geomorfológico e a quantidade de material transportado são realizados por fluxos de magnitude variada, e portanto, a estimativa da frequência pode ser correlacionada aos mesmos permitindo analisar a magnitude dos eventos envolvidos na formação de específicos fatores da paisagem (LEOPOLD; WOLMAN; MILLER, 1964).

A curva de duração do fluxo foi elaborada para as oito seções do canal distribuídas ao longo do curso do rio Ivaí (Gráficos 10 a 17), mostrando o quanto de tempo uma vazão de

determinada magnitude se mantém igual ou superior durante o período analisado. Tendo-se como referência a vazão média pode ser notado que:

- na seção Rio dos Patos as vazões com valores abaixo da média de  $21 \text{ m}^3/\text{s}$  permanecem no canal 65% do tempo enquanto que as vazões acima da média permanecem apenas 35% do tempo;

- na seção Tereza Cristina as vazões maiores que a média de  $77 \text{ m}^3/\text{s}$  tem duração no canal de 52% e foi computado que as vazões abaixo deste valor permanecem 46% do tempo nesta seção do canal;

- em Porto Espanhol as vazões acima da média de  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  tem duração de 40% e as vazões considerados inferiores a média apresentam 60% de permanência;

- para a seção do canal de Ubá do Sul as vazões maiores e menores que a média de  $276 \text{ m}^3/\text{s}$  permanecem no canal 40 e 60% respectivamente;

- a seção correspondente a Vila Rica, as vazões maiores que a média de  $431 \text{ m}^3/\text{s}$  apresentam duração de 46% do tempo e as vazões menores 54%;

- para a seção Porto Bananeira as vazões que ocorrem acima da média de  $571 \text{ m}^3/\text{s}$  permanecem no canal durante 40% do tempo e 60% correspondem as vazões menores que a média;

- na seção de Porto Paraíso do Norte as vazões com magnitudes maiores que a média de  $599 \text{ m}^3/\text{s}$  tem duração de 44% e as abaixo 56% do tempo;

- para a seção mais próxima da foz, Novo Porto Taquara, 63% do tempo as vazões permaneceram acima da média que é de  $727 \text{ m}^3/\text{s}$  e apenas em 37% do tempo foram registradas vazões abaixo da média.

A vazão média das cheias por sua vez permanece em média 0,50% do tempo no canal, sendo 0,43% em média para as estações localizadas no segmento superior, 0,42% em média para o segmento médio e 1,05% para o segmento inferior.

Os resultados da curva de duração considerando como ponto de referência a vazão média, mostra que a seção mais próxima a nascente (seção Rio dos Patos) e a mais próxima a foz (seção Novo Porto Taquara) tem o predomínio de permanência de vazões entre as mínimas e as máximas respectivamente, o que é considerado normal, tendo em vista a contribuição da área de drenagem para ambas seções do canal. Para as outras seções não houve muita disparidade no que se refere ao tempo em que as vazões maiores e menores que a média permanecem no canal, verificando-se que as vazões que permanecem maior tempo oscilam próximo a média para a maioria das estações.

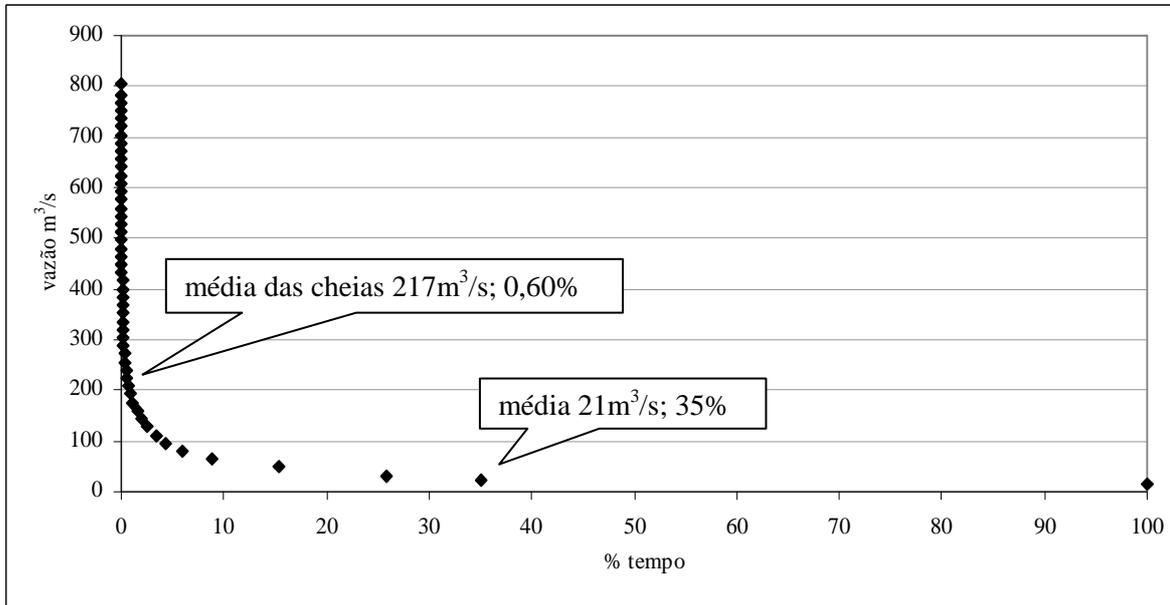


Gráfico 10 - Curva de duração do fluxo – seção Rio dos Patos

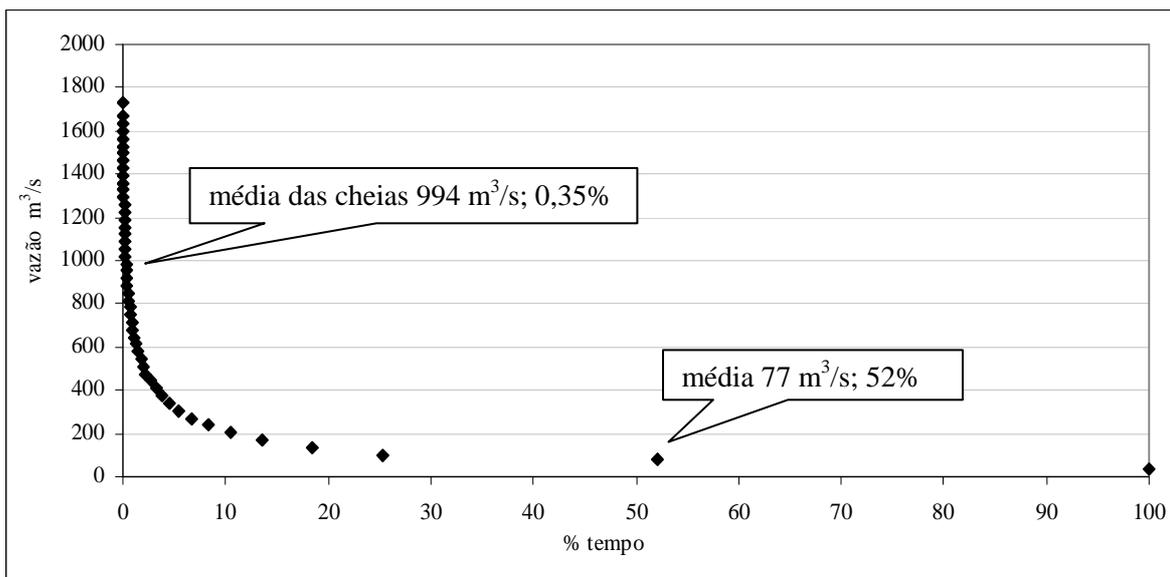


Gráfico 11 - Curva de duração do fluxo – seção Tereza Cristina

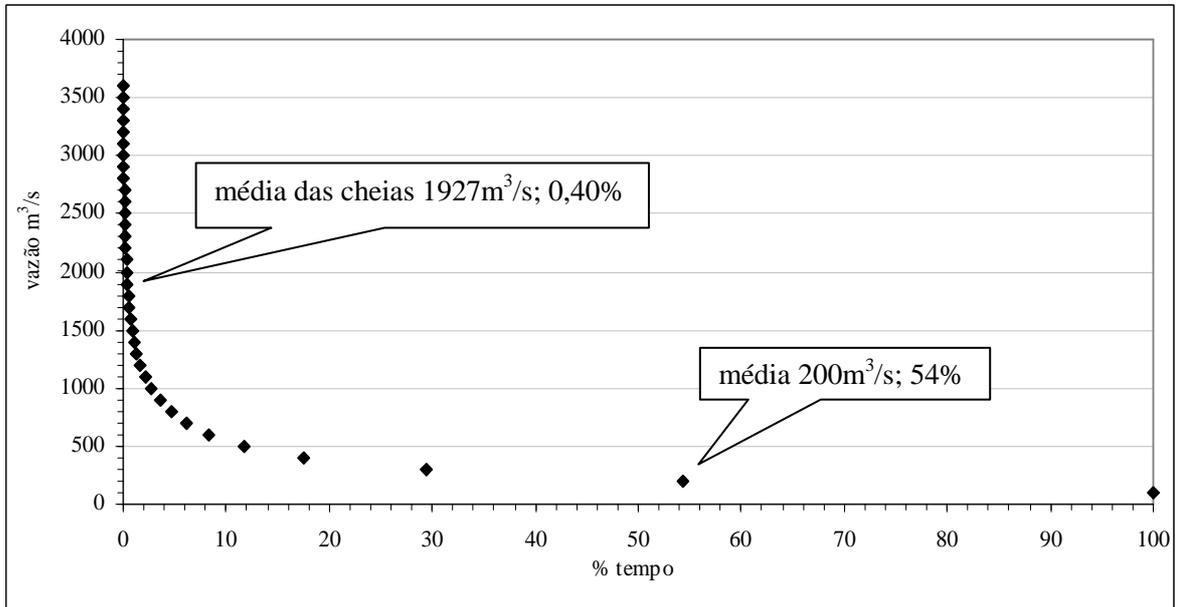


Gráfico 12 - Curva de duração do fluxo – seção Porto Espanhol

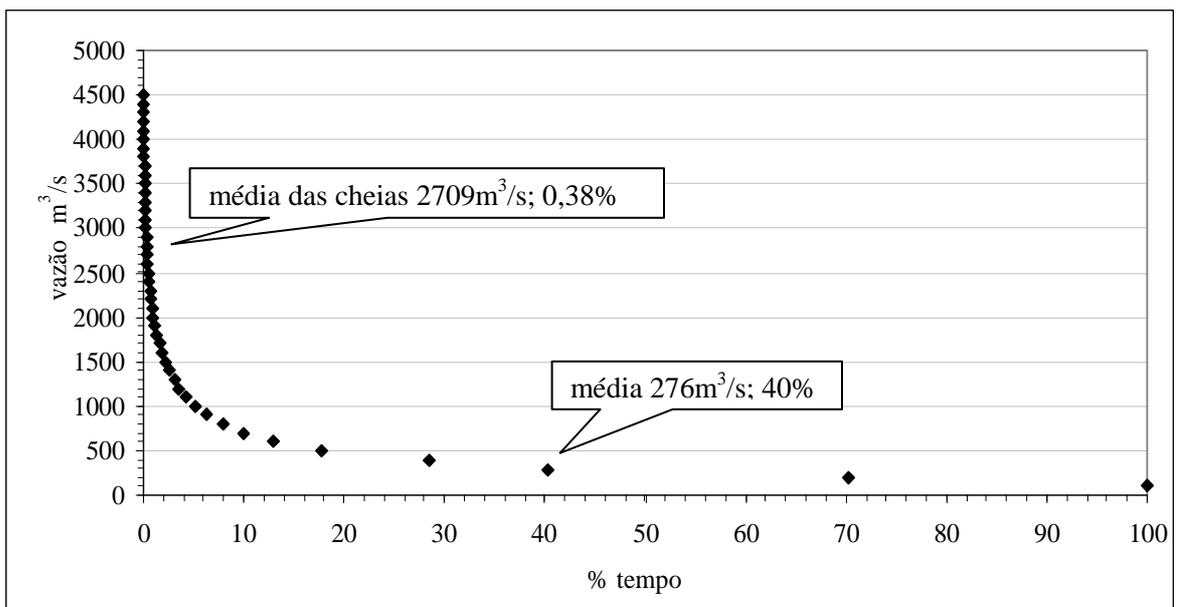


Gráfico 13 - Curva de duração do fluxo – seção Ubá do Sul

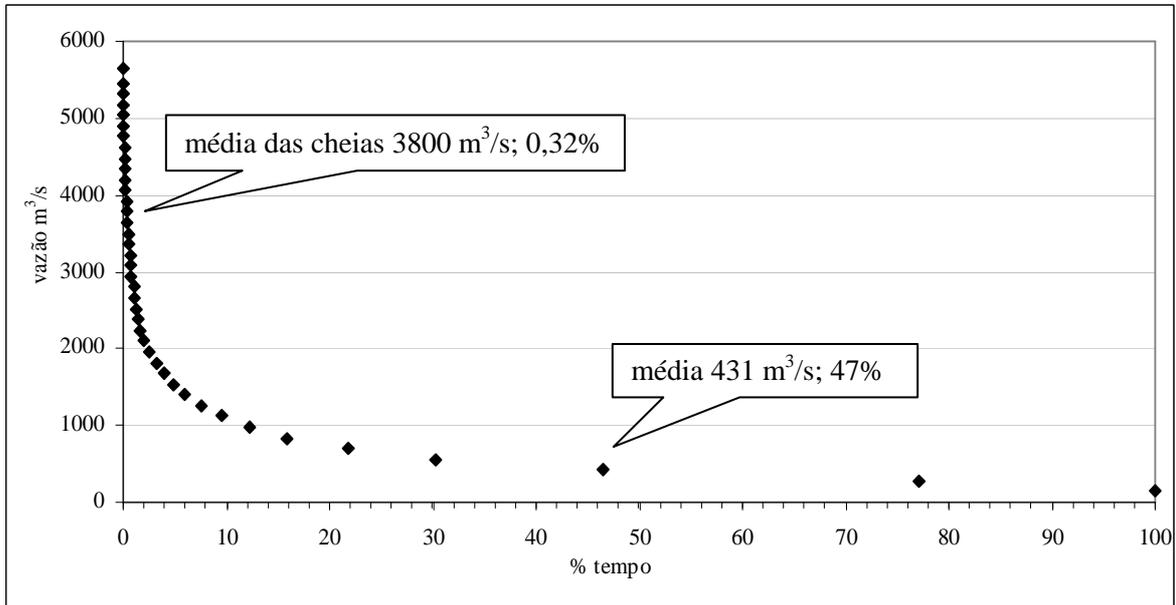


Gráfico 14 - Curva de duração do fluxo – seção Vila Rica

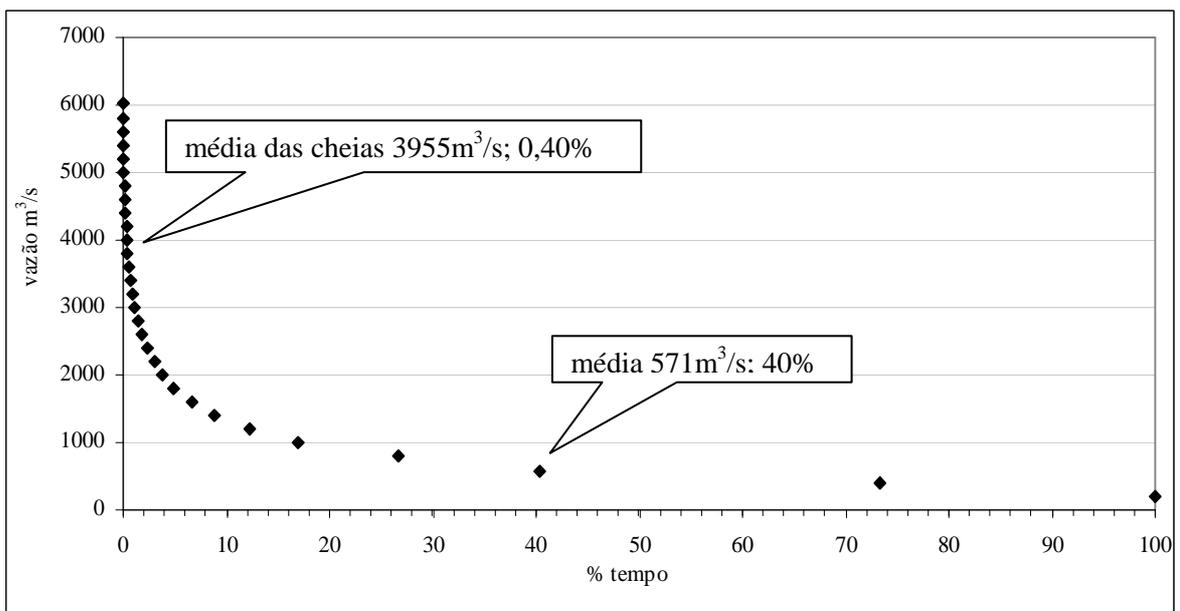


Gráfico 15 - Curva de duração do fluxo – seção Porto Bananeira

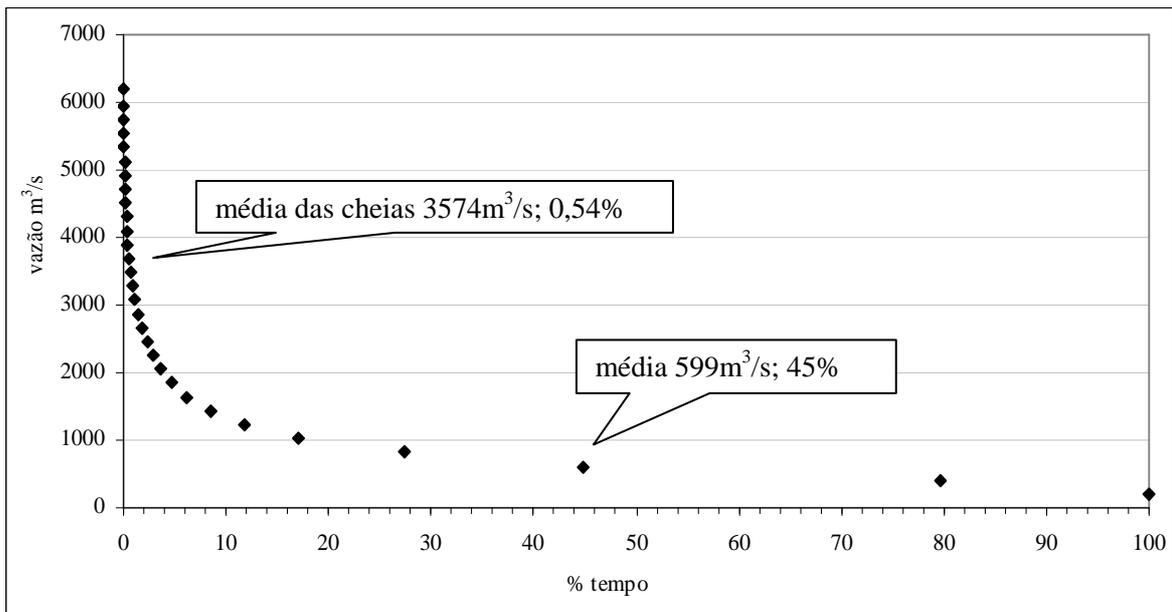


Gráfico 16 - Curva de duração do fluxo – seção Porto Paraíso do Norte

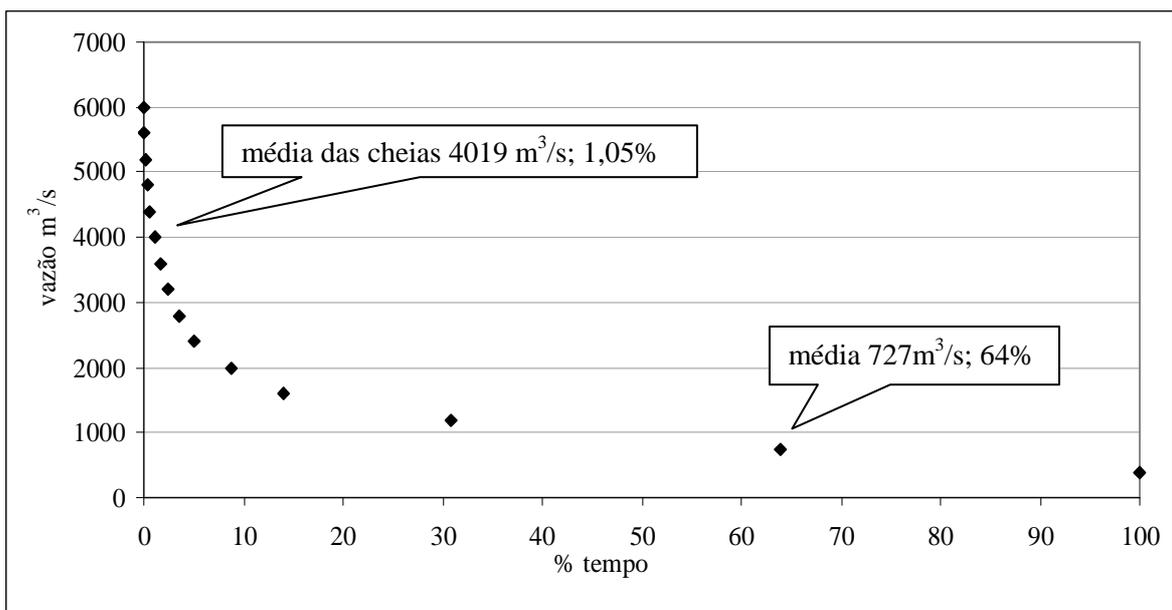


Gráfico 17 - Curva de duração do fluxo – seção Novo Porto Taquara

Como a porcentagem de duração do fluxo é determinada com base na frequência de ocorrência das vazões, pode ser verificado que as vazões mínimas são as que ocorrem com maior frequência, seguido das vazões em torno do valor médio e as máximas com uma ocorrência muito baixa.

