

Regionalização de vazões do Rio Grande do Sul

1 - Desenvolvimento da regionalização

COMPANHIA ESTADUAL
DE ENERGIA ELÉTRICA - RS



INSTITUTO DE PESQUISAS
HIDRÁULICAS - UFRGS

REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES DO RIO GRANDE DO SUL

- * CEEE - Companhia Estadual de Energia Elétrica
Superintendência de Obras e Geração
Departamento de Estudos e Geração
Equipe: Eng. Claudio Moreira Krebs
Técnico em Hidrologia: Paulo Cesar Sena Souza**

- * IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS
Coordenador do Projeto: Dr. Carlos Eduardo Morelli Tucci, PhD
Eng. Joel Avruch Goldenfum
Eng. Juan Carlos Bertoni, MSc
Analista: Ricardo Lovatel
Técnicos: Alexandre P. Troviscal
Cesar Augusto Alves
Fernando Fróes
Estagiários: Fernando Genz
Gilberto de Oliveira
Gustavo Simionovschi**

CEEE- COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA - RS

REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES DO RIO GRANDE DO SUL

VOLUME I - DESENVOLVIMENTO DA REGIONALIZAÇÃO

IPH - INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS - UFRGS

PORTO ALEGRE, FEVEREIRO/1991

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO	
1.1 Justificativa	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Organização dos relatórios	3
2 - REGIONALIZAÇÃO DE VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS	
2.1 Introdução à regionalização	5
2.2 Variáveis e funções regionalizadas	7
2.3 Revisão de estudos anteriores	8
3 - RIO GRANDE DO SUL	
3.1 Características principais do clima e hidrologia regional	10
3.2 Análise dos dados pluviométricos	11
3.3 Seleção dos postos fluviométricos	13
3.4 Análise dos dados fluviométricos	21
3.4.1 Verificação da continuidade de vazões	21
3.4.2 Balanço anual	22
3.4.3 Vazão específica	23
3.4.4 Conclusão	26
3.5 Características físicas	26
3.6 Avaliação da rede hidrométrica e recomendações	28
3.6.1 Avaliação geral dos postos	28
3.6.2 Seleção e avaliação dos dados para regionalização	36
3.6.3 Recomendações para melhoria dos dados	36
4 - REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÉDIAS	
4.1 Vazões médias	39
4.2 Regionalização da vazão média	39
4.3 Curva de probabilidade de vazões médias	40
4.4 Regressão da vazão média de longo período	41
4.5 Resultados da regionalização	42
4.6 Estimativa da vazão média	48
4.7 Análise dos resultados	53

5 - REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÁXIMAS	
5.1 Vazões máximas	54
5.2 Regionalização da vazão máxima	55
5.3 Curva de probabilidade de vazões máximas	55
5.4 Regressão da vazão média de cheia	57
5.5 Resultados da regionalização	57
5.6 Estimativa da vazão máxima	63
5.7 Vazão máxima instantânea	67
5.8 Análise dos resultados	72
6 - REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÍNIMAS	
6.1 Vazões mínimas	74
6.2 Regionalização da vazão mínima	74
6.3 Curva de probabilidade de vazões mínimas	75
6.4 Regressão da vazão mínima média de duração t	75
6.5 Resultados da regionalização	76
6.6 Estimativa da vazão mínima	88
6.7 Estimativa do volume de regularização	90
6.8 Análise dos resultados	92
7 - REGIONALIZAÇÃO DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA	
7.1 Curva de permanência	94
7.2 Métodos de estimativa da curva de permanência	94
7.2.1 Metodologia empírica	94
7.2.2 Ajuste de uma distribuição de probabilidades	95
7.3 Regionalização	96
7.4 Resultados da regionalização	97
7.4.1 Comparação e escolha do método de ajuste da curva in- dividual	97
7.4.2 Regionalização de vazões Q50 e Q95	105
7.5 Análise dos resultados	116
8 - REGIONALIZAÇÃO DE CURVAS DE REGULARIZAÇÃO	
8.1 Regularização de vazões	117
8.2 Metodologia	118
8.2.1 Relação volume - demanda	118

8.2.2 Função regional	120
8.3 Dados disponíveis	121
8.3.1 Postos fluviométricos	121
8.3.2 Curvas de regularização individuais	121
8.3.3 Regionalização das curvas de regularização.....	125
8.3.4 Uso das curvas para estimativa do volume	142
8.4 Avaliação dos resultados.....	144
9 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	145
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149

ANEXOS:

ANEXO A - Dados disponíveis

ANEXO B - Vazões médias anuais

ANEXO B1 - Valores selecionados de vazões médias mensais

ANEXO B2 - Ajuste das curvas adimensionais aos pontos

ANEXO C - Vazões máximas anuais

ANEXO C1 - Valores selecionados de vazões máximas anuais

ANEXO C2 - Ajuste das curvas adimensionais aos pontos

ANEXO C3 - Resultados de extrapolação das curvas adimensionais

ANEXO D - Vazões mínimas anuais

ANEXO D1 - Valores selecionados de vazões mínimas anuais

ANEXO D2 - Ajuste das curvas adimensionais aos pontos

ANEXO D3 - Variáveis utilizadas na regionalização e vazões calculadas

ANEXO E - Curvas de permanência

ANEXO F - Curvas de regularização

ANEXO F1 - Vazões médias mensais e suas estatísticas

ANEXO F2 - Curvas adimensionais de regularização dos postos

ANEXO F3 - Curvas regionais de regularização

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1 - Localização dos postos pluviométricos
- Figura 3.2 - Mapa de isoietas
- Figura 3.3 - Localização dos postos fluviométricos
- Figura 3.4 - Sub-bacias segundo DNAEE
- Figura 3.5 - Vazão média em função da área
- Figura 3.6 - Vazão máxima em função da área
- Figura 3.7 - Vazão mínima de 7 dias em função da área
- Figura 4.1 - Regiões homogêneas para vazões médias e máximas
- Figura 4.2 - Curvas de probabilidade adimensional
Vazões médias - Regiões I, II e III
- Figura 4.3 - Curvas de probabilidade adimensional
Vazões médias - Regiões IV, V e VI
- Figura 5.1 - Curva de probabilidade adimensional da região I e pontos de extrapolação - Vazões máximas
- Figura 5.2 - Curvas de probabilidade adimensional
Vazões máximas - Regiões II e III
- Figura 5.3 - Curvas de probabilidade adimensional
Vazões máximas - Regiões IV, V e VI
- Figura 5.4 - Relação entre área da bacia e Q_{mx}/Q_{md}
- Figura 6.1 - Regiões homogêneas conforme as curvas de probabilidade adimensional para vazões mínimas
- Figura 6.2 - Regiões homogêneas conforme as regressões para vazões mínimas
- Figura 6.3 - Curvas de probabilidade adimensional
Vazões mínimas - Regiões A1, A2 e A3
- Figura 6.4 - Curvas de probabilidade adimensional
Vazões mínimas - Regiões A4, A5 e A6
- Figura 6.5 - Curvas de probabilidade adimensional
Vazões mínimas - Regiões A7, A7 e A9
- Figura 6.6 - Curvas de probabilidade adimensional
Vazões mínimas - Regiões A10, A11 e A12
- Figura 6.7 - Curvas de probabilidade adimensional
Vazões mínimas - Regiões A13, A14 e A15
- Figura 6.8 - Curvas de probabilidade adimensional

Vazões mínimas - Regiões A16, A17 e A18

- Figura 7.1a - Ajuste da distribuição log-normal
(abscissa em escala probabilística)
- Figura 7.1b - Ajuste da distribuição log-normal
(abscissa em escala aritmética)
- Figura 7.2a - Ajuste da distribuição log-normal
- Figura 7.2b - Ajuste da distribuição log-normal
- Figura 7.3 - Ajuste de uma função exponencial ao setor inferior da curva de permanência (entre Q_{50} e Q_{95})
- Figura 7.4 - Ajuste de uma função exponencial ao setor inferior da curva de permanência (entre Q_{50} e Q_{95})
- Figura 7.5 - Influência da década de 40 na definição das curvas de permanência empíricas num posto da região I
- Figura 7.6 - Influência da década de 40 na definição das curvas de permanência empíricas num posto da região I
- Figura 7.7 - Regiões homogêneas conforme as regressões para as curvas de permanência
- Figura 7.8 - Desempenho das equações de regressão
- Figura 7.9 - Desempenho das equações de regressão
- Figura 8.1 - Armazenamento função do tempo
- Figura 8.2 - Curva de regularização - Rio Canoas
- Figura 8.3 - Curva de regularização - Rios do Peixe e Chapecó
- Figura 8.4 - Curva de regularização - Rios Sta. Rosa, Buricá e Comandá
- Figura 8.5 - Curva de regularização - Rios Passo Fundo e Ligeiro
- Figura 8.6 - Curva de regularização - Rios Ijuí e Piratinim
- Figura 8.7 - Comparação de curvas de regularização
Série curta * Série longa
- Figura 8.8 - Curvas de regularização - Todos com série curta
- Figura 8.9 - Curva de regularização - Rio Ibicuí
- Figura 8.10 - Passo Fundo - Precipitação adimensional
- Figura 8.11 - Precipitação e vazão - P (Passo Fundo) - Q (Ligeiro)
- Figura 8.12 - Precipitação e vazão - P (Passo Fundo) - Q (Marombas)
- Figura 8.13 - Precipitação e vazão - P (Passo Fundo) - Q (Peixe)
- Figura 8.14 - Regiões para curvas de regularização
- Figura 8.15 - Curvas de regularização - Regiões I, II e III

Figura 8.16 - Curvas de regularização - Regiões IV, V e VI

Figura 8.17 - Curvas de regularização - Regiões VII, VIII e IX

Figura 8.18 - Curvas de regularização - Regiões X e XI

LISTA DE TABELAS

- Tabela 3.1 - Precipitação anual média dos postos pluviométricos selecionados
- Tabela 3.2 - Distribuição dos postos conforme sub-bacias DNAEE
- Tabela 3.3 - Características físicas das bacias dos postos fluviométricos selecionados
- Tabela 3.4 - Critérios para classificação dos postos fluviométricos com vistas à regionalização
- Tabela 3.5 - Estatística da avaliação dos postos
- Tabela 4.1 - Regressões de vazões médias para toda a região
- Tabela 4.2 - Regiões correspondentes às vazões médias
- Tabela 4.3 - Vazões médias - Variáveis utilizadas na regionalização e vazões calculadas
- Tabela 4.4 - Curvas de probabilidade adimensional - Vazões médias
- Tabela 4.5 - Vazão específica média no Rio Grande do Sul
- Tabela 5.1 - Vazões máximas - Variáveis utilizadas na regionalização e vazões calculadas
- Tabela 5.2 - Curvas de probabilidade adimensional - Vazões máximas
- Tabela 5.3 - Equações entre Q_{mx} e Q_{md} da literatura
- Tabela 5.4 - Coeficientes K dos postos com dados de linígrafo e régua
- Tabela 6.1 - Regiões conforme curvas de probabilidade adimensional
- Tabela 6.2 - Regiões para vazões mínimas conforme regressões
- Tabela 6.3 - Curvas de probabilidade adimensional - Vazões mínimas
- Tabela 7.1 - Comparação das estimativas de Q_{50} e Q_{95} obtidas a partir das curvas empíricas e da distribuição log-normal
- Tabela 7.2 - Influência da década de 40 nas vazões Q_{50} e Q_{95} em postos da região I
- Tabela 7.3 - Desempenho da equação de regressão regional
- Tabela 7.4 - Síntese das características dos registros disponíveis para alguns postos da região I
- Tabela 8.1 - Preenchimento de vazões médias mensais
- Tabela 8.2 - Parâmetros de ajuste das curvas individuais de regularização
- Tabela 8.3 - Estatísticas do ajuste das curvas de regularização

1 - INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

A Companhia Estadual de Energia e Elétrica- CEEE, contratou o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (contrato CEEE/SUG-008/89 de 14/11/89) através da FUNDATEC - Fundação Universidade - Empresa de Tecnologia e Ciência para o desenvolvimento da Regionalização de Vazões do Estado do Rio Grande do Sul.