É importante destacar que as curvas de duração do fluxo mostram uma considerável curvatura. A forma da curva possui significado e reflete as condições de escoamento na bacia e no canal do rio. De acordo com Burt (1996) quanto mais curvatura possuir a curva maior é a

variabilidade do fluxo, ocasionado por fluxos rápidos e pouca base de fluxo. Essa condição tem sido notada para o rio Ivaí, que possui um escoamento fluvial extremamente oscilatório e com pouca contribuição do lençol freático o que é observado durante as vazões muito baixas durante os períodos de estiagem.

## **11 AS VAZÕES DE ELEVADA MAGNITUDE**

Do conhecimento a respeito do regime hidrológico dos sistemas fluviais, as vazões de elevada magnitude e intensidade são as que recebem maior atenção, pois durante o período em que os rios estabelecem-se na fase de águas altas, são verificadas as transformações mais rápidas e significativas do ambiente, visualizado no aspecto geomorfológico (esculturação e modificação das formas do leito, margens e até mesmo planície), dependendo da situação principalmente ecológico (conectividade entre o canal e a planície) e no contexto humano (perda de cultivos agrícolas, destruição de residências e estabelecimentos comerciais, com prejuízos materiais e muitas vezes humanos). Esses aspectos evidenciam que as cheias são eventos hidrológicos que podem causar instabilidade ambiental e econômica.

As vazões de grande magnitude configuram elevada altura do nível d'água, descarga e volume a ponto de poder causar inundações. São retratados pelos eventos de cheia e inundação que se diferenciam principalmente pela magnitude e pelo seu efeito, sendo que as inundações superam a capacidade de escoamento do canal causando transbordamentos e espalhando as águas nas áreas mais baixas adjacentes ao canal.

Existe dificuldade em se determinar que magnitude de vazão pode ser considerada cheia, principalmente se esta não se propagar como inundação. Não existe um método ou técnica que forneça um limite padronizado para determinar o ponto de descarga a partir do qual se inicia a cheia. Assim, cada pesquisador tem a liberdade para definir uma onda ou pico de cheia conforme objetivos da pesquisa. Em geral, consideram-se cheias mensais ou anuais que correspondem ao pico de descarga máximo ocorrido no decorrer dos meses ou anos respectivamente, independente se a mesma se propaga como inundação ou não.

### 11.1 As cheias do rio Ivaí

Foram consideradas as vazões máximas anuais para caracterizar as cheias que ocorrem no rio Ivaí. Os Gráficos 18 a 25 apresentam as cheias tendo a vazão média ( $Q_m$ ) e a média das cheias ( $Q_{mc}$ ) como referência de análise.

No segmento superior do rio Ivaí formado pelo rio dos Patos, a seção do canal onde está instalada uma estação do mesmo nome, a vazão de maior magnitude atingiu um valor de  $806 \text{ m}^3/\text{s}$  em 1992. Para as outras estações desse segmento e que fazem parte do rio Ivaí a maior cheia exibiu uma vazão de  $1733 \text{ m}^3/\text{s}$  em 1992 para Tereza Cristina,  $3520 \text{ m}^3/\text{s}$  em 1983 para Porto Espanhol e  $4500 \text{ m}^3/\text{s}$  para Ubá do Sul em 1992. No segmento médio a maior vazão para a estação Vila Rica registrada até o momento foi de  $6078 \text{ m}^3/\text{s}$  com ocorrência no ano de 1998, para a estação Porto Bananeira uma vazão de  $6028 \text{ m}^3/\text{s}$  registrada também em 1998 e para Porto Paraíso do Norte uma vazão de  $6194 \text{ m}^3/\text{s}$  em 1993. Para o segmento inferior a estação de Novo Porto Taquara registrou uma vazão de maior magnitude entre os  $5747 \text{ m}^3/\text{s}$  para o ano de 1983.

Em algumas estações, verificou-se vazões máximas anuais muito baixas que não ultrapassaram a vazão média ou atingiram vazões superiores a média da série, porém de magnitude muito inferior as demais. Neste caso, os anos que se destacaram para as estações foram: Rio dos Patos em 1944 ( $40 \text{ m}^3/\text{s}$ ), 1960 ( $33 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e 1962 ( $49 \text{ m}^3/\text{s}$ ), Tereza Cristina em 1956 ( $130 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e em 1968 ( $273 \text{ m}^3/\text{s}$ ), Porto Espanhol no ano de 1968 ( $593 \text{ m}^3/\text{s}$ ), Ubá do Sul em 1968 ( $779 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e em 1985 ( $1310 \text{ m}^3/\text{s}$ ), Vila Rica em 1985 ( $240 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e em 1991 ( $1635 \text{ m}^3/\text{s}$ ), Porto Bananeira nos anos de 1983 ( $1690 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e em 1996 ( $2557 \text{ m}^3/\text{s}$ ), Porto Paraíso do Norte em 1991 ( $1673 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e em Novo Porto Taquara o ano de 1991 ( $1959 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

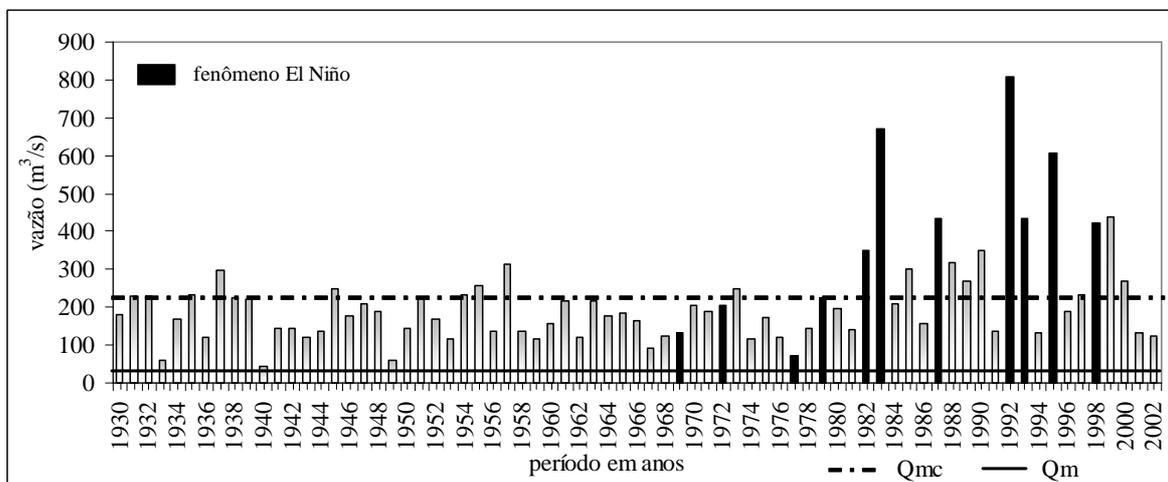


Gráfico 18 - Vazões máximas anuais, seção Rio dos Patos – período 1930 - 2002

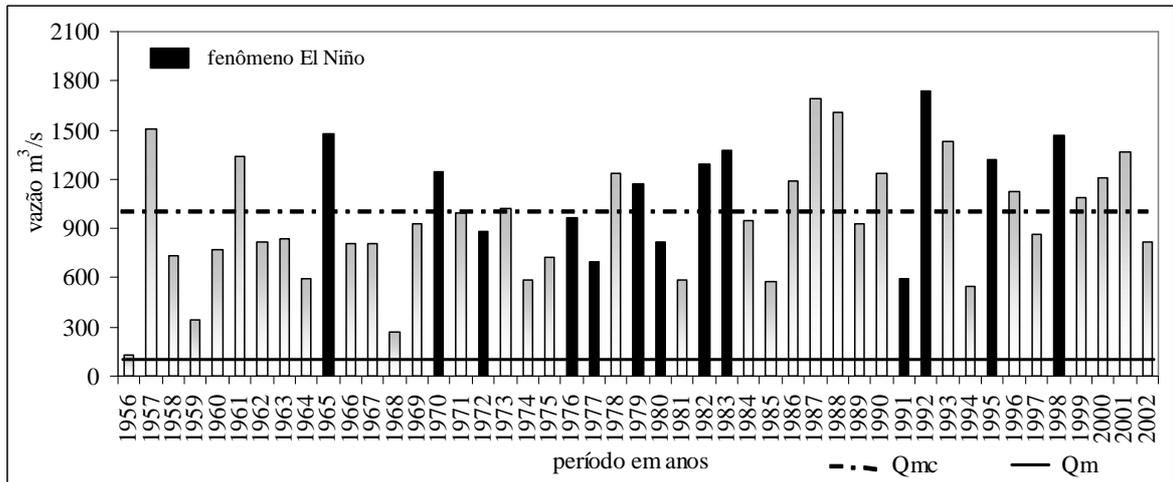


Gráfico 19 - Vazões máximas anuais, seção Tereza Cristina – período 1956 - 2002

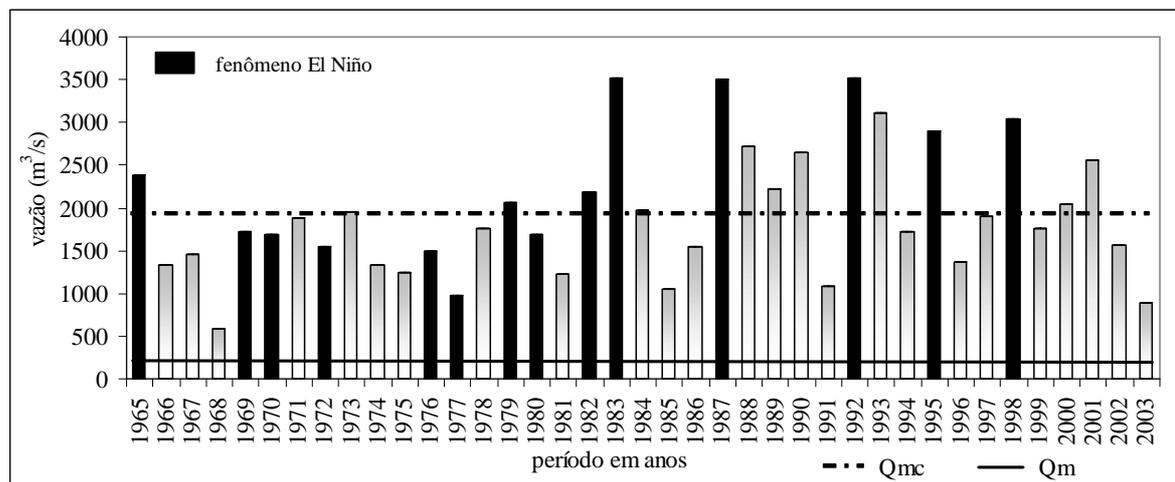


Gráfico 20 - Vazões máximas anuais, seção Porto Espanhol – período 1965 - 2003

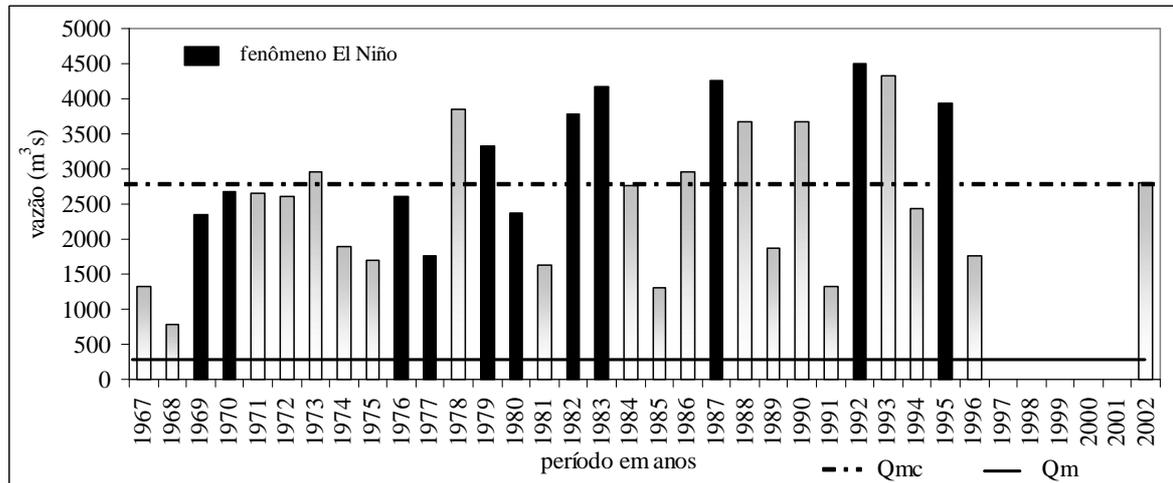


Gráfico 21 - Vazões máximas anuais, seção Ubá do Sul – período 1967 - 2002

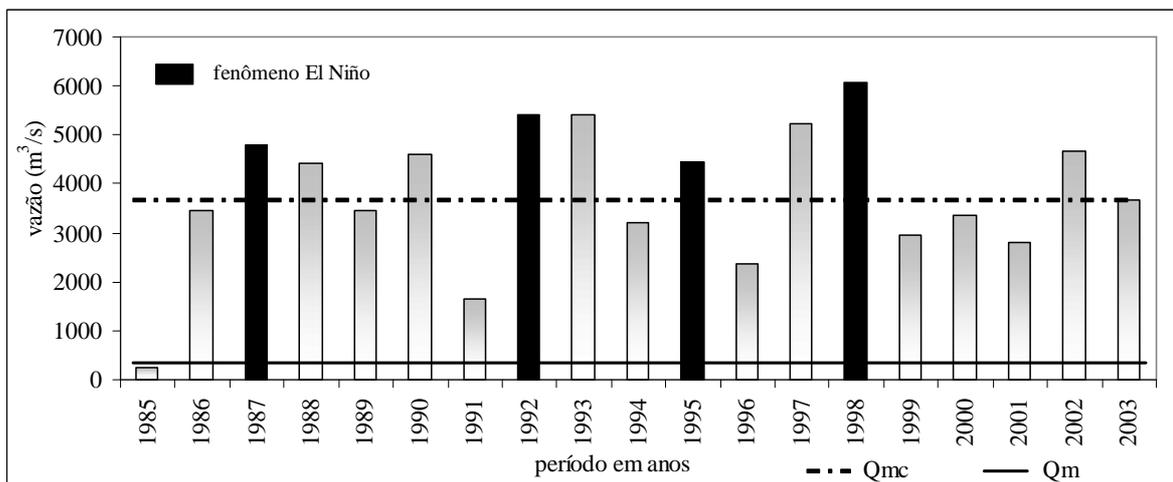


Gráfico 22 - Vazões máximas anuais, seção Vila Rica – período 1985 - 2003

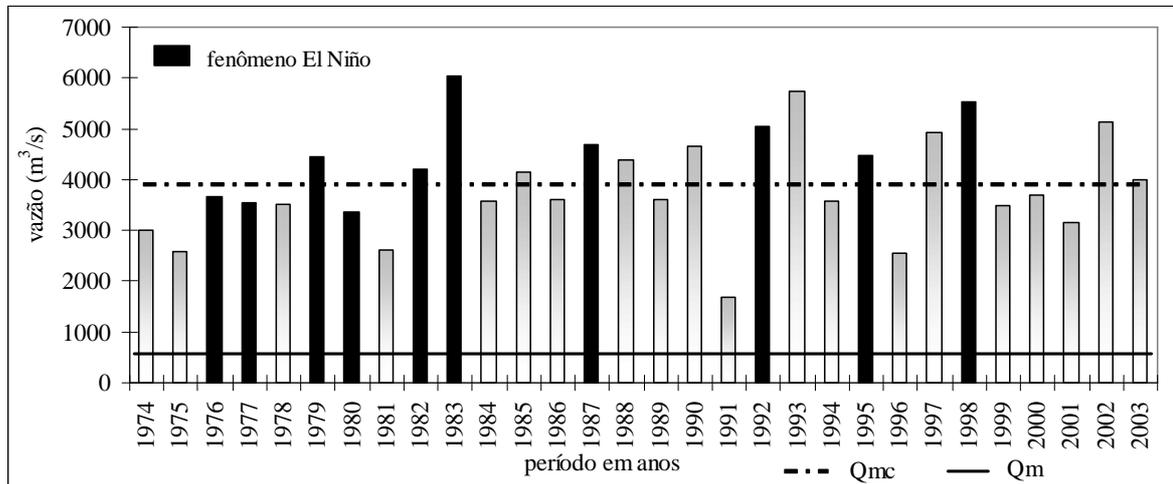


Gráfico 23 - Vazões máximas anuais, seção Porto Bananeira – período 1974 - 2003

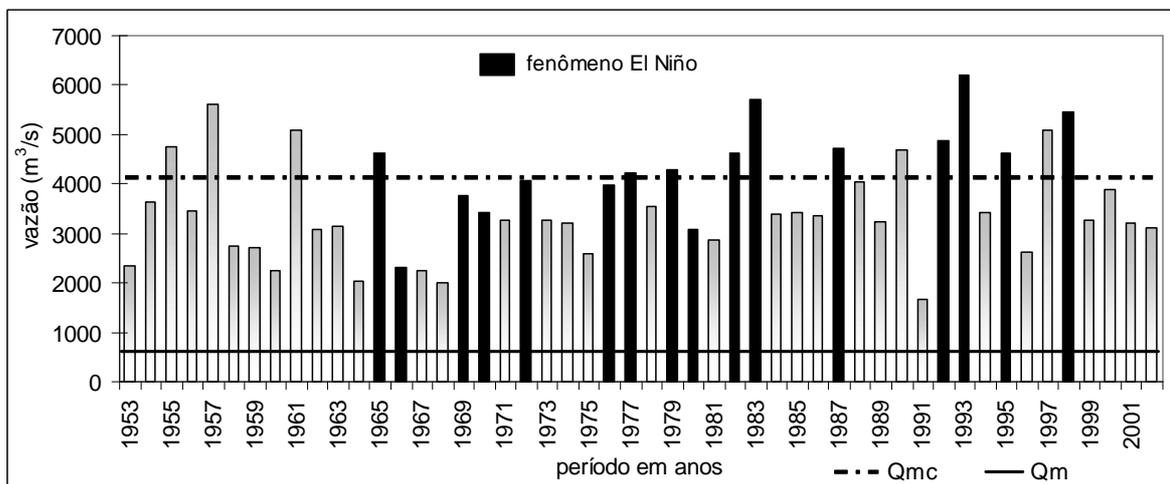


Gráfico 24 - Vazões máximas anuais, seção Porto Paraíso do Norte – período 1953 - 2003

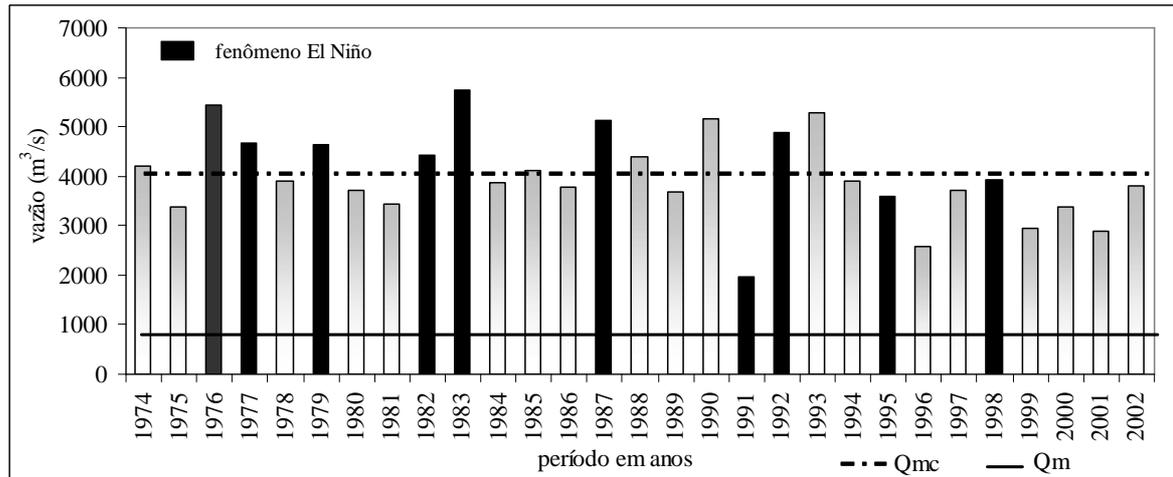


Gráfico 25 - Vazões máximas anuais, seção Novo Porto Taquara – período 1974 - 2002

Do período de 1985 a 2002 todas as estações contém registros de vazões máximas anuais, com exceção da estação de Ubá do Sul no alto curso que não possui registro referente ao período de 1997 a 2001. Observando os Gráficos 18 a 25 verifica-se dois grupos de vazões que se distinguem pela sua magnitude. Em média cerca de 40% das vazões máximas ultrapassaram a vazão de enchente média dentro do período de 1985 a 2002. São essas vazões que estão mais “sujeitas” a causar inundações principalmente no baixo curso onde a planície fluvial está situada. Os outros 60% correspondem as vazões máximas de menor magnitude e que não provocam inundações com transbordamento.

O principal fator que leva a formação das cheias são os eventos intensos de precipitação. Esses eventos por sua vez, podem estar associados a fenômenos climáticos como o El Niño que é um fenômeno que pode provocar o aquecimento das correntes do oceano Pacífico, gerando períodos chuvosos acima do normal e que afeta toda a porção do hemisfério sul.

A partir de 1965 os cientistas registraram 11 ocorrências do fenômeno El Niño, sendo o último ocorrido em 1998. Este fenômeno não tem um período certo de ocorrência e a sua atuação pode perdurar por meses e até anos como mostra a Tabela 9.

Nesse contexto, buscou-se correlacionar os períodos de atuação do fenômeno climático com as principais cheias registradas no rio Ivaí. Para tanto, considerou-se as cheias que ocorreram até um mês antes e até dois meses depois do período considerado El Niño. Procedeu-se dessa forma, porque os períodos apresentados na Tabela 9, refere-se quando o fenômeno foi detectado no Pacífico e não quando atuou sobre a região sul do Brasil, mas se sabe que o fenômeno exerce influências sobre a dinâmica climatológica da região sul brasileira um pouco antes e principalmente depois do período definido como de El Niño.

Tabela 9 - Eventos El Niño definidos a partir da anomalia da temperatura da superfície do mar, para a região El Niño (1+2) e excedendo valores de 0,4°C positivo.

<b>Período de El Niño</b>	<b>Duração (meses)</b>
mar/65 a jan/66	11
mar/69 a jan/70	11
jan/72 a fev/73	14
mai/76 a jan/77	9
jun/79 a jan/80	8
jul/82 a dez/83	18
out/86 a dez/87	15
nov/91 a jun/92	8
fev/93 a jun/93	5
out/94 a fev/95	5
mar/97 e out/98	20

Fonte: Baldo (2000), atualizada.

Assim, de 1965 a 1998 as seções em estudo apresentaram em média 12 cheias extraordinárias, destas, cerca de 55% em média ocorreram durante o período de influência do El Niño, contudo, o valor médio fornece apenas uma idéia geral do que prevalece no conjunto. Analisando-se caso por caso, a estação de Porto Paraíso do Norte se destacou no conjunto exibindo dentro do período de 1965 a 1998 um número de 15 cheias extraordinárias, sendo 12 (80%) ocorridas dentro do período de influência do fenômeno El Niño. Além disso, vale ressaltar, que as cheias de 1983 e 1998 foram as mais importantes para a maioria das estações e as mesmas ocorreram em períodos de atuação do fenômeno El Niño.

## 11.2 Recorrência das cheias

A definição da recorrência é um dos procedimentos para se conhecer com certa probabilidade o retorno de uma vazão de determinada magnitude. Desse modo, foi calculado o período de retorno para as vazões máximas anuais do rio Ivaí como forma de estimar a recorrência de tais eventos. Para determinar a recorrência, utilizou-se a função matemática de Gumbel que trata de valores extremos ajustando-os a uma curva e estabelecendo a relação entre a vazão máxima anual e sua correspondente recorrência, determinando qual o período de tempo que esta vazão pode voltar a ocorrer na seção de medida.

Para a seção Rios dos Patos situada no segmento montante, os valores das três vazões mais significativas, ocasionaram uma extrapolação da curva (Gráfico 26), isso porque, a área de drenagem é muito pequena para esta seção do canal refletindo em vazões baixas.

Entretanto, a ocorrência de pluviosidade excessiva a ponto de ser considerada extraordinária, ocasionou vazões fora de regra. Assim, as vazões ocorridas em janeiro de 1995 ( $607 \text{ m}^3/\text{s}$ ), a de maio de 1983 ( $669 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e principalmente a de maio de 1992 ( $806 \text{ m}^3/\text{s}$ ) apresentaram respectivamente uma recorrência de 78, 143 e 540 anos revelando que tais magnitudes de vazão para a referida seção no alto curso são eventos hidrológicos extremamente raros.

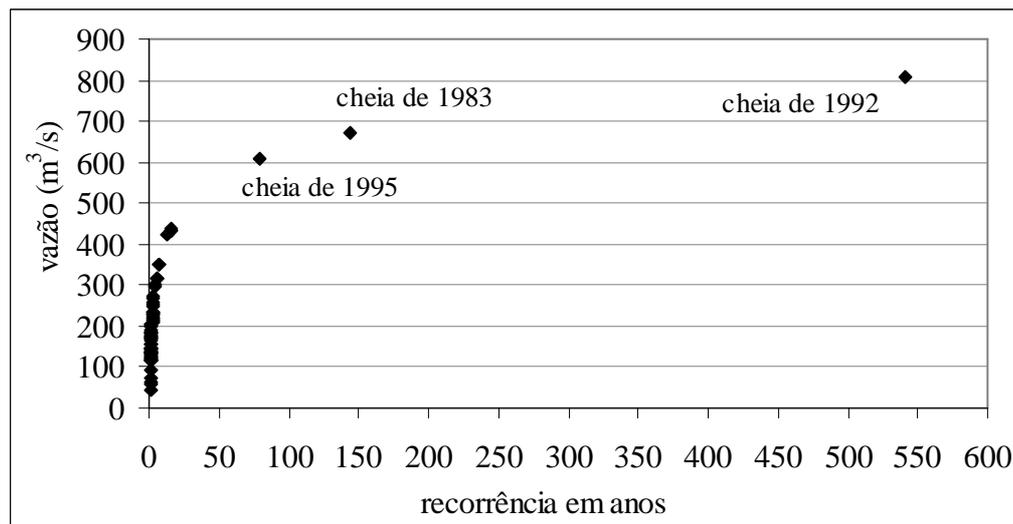


Gráfico 26 - Recorrência das vazões máximas anuais – seção Rio dos Patos

Excluindo-se esses valores “*anômalos*”<sup>1</sup> e elaborando-se uma nova curva em junção com as outras seções do canal (Gráfico 27), os valores mais extremos apresentam em média uma vazão de  $4219 \text{ m}^3/\text{s}$ , para vazões que variam entre  $437$  a  $6079 \text{ m}^3/\text{s}$ . Assim, tais vazões recorrem entre 14 e 28 anos ou  $21,71$  anos em média. Essa diferença de recorrência para as vazões mais elevadas ocorre porque essa estimativa, assim como qualquer outra que esteja relacionada com a seção transversal do canal, reflete as características geométricas do mesmo, não devendo ser fixado um valor de recorrência correspondente a uma determinada magnitude de cheia para todo o rio, mas um valor para cada seção do canal, pois conforme corroborado por Silva (2002) o resultado reflete as variáveis da seção do canal.

No que se refere as vazões de enchente média, estas apresentam uma probabilidade de voltar a ocorrer no canal a cada  $2,3$  anos em média. Este valor corresponde ao encontrado por Leopold e Wolman (1964), para os rios da América do Norte.

<sup>1</sup> Considerou-se a recorrência das cheias dos anos de 1983, 1992 e 1995 como anômalos, por apresentarem valores de recorrência muito dispares dos demais. Contudo, recomenda-se a aplicação de vários modelos matemáticos, de modo a comparar os resultados, pois os mesmos utilizam parâmetros diferentes para o ajuste das informações e um ou outro modelo podem apresentar resultados mais coerentes.

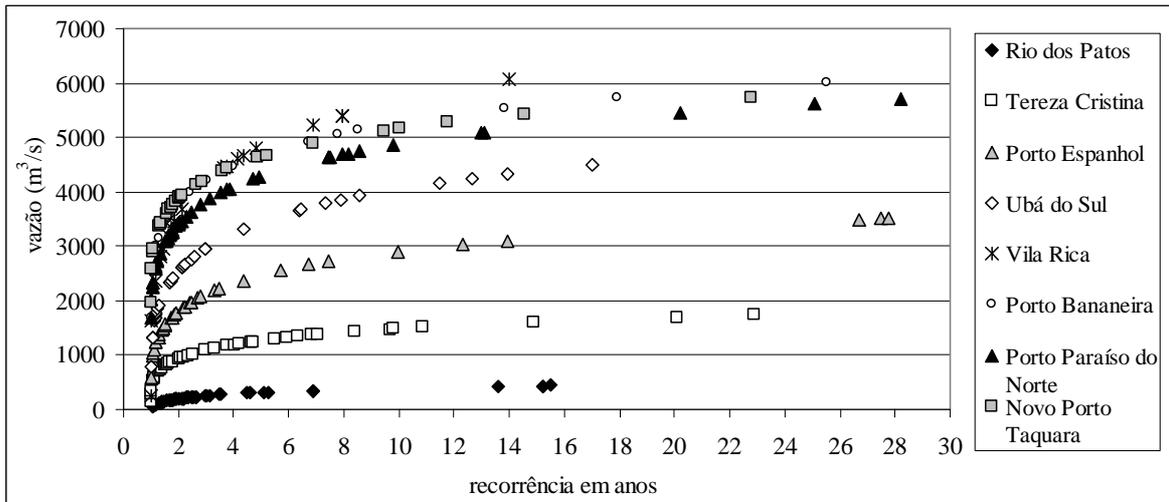


Gráfico 27 - Recorrência das vazões máximas anuais para as seções do rio Ivaí

### 11.3 Caracterização das ondas de cheia

As ondas de cheia podem ser caracterizadas pelas formas com que os registros de vazão se distribuem nos fluviogramas. A forma que uma onda de cheia adquire pode ser reflexo da morfologia do canal e da bacia hidrográfica, uso do solo na bacia, intensidade e duração dos eventos de precipitação. Dessa forma, as cheias podem se destacar pela sua magnitude, duração, volume, oscilação e número de picos. Portanto, uma classificação das cheias é um critério que auxilia no entendimento do comportamento do regime hidrológico de um rio.

Para o rio Ivaí foram consideradas cheias extraordinárias (de magnitude superior a vazão média das cheias anuais) e cheias ordinárias (de magnitude até a vazão média das cheias anuais).

Nesse sentido, foram elaborados hidrogramas de vazão diária referente ao período de doze meses do ano da cheia considerada e comparou-se os hidrogramas das cheias de todas as estações que estão sendo consideradas na presente pesquisa. A ausência de dados de uma determinada estação nos hidrogramas ocorre pela falta de registro no intervalo de tempo considerado.

Desse modo, pode ser verificado em geral, que o rio Ivaí apresenta três tipos principais de cheias:

**Cheias tipo A:** são constituídas pelas cheias extraordinárias mais importantes do ponto de vista de sua magnitude, apresentando maior volume e duração, sendo por isso mais

raras. Constam de um pico principal mais importante, precedido e sucedido por vários picos que aumentam e diminuem de magnitude sucessivamente caracterizando um efeito de cascata. A subida do pico principal é mais lento por ser precedido da oscilação de vários outros picos menores. Esse tipo de cheia é formada em média por sete picos e pode ocorrer até duas vezes ao ano. As cheias de 1983 e 1998 retratam muito bem as cheias do tipo A (Gráfico 28 e 29).

**Cheias tipo B:** são representadas tanto pelas cheias extraordinárias quanto ordinárias. Apresentam três picos sucessivos de subida rápida, no qual geralmente dois são de magnitude mais importante. Essas cheias são freqüentes e podem acompanhar as cheias do Tipo A. As mesmas são observadas nos anos de 1975, 1989, 1987,1999 entre outros (Gráfico 30, 31 e 32).

**Cheias tipo C:** representam as cheias do tipo mais simples e freqüente caracterizando apenas um pico principal de subida relativamente rápida, que pode vir ou não, acompanhado de vários picos sem significado importante. Podem ser observadas pelo menos nos anos de 1985, 1991, 1992 e 1995 (Gráfico 33 e 34). Podem apresentar um pico máximo de 5000 a 6000 m<sup>3</sup>/s registrado em Porto Bananeira, Porto Paraíso do Norte e Novo Porto Taquara. Essas cheias podem ocorrer junto as cheias Tipo A e B.

As ondas de cheia são caracterizadas pela ascensão de diversos picos principalmente nas cheias Tipo A e B. Os picos de vazão que constituem as ondas de cheia apresentam formato de “estaca” e raramente constam de valores conservativos, e quando isso ocorre é por pouquíssimo tempo, pois o rio se conforma em vale encaixado o que dificulta o amortecimento dos picos que pode ocorrer caso haja transbordamento ou refluxo em afluentes, por exemplo. Nesse sentido, a quantidade e a magnitude dos picos que as ondas de cheia apresentam estão relacionados aos episódios de precipitação que ocorrem na bacia hidrográfica.

Analisando-se as ondas de cheia em detalhe (Gráfico 35) observa-se que os picos propagam-se de montante para jusante passando por todas as seções, entretanto, a oscilação torna-se mais acentuada para a maioria dos picos ao passar pela estação de Ubá do Sul a partir dos 500 m<sup>3</sup>/s para esta estação. Para a estação Rio dos Patos a oscilação é menor e quando existente é mais suave mesmo nos picos principais das grandes cheias.