O comportamento das bacias hidrográficas é identificado através da distribuição no tempo e no espaço de variáveis como a precipitação e a vazão. Em recursos hídricos existem várias relações utilizadas pelos profissionais para quantificar a disponibilidade hídrica, níveis para navegação, avaliar enchentes e a capacidade de diluição dos rios, entre outros usos da água.

Para obter as referidas relações que retratam as variáveis hidrológicas necessárias aos diferentes projetos, são necessários dados hidrológicos de níveis e medições de vazões nos locais de interesse. Como a rede de coleta não pode abranger todos locais, devido aos evidentes custos de implantação, operação e manutenção, em muitos pontos de interesse não existem vazões.

A transferência de informações de um local com dados para outro sem dados, nem sempre é realizada com base em todos os dados disponíveis, devido aos seguintes aspectos:

- projetos pequenos que não têm orçamento para estudos hidrológicos mais detalhados;
- pouco conhecimento das técnicas disponíveis de regionalização;
- o custo de manipulação dos dados hidrológicos para elaboração dos estudos é alto.

Como consequência, os estudos utilizam poucas informações e podem apresentar incertezas maiores no seu dimensionamento e/ou quantificação hídrica, provocando um custo maior no prejuízo de falha ou de superdimensionamento.

A regionalização hidrográfica é um conjunto de procedimentos metodológicos que procura explorar ao máximo os dados existentes numa região, visando a estimativa da variável desejada num local com dados escassos.

Os resultados da regionalização devem se tornar acessíveis a diferentes tipos de usuários, permitindo que projetos pequenos, médios e grandes tenham uma estimativa confiável de acordo com os dados básicos disponíveis.

1.2 Objetivos

Os objetivos deste estudo são o de regionalizar para o Estado do Rio Grande do Sul as seguintes funções hidrográficas de uso frequente em Recursos Hídricos:

- Curva de probabilidade de vazões máximas;
- Curva de probabilidade de vazões mínimas;
- Curva de probabilidade de vazões médias;
- Curva de permanência de vazões diárias;
- Curva de regularização de vazões mensais.

A curva de probabilidade de vazões máximas é utilizada em diferentes tipos de projetos para estimar vazões e/ou níveis de inundação e projetar obras hidráulicas de controle de enchentes como diques, vertedores e bueiros.

A curva de probabilidade de vazões mínimas é utilizada para estimar a vazão mínima de navegação, a capacidade de diluição e a capacidade de regularização de um rio (método simplificado).

A curva de probabilidade de vazões médias permite dar uma visão de conjunto da disponibilidade hídrica média de toda a região. A vazão média de longo período é a máxima vazão possível de ser regularizada num curso d'água.

A curva de permanência tem sido utilizada para dimensionamento de Pequenas Centrais Hidrelétricas, estimativa de níveis de navegação, estimativa preliminar de aproveitamentos hidrelétricos de maior porte e regularização de vazão.

A curva de regularização é uma função que relaciona volume e demanda para um determinado local, com base em vazões mensais. Esta é outra alternativa para estimativa do volume de regularização de um rio.

Além dos objetivos do desenvolvimento propriamente dito da regionalização é necessário torná-lo acessível aos diferentes usuários. Sendo assim, os objetivos adicionais são os de desenvolver o seguinte:

- manual do usuário;
- programa aplicativo para uso dos resultados.

O manual do usuário permite ao usuário que não disponha de um micro-computador usar as relações determinadas neste estudo, enquanto que o programa aplicativo permite ao usuário que possui um micro uma agilidade maior na estimativa das vazões desejadas.

1.3 Organização dos relatórios

O Estudo foi desenvolvido com dados disponíveis no Estado do Rio Grande do Sul e parte de Santa Catarina. Estes dados foram analisados e relacionados quanto à sua qualidade para a regionalização.

Os resultados foram descritos em dois volumes:

- Desenvolvimento da regionalização;
- Manual do usuário.

No volume denominado "Desenvolvimento da Regionalização" são apresentadas as metodologias utilizadas na regionalização, resultados obtidos e a sintetização das funções para os usuários.

No volume denominado "Manual do Usuário" são descritos os procedimentos que os usuários devem seguir para estimar as vazões desejadas. Este relatório visa atender o usuário dos resultados do estudo, e apresenta o programa aplicativo denominado "REHI - Regionalização Hidrológica", desenvolvido para automatizar o uso das funções regionais desenvolvidas.

Neste relatório, que corresponde ao Desenvolvimento da Regionalização, no capítulo 2 é apresentada uma breve revisão sobre a regionalização. No capítulo 3 é apresentada uma descrição resumida do clima, dados hidrológicos e avaliação dos dados do Estado do Rio Grande do Sul. Nos capítulos 4 a 8 são descritas as metodologias e os resultados da regionalização de cada função hidrológica mencionada nos objetivos. No capítulo 9 são apresentadas as principais Conclusões e Recomendações.

2 - REGIONALIZAÇÃO DE VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS

2.1 Introdução à regionalização

A dificuldade de obtenção de dados para os estudos em Hidrologia e em Recursos Hídricos levaram o hidrólogo a buscar formas de transferências de informações de um local para outro na bacia.

A escassez de dados tem dois parâmetros básicos: a disponibilidade temporal e espacial da informação. Muitos postos com poucos anos não retratam necessariamente uma amostra representativa de muitos anos (postos correlacionáveis).

Devido aos altos custos de implantação, operação e manutenção de uma rede hidrológica torna-se importante a otimização das informações disponíveis. A regionalização consiste num conjunto de ferramentas que exploram o máximo das informações existentes visando a estimativa das variáveis hidrológicas em locais com dados inadequados. Adicionalmente, a regionalização pode ser usada para: aumentar as amostras pontuais e, em consequência, melhorar as estimativas das variáveis; verificar a consistência das séries hidrológicas; identificar a falta de postos de observação e séries históricas.

A regionalização pode ser elaborada para:

- funções estatísticas de variáveis hidrológicas: curva de probabilidade de vazões máximas, médias ou mínimas; curva de probabilidade de precipitações máximas entre outros;
- funções específicas que relacionam variáveis: curva de regularização; curva de infiltração, curva de permanência, etc.;
- parâmetros de modelos hidrológicos: características do hidrograma unitário; N do modelo Soil Conservation Service, etc.;

Neste estudo a regionalização é realizada para algumas funções estatísticas e funções específicas. Entre os métodos do primeiro tipo, que corresponde à regionalização de funções estatísticas, podem existir três tipos básicos de procedimentos:

1- Métodos que regionalizam parâmetros de uma distribuição estatística: Neste caso é ajustada uma distribuição estatística aos dados das diferentes bacias. Os parâmetros obtidos são relacionados com as características físicas e meteorológicas das bacias;

2 - Métodos que regionalizam vazão com um determinado risco: Como no caso anterior, são ajustadas distribuições às vazões de diferentes tempos de retorno. A regressão é estabelecida entre as vazões e as características físicas das bacias;

3 - Métodos que regionalizam a média das vazões de cheia e uma curva adimensional de frequência: Este método utiliza uma curva regional adimensional onde a variável é Q_t/Q_m (Q_t é a vazão com um determinado risco e Q_m é a vazão média), e uma equação de regressão que relaciona a vazão média de cheia com as características físicas das bacias.

O terceiro procedimento tem sido mais utilizado por alguns autores (Darlymple, 1960 e NERC, 1975), porque permite separar dois componentes importantes: a vazão média e a curva adimensional de probabilidade. Desta forma, pode estimar cada uma das partes, de acordo com as informações disponíveis. Por exemplo, a vazão média pode ser estimada com séries curtas; neste caso, utilizam-se os dados do local para estimar a vazão média e a curva adimensional regional para as vazões de outros tempos de retorno.

Na regionalização de funções que relacionam as variáveis hidrológicas existem duas possibilidades:

1 - ajustar uma função matemática aos dados dos postos, individualmente, e regionalizar os parâmetros da função matemática;

2 - adimensionalizar a função e relacionar as curvas adimensionais dos diferentes postos, procurando uma curva média por sub-região.

O primeiro caso é útil quando a curva apresenta modificação de tendência de acordo com as características das bacia, ou seja, mesmo geograficamente próximas, dificilmente duas bacias distintas poderão apresentar uma curva adimensional única. Este é o exemplo da curva de permanência que, de acordo com o tamanho da bacia, pode apresentar inclinações variadas, mesmo tendo formação geológica e superficial semelhante. O segundo caso é útil quando a função pode apresentar tendências semelhantes, se agregadas por sub-regiões.

2.2 Variáveis e funções regionalizadas

As variáveis e funções regionalizadas neste estudo são descritas resumidamente a seguir e detalhadas em cada capítulo em que são descritos os procedimentos adotados.

Vazão máxima- A vazão máxima pode ser prevista a curto prazo e a longo prazo. A previsão a longo prazo é a previsão estatística da ocorrência deste valor extremo. A previsão estatística envolve a escolha de um risco de que, em um ano qualquer, esta vazão possa ser superada. A relação entre a vazão máxima e o referido risco é a curva de probabilidade de vazões máximas. O risco pode ser indicado por uma probabilidade p (p.exemplo 5% de risco), ou pelo Tempo de Retorno, definido pelo tempo médio em que uma cheia pode repetir sua ocorrência ($Tr = 100/p$, para p em percentagem).

Vazão mínima - A vazão mínima é caracterizada por dois fatores: a sua magnitude e sua duração, como, por exemplo, a vazão mínima de 7 dias de duração. A ocorrência de vazões mínimas de duração t , menores que um dado valor, num ano qualquer, tem um risco ou probabilidade. A curva de probabilidade de vazões mínimas relaciona vazão, duração e probabilidade para um determinado local.

Vazão média - A vazão média é definida pelo seu período de estimativa. A vazão média anual é a média das vazões de um ano e tem um risco de ser maior ou igual a um dado valor, num ano qualquer. A curva de probabilidade de vazões médias relaciona vazão e risco. Normalmente a variável mais utilizada é a vazão média de longo período, que é a média das médias anuais.

Curva de Permanência - A curva de permanência é construída com base em vazões ou níveis e depende do intervalo de tempo desta variável. Por exemplo, existem curvas de permanência de vazões médias diárias, mensais, etc. Normalmente a curva de permanência de vazões médias diárias é a mais utilizada. Esta curva é construída relacionando a vazão e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais à vazão escolhida, durante o ano. Esta curva é construída com todos os valores do ano.

Curva de Regularização - Relaciona a demanda e o volume necessário para regularizá-la para um determinado risco de atendimento. Esta curva normalmente é construída com base em vazões mensais. O risco de atendimento pode ser estabelecido com base na série histórica ou através de geração de séries sintéticas, através de várias amostras de séries de vazões. Neste estudo utilizou-se a série histórica e 100% de garantia da amostra disponível.

2.3 Revisão de estudos anteriores

No Rio Grande do Sul são poucos os estudos de Regionalização de vazões realizados. Farquharson (1981) elaborou o primeiro estudo sobre Regionalização de vazões máximas. O estudo teve como base a regressão da vazão média de enchente com características físicas como área e declividade e precipitação, além da curva adimensional de probabilidades. Jarrin Crespo (1982) ampliou o estudo anterior incluindo os dados da margem direita do Rio Uruguai e detalhando a região total em sub-regiões homogêneas. Neste estudo foram utilizados dados de 68 postos fluviométricos com séries hidrológicas até 1975.