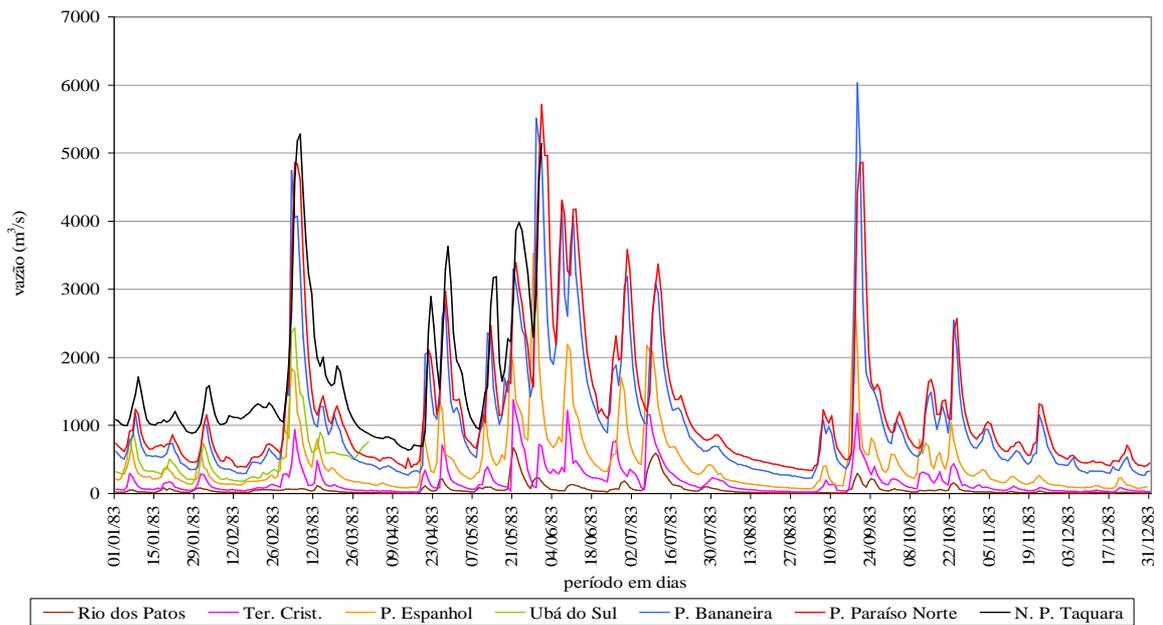


Gráfico 28 - Cheia Tipo A – ano de 1983

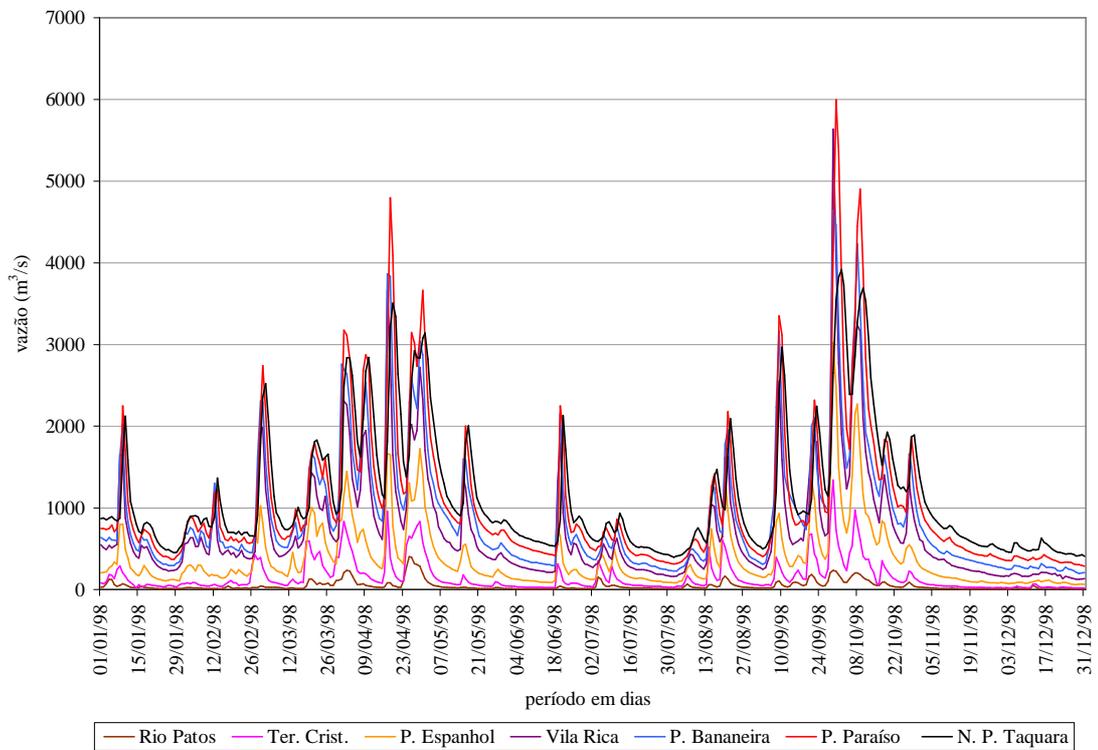


Gráfico 29 - Cheia Tipo A – ano de 1998

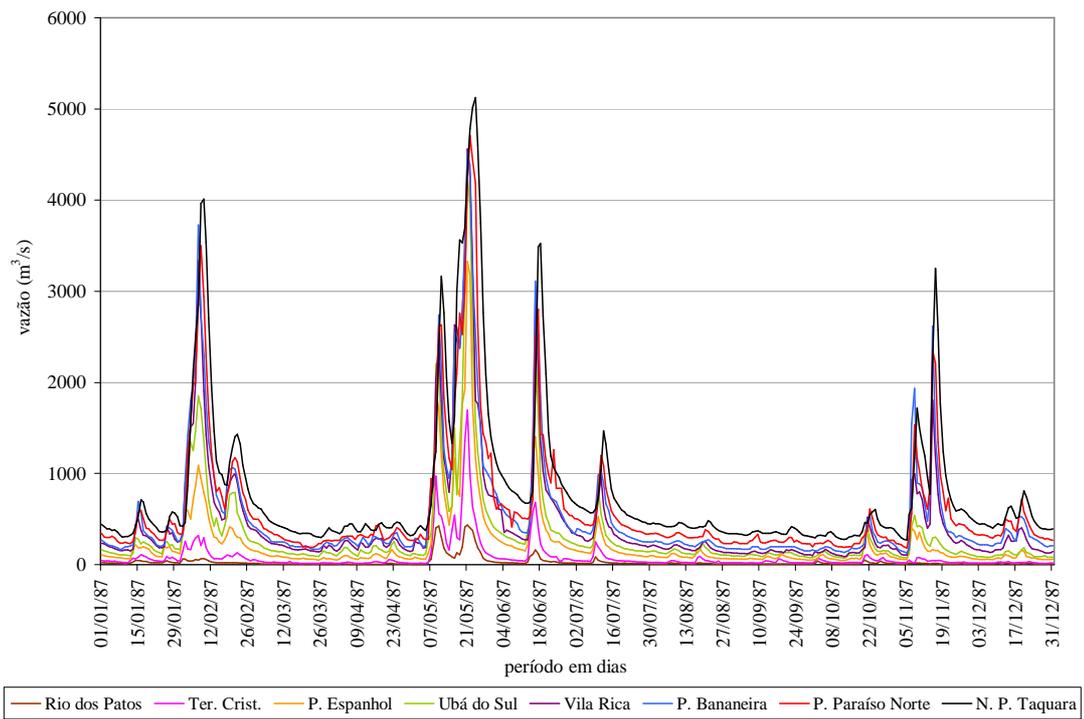


Gráfico 30 - Cheia Tipo B – ano de 1987

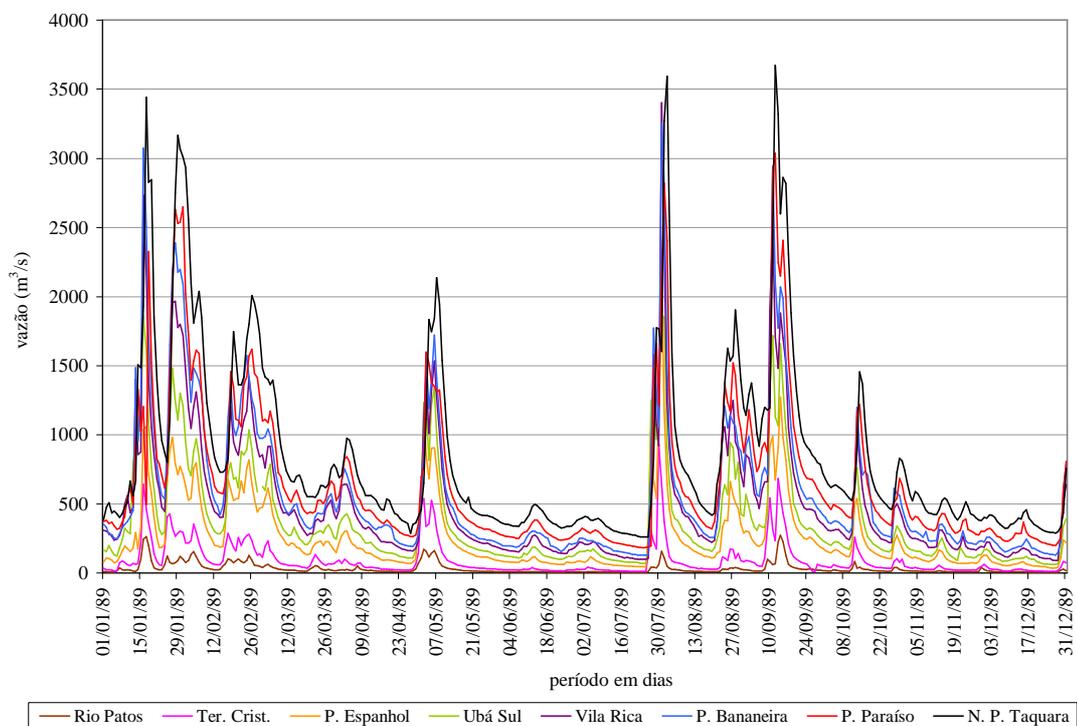


Gráfico 31 - Cheia Tipo B – ano de 1989

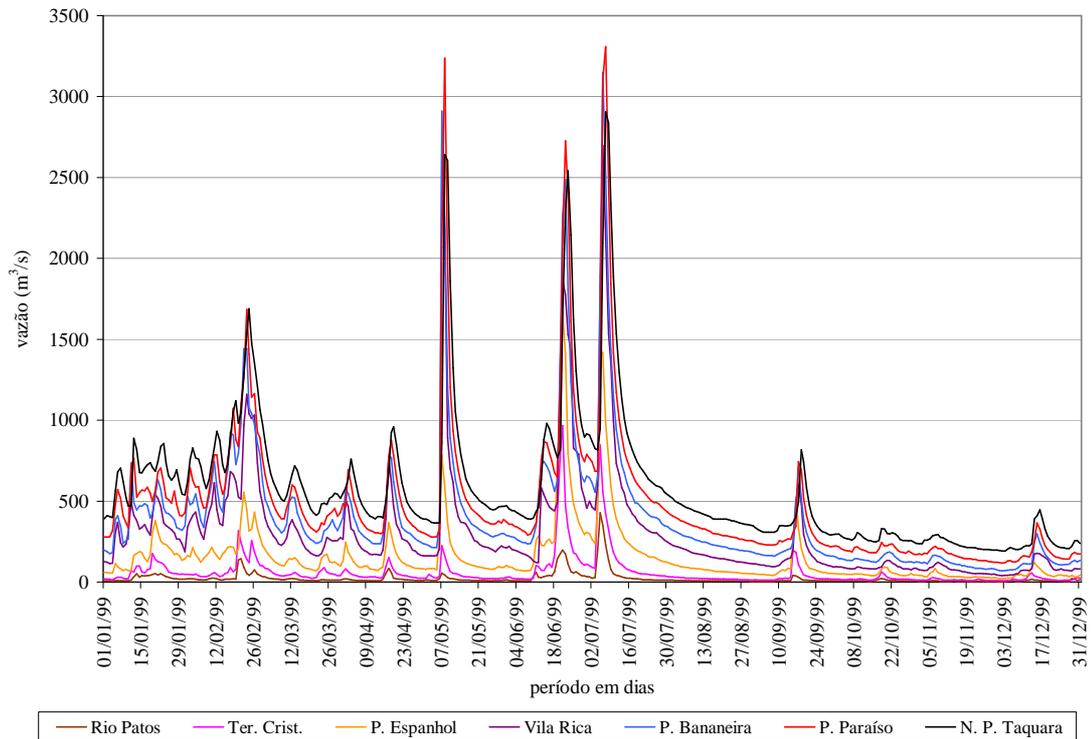


Gráfico 32 - Cheia Tipo B – ano de 1999

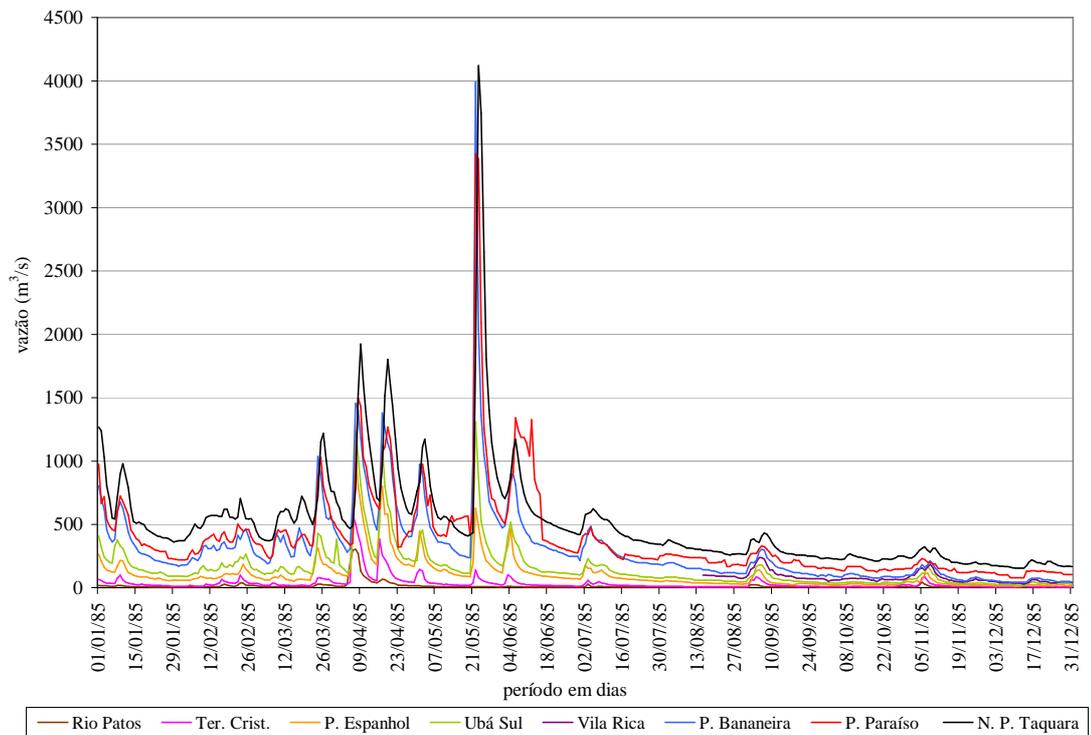


Gráfico 33 - Cheia Tipo C – ano de 1985

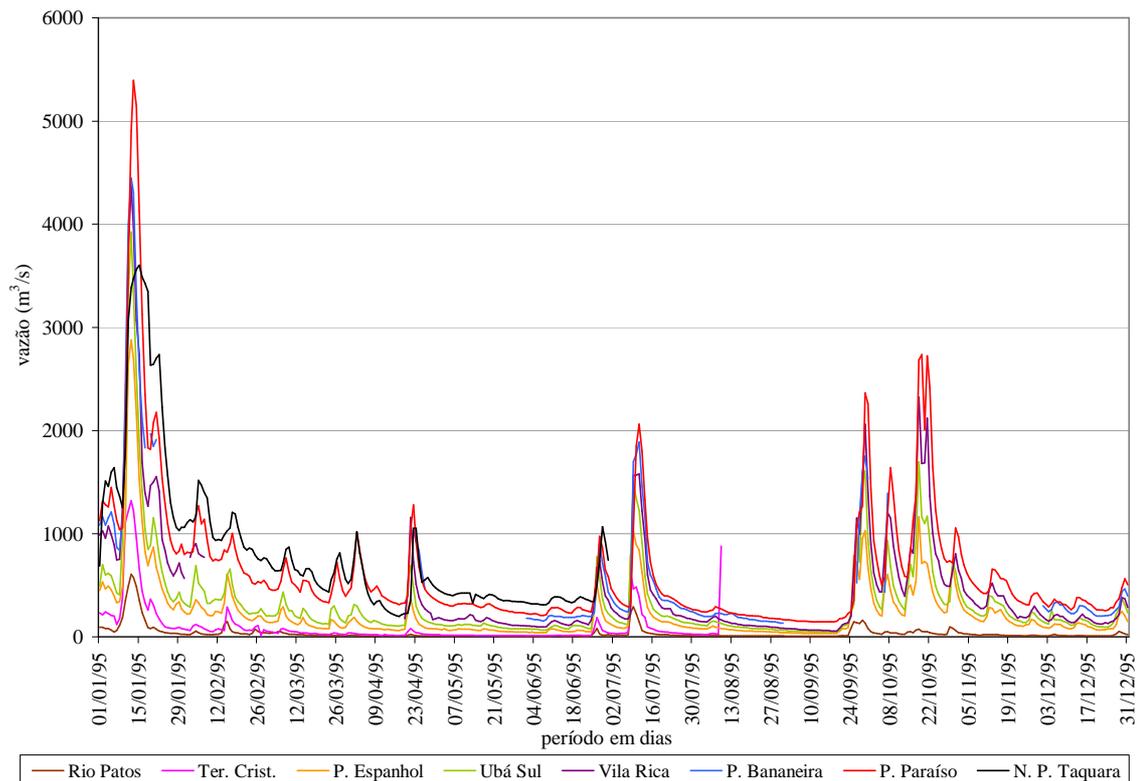


Gráfico 34 - Cheia Tipo C – ano de 1995

Além disso, duas características nas cheias de grande porte chamam a atenção. Primeiro, que por diversas vezes a vazão em Porto Paraíso do Norte é superior a de Novo Porto Taquara e pela lógica deveria ser o contrário, considerando-se que Novo Porto Taquara está situada a jusante de Porto Paraíso do Norte recebendo a contribuição de uma área de drenagem maior e, portanto deveria concentrar também uma maior vazão. Neste caso, a cheia de 1992 (Gráfico 35) retrata bem esse efeito. Segundo, que pode também ser notado que além de menor, esse pico apresenta um achatamento, ou seja, um amortecimento das vazões exibindo uma subida e descida por um tempo mais prolongado. Esse efeito visualizado na hidrógrafa merece ser analisado com atenção, pois pode indicar particularidades do regime hidrológico neste trecho do canal e fornecer importantes informações em relação a dinâmica do escoamento fluvial.

Como esse efeito é observado principalmente nas cheias de elevada magnitude, buscou-se correlacionar a média das cheias anuais registradas nas estações fluviométricas com sua respectiva área de drenagem (Gráfico 36), assim como foi feito com a vazão média. Com isso, foi possível verificar uma redução das vazões para as estações de Porto Paraíso do Norte e em menor proporção para Novo Porto Taquara, situada a jusante, no trecho de planície.