Lanna et al (1983) elaboraram o primeiro estudo de regionalização de vazões mínimas da bacia do rio Jacuí. Neste estudo foram utilizadas as durações de 1, 3 e 7 dias e a bacia foi sub-dividida em três regiões.

Lanna et al (1989) elaboraram um estudo de regionalização de vazões mínimas de duração de 1 e 7 dias para a Região Sul do Brasil, englobando o Estado do Rio Grande do Sul.

Em todos estes estudos foram utilizados os dados hidrológicos disponíveis na época, que cronologicamente têm sido atualizados e aprimorados. No estudo atual, foram examinados os estudos anteriores e aprimorados os resultados através de séries mais longas, análise dos dados básicos e inclusão de novos postos.

3 - RIO GRANDE DO SUL

3.1 Características principais do clima e hidrologia regional

O Estado do Rio Grande do Sul tem seu clima caracterizado pelo movimento das massas polares provenientes do Sul no inverno provocando precipitações frontais. No verão as massas polares enfraquecem ao interagir com os movimentos provenientes do Atlântico, caracterizando-se por precipitações convectivas.

A tendência é que ocorram precipitações de longa duração e baixa intensidade durante o inverno e maior intensidade e pequena duração durante o verão. Apesar de não ocorrer na região um marcante período seco, como em outras partes do país, o período chuvoso ocorre entre os meses de maio a setembro e o período seco de outubro a abril. Costuma-se utilizar o ano hidrológico entre maio e abril.

Moreno (1961) analisou o clima do Rio Grande do Sul e menciona que existe grande divergência na sua classificação. Ele identifica que, segundo a classificação de Koeppen, o Rio Grande do Sul se enquadra na "zona fundamental temperada" ou "C" e no tipo fundamental "Cf" ou "temperado úmido", com partes do Estado classificadas como "subtropical" "Cfa" e regiões "temperado", "Cfb", caracterizados por: *subtropical Cfa* - Chuvas durante todos os meses e temperatura do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio superior a 3°C; *Temperado Cfb* - chuvas durante todos os meses e temperatura do mês mais quente inferior a 22°C e a do mês mais frio superior a 3°C.

Segundo DEA (1969), parte da bacia do rio Uruguai é classificada como Zona tropical de clima pluvial sem nenhuma ou curta interrupção de estação chuvosa e o restante do Estado encontra-se classificado como Zona Subtropical temperada.

Do ponto de vista hidrológico, alguns aspectos são importantes:
- O período chuvoso no Rio Grande do Sul ocorre quando em parte

da região Sul e Sudeste ocorre o período seco. Portanto os sistemas hídricos são complementares do ponto de vista de aproveitamentos;

- O período seco é concomitante com maiores temperaturas, o que aumenta a perda por evaporação dos reservatórios no Estado, ao contrário da região Sudeste, onde praticamente se despreza este efeito.

- As chuvas frontais que atuam no período chuvoso são as que apresentam os riscos maiores de ocorrência de cheia em bacias de grande porte.

3.2 Análise dos dados pluviométricos

Na região em estudo foram selecionados 216 postos com pelo menos 20 anos de dados. A relação dos postos, sua localização e série disponível são apresentados no Anexo A, tabela A1. Na tabela A2 pode-se observar a disponibilidade temporal dos dados. Na figura 3.1 é apresentada a distribuição dos postos na região em estudo. Pode-se observar que parte do Estado do Rio Grande do Sul apresenta uma rede deficiente, da mesma forma que para os postos pluviométricos.

Para a determinação das isoietas de precipitação média anual, que servirão de apoio à regionalização de vazões, utilizou-se de um período homogêneo de 1945 a 1984 (40 anos).

O preenchimento de falhas de alguns postos foi realizado com base na regressão simples com postos vizinhos. O preenchimento foi realizado com base no posto que apresentasse melhor correlação. Quando o posto em questão apresentava falhas de observação em alguns dos anos a preencher, automaticamente era selecionado o posto com melhor correlação entre os demais restantes. Observa-se que não houve grandes anomalias nem nas médias nem nos desvios padrões. Deve-se considerar que, para os objetivos desejados de traçado de isoietas médias para regionalização de vazões, este procedimento é aceitável.

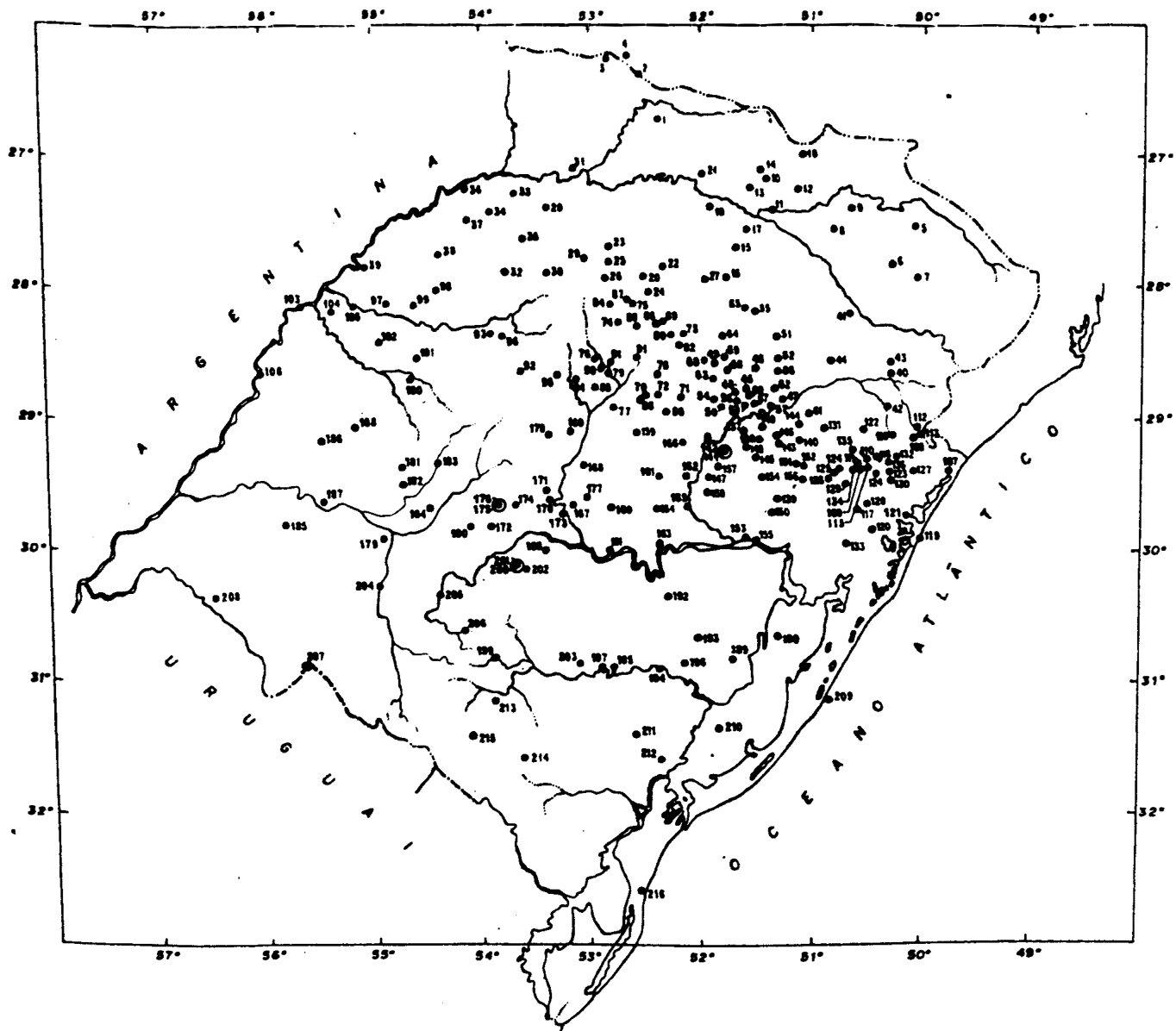


Figura 3.1 - Localização dos Postos Pluviométricos

Na tabela 3.1 são apresentadas as precipitações , médias de todos os postos utilizados. As isoietas foram traçadas com base nos valores médios de precipitação anual e mapa de relevo qualitativo. Na figura 3.2 são apresentadas as isoietas médias de toda a região. Alguns postos foram descartados por apresentarem anomalias espaciais.

Como se observa, os gradientes de precipitação encontram-se na região serrana (1400 mm - 1900 mm). A bacia do rio Uruguai recebe Precipitação média superior. Devido à pequena variação de relevo não se observa grande variação espacial de precipitação no sul do Estado do Rio Grande do Sul e na parte inferior do rio Uruguai.

3.3 Seleção dos postos fluviométricos

A região em estudo abrange o Estado do Rio Grande do Sul e a Parte do Estado de Santa Catarina correspondente à bacia do rio Uruguai.

Os postos selecionados com base na curva-chave são apresentados no Anexo A tabela A3 e localizados na figura 3.3. Na referida tabela são apresentados a localização, área da bacia e o Período de dados de acordo com o inventário do DNAEE, além das notas atribuídas a cada posto (item 3.6.1). Os períodos de dados realmente disponíveis para uso no projeto são apresentados na tabela A4. A diferença entre os períodos das duas tabelas decorre da falha de informações dentro dos anos. A numeração adotada, além do próprio código do DNAEE, é sequencial e indicada nas referidas tabelas e figura. O número total de anos completos de dados fluviométricos é de 2684 em 126 postos, portanto com série média de 21,30 anos. Na tabela 3.2 é apresentado um resumo da distribuição de postos por sub-bacias e o número de anos de dados. A sub-divisão utilizada é a mesma adotada pelo DNAEE, como pode ser observado na figura 3.4

No Anexo A, figuras A1 a A11, é apresentada a localização de cada posto, de forma esquemática, conforme as sub-bacias do DNAEE.



TABELA 3.1 - PRECIPITAÇÃO ANUAL MÉDIA DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS SELECIONADOS

No	CODIGO DA ESTACAO	NOME DA ESTACAO E MUNICIPIO	PRECIPITACAO ANUAL MEDIA	No	CODIGO DA ESTACAO	NOME DA ESTACAO E MUNICIPIO	PRECIPITACAO ANUAL MEDIA
1	02652006	XANIERE (RUI BARBOSA) - XANIERE	2215.82	51	02851007	ENCRUZILHADA	1586.30
2	02652011	MARIAPOLIS	1955.93	52	02851008	ITUIM(ENTRE RIOS) - VACARIA	1570.30
3	02652012	MOINHO CAÇADOR	1977.93	53	02851009	FAGUNDES VARELA	1514.10
4	02652013	PATO BRANCO	2013.45	54	02851011	GUAPORE - GUAPORE	1811.50
5	02750003	ENCRUZILHADA I - LAJES	1515.84	55	02851014	LAGOA VERMELHA - LAGOA VERMELHA	1733.00
6	02750005	LAJES - LAJES	1491.46	56	02851017	NOVA PRATA	1443.20
7	02750007	PAINEL - LAJES	1461.74	57	02851018	NOVA ROMA	1505.70
8	02750008	PASSO CARU	1455.81	58	02851019	PARAI	1627.70
9	02750009	PASSO MAROMBAS - CURITIBANOS	1466.29	59	02851022	PASSO MIGLIAVACA	1546.80
10	02750010	PONTE ALTA DO NORTE	1473.78	60	02851024	PRATA - NOVA PRATA	1444.80
11	02750011	PONTE ALTA DO SUL-PONTE ALTA	1447.88	61	02851025	SAO MARCOS	1538.00
12	02751002	CAMPOS NOVOS - CAMPOS NOVOS	1740.70	62	02851026	SEGREDO - VACARIA	1507.40
13	02751003	CAPINZAL(RIO CAPINZAL) - CAPINZAL	1406.30	63	02851027	SERAFINA CORREA	1660.50
14	02751004	JOAÇABA - JOAÇABA	1641.00	64	02851028	TRINTA E CINCO	1438.50
15	02751006	PAIM FILHO	1821.40	65	02851029	TURVO	1485.80
16	02751007	SANANDUVA	1875.60	66	02851032	USINA SALTINHO	1407.90
17	02751008	USI FORQUILHA-MAXIMILIANO DE ALMEIDA	1786.10	67	02851033	VERANOPOLIS	1579.10
18	02751009	VIDEIRA (PERDIZES) - VIDEIRA	1347.20	68	02851035	CASCA	1558.00
19	02751010	URUGUAI (RIO URUGUAI) - PIRATUBA	1458.70	69	02852001	CAMPO DO MEIO - PASSO FUNDO	1596.30
20	02752001	RIO INHUPACA	1631.20	70	02852002	ARMAZEN - SOLEDADE	1606.60
21	02752005	CONCORDIA - CONCORDIA	1779.10	71	02852003	ARVOREZINHA - ARVOREZINHA	1672.10
22	02752006	EREBANGO	1832.10	72	02852004	AULER	1650.30
23	02752008	JOSE BONIFACIO	1686.10	73	02852005	BARRAGEM CAPIGUI	1598.10
24	02752011	QUATRO IRMAOS	1755.10	74	02852006	CARAZINHO - CARAZINHO	1787.60
25	02752012	RONDA ALTA	1671.60	75	02852007	COLONIA XADREZ - CARAZINHO	1743.80
26	02752013	SARANDI	1722.50	76	02852008	COLORADO - COLORADO	2017.50
27	02752014	CHARRUA	1671.60	77	02852009	DEPOSITO	1584.80
28	02753002	FREDERICO WESTPHALEN	1672.00	78	02852011	ERNESTINA - PASSO FUNDO	1673.50
29	02753004	LINHA CESCON	1683.80	79	02852012	ESPUNOSO	1618.70
30	02753005	PALMEIRA DAS MISSOES	1831.60	80	02852013	FONTANA XAVIER	1668.40
31	02753006	PALMITOS	1829.70	81	02852015	LAGOA TRES CANTOS	1772.70
32	02753007	SANTO AUGUSTO	1696.10	82	02852016	MARAU	1630.30
33	02753008	TENENTE PORTELA	1716.90	83	02852017	MAURICIO CARDOSO	1678.80
34	02753009	TRES PASSOS	1753.60	84	02852018	MAO ME TOQUE	1686.20
35	02753010	USINA GUARITA	1690.80	85	02852019	PASSO BELA VISTA	1482.10
36	02754001	ALTO URUGUAI	1252.05	86	02852020	PASSO FUNDO - PASSO FUNDO	1723.10
37	02754002	CRICIUMAL	1754.61	87	02852022	PONTAO	1676.30
38	02754004	USINA SANTA ROSA	1674.63	88	02852024	PULADOR	1542.30
39	02755001	PORTO LUCENA	1503.93	89	02852028	USINA CAPIGUI - MARAU	1571.00
40	02850001	BOM JESUS	1733.56	90	02852029	USINA COLORADO	1661.70
41	02850008	PASSO SOCORRO(RIO PELOTAS)-VACARIA	1921.78	91	02852030	USINA ERNESTINA - PASSO FUNDO	1681.90
42	02850009	PASSO TAINHAS-SAO FRANCISCO DE PAULA	1499.11	92	02853005	CRUZ ALTA - CRUZ ALTA	1728.90
43	02850010	USI TOURS - BOM JESUS	1467.10	93	02853006	IJUI - IJUI	1643.10
44	02850011	VACARIA - VACARIA	1439.02	94	02853008	PASSO DO LAGOA - IBIRUBA	1621.50
45	02851001	VISTA ALEGRE - NOVA PRATA	1607.90	95	02853014	STA CLARA DO INGAI - CRUZ ALTA	1632.30
46	02851002	ANDRE DA ROCHA - LAGOA VERMELHA	1598.70	96	02853017	USINA ANDORINHAS - IJUI	1698.20
47	02851003	ANTONIO PRADO - ANTONIO PRADO	1651.00	97	02854002	CERRO LARGO	1705.40
48	02851004	ARAÇA	1417.70	98	02854003	GIRUA - GIRUA	1114.60
49	02851005	CASCA I - CASCA	1658.10	99	02854004	GUARANI DAS MISSOES	1674.30
50	02851006	DOIS LAJEADOS	1574.50	100	02854005	PASSO MAJOR ZEFERINO	1720.80



TABELA 3.1 - PRECIPITAÇÃO ANUAL MÉDIA DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS SELECIONADOS

No	CODIGO DA ESTACAO	NOME DA ESTACAO E MUNICIPIO	PRECIPITACAO ANUAL MEDIA mm	No	CODIGO DA ESTACAO	NOME DA ESTACAO E MUNICIPIO	PRECIPITACAO ANUAL MEDIA mm
101	02854009	SAD MIGUEL DAS MISSOES	1487.78	151	02951022	NOVA PALMIRA - CAXIAS DO SUL	1483.60
102	02854011	SAD LUIS GONZAGA - SAD LUIS GONZAGA	1736.53	152	02951023	NOVA PETROPOLIS	1734.70
103	02855001	GARRUCHOS - SAD BORJA	1624.84	153	02951025	SAD JERONIMO - SAD JERONIMO	1047.09
104	02855002	PASSO DO SARMENTO - SAD BORJA	1679.26	154	02951026	SAD SALVADOR	1845.52
105	02855003	USINA PIRAPO	1595.20	155	02951032	TRIUNFO	1271.74
106	02856003	SAD BORJA - SAD BORJA	1396.91	156	02951033	USINA ERVAL	1615.71
107	02949011	PORTO GUERREIRO	1438.60	157	02951042	RELVADO - ENCANTADO	1717.47
108	02950003	AZULEGA - CAMBARA DO SUL	1524.80	158	02951043	VILA PROGRESSO - LAJEADO	1770.41
109	02950004	BARRAGEM BLANG	1363.60	159	02952002	BARROS CASSAL - BARROS CASSAL	1684.90
110	02950005	BARRAGEM DA DIVISA	1498.00	160	02952004	CANDELARIA	1652.70
111	02950006	BARRAGEM DO SALTO	1619.40	161	02952005	ERVEIRAS	1744.00
112	02950007	CAMBARA DO SUL (CAMBARA)	1459.20	162	02952006	MARQUES DE SOUZA -ARROIO DO MEIO	1517.90
113	02950008	CAMISAS - CAMBARA DO SUL	1442.20	163	02952010	RIO PARDO(RIO JACUI) - RIO PARDO	1693.80
114	02950009	CANELA - CANELA	1928.10	164	02952013	SINIMBU	1676.40
115	02950010	CAPAO DOS COXOS - SAD Fco DE PAULA	1636.00	165	02952014	VENANCIO AIRES	1490.90
116	02950011	CERRITO - SAD FRANCISCO DE PAULA	1501.00	166	02952029	POUSO NOVO	1723.60
117	02950013	ENTREPELADO	1329.30	167	02953002	AGUDO	1455.02
118	02950014	FAZ. PASSO RASO - SAD FCO DE PAULA	1534.00	168	02953003	ARROIO DO TIGRE	1587.15
119	02950015	IMBE	1302.00	169	02953006	BARRAGEM SALTO GRANDE - ESPUMOSO	1584.01
120	02950017	LAGOA DOS BARROS - STO ANTONIO	1349.00	170	02953008	DONA FRANCISCA - DONA FRANCISCA	1455.60
121	02950018	LAGOA DOS QUADROS - OSORIO	1626.70	171	02953009	FAXINAL DO SOTURNO	1392.11
122	02950019	LAJEADO GRANDE - SAD FCO DE PAULA	1451.20	172	02953015	RESTINGA SECA	1554.24
123	02950020	MORRINHOS - SAD FCO DE PAULA	1484.40	173	02953016	RINCAO DA PORTA	1523.65
124	02950023	PONTE SANTA CRUZ	1642.70	174	02953017	SANTA MARIA - SANTA MARIA	1622.71
125	02950025	POVOADO AVENIDA	1899.80	175	02953018	SAD MARCOS II	1512.37
126	02950026	RENANIA - GRAMADO	1859.50	176	02953019	SILVEIRA MARTINS	1543.14
127	02950027	RIO DOS CARVALHOS	1426.20	177	02953020	SOBRADINHO	1621.74
128	02950028	ROLANTE	1576.60	178	02953022	USINA IVAI	1478.71
129	02950029	SANDER - TRES CORDAS	1589.70	179	02954001	CACEQUI - CACEQUI	1476.64
130	02950030	SANTA TEREZA	1738.50	180	02954002	CARANGUEJO	1402.14
131	02950033	SECA - CAXIAS DO SUL	1558.99	181	02954004	ERNESTO ALVES	1693.41
132	02950035	TAINHAS - SAD FCO DE PAULA	1454.86	182	02954007	JAGUARI - JAGUARI	1600.71
133	02950037	TADUARA	1482.34	183	02954009	PAU FINCADO	1438.61
134	02950039	USINA CANASTRA	1704.83	184	02954010	PONTE TOROPI	1380.8
135	02950040	USINA TOCA	1615.17	185	02955001	ALEGRETE - ALEGRETE	1461.11
136	02950041	VARZEA SAD JOAO - SAD FCO DE PAULA	1446.12	186	02955002	CACHOEIRA STA CECILIA - ITAQUI	1455.8
137	02951001	SANTA TEREZA	1468.80	187	02956003	FAZ. TRES CAPOES - ALEGRETE	1809.1
138	02951003	BENTO GONÇALVES - BENTO GONÇALVES	1613.60	188	02956007	PLANO ALTO - URUGUAIANA	1809.3
139	02951005	CAI	1486.30	189	03051003	CAMAQUA - CAMAQUA	1361.1
140	02951008	CAXIAS DO SUL(CAXIAS)-CAXIAS DO SUL	1706.20	190	03051013	TAPES - TAPES	1210.5
141	02951010	ENCANTADO - ENCANTADO	1310.10	191	03052002	CACHOEIRA DO SUL - CACHOEIRA DO SUL	1373.2
142	02951011	ENCANTADO II	1495.60	192	03052003	CAPIVARITA	1362.4
143	02951013	FARROUPILHA	1663.70	193	03052004	DOM FELICIANO	1402.7
144	02951015	FLORES DA CUNHA	1590.50	194	03052007	PASSO DA GUARDA-ENCRUZILHADA DO SUL	1267.3
145	02951016	GARIBALDI	1475.10	195	03052008	PASSO MARINHEIRO(R.CAMAQUA)-ENCRUZ.	1318.4
146	02951017	JASEN	1475.00	196	03052009	PASSO SAD JOSE - CANGUÇU	1183.2
147	02951018	LAJEADO - LAJEADO	1472.30	197	03052010	PORTO TARUMA	1455.2
148	02951019	MONTE BELO	1625.40	198	03053005	FORMIGUEIRO	1343.2
149	02951020	MONTE CLARO	1524.60	199	03053007	LAVRAS DO SUL(LAVRAS)-LAVRAS DO SUL	1404.5
150	02951021	MONTENEGRO - MONTENEGRO	1066.10	200	03053008	MARCO DA RAMADA	1370.4