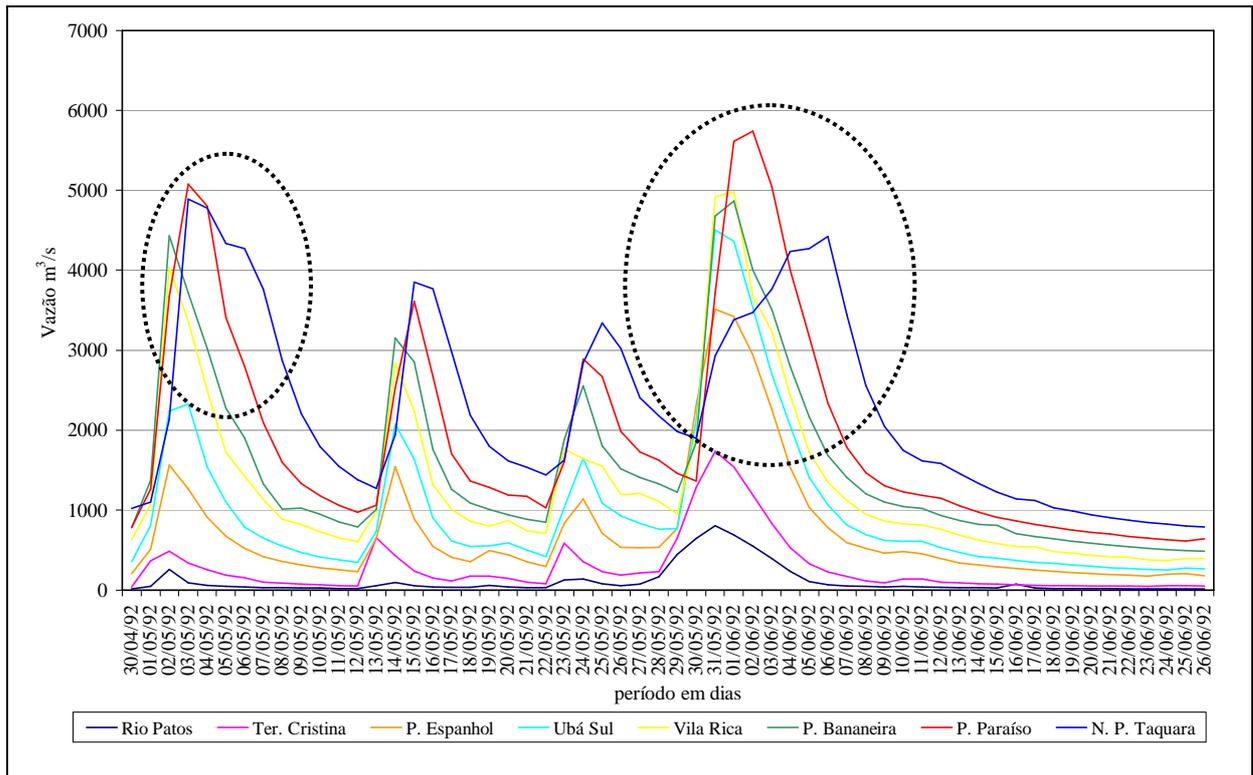


Gráfico 35 - Onda da cheia de mai/jun de 1992, com um pico máximo de cheia para a estação Porto Paraíso do Norte ao invés de Novo Porto Taquara que por sua vez, configura um amortecimento de pico da cheia

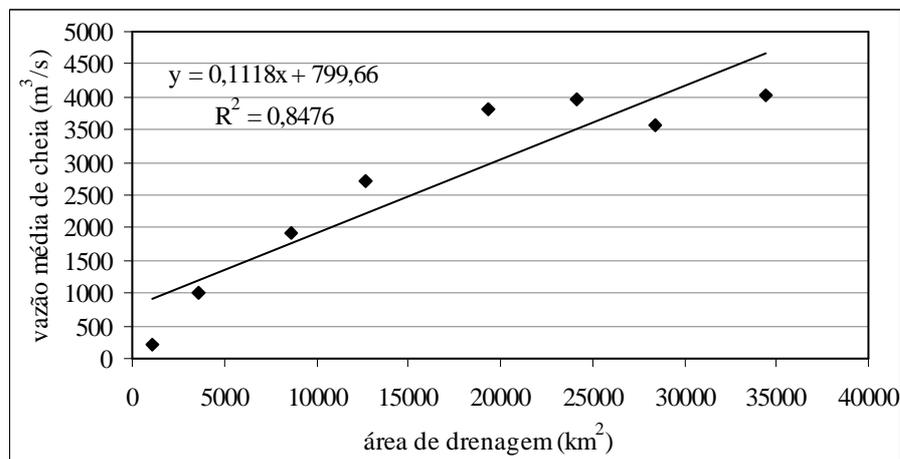


Gráfico 36 - Correlação área de drenagem vs vazão média das cheias anuais

Silva (2002) constatou o mesmo efeito para as cheias do rio Araguaia, que apresenta uma diminuição das vazões no médio curso como consequência da entrada de fluxo do canal para a planície aluvial e para o rio Javaés, importante tributário do rio Araguaia. Desse modo, a interação entre canal e planície por meio do escoamento fluvial, produz modificações visualizadas no hidrograma e mostra que se torna necessário o conhecimento das

características das cheias, no que se refere a sua magnitude em termos de cota e de sua frequência de ocorrência, como também a relação desses parâmetros com a geomorfologia do ambiente fluvial considerando-se a forma da seção transversal do canal e das margens.

Dentro desse contexto, utilizou-se o método elaborado por Lambert (1990) da curva de frequência para as cotas das cheias máximas anuais e comparou-se com o perfil da seção transversal do canal. A presente metodologia ajusta as cotas fluviométricas a uma curva em escala logarítmica que representa a frequência de recorrência em anos. Como sobre os pontos são traçadas retas, na inflexão da curva ocorre a quebra da mesma. De acordo com Lambert (1990), essas quebras indicam as cotas onde ocorre o extravasamento do escoamento fluvial. Assim faz-se sentido, correlacionar as quebras da curva com a morfologia da seção transversal do canal, verificando-se a relação existente.

Analisando-se as curvas (Gráfico 37 a 44), nota-se que até a primeira quebra da reta os pontos ajustam-se muito próximos, de modo a formar uma linha contínua sem interrupções, e em geral, o alinhamento dos pontos apresenta-se numa posição mais vertical. Esse detalhe mostra que as cotas que formam essa primeira reta são mais frequentes e recorrem em um período de tempo mais curto. De fato, se o canal mostra-se encaixado e a vazão aumenta, conseqüentemente as cotas se elevam, pois as margens são relativamente íngremes e altas e o escoamento fluvial não tem por onde extravasar, por isso que se forma uma linha retilineamente uniforme.

A partir da segunda e terceira quebra os pontos apresentam-se em menor número e mais espaçados e o alinhamento dos pontos tende a se adequar numa posição mais horizontal, revelando que os valores desses níveis ocorrem com menor frequência e levam mais tempo para voltar a recorrer, constituindo eventos de cheias mais raras e também de maior magnitude.

Cruzando-se os valores das cotas fluviométricas onde ocorre as quebras com a morfologia do canal, constata-se que existe uma certa correlação das quebras da curva com alguma mudança na forma do canal. Na maioria dos casos o valor de cota da quebra encaixa-se com a passagem das águas do canal de um patamar a outro ou para uma abertura maior do canal e até mesmo para uma cota de transbordamento. Em outros casos, o cruzamento das informações não é exato, mas, demonstram-se muito próximos, isso faz pensar que ajustes não adequados no levantamento dos perfis, assim como da curva-chave, pode ser a causa do desajuste entre as cotas e a morfologia das seções.

Conferindo-se minuciosamente a relação existente entre a frequência e recorrência da cotas por meio do método de Lambert com os perfis transversais levantados pelas operadoras em épocas diferentes, pode ser verificado para cada seção as seguintes observações:

Para a seção Rio dos Patos (Gráfico 37), que tem o canal com forma retangular, a curva de frequência das cotas fluviométricas consta de duas quebras, estas podem ser reflexo da mudança no escoamento ocasionado por um aumento da vazão em decorrência de mudanças na morfologia da seção. A primeira ocorre a 3,70 m e está relacionado a um pequeno alargamento do canal referente a margem direita. A outra a 4,05 m parece estar relacionada a expansão do escoamento sobre um patamar da margem direita, semelhante a um dique. Contudo, a 4,35 m tem-se o transbordamento do canal quando a vazão atinge o valor de  $806 \text{ m}^3/\text{s}$ , valor este registrado pela cheia de 1992, o que é considerado extremamente raro para esta seção, pois a recorrência é de apenas uma vez em um século.

A seção Tereza Cristina (Gráfico 38) configura um canal com uma forma mais arredondada lembrando a uma concha e possui margens relativamente altas isenta de patamares, sendo que a margem esquerda é mais alta e inclinada conferindo uma abertura maior para o canal. A curva de frequência para esta seção exibe duas quebras, uma à cota de 8,82 m e a outra à 10,44 m. A primeira que não se apresenta muito expressiva se encontra no nível onde o canal sofre um gradativo aumento de sua largura. A segunda quebra, contudo, se destaca pelo fato de mostrar um alinhamento dos pontos deslocado um pouco acima dos demais formando uma pequena reta a parte. O nível em que se dá essa separação ocorre a 10,44 m que junto ao perfil indica a cota de transbordamento sobre a margem direita. O transbordamento é gerado quando a vazão atinge  $1541 \text{ m}^3/\text{s}$  e possui um retorno de nove vezes em cem anos.

A curva de frequência das cotas para a seção Porto Espanhol (Gráfico 39) mostra apenas uma quebra provocada por uma leve inflexão da curva, isso porque, para esta seção não se constatou registros de cheias que tenham provocado transbordamentos, e, além disso, a mesma não apresenta mudanças morfológicas significativas, como reentrâncias ou patamares, que podem ocasionar mudanças mais abruptas ao escoamento. O valor máximo de cota atingido pelo escoamento é de 10,92 m e pelo perfil levantado em 27/09/1999 a cota de transbordamento é de 11,88 m na margem esquerda. Desse modo, é provável que a quebra por volta dos 10,41 m seja decorrente do aumento contínuo da largura do canal. Este valor de cota por sua vez apresenta um período de retorno de uma vez a cada dez anos.

O perfil transversal na seção Ubá do Sul (Gráfico 40) caracteriza a forma de um funil mostrando uma morfologia bastante diferente. Considerando a cota de 2m até o fundo do leito

o canal é bem estreito e a partir de 2 m até o topo da margem direita o canal sofre uma significativa abertura. À uma cota de 5,68 m ocorre uma quebra da curva no local em que o canal sofre praticamente seu maior alargamento, portanto a quebra pode estar associada às mudanças do escoamento em relação as diferenças na morfologia do canal. Nesta seção assim como a anterior não se encontrou valores que mostrassem transbordamentos, mas a cota máxima de 6,55 m que tem uma recorrência de 0,03, ou seja, três vezes a cada cem anos apresenta-se bem próxima ao topo da margem direita.

Vila Rica (Gráfico 41) apresenta uma seção transversal semelhante a anterior, porém o aumento da largura do canal se dá um pouco acima da cota mínima registrada para esta seção. A curva de frequência por sua vez, apresenta-se simples, e após a quebra, o alinhamento dos valores das cotas são ligeiramente inclinados revelando que o canal não apresenta patamares configurando acima da cota mínima uma morfologia homogênea. Nesta seção, contudo, não se verificou transbordamento sendo a cota de 8,46 m a cota máxima registrada em 1998 que apresenta um retorno provável de seis vezes a cada cem anos, retorno este condicionado por uma cheia de  $5639 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Para Porto Bananeira (Gráfico 42) a seção transversal se torna bem menos funilada com um fundo do canal mais aberto. Apresenta também um patamar bem desenvolvido na margem direita podendo estar associado possivelmente a um dique, já que esta seção está situada num segmento mais próximo de jusante, onde a área adjacente ao canal passa a caracterizar feições geomorfológicas mais associadas a ambientes de planície. Em relação a curva de frequência para a seção Porto Bananeira, esta se apresenta relativamente simples, porém a quebra que representa o valor de cota de 7,18 m se destaca na curva, pois se encaixa perfeitamente a passagem do escoamento sobre o patamar de mais ou menos 10m de extensão na margem direita e próximo ao nível de transbordamento para a margem esquerda. Para tanto é necessário que o rio apresente uma vazão de  $5514 \text{ m}^3/\text{s}$  que de acordo com as informações geradas pela curva de frequência, apresenta uma recorrência de sete vezes a cada cem anos.

A seção de Porto Paraíso do Norte (Gráfico 43) apresenta uma morfologia com tendência a retangular, canal encaixado e profundo com margens altas. A medida que as margens se elevam o canal torna-se mais aberto e essa abertura do canal faz com que a curva de frequência das cotas seja menos vertical do que a maioria das outras seções, mostrando nitidamente a evolução do preenchimento do canal pelo escoamento fluvial. À 10,3 m, 11,96 m e 12,76 m a curva apresenta quebras e uma inclinação maior e quando se compara essas alturas com a morfologia do canal verifica-se que estes pontos revelam a abertura do canal principalmente do lado da margem direita, isso por sua vez, reflete mudanças na curva como

pode ser verificado. A cota de maior importância para a seção de Porto Paraíso do Norte seria a de 14 m que representa a cota de transbordamento do canal quando a vazão é de  $5710 \text{ m}^3/\text{s}$ , com um retorno de duas vezes em um século, ou melhor dizendo, uma vez a cada cinquenta anos.

O perfil transversal da seção de Novo Porto Taquara (Gráfico 44) exhibe uma forma do canal de certo modo retangular, profundo e com margens consideravelmente íngremes, interrompidas em sua porção mais superior pelo desenvolvimento de dois diques marginais em sua margem direita. A transposição do primeiro dique ocorre a cota de 9,84 m, coincidindo com a primeira quebra da reta e tem uma recorrência de quatro vezes ao ano, quando a vazão atinge  $446 \text{ m}^3/\text{s}$ . O nível das águas atinge o segundo dique a 12 m de altura, a partir de  $3731 \text{ m}^3/\text{s}$  de vazão. Nesse sentido, do primeiro para o segundo dique tem-se a inundação da planície por uma extensão de mais ou menos 30 m, nessa fase verifica-se também que as cheias ocasionam o transbordamento sobre a margem esquerda. Esse processo de transbordamento das águas por sua vez, ocorre em torno de cinco vezes a cada dez anos. Acima de 12 m as cheias apresentam-se como eventos muito raros e principalmente as cheias de 1983, 1993 e 1998 atingiram valores de cota que vão de 12 a 12,59 m, sendo este último valor a altura máxima registrada atingida pelo nível das águas para esta seção que corresponde a passagem das águas sobre o segundo dique na margem direita. Para tanto, esse valor de cota foi conseguido pela cheia de 1993 quando a vazão alcançou  $5280 \text{ m}^3/\text{s}$ . Uma cheia extraordinária como esta tem um retorno de apenas três vezes a cada cem anos, podendo, portanto, ser considerada como um evento excepcionalmente raro ou até mesmo fora de regra.