TABELA 3.1 - PRECIPITAÇÃO ANUAL MÉDIA DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS SELECIONADOS

NO	CODIGO DA ESTACAO	NOME DA ESTACAO E MUNICIPIO	PRECIPITACAO ANUAL MEDIA	NO	CODIGO DA ESTACAO	NOME DA ESTACAO E MUNICIPIO	PRECIPITACAO ANUAL MEDIA
201	:03053009:	MATA GRANDE	1402.19	:209	:03150001:	MOSTARDAS - MOSTARDAS	1068.10
202	:03053012:	SAO SEPE - SAO SEPE	1375.43	:210	:03151003:	SAO LOURENÇO DO SUL - SAO LOURENÇO	1315.90
203	:03053015:	SANTANA DA BOA VISTA-S. DA BOA VISTA	1538.68	:211	:03152003:	CANGUÇU - CANGUÇU	1455.50
204	:03054007:	ROSARIO DO SUL - ROSARIO DO SUL	1445.83	:212	:03152016:	PTE CORDEIRO DE FARIAS - PELOTAS	1329.10
205	:03054010:	SAO GABRIEL	1275.24	:213	:03153003:	PARAISO - BAGE	1248.90
206	:03054015:	CERRO DO OURO	1283.26	:214	:03153014:	USINA CANDIOTA - BAGE	1240.70
207	:03055001:	SANTANA DO LIVRAMENTO - LIVRAMENTO	1379.01	:215	:03154001:	BAGE - BAGE	1378.10
208	:03056003:	QUARAÍ - QUARAÍ	1434.47	:216	:03252008:	GRANJA STA MARIA - RIO GRANDE	1198.70

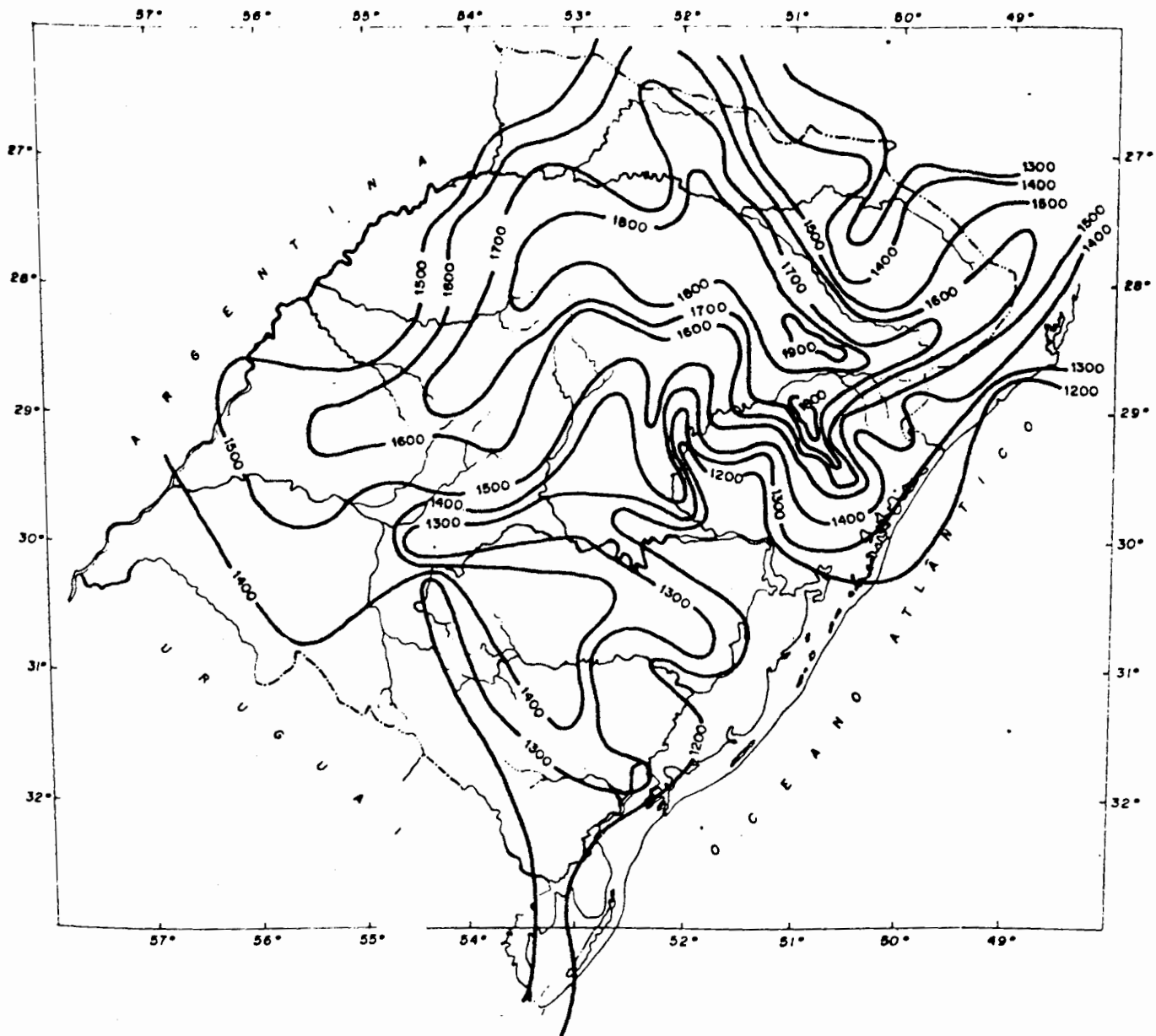


Figura 3.2 - Mapa de Isoietas

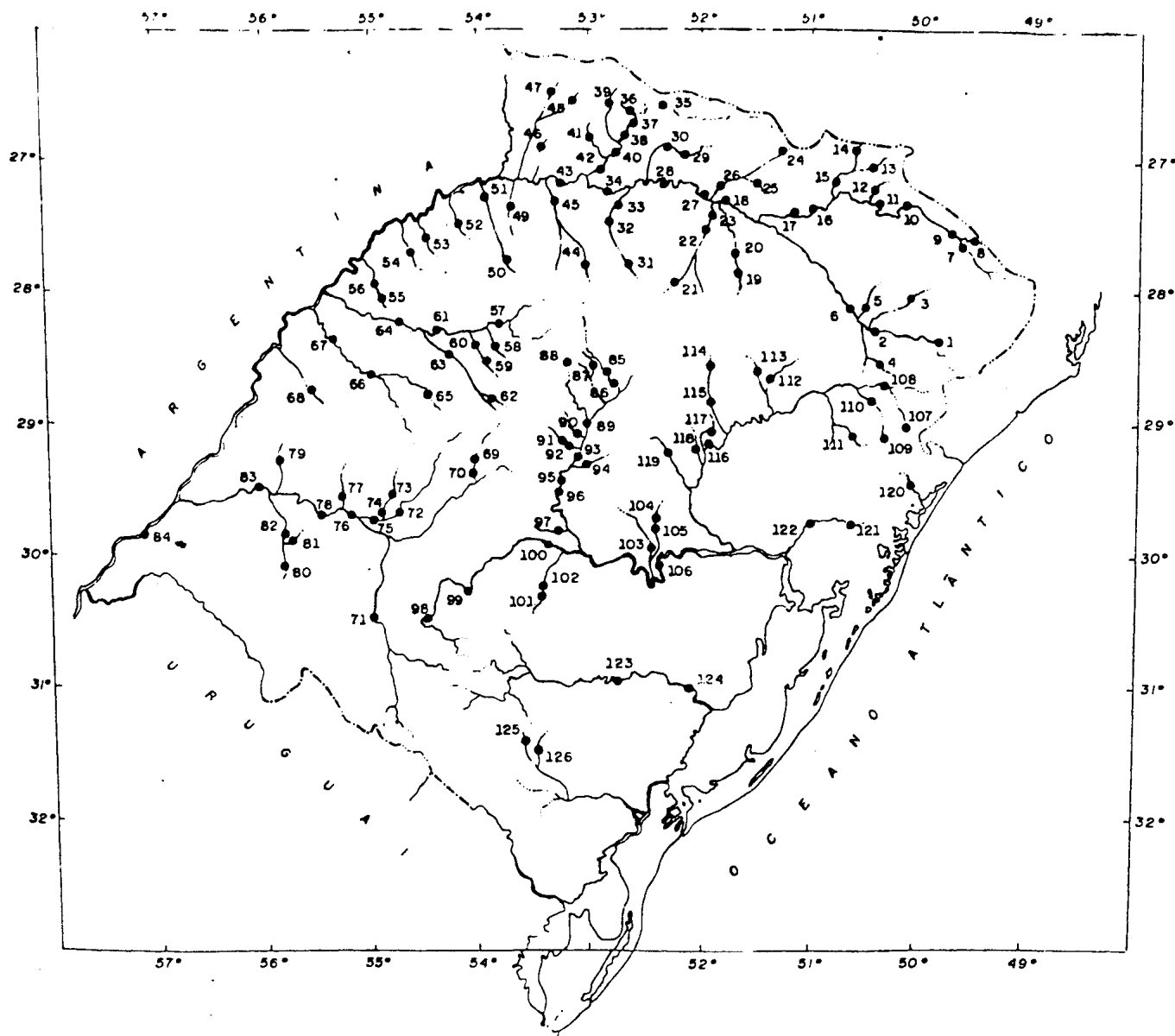


Figura 3.3 - Localização dos Postos Fluviométricos

Tabela 3.2 - Distribuição dos postos conforme sub-bacias DNAEE

Código	rios principais da região	anos completos	postos	período médio
70	Rio Pelotas	130	6	21,67
71	Rio Canoas	287	11	26,09
72	Rio do Peixe	214	9	23,78
73	Rio Passo Fundo e Chapecó	340	16	21,25
74	Rio da Várzea e Santa Rosa	324	14	23,14
75	Rio Ijuí e Piratinin	285	12	23,75
76	Rio Ibicuí	250	15	16,67
77	Rio Uruguai	16	1	16,00
sub-total	bacia rio Uruguai	1846	84	21,98
85	Rio Jacui	368	22	16,73
86	Rio Taquari	391	13	30,08
87	Lagoa dos Patos e Litoral Norte	73	5	14,60
88	Lagoa Mirim	6	2	3,00
sub-total	bacia Litoral Sudeste	838	42	19,25
total		2684	126	21,30

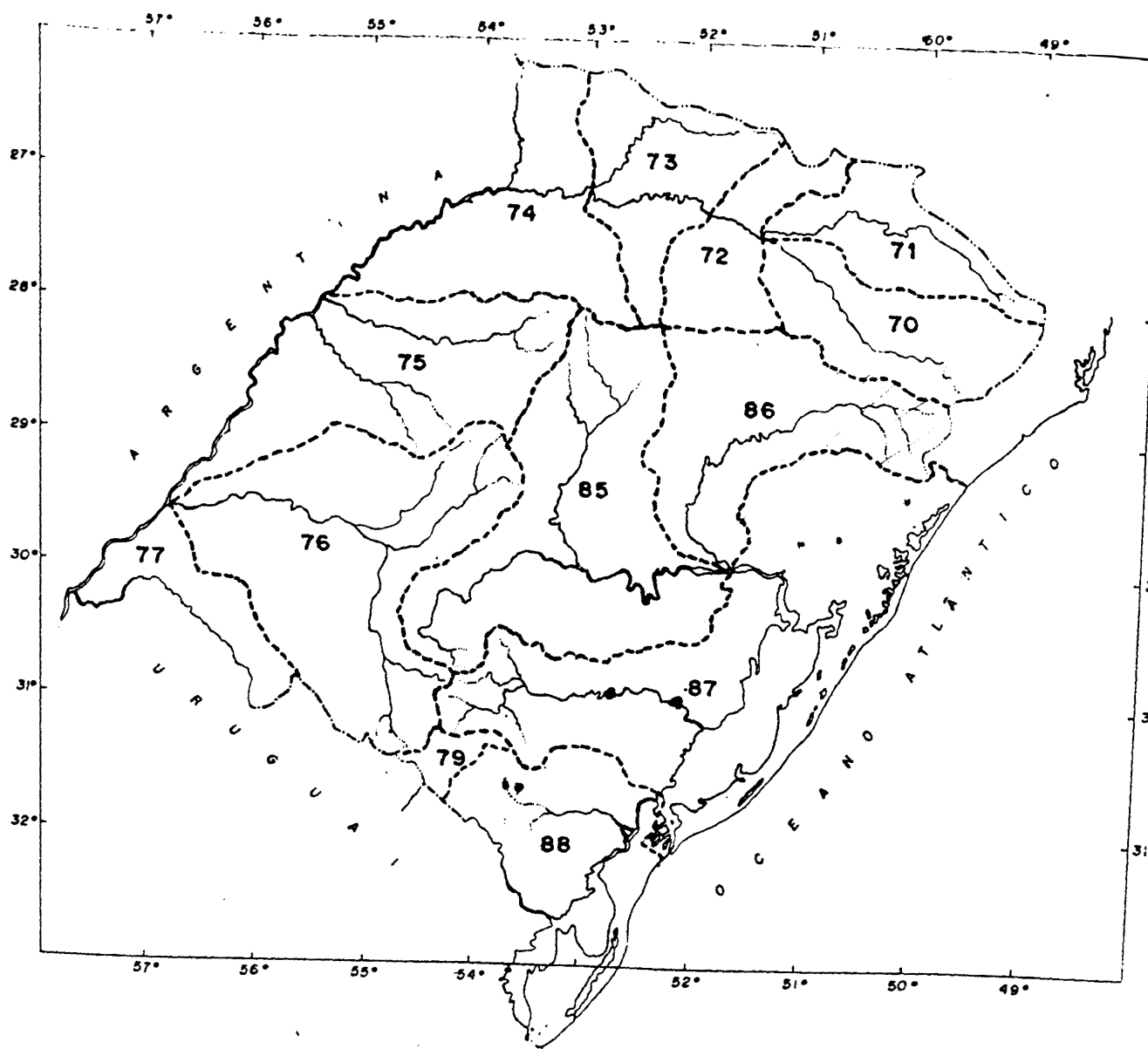


Figura 3.4 - Sub-bacias segundo DNAEE

Os postos foram selecionados com base no tamanho da série histórica. O critério adotado foi de pelo menos 5 anos de dados. Com a obtenção das séries, verificou-se que três postos não possuíam pelo menos cinco anos de série completa (tabela A4). Estes postos não foram totalmente descartados porque poderiam ser aproveitados para estudos de mínimos ou máximos, de acordo com o período em que ocorreram as falhas.

As vazões diárias destes postos estão num arquivo em micro-computador, denominado VAZÕES, que permite o acesso para os estudos de regionalização. O arquivo engloba um número maior de anos que o mencionado acima, pois incorpora também os anos com falhas de dados.

3.4 -Análise dos dados fluviométricos

Algumas análises globais sobre as principais estatísticas das séries hidrológicas foram realizadas para a identificação de erros grosseiros. Estas análises são as seguintes:

- Verificação da continuidade de vazão;
- Balanço anual;
- Vazão específica

3.4.1 Verificação da continuidade de vazões

Toda a área em estudo foi sub-dividida em regiões para efeito de análise. Para cada grupo foi examinada a tendência geral de continuidade através da vazão média anual. Portanto, anualmente a soma de vazões dos postos de montante deve ser sempre inferior à vazão do posto de jusante em cada confluência onde exista posto.

As conclusões principais desta análise são as seguintes:

- Não foi possível verificar esta continuidade para algumas

bacias porque não existiam postos suficientes para a análise de continuidade;

- para alguns trechos a análise de continuidade não permitiu encontrar erros, mesmo grosseiros, porque a diferença de área das bacias mascara os resultados;

- Como resultado verificou-se que um posto não apresentava consistência no ano de 1984. Este ano foi abandonado para efeito de regionalização. Quanto aos demais postos não foram observadas anomalias grosseiras.

3.4.2 Balanço anual

- Para cada bacia foram selecionados os postos que permitem o cálculo da precipitação média da bacia;

- A influência de cada posto foi calculada pelo método de Thiessen;

- A precipitação média anual foi calculada com base nos valores de totais anuais;

- As vazões foram transformadas em mm e calculado o coeficiente de escoamento para cada ano (anexo A tabela A5).

Com base nestes resultados foi possível examinar se existiam anomalias, já que o coeficiente de escoamento de uma bacia em geral se encontra, para uma região como o Rio Grande do Sul, entre 0,30 e 0,60. Além disso, foi possível comparar resultados entre postos vizinhos.

Inicialmente foram encontradas algumas anomalias relacionadas com a precipitação média das bacias de cabeceira, onde não existia uma boa cobertura de postos. Esses valores foram corrigidos. Esta análise foi também útil para identificar erros de processamento de dados.

3.4.3 Vazão específica

Na análise da vazão específica foram reunidos os postos por sub-regiões e verificou-se a tendência na relação entre vazão e área da bacia num gráfico log-log, ou seja, admite-se uma relação do tipo

$$Q = aA^b \quad (3.1)$$

onde A = área da bacia; Q = vazão média; a e b = são parâmetros.

Neste gráfico a tendência é que os postos se agrupem numa reta, desde que a variação de precipitação e outros fatores não alterem significativamente a função. Em regiões como o Rio Grande do Sul a área tende a explicar grande parte das variações médias.

Na figura 3.5 são apresentados os resultados de vazões médias que foram agrupados segundo as regiões definidas pelo DNAEE. Foram identificados alguns erros de processamento de dados, que, corrigidos, resultaram em figuras semelhantes às citadas. Destes resultados pode-se observar que a área é a variável que mais explica a variação da vazão, pois, praticamente em todas as sub-regiões, se observa tendência retilínea. Portanto, do ponto de vista médio, se observa uma consistência geral. No anexo A, figuras A12 a A20, são apresentadas as figuras relativas a cada uma das sub-bacias.

Na figura 3.6 é apresentada a relação entre a vazão média de enchente e a área da bacia numa escala logarítmica. Na região 72 observa-se que dois postos encontram-se não-alinhados com os demais. Estes postos (72400000 e 72430000) receberam nota E na análise de dados básicos, pela grande extrapolação da curva de descarga. Neste caso, os valores estão aparentemente subestimando as enchentes. Na região 73 ocorreu a mesma situação. Os dois postos que aparecem à esquerda da tendência geral receberam nota E na avaliação para vazões máximas. Todas as regiões foram examinadas com base em curvas

Figura 3.5 - Vazão Média em função da Área

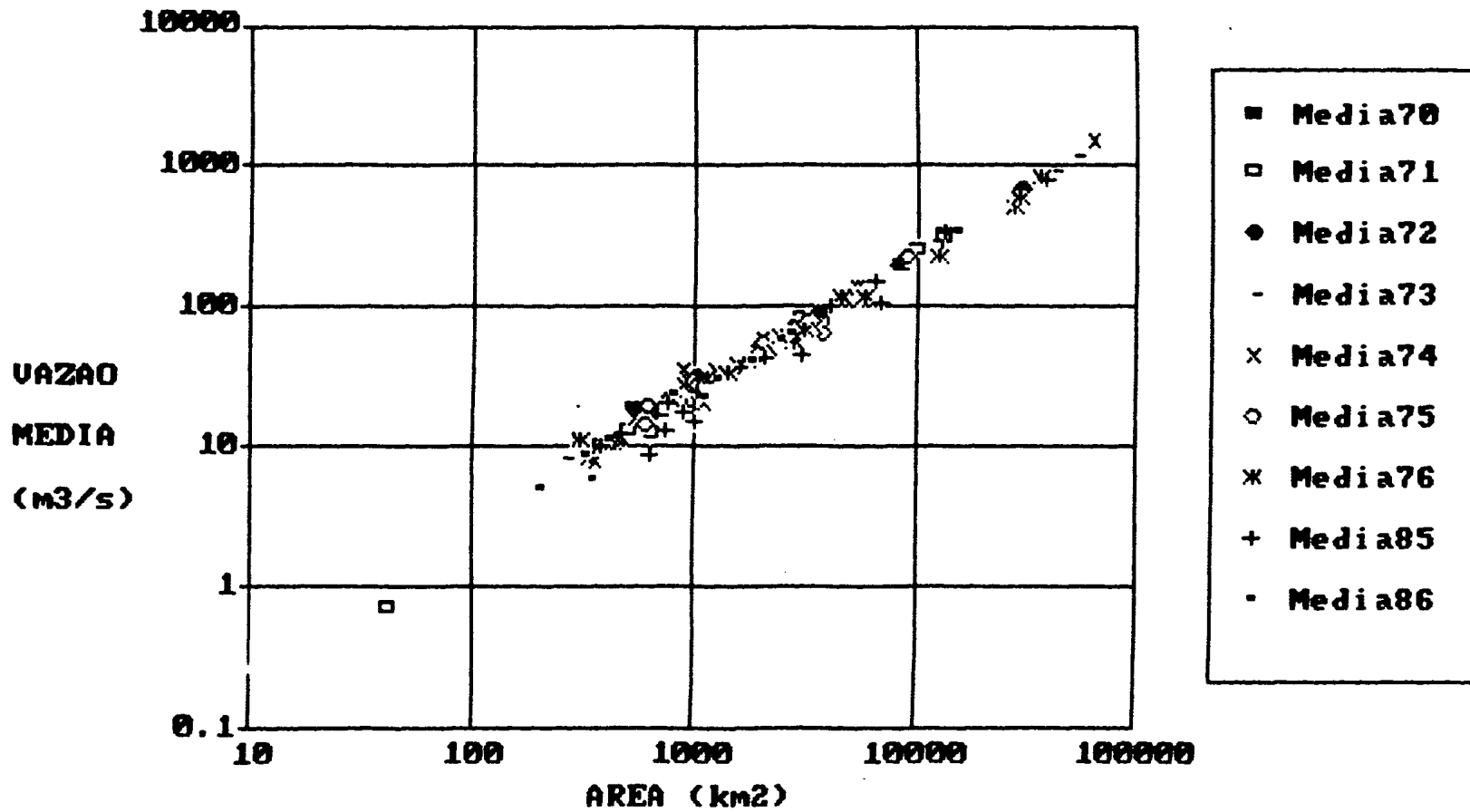
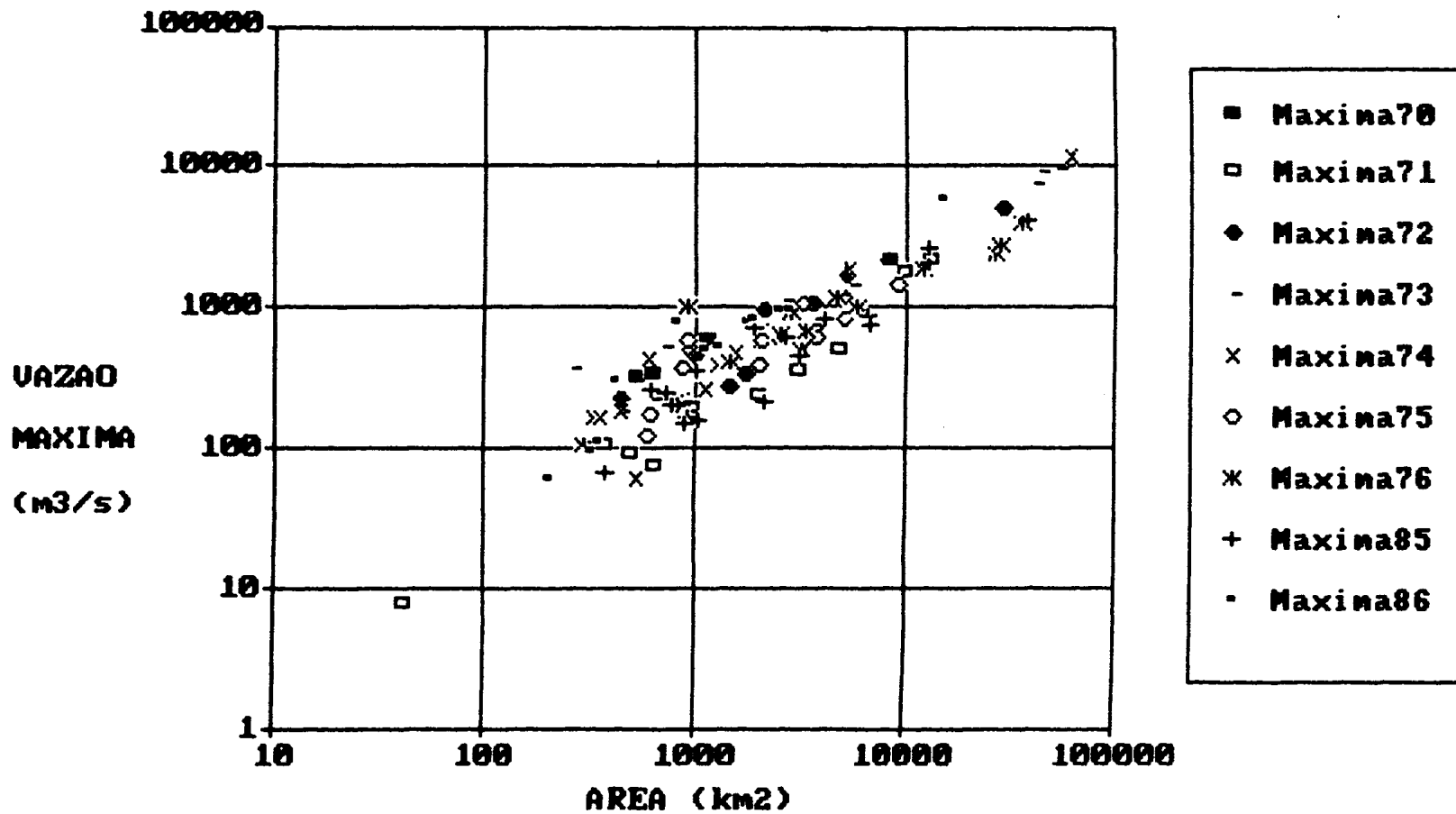