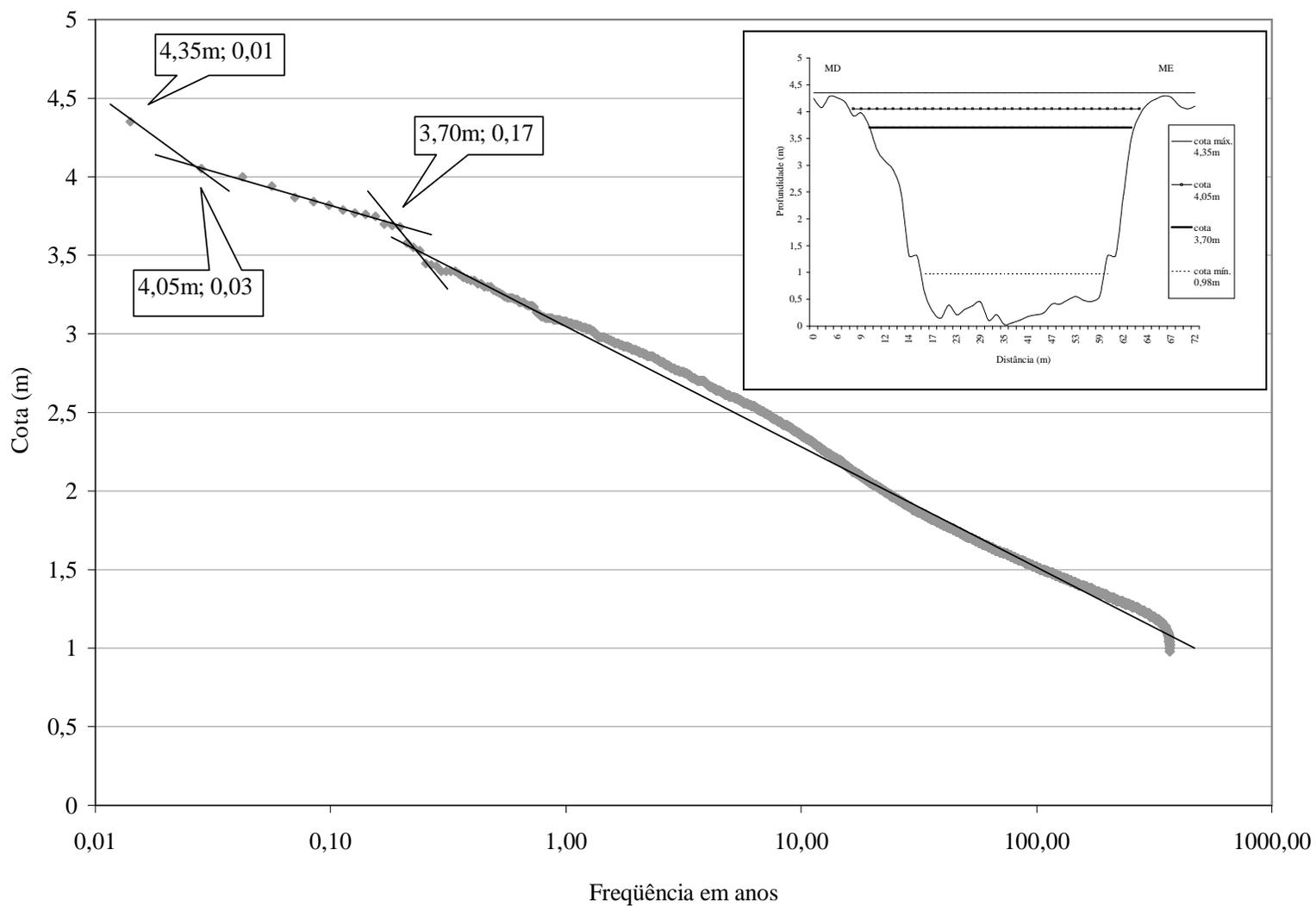


Gráfico 37 - Recorrência das cota fluviométricas, estação Rio dos Patos

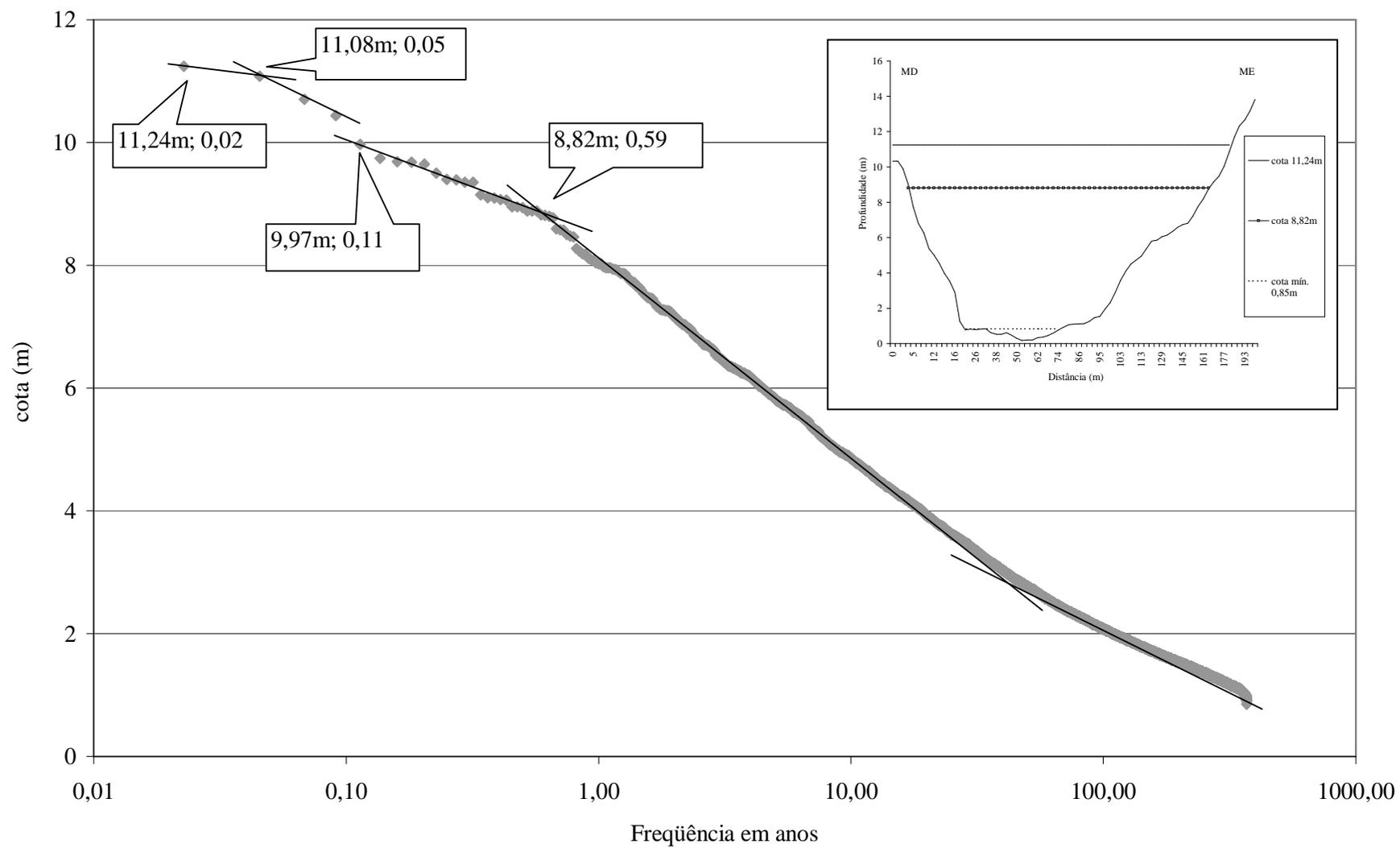


Gráfico 38 - Recorrência das cotas fluviométricas, estação Tereza Cristina

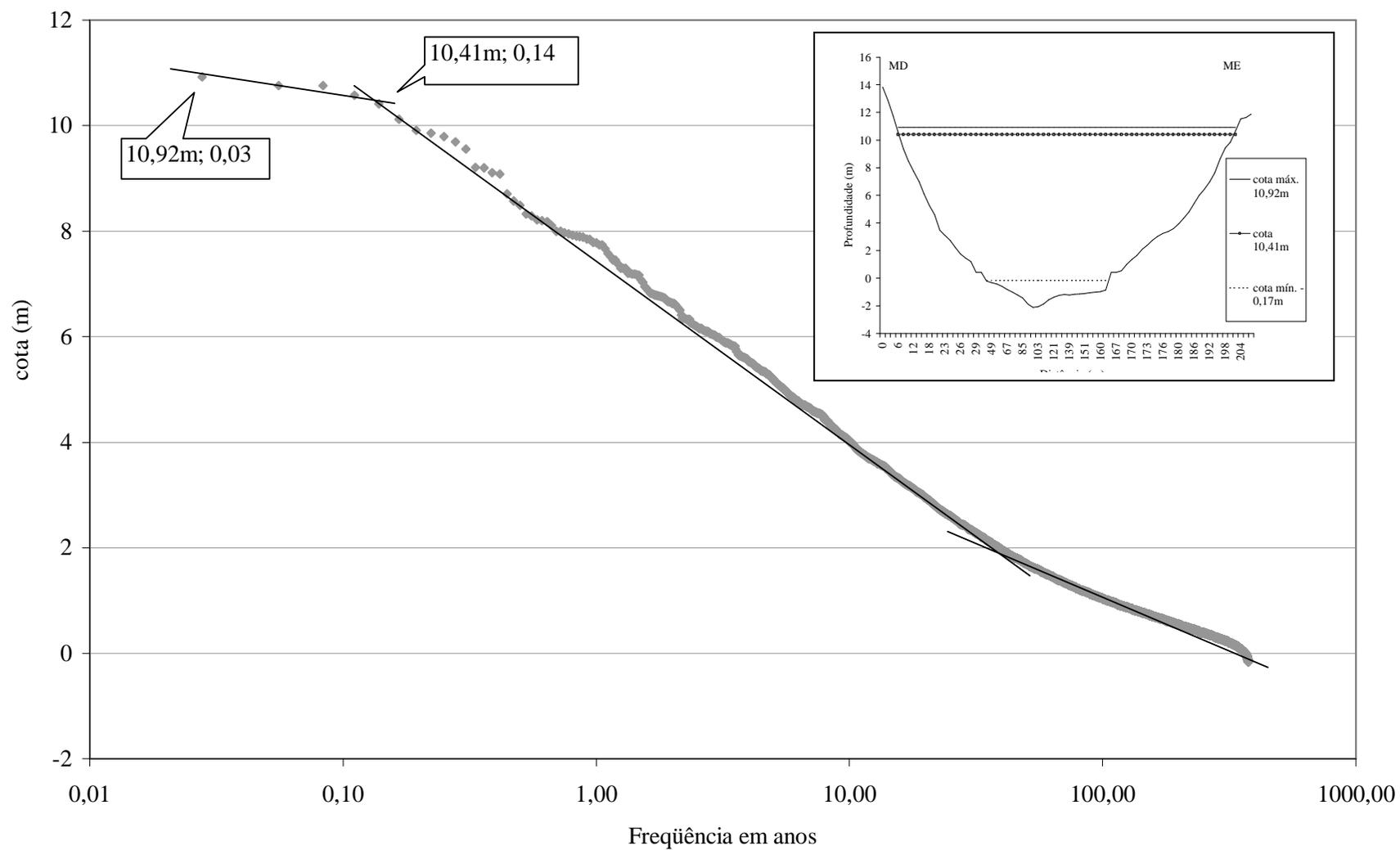


Gráfico 39 - Recorrência das cotas fluviométricas, estação Porto Espanhol

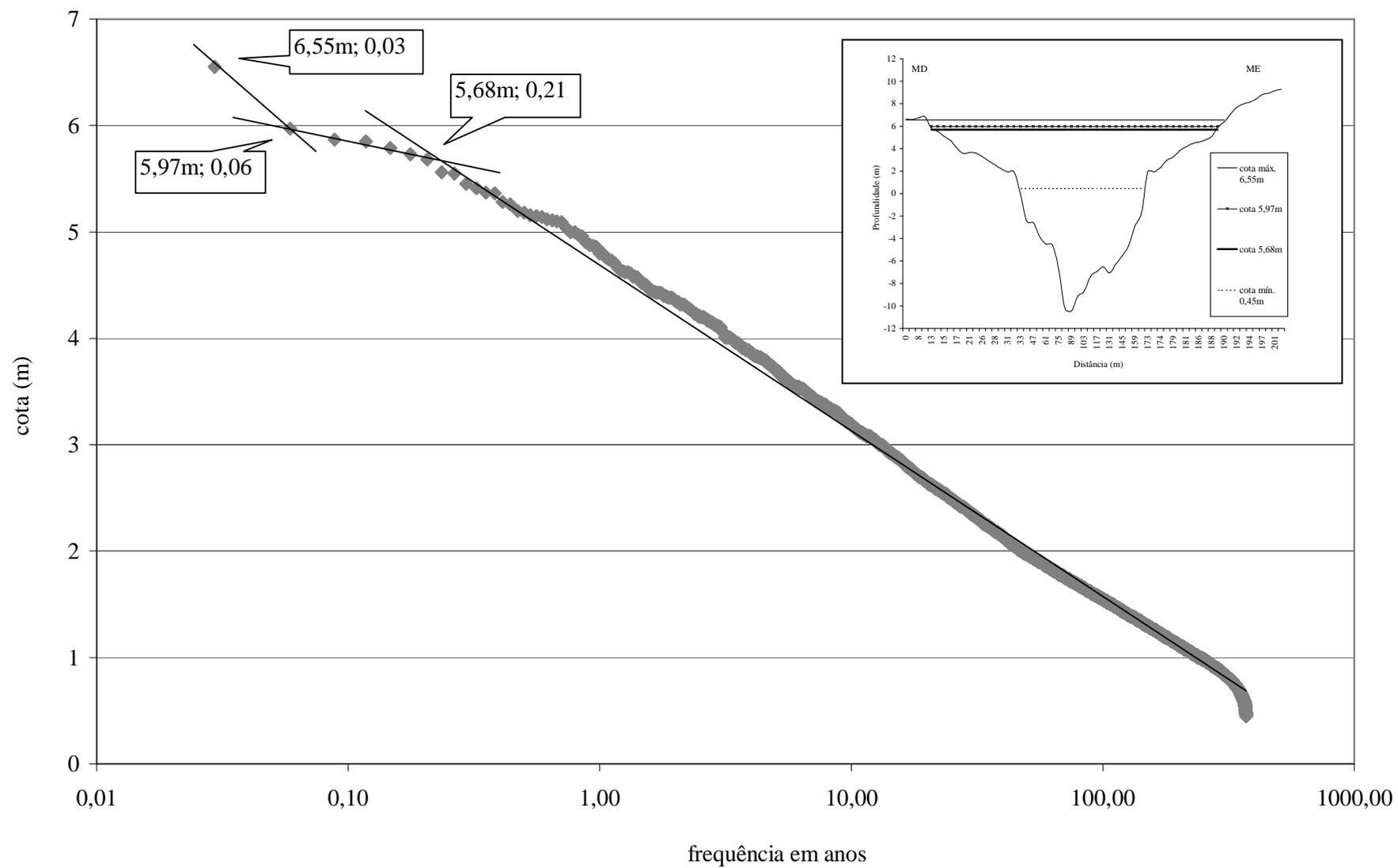


Gráfico 40 - Recorrência das cotas fluviométricas, estação Ubá do Sul

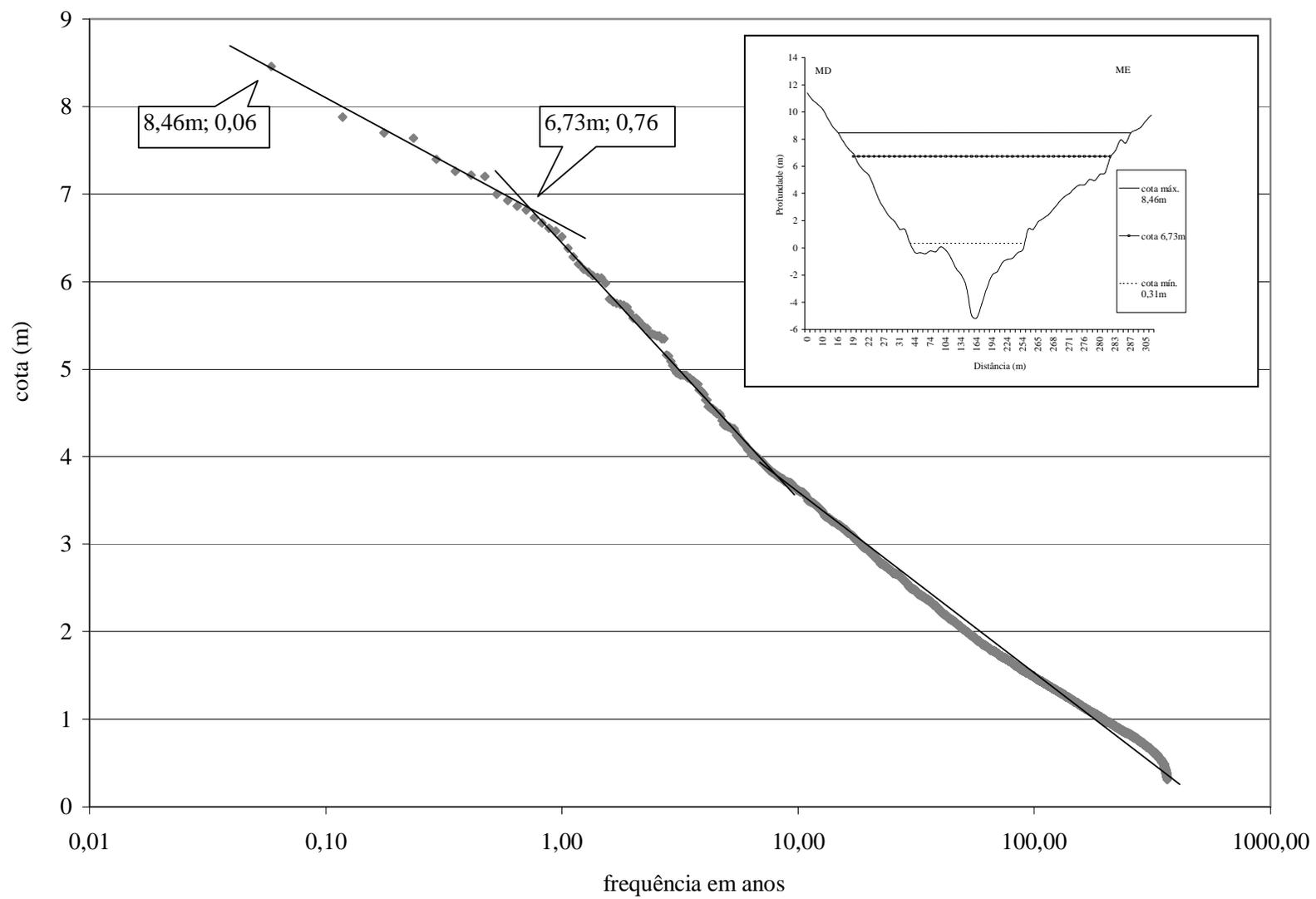


Gráfico 41 - Recorrência das cotas fluviométricas, estação Vila Rica

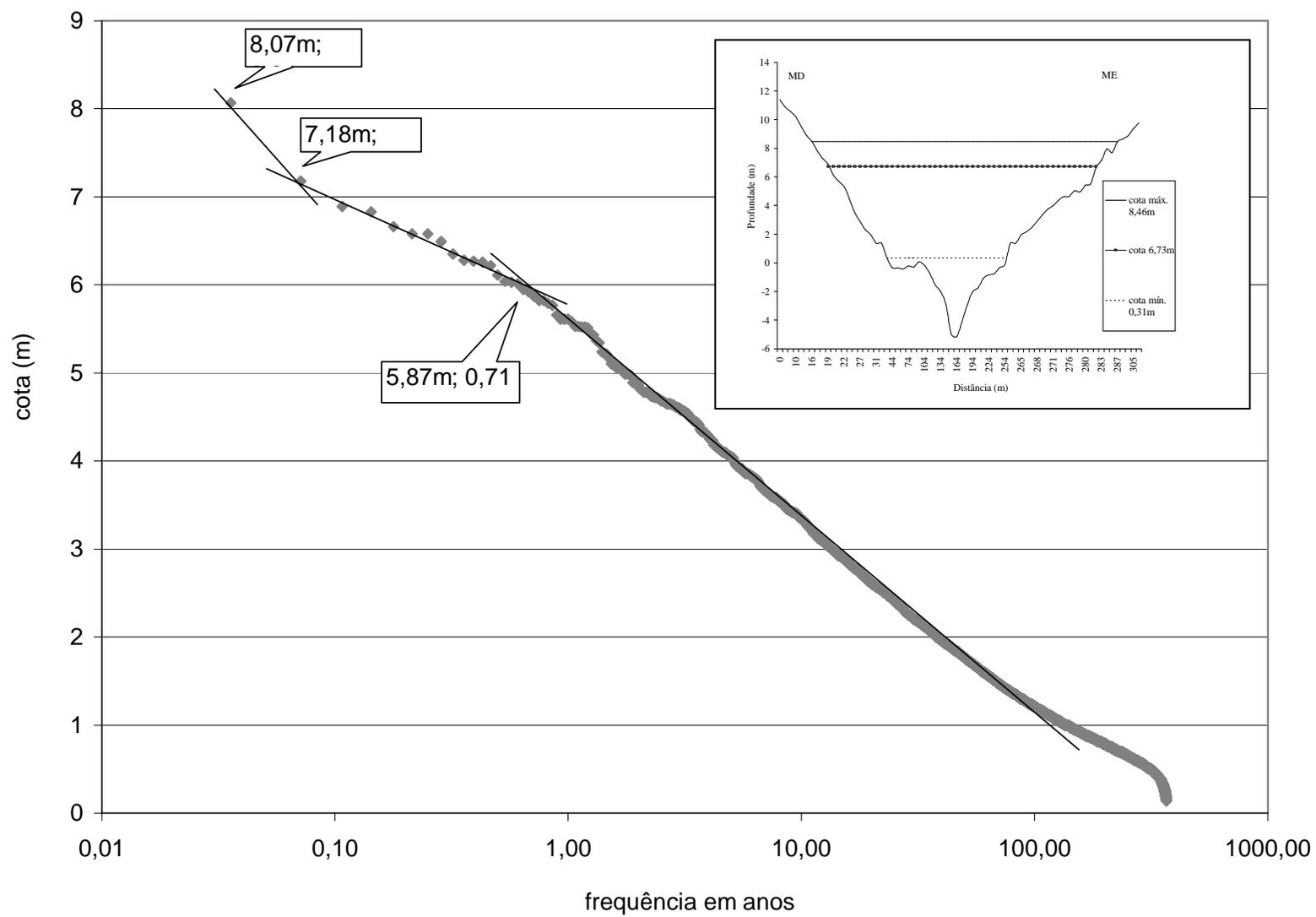


Gráfico 42 - Recorrência das cotas fluviométricas, estação Porto Bananeira

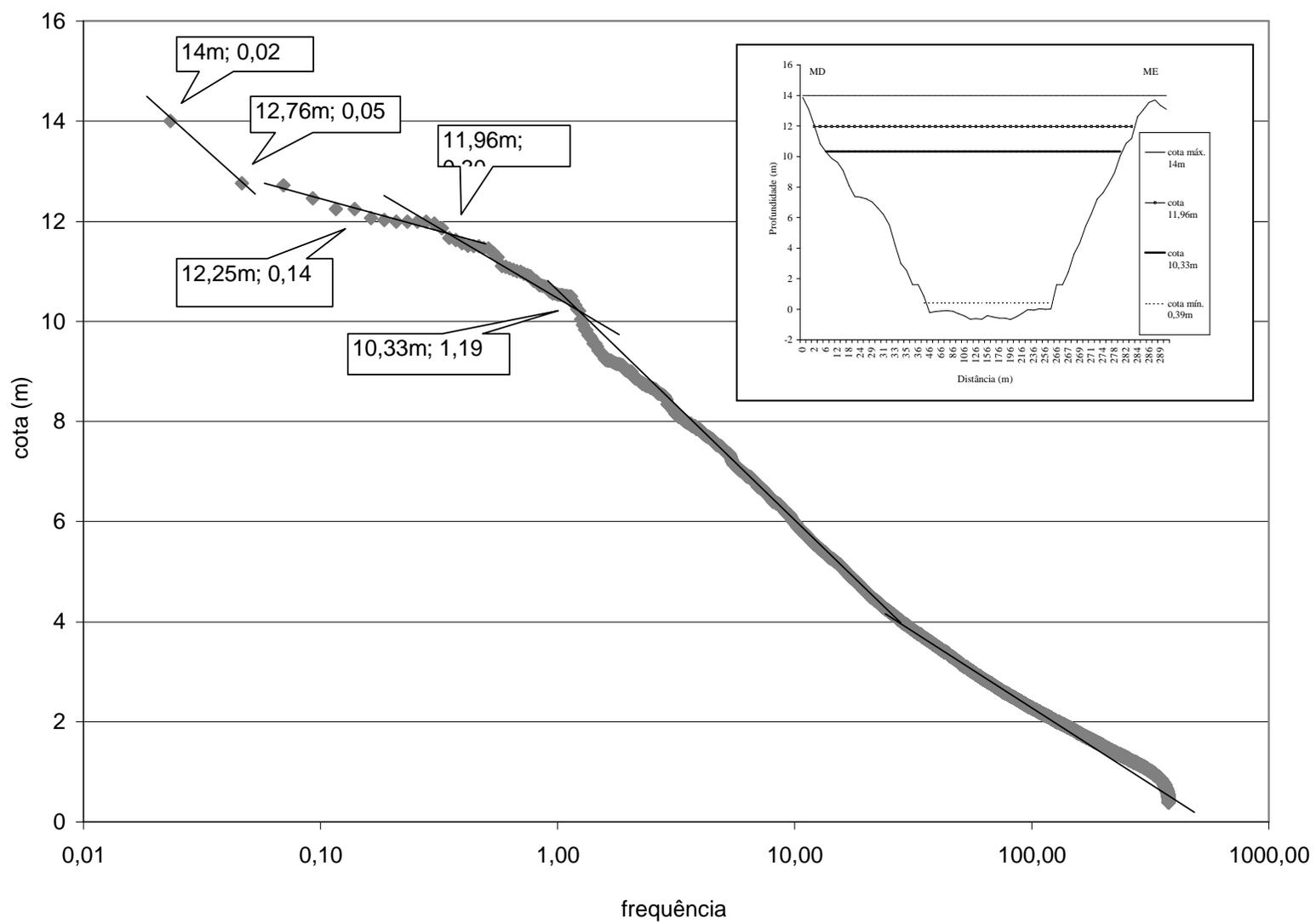


Gráfico 43 - Recorrência das cotas fluviométricas, estação Porto Paraíso do Norte