Figura 3.6 - Vazão Máxima em função da Área





semelhantes a estas e definidos os postos que poderiam ser utilizados. No anexo A, figuras A21 a A29, são apresentadas as figuras relativas a cada uma das sub-bacias.

Na figura 3.7 são apresentadas as relações entre vazões médias mínimas de 7 dias de duração e área da bacia. Na região 73 observa-se que um posto está à esquerda da tendência geral da série. A causa provável é o número excessivo de falhas. Para todas as regiões foram preparados gráficos de vazões mínimas e analisada a consistência para este tipo de estudo. No anexo A, figuras A30 a A38, são apresentadas estas relações para cada uma das sub-bacias.

3.4.4 Conclusão

A análise de consistência deste estudo objetivou verificar se existiam erros grosseiros na coleta, processamento e utilização dos dados hidrológicos. Neste processo foram retirados vários erros da massa de dados, principalmente de processamento dentro do próprio projeto. Os dados já tinham passado por consistência nas entidades que coletam. Além disso, esta análise permitiu verificar a qualidade dos dados para as diferentes regionalizações que foram elaboradas, identificando as limitações dos resultados para cada região.

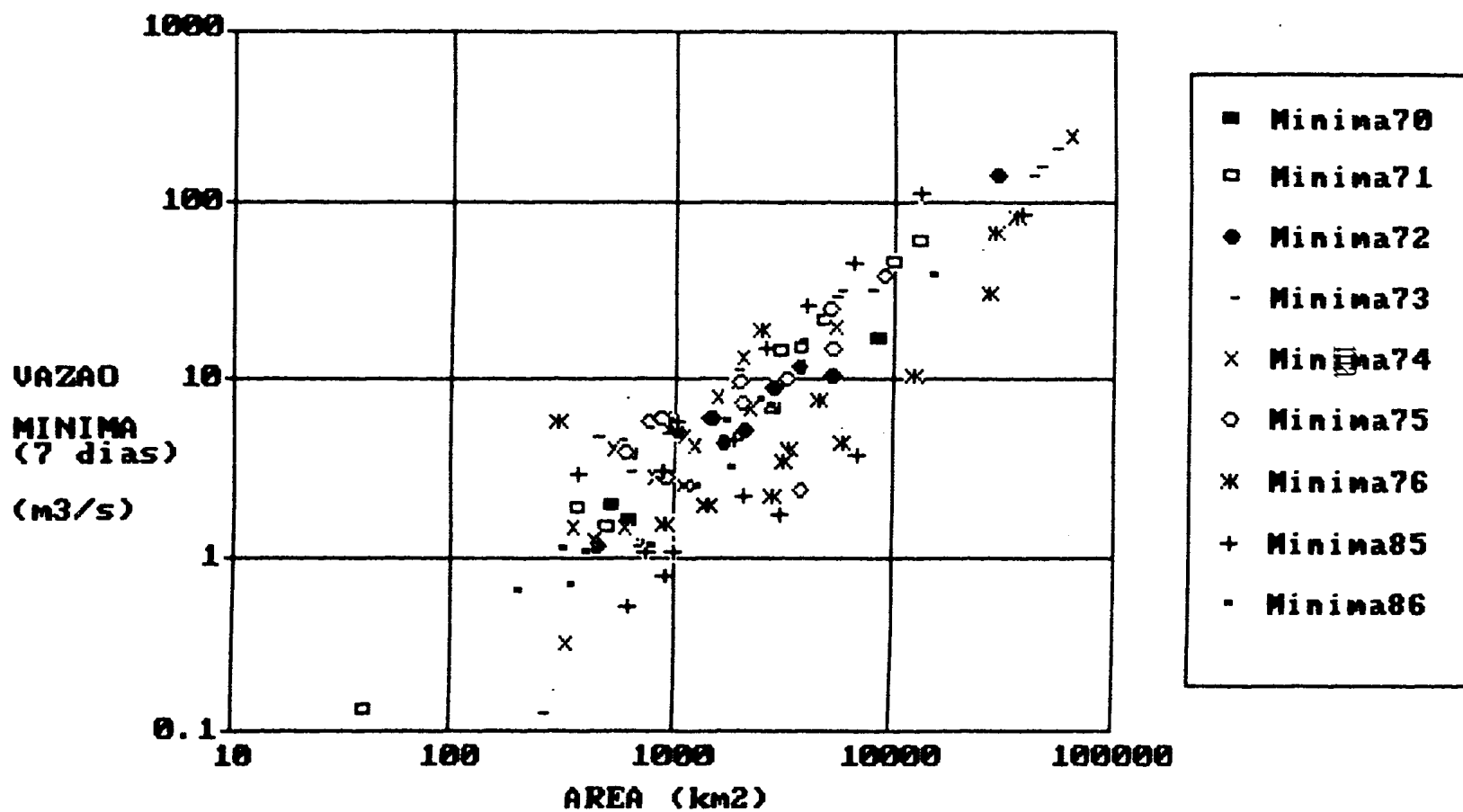
Esta análise de consistência não é completa e não visou atualizar as curvas-chave e dados linimétricos. O objetivo principal foi conhecer e selecionar os dados que serão utilizados no estudo de regionalização.

3.5 Características físicas

As características físicas escolhidas para o estudo foram:

- área da bacia em km^2 ;
- declividade do rio principal em m/km ;
- comprimento do rio principal em km ;

Figura 3.7 -Vazão Mínima de 7 dias em função da Área





- indicador da densidade de drenagem, obtido pelo número de confluências.

As características físicas das bacias foram obtidas com base nos mapas em escala 1:250 000, pois era a única escala que cobria toda a região. Mesmo assim foi impossível obter uma das folhas, já que a mesma tinha a sua tiragem esgotada. Para os postos localizados nesta região a área da bacia, comprimento e declividade foram obtidos de mapas de escala 1:50.000, mas a densidade de drenagem não foi possível obter, pois não existia compatibilidade de escala. O número de confluências na escala 1:50000 é muito maior que na outra escala. Procurou-se verificar se existe tendência semelhante para áreas vizinhas em que se conheciam as duas escalas, mas a relação apresentou grande variedade, o que não permitiu sua determinação.

Na tabela 3.3 são apresentadas as características físicas dos Postos selecionados.

3.6 -Avaliação da rede hidrométrica e recomendações

3.6.1 Avaliação geral dos postos

A região em estudo abrange o Estado do Rio Grande do Sul e a parte do Estado de Santa Catarina correspondente à bacia do rio Uruguai.

Na região em estudo foram identificados 693 postos com base no inventário de postos fluviométricos publicados pelo DNAEE- Departamento Nacional de Energia Elétrica. Deste total apenas 126 Postos foram selecionados devido principalmente ao seguinte:

- . não existiam registros de vazão que permitissem estabelecer curva-chave;
- . série menor que cinco anos ou com elevado número de falhas;
- . série não confiável.