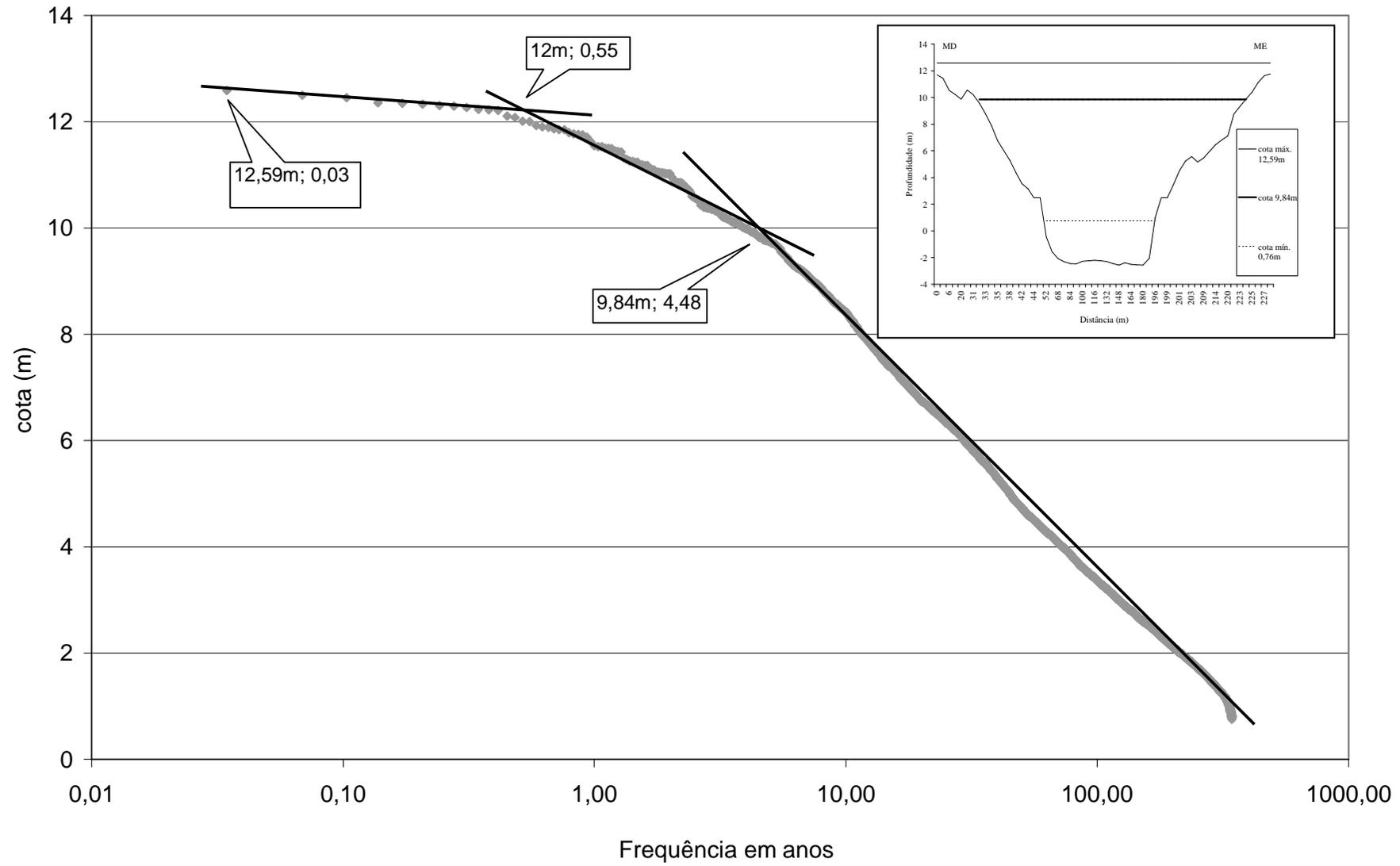


Gráfico 44 - Recorrência das cotas fluviométricas, estação Novo Porto Taquara

Diante de tais aferições as estações localizadas fora do trecho de planície mostram possíveis transbordamentos em 0,02 anos, ou seja, a cada 50 anos quando ocorrem cheias excepcionalmente extremas. Para as seções localizadas mais a jusante como Porto Bananeira, Porto Paraíso do Norte e Novo Porto Taquara a probabilidade de transbordamento aumenta. Entretanto, a margem direita demonstra patamares e no caso de Novo Porto Taquara existe a nítida configuração de diques marginais que são feições morfológicas típicas de trechos de planície. Caso haja o transbordamento das águas sobre o primeiro dique uma pequena quantidade de fluxo pode entrar na planície a cada 4 anos, mas seria uma inundação em tempo muito curto, pois os níveis de subida e descida das águas como já se observou são relativamente rápidas. Contudo, uma quebra da curva a 12 m indica uma inundação de maior intensidade e permanência, com uma frequência de 0,55 anos, em outras palavras, 5 vezes em dez anos, ou ainda a cada 2 anos.

## 12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento do regime hidrológico do rio Ivaí foi analisado e caracterizado por meio de informações hidrológicas de vazão, registrados em oito estações fluviométricas, sendo: Rio dos Patos, Tereza Cristina, Porto Espanhol e Ubá do Sul distribuídas no segmento montante; Vila Rica, Porto Bananeira e Porto Paraíso do Norte no segmento médio e Novo Porto Taquara no segmento inferior. Para tanto, considerou-se a periodicidade, a estacionariedade, a frequência, a permanência e a recorrência como parâmetros de análise.

A análise das séries históricas referentes a cada estação mostrou os seguintes valores de vazão média anual e de maior vazão registrada para cada uma delas:

<b>estação</b>	<b>vazão média anual</b>	<b>vazão máxima/ano</b>
Rio dos Patos	21 m <sup>3</sup> /s	806 m <sup>3</sup> /s-1992
Tereza Cristina	77 m <sup>3</sup> /s	1733 m <sup>3</sup> /s-1992
Porto Espanhol	200 m <sup>3</sup> /s	3520 m <sup>3</sup> /s-1893
Ubá do Sul	276 m <sup>3</sup> /s	4500 m <sup>3</sup> /s-1992
Vila Rica	431 m <sup>3</sup> /s	5639 m <sup>3</sup> /s-1998
Porto Bananeira	571 m <sup>3</sup> /s	6028 m <sup>3</sup> /s-1983
Porto Paraíso do Norte	599 m <sup>3</sup> /s	6194 m <sup>3</sup> /s-1993
Novo Porto Taquara	728 m <sup>3</sup> /s	5747 m <sup>3</sup> /s-1983

A análise do regime hidrológico do rio Ivaí permitiu caracterizá-lo como de baixa periodicidade, sem um período sazonal definido de cheia e estiagem. Ou seja, a bacia de drenagem não possui grande capacidade de armazenamento, fazendo com que as vazões de maior magnitude ocorram no período de chuva, e os valores de descarga diminuam assim que a precipitação cesse.

A resposta rápida da vazão em relação à pluviometria deve-se à forma da bacia, cuja área de captação é pequena em relação ao comprimento do canal. Além disso, a existência de vertentes íngremes na parte superior e média da bacia facilita o escoamento superficial. Da mesma forma, as vertentes íngremes em geral são desprovidas de solos e manto de alteração profundos, o que dificulta a existência de reservatórios que mantenham o fluxo de base elevado.

A frequência e o tempo de permanência das vazões foram analisados através da curva de duração do fluxo. Para a seção mais próxima da nascente e a para a mais próxima da foz, as vazões permanecem mais de 60% abaixo e acima do valor médio respectivamente. Já para as outras seções as vazões que ocorrem com uma frequência e permanência maior oscilam em torno do valor médio.

A magnitude foi o parâmetro considerado para analisar as cheias anuais e mostrou que 60% das vazões máximas anuais correspondem às cheias ordinárias de menor magnitude e que não ultrapassam o valor de enchente média. Outros 40% são representados pelas vazões extraordinárias, de magnitude superior à média das cheias máximas anuais, com forte relação com os eventos de El Niño. A se destacar, a estação de Porto Paraíso do Norte, em que 12 de suas 15 maiores cheias foram causadas pelas precipitações atribuídas ao fenômeno.

A análise da recorrência das cheias foi realizada pelo método de Gumbel. Os valores obtidos mostraram que a recorrência das cheias médias anuais foi de 2,3 anos, e recorrência da média das cheias extremas ( $4219 \text{ m}^3/\text{s}$ ) foi de 22 anos.

De modo geral, quando se trata da vazão média que passa por cada seção em estudo, o rio Ivaí apresenta um regime hidrológico normal de uma estação a outra, com aumento da vazão à medida que se aumenta a área de drenagem. Contudo, quando se considera a média das vazões máximas anuais verifica-se uma redução da vazão nas estações de Porto Paraíso do Norte e de Novo Porto Taquara. Nas ondas de cheias extraordinárias nota-se um amortecimento da vazão na estação de Novo Porto Taquara.

Essa redução das vazões durante as maiores cheias não significa propriamente uma perda de água do canal para a planície, pois a correlação da frequência e retorno das cotas fluviométricas por meio do método de Lambert com a morfologia do canal mostra que cheias com transbordamento significativo são praticamente inexistentes. Além disso, para a estação de Novo Porto Taquara eventos de cheias com transbordamentos mais efetivos seriam alcançados a partir dos 12 m de altura do nível das águas, mas para este valor de cota, a recorrência é de apenas três vezes em um século o que não ocasionaria reflexos no hidrograma.

O tratamento das informações das cotas a partir do método de Lambert com o perfil da seção transversal do canal mostra uma boa correlação. As quebras da curva podem ser relacionadas a mudanças na morfologia da calha fluvial. Em geral, a correlação está associada ao aumento da largura do canal, a mudança de um patamar a outro da margem, a transposição da águas sobre diques e até mesmo transbordamentos.

## REFERÊNCIAS

ANA. *Rede hidrometeorológica básica*. Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 14 mai. 2004.

ANDRADE, A. R. *Variabilidade da precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Ivaí – PR*. Maringá, 2002. 99 f. il. Dissertação (Mestrado em Análise Regional e Ambiental)– Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2002.

BALDO, M.C. et al. Análise da precipitação pluvial do Estado de Santa Catarina associada com a anomalia da temperatura da superfície do oceano Pacífico. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 283–293, 2000.

BARBETTA, P. A. *Estatística aplicada às ciências sociais*. 5 ed. Florianópolis: UFSC, 2002.

BIAZIN, P. C. *Dinâmica sedimentar do canal do rio Ivaí no curso inferior*. Maringá, 2005. 70 f. il. Dissertação (Mestrado em Análise Regional e Ambiental)–Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá: 2005. Em elaboração.

BRASIL. Ministério do Interior. Departamento Nacional de Obras de Saneamento. *Estudos hidrológicos da bacia do Alto Paraguai: região do Pantanal, estado do Mato Grosso*. Brasília, 1974. v. 1, il. Relatório técnico.

BRASIL. DNAEE. *Diagnóstico dos recursos hídricos: avaliação do regime hidrometeorológico do noroeste do Brasil*. Brasília, 1985a. Programa Polonorte.

BRASIL. DNAEE. Divisão de Controle de Recursos Hídricos. *Boletim fluviométrico: bacias dos rios Ivaí, Piquiri e Paraná – dados diários atualizados até 1984*. Brasília, 1985b.

BURT, T. P. The hydrology of headwater catchments. In: PETTS, G.; CALOW, P. (Ed.). *River flows and channel forms: selected extracts from the rivers handbook*. Osney Mead: Blackwell Science, c1996. cap. 2, p. 6–31.

CAMPOS, J. B. A pecuária e a degradação social e ambiental do noroeste do Paraná. *Cad. Biodiversidade*, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 1–3, jul. 1999.

CHEVALLIER, P. Aquisição e processamento de dados. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: 1997. p. 485–519.

CHOW, V. T. *Handbook of applied hydrology*. New York: McGraw-Hill Company, 1964.

CLARKE, R. T.; TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. Variabilidade temporal no regime hidrológico da bacia do rio Paraguai. *RBRH*, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 201–211, 2003.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia fluvial*. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

DEFFUNE, G. A avaliação dos recursos hídricos na geografia. *Apontamentos*, Maringá, n. 25, 1994.

DUNNE, T; LEOPOLD, L. B. *Water in environmental planning*. San Francisco: W. H. Freeman, 1998.

FERNANDEZ, O. V. Q.; SOUSA FILHO, E. E. de. Efeitos do regime hidrológico sobre a evolução de um conjunto de ilhas no rio Paraná. *Bol. Paranaense de Geociências*, Curitiba, v. 43, p. 161–171, 1995.

GUSTARD, A. Analysis of river regimes. In: PETTS, G; CALOW, P. (Ed.). *River flows and channel forms: selected extracts from the rivers handbook*. Osney Mead: Blackwell Science, 1996. p. 32–50.

HUDSON, P. F.; COLDITZ, R. R. Flood delineation in a large and complex alluvial valley, lower Pánuco basin, Mexico. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 280, p. 229–245, 2003.

HÜEBLIN, R. J. *Modelo para a aplicação da metodologia ZERI: sistema de aproveitamento integral da biomassa de árvores de reflorestamento*. 2001. 139 f. Dissertação (Mestrado em Inovação tecnológica). Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2001. Disponível em: <<http://www.ppgte.cefetpr.br/dissertacoes/2001/hans.pdf>>. Acesso em: 2 dez. 2004.

IAPAR. *Cartas climáticas básicas do estado do Paraná – 1978*. Londrina, 1978.

IAP. *Evolução do desmatamento no estado do Paraná*. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/iap>>. Acesso em: 15 mar. 2004.

ITAIPU BINACIONAL. *Dados das estações hidrometeorológicas*. Disponível em: <<http://www.itaipu.gov.br/>>. Acesso em: 12 jan. 2004.

IBGE. Ministério do Planejamento e Orçamento. *Mapa de vegetação do Brasil*. Brasília, DF, 1993. 1 mapa, color., 120 cm x 0,80 cm. Escala 1: 5000.000.

LAMBERT, R.; GHOLAMI, M.; PRUNET, C. *Méthodologie pour une cartographie informative des zones inondables en Midi-Pyrénées*. Toulouse: Université Toulouse II/DIREN Midi-Pyrénées, 1998, p. 1-30.

LAMBERT, R. *Pour une approche géographique du temps de retour des averses et de crue*. In: COLLOQUE de Vernet: l' Aiguat del 40, les inondations catastrophiques. Perpignan: Univ. de Perpignan, 1990. p. 339-351.

LANNA, A. E. Elementos de estatística e probabilidades. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: UFRGS, 1997. p. 79–176.

LEOPOLD, L.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. *Fluvial processes in geomorphology*. New York: Dover Publications, 1964.

MAACK, R. *Geografia física do estado do Paraná*. Curitiba: BADEP, 1981.

MARTONI, A. M. *Análise das vazões no rio Paraná: no trecho entre porto São José e Porto 18*. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 1998. 111 p., il. Relatório final. Processo n. 00904/1998.

MENDES, C. A. B. Integração de modelos hidrológicos e sistemas de informações geográficas: fundamentos. *RBRH*, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 48-65, 1996.

MEURER, M. Análise dos regimes de cheias dos rios Paraná e Ivinhema, na região de Porto Rico/PR. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 2, p. 185–195, maio/ago. de 2003.

MINEROPAR. *Atlas geológico do estado do Paraná*. Curitiba, 2000. 1 CD ROM.

MORO, A. D. *Substituição de culturas, modernização agrícola e organização do espaço rural, no norte do Paraná*. 1991. 353 f.: il. Tese (Doutorado em Geociências)–Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1991.

MORISAWA, M. *Streams their dynamics and morphology*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1968. p. 11–17.

NOSELLA, M. L. B.; ALCÂNTARA, J. C. *O desmatamento no norte do Paraná: um recorte comparativo ambiental*. Disponível em: <<http://members.fortunecity.com/parolin2/NosellaAlcantara.htm>>. Acesso em: 2 dez. 2004.

PARANÁ. Secretaria dos Transportes. *Estudos geológicos relacionados a projetos de navegabilidade do rio Ivaí*. [S. l.], 1982.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Instituto de Terras, Cartografia e Florestas. *Atlas do estado do Paraná*. Curitiba: UFPR, 1987. il.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. *Qualidade das águas interiores do estado do Paraná 1987–1995*. Curitiba: SUDERHSA, 1997.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. *Atlas de recursos hídricos do estado do Paraná*. Curitiba: SUDERHSA, 1998. il.

POFF, H. L.; ALLAN, D.; BAIN, M. B.; KARR, J. C; PRESTEGAARD, K. L.; RICHTER, B. D.; SPARKS, R. E.; STROMBERG, J. C. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *Bioscience*, Washington, v. 47, n. 11, p. 769–784, 1997.

RICHTER, B. D.; BAUMGARTNER, J. V.; WIGINGTON, R.; BRAUN, D. P. How much water does a River Need? *Freshwater Biology*, Oxford, v. 37, p. 231–249, 1997.

RAMOS, F. *Vazões de estiagem em pequenas bacias hidrográficas do estado do Paraná*. Curitiba: UFPR, 1973.

ROCHA, P. C. *Dinâmica dos canais no sistema rio-Planície Fluvial do Alto Rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico – PR*. Maringá. 172 f.: il. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)-Departamento de Biologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2002.

SANTOS, I. et al. Avaliação de perdas de solo por erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Ivaí. Disponível em: <[http://www.lactec.org.br/publicacoes/1999/02\\_1999](http://www.lactec.org.br/publicacoes/1999/02_1999)>. Acesso em: 14 mai. 2004.

SANTOS, G. B. Monitoramento da taxa de erosão marginal do baixo rio Ivaí. In: Anais XIII ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 13, 2004, Londrina, PR. *Anais eletrônico...* Londrina: 2004. 1 CD ROM.

SÃO PAULO. Secretaria de Obras e Meio Ambiente. Departamento de Águas e Energia Elétrica. *Pequenas bacias hidrográficas do estado de São Paulo: estudo de vazões médias e máximas*. São Paulo, 1980. v. 1.

SILVA, S. A. *Regime hidrológico e comportamento morfo-hidráulico do rio Araguaia*. 2002. 123 f.: il. Dissertação (Mestrado em Análise Regional e Ambiental)–Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2002.

SUDERHSA. Dados hidrológicos do rio Ivaí: séries históricas das estações fluviométricas (Porto Espanhol, Ubá do Sul e Vila Rica). 2003.

SUVALE. Ministério do Interior *Análise de dados hidrológicos da bacia do rio São Francisco*. [S.l.], 1972a. v. 1.

SUVALE. Ministério do Interior. *Análise de dados hidrológicos da bacia do rio São Francisco*. [S. l.], 1972b. v. 2.

TUCCI, C. E. M. *Regionalização de vazões*. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

UEHARA, K. *Contribuição para o estudo das vazões mínimas, médias e máximas de pequenas bacias hidrográficas*. São Paulo, Escola Politécnica da USP, [1973?].

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

WILSON JÚNIOR, G.; RODRIGUES, H. T.; SANTOS, J. S. dos. *Estudos hidráulico-sedimentológicos realizados no trecho inferior do rio Ivaí*. [S. l.: s. n.], 1980. v. 1.

## ANEXO

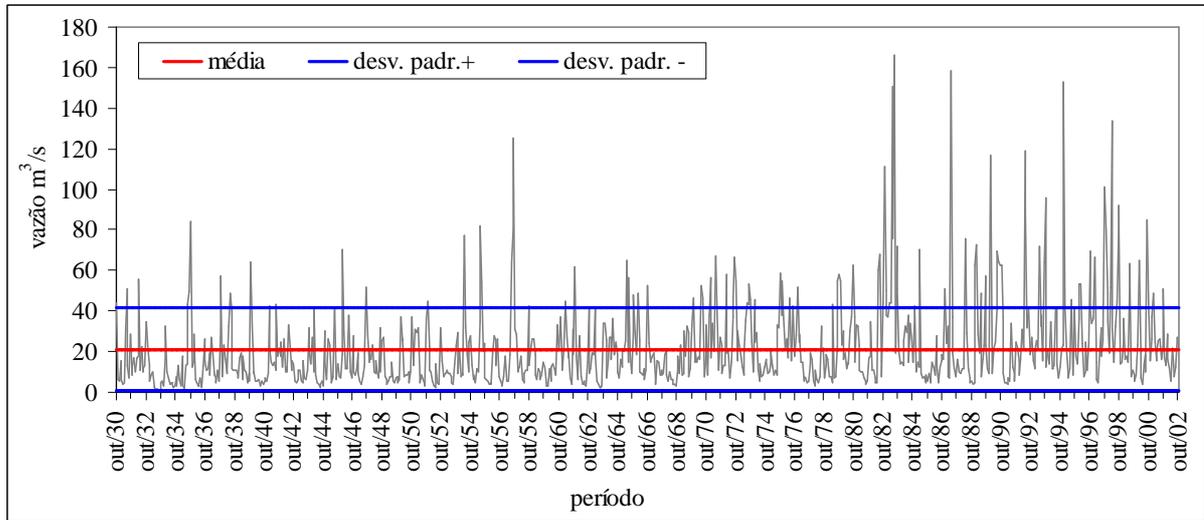


Gráfico 45 - Vazão média mensal – estação Rio dos Patos

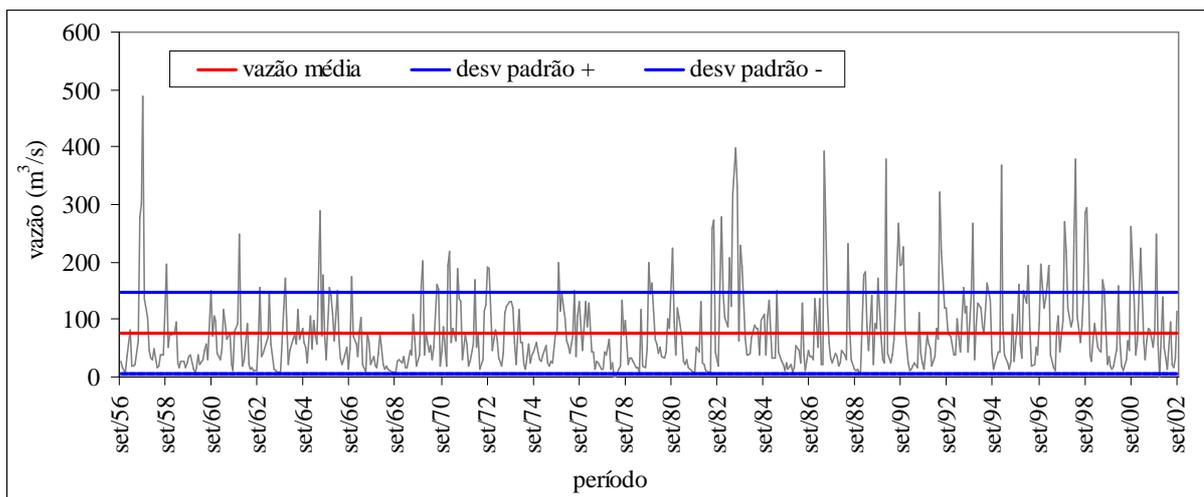


Gráfico 46 - Vazão média mensal – estação Tereza Cristina

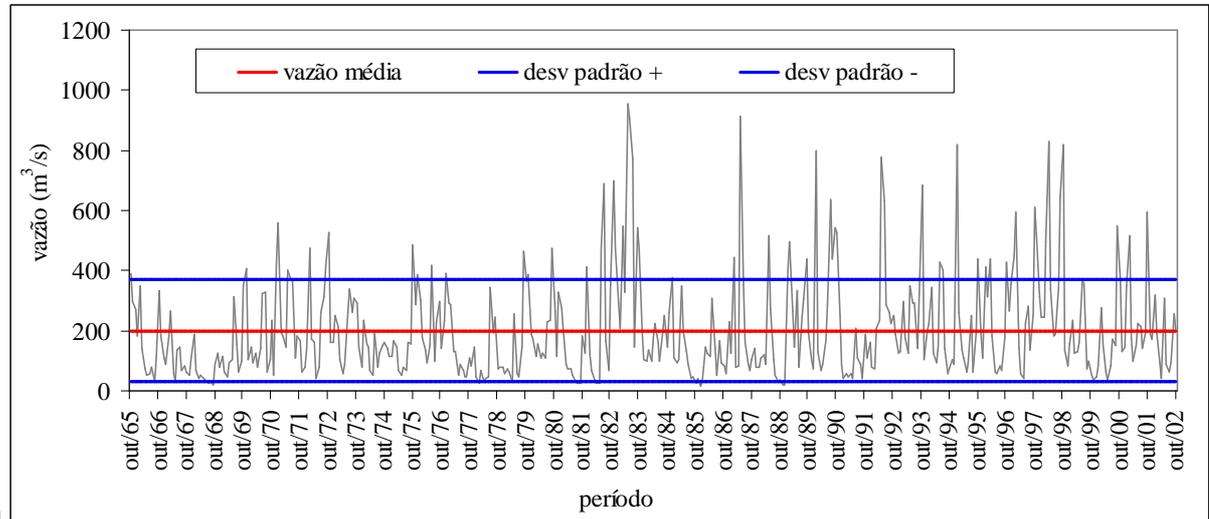


Gráfico 47 - Vazão média mensal – estação Porto Espanhol

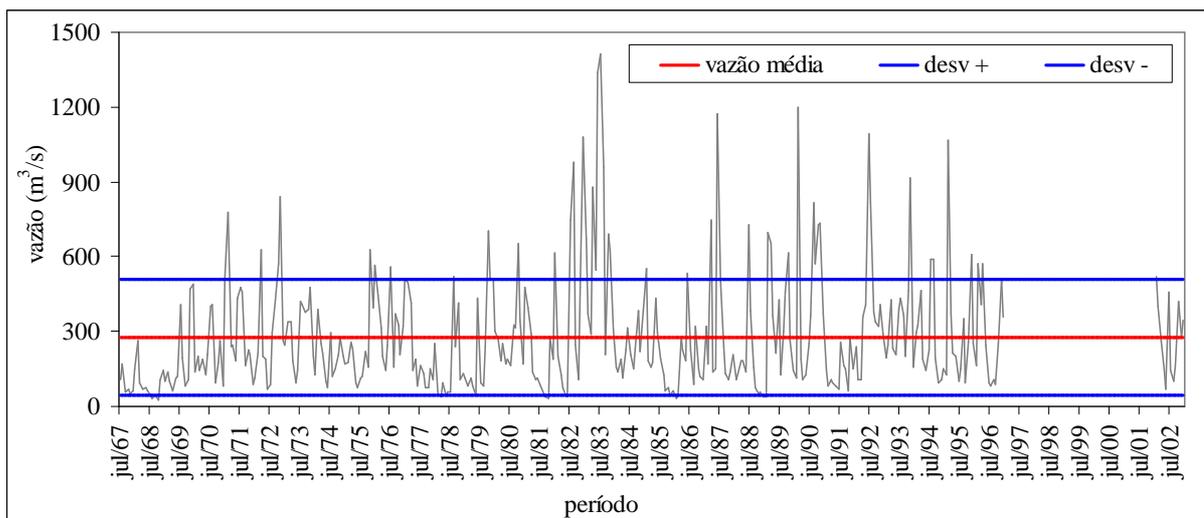


Gráfico 48 - Vazão média mensal – estação Ubá do Sul

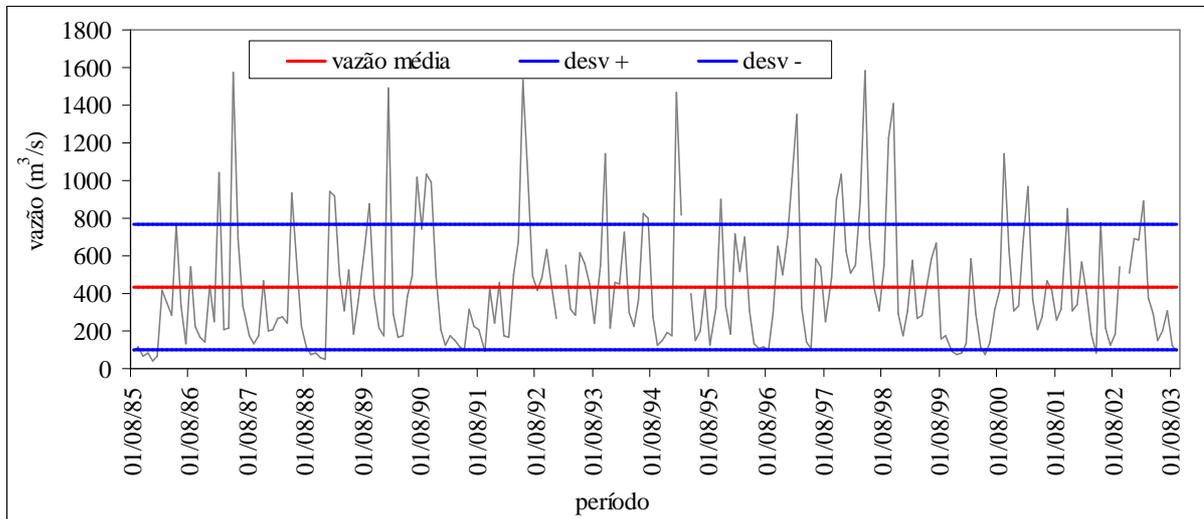


Gráfico 49 - Vazão média mensal – estação Vila Rica

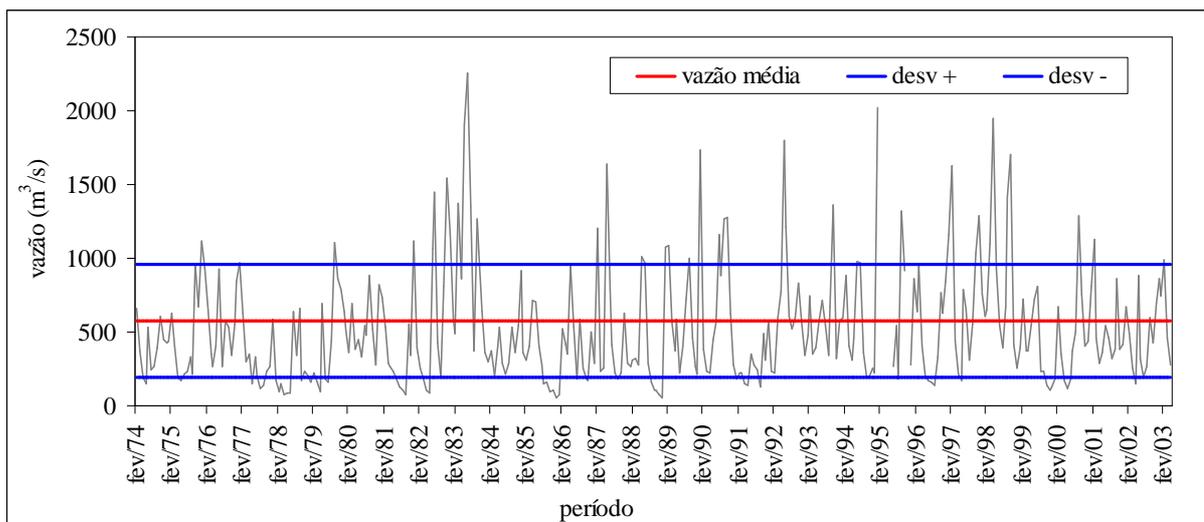


Gráfico 50 - Vazão média mensal – estação Porto Bananeira

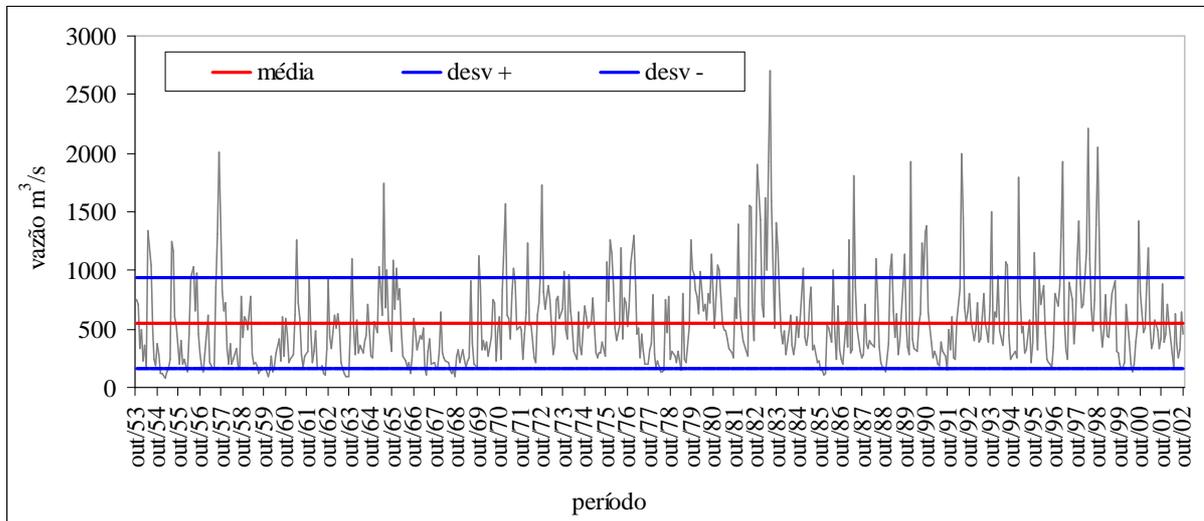


Gráfico 51 - Vazão média mensal do rio Ivaí – estação Porto Paraíso do Norte

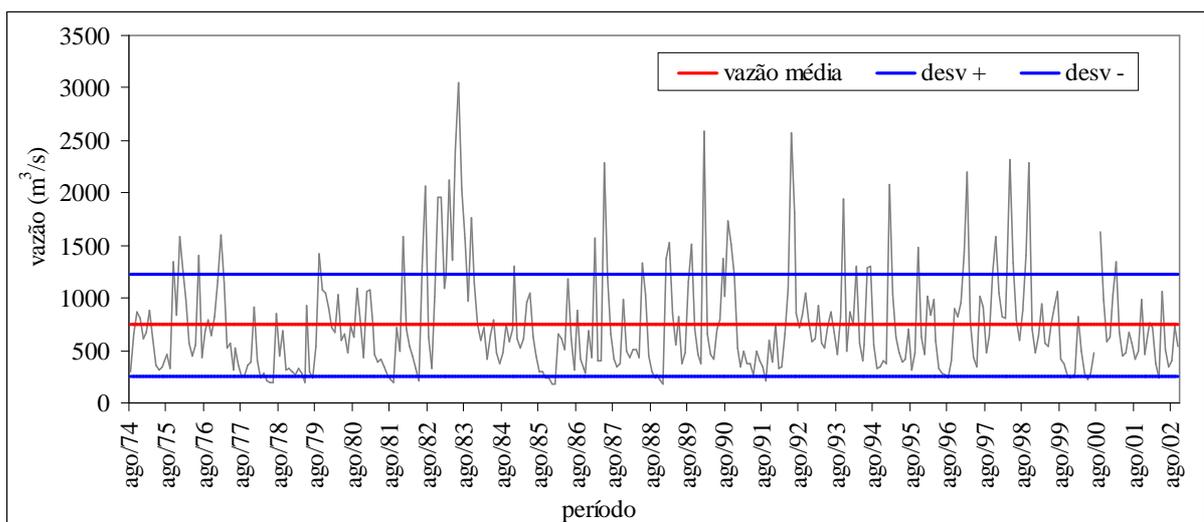


Gráfico 52 - Vazão média mensal do rio Ivaí – estação Novo Porto Taquara