TABELA 3.3 - CARACTERISTICAS FISICAS DAS BACIAS DOS POSTOS FLUVIOMETRICOS SELECIONADOS

No	CODIGO DA ESTACAO	NOME DA ESTACAO E CURSO D'AGUA	AREA DA BACIA km ²	COMPRIMENTO RIO PRINCIPAL km	DECLIVIDADE RIO PRINCIPAL m/km	NUMERO DE CONFLUENCIAS No
1	70100000	DESPRAIADO - RIO PELOTAS	526.5	55.0	6.73	86
2	70200000	INVERNADA VELHA - RIO PELOTAS	2816.4	191.0	3.04	343
3	70300000	FAZ. MINEIRA - RIO LAVA TUDO	1147.0	68.0	6.45	140
4	70400000	USINA TOUROS - RIO DOS TOUROS	244.0	26.5	8.14	34
5	70500000	COXILHA RICA - RIO PELOTINHAS	638.6	64.0	4.26	60
6	70700000	PASSO SOCORRO - RIO PELOTAS	8365.0	222.8	2.74	981
7	71200000	VILA CANOAS - RIO CANOAS	978.5	105.0	1.94	82
8	71250000	PTE RIO JOAO PAULO - RIO JOAO PAULO	499.6	50.0	4.55	46
9	71300000	RIO BONITO - RIO CANOAS	1971.8	130.0	1.33	165
10	71350000	ENCRUZILHADA - RIO CANOAS	2980.0	211.0	0.47	362
11	71383000	PTE ALTA DO SUL - RIO CANOAS	4783.0	342.5	0.28	454
12	71385000	PTE DO RIO ANTINHAS - RIO ANTINHAS	41.0	5.0	18.18	2
13	71490000	PONTE MAROMBAS - RIO MAROMBAS	374.0	52.5	3.88	15
14	71496000	PTE DO RIO CORRENTES - RIO CORRENTES	643.0	64.5	4.27	23
15	71498000	PASSO MAROMBAS - RIO MAROMBAS	3722.0	113.5	2.31	162
16	71550000	PASSO CARU - RIO CANOAS	10071.0	461.5	0.46	705
17	71800000	COLONIA SANTANA - RIO CANOAS	13225.0	520.0	0.50	888
18	72300000	PASSO DO VIRGILIO - RIO PELOTAS	29619.0	636.5	0.86	2867
19	72400000	PASSO SAC GERALDO - RIO FORQUILHA	1434.0	79.5	2.03	190
20	72430000	PASSO DO GRANZOTTO - RIO FORQUILHA	1683.0	97.5	1.79	241
21	72580000	PTE DO RIO TAPEJARA - RIO TAPEJARA	1022.0	75.0	5.87	108
22	72630000	PASSO SANTA TEREZA - RIO LIGEIRO	2783.0	128.0	2.45	352
23	72680000	PASSO COLOMBELLI - RIO LIGEIRO	3627.0	160.5	1.80	470
24	72810000	TANGARA - RIO DO PEIXE	2058.0	126.4	3.31	
25	72870000	BARRA DO RIO PARDO - RIO LEAO	454.0	82.0	5.51	90
26	72980000	RIO URUGUAI - RIO DO PEIXE	5239.0	224.2	3.25	
27	73010000	MARCELINO RAMOS - RIO URUGUAI	41267.0	683.0	0.93	
28	73200000	ITA - RIO URUGUAI	43901.0	791.0	0.91	
29	73300000	BONITO - RIO IRANI	630.0	84.0	5.71	27
30	73330000	PASSO ALTO IRANI - RIO IRANI	900.0	120.0	4.33	32
31	73400000	JOSE BONIFACIO - RIO PASSO FUNDO	1763.0	106.0	1.24	171
32	73420000	PASSO FUNDO I - RIO PASSO FUNDO	2157.0	131.5	1.05	172
33	73480000	PTE RIO PASSO FUNDO - R. PASSO FUNDO	3650.0	175.0	1.26	287
34	73550000	PASSO CAXAMBU - RIO URUGUAI	52671.0	711.0	1.32	1580
35	73600000	ABELARDO LUZ - RIO CHAPECO	1850.0	192.6	2.85	
36	73610000	PONTE SAUDADES - RIO SAUDADES	702.0	71.6	4.91	
37	73730000	PORTO ELVINO - RIO CHAPECO	5239.0	301.7	3.30	
38	73750000	PORTO FAR - RIO CHAPECO	5528.0	320.5	5.97	
39	73765000	PASSO QUILOMBO - RIO DO OURO	257.5	35.0	6.84	2
40	73850000	PASSO NOVA BRECHIM - RIO CHAPECO	7535.0	362.2	2.99	
41	73900000	SAUDADES - RIO SAUDADES	445.0	40.0	7.58	18
42	73960000	BARRA DO CHAPECO AUX. - RIO CHAPECO	8267.0	420.2	2.69	
43	74100000	IRAI - RIO URUGUAI	62199.0	800.0	1.03	1850
44	74205000	LINHA CESCON - CATURETE	442	42.5	5.1	11
45	74270000	PASSO RIO DA VARZEA - RIO DA VARZEA	5298	343.5	0.9	222
46	74295000	LINHA JATAI - RIO IRACEMA	328	68.5	5.05	3
47	74310000	LINHA POLACA - RIO DAS ANTAS	902.0	78.5	4.60	25
48	74320000	PTE DO RIO SARGENTO - RIO SARGENTO	604.0	62.5	9.96	19
49	74370000	PALMITINHO - RIO GUARITA	2008.0	158.5	2.54	53
50	74460000	PTE DO RIO TURVO - RIO TURVO	536.0	195.0	0.47	15

TABELA 3.3 - CARACTERISTICAS FISICAS DAS BACIAS DOS POSTOS FLUVIOMETRICOS SELECCIONADOS

No	CODIGO DA ESTACAO	NOME DA ESTACAO E CURSO D'AGUA	AREA DA BACIA km ²	COMPRIMENTO RIO PRINCIPAL km	DECLIVIDADE RIO PRINCIPAL m/km	NUMERO DE CONFLUENCIAS No
51	74470000	TRES PASSOS - RIO TURVO	1545.0	292.5	0.98	44
52	74600000	CASCATA BURICA - RIO BURICA	2201.0	151.5	1.74	113
53	74700000	TUCUNDUVA - RIO SANTA ROSA	1113.0	116.0	1.38	56
54	74750000	LINHA CASCATA - RIO SANTO CRISTO	355.0	40.0	3.93	16
55	74880000	PASSO SAO JOAO - RIO COMANDAI	822.0	106.0	1.83	64
56	74900000	LINHA UNIAO - RIO COMANDAI	1240.0	154.5	1.42	100
57	75155000	PASSO FAXINAL - RIO IJUI	1951.0	93.0	2.17	113
58	75185000	PTE NOVA DO POTIRIBU - RIO POTIRIBU	593.0	66.5	1.64	79
59	75200000	CONCEICAO - RIO CONCEICAO	609.0	68.0	1.95	158
60	75205000	PTE NOVA DO CONCEICAO - R. CONCEICAO	784.0	75.0	1.83	172
61	75230000	SANTO ANGELO - RIO IJUI	5050.0	233.0	1.07	453
62	75270000	PONTE QUEIMADA - RIO IJUIZINHO	867.0	57.5	1.14	206
63	75295000	COLONIA MOUSQUER - RIO IJUIZINHO	2005.0	158.0	1.25	348
64	75320000	PONTE MISTICA - RIO IJUI	9030.0	358.5	0.75	937
65	75400000	PASSO DOS DIAS - RIO PIRATINIM	915.0	60.0	6.15	83
66	75450000	PASSO SANTA MARIA - RIO PIRATINIM	3174.0	162.5	0.99	270
67	75500000	PASSO DO SARMENTO - RIO PIRATINIM	5146.0	286.5	0.61	417
68	75700000	PASSO DO NOVO - RIO ICAMAQUA	3724.0	165.0	1.35	324
69	76100000	VILA CLARA - RIO TOROPI	2765.0	105.5	3.61	300
70	76120000	PONTE TOROPI - RIO TOROPI	3323.0	134.2	2.39	375
71	76310000	ROSARIO DO SUL - RIO SANTA MAFIA	12210.0	192.5	0.40	681
72	76440000	JAGUARI - RIO JAGUARI	2339.0	158.0	2.66	225
73	76460000	ERNESTO ALVES - RIO JAGUARIZINHO	921.0	58.0	3.11	83
74	76470000	PASSO JAGUARIZINHO - R. JAGUARIZINHO	1270.0	75.0	3.04	122
75	76490000	PASSO DO LORETO - RIO JAGUARI	4574.0	208.5	2.05	472
76	76500000	JACAQUA - RIO IBICUI	27260.0	256.5	0.40	2287
77	76550000	PONTE MIRACATU - ARROIO MIRACATU	379.6	28.0	4.68	54
78	76560000	MANUEL VIANA - RIO IBICUI	28820.0	293.5	0.29	2570
79	76650000	PASSO CACHOKIRA - RIO ITU	2451.0	125.0	1.14	272
80	76700000	PASSO DOS BRITOS - RIO IBIRAPUITA	3089.0	147.5	0.64	108
81	76742000	PASSO DO OSORIO - ARROIO CAVERA	1426.0	94.0	0.80	90
82	76750000	ALGRETE - RIO IBIRAPUITA	5776.0	182.5	0.50	245
83	76800000	PASSO MARIANO PINTO - RIO IBICUI	35935.0	493.5	0.19	2760
84	77150000	URUGUAIANA - RIO URUGUAI	189300.0	1732.5	0.60	
85	85080000	ESPUMOSO - RIO JACUI	2595.0	140.0	1.54	237
86	85140000	PASSO BELA VISTA - RIO JACUI	4015.0	153.0	1.31	389
87	85150000	PONTE IBIRUBA - ARROIO GRANDE	375.0	47.5	2.56	33
88	85180000	PTE SANTO ANTONIO - RIO JACUI-MIRIM	715.0	80.0	1.58	53
89	85220000	PASSO DO NOVO - RIO JACUI	6419.0	183.0	1.16	643
90	85240000	PASSO DO INGAI - RIO INGAI	1019.0	75.5	2.08	175
91	85322000	USINA IVAI - RIO IVAI	1535.0	81.5	1.29	219
92	85340000	FAZ. DO CERVO - RIO IVAI	1693.0	90.0	1.83	237
93	85360000	ITAUBA I - RIO JACUI	10200.0	262.5	1.45	1142
94	85380000	PASSO ESTRELA - RIO JACUIZINHO	1860.0	122.5	3.71	144
95	85385000	VOLTA GRANDE I - RIO JACUI	12720.0	295.0	1.57	1315
96	85395000	VOLTA GRANDE II - RIO JACUI	13028.0	315.0	1.57	1327
97	85438000	RESTINGA SECA - RIO VACACAI-MIRIM	910.0	62.5	2.34	64
98	85470000	PTE SAO GABRIEL - RIO VACACAI	997.0	77.5	1.96	60
99	85480000	PASSO DO ROCHA - RIO VACACAI	2987.0	127.5	0.81	154
100	85600000	PASSO DAS TUNAS - RIO VACACAI	6725.0	285.0	0.46	413

TABELA 3.3 - CARACTERISTICAS FISICAS DAS BACIAS DOS POSTOS FLUVIOMETRICOS SELECCIONADOS

No	CODIGO DA ESTACAO	NOME DA ESTACAO E CURSO D'AGUA	AREA DA BACIA km2	COMPRIMENTO RIO PRINCIPAL km	DECLIVIDADE RIO PRINCIPAL m/km	NUMERO DE CONFLUENCIAS No
101	85620000	PULQUERIA - ARROIO SAO SEPE	620.0	75.0	2.50	27
102	85625000	SAO SEPE - ARROIO SAO SEPE	732.0	77.5	2.41	30
103	85780000	PASSO DO MEIO - RIO PARDO	2058.0	135.0	1.41	123
104	85830000	SANTA CRUZ MONT. - RIO PARDINHO	760.0	67.5	5.94	53
105	85850000	SANTA CRUZ - RIO PARDINHO	890.0	75.0	5.65	56
106	85900000	RIO PARDO - RIO JACUI	38103.0	393.5	0.76	2553
107	86050000	CAMISAS - RIO CAMISAS	149.0	17.0	7.10	5
108	86100000	PASSO DO GABRIEL - RIO DAS ANTAS	1722.0	97.5	3.50	154
109	86120000	TAINHAS - RIO TAINHAS	202.0	18.5	2.20	20
110	86160000	PASSO TAINHAS - RIO TAINHAS	1094.0	83.5	3.60	124
111	86200000	LAJEADO GRANDE - LAJEADO GRANDE	344.0	28.0	2.80	26
112	86410000	P.BARRA DA GUAIAVEIRA - RIO TURVO	2690.0	122.5	4.50	345
113	86420000	PONTE DO PRATA - RIO DO PRATA	320.0	40.0	3.20	32
114	86480000	PASSO MIGLIAVACA - RIO CARREIRO	1265.0	72.5	4.10	142
115	86500000	PASSO CARREIRO - RIO CARREIRO	1819.0	179.0	2.10	184
116	86510000	MUCUM - RIO TAQUARI	14942.0	366.0	2.41	1493
117	85580000	SANTA LUCIA - RIO GUAPORE	2413.0	181.0	3.09	287
118	86700000	PONTE JACARE - ARROIO JACARE	408.0	42.5	12.36	25
119	86745000	PASSO DO COIMBRA - RIO FORQUETA	799.0	95.0	6.73	73
120	87310000	ITATI - RIO TRES FORQUILHAS	364.0	23.0	12.30	20
121	87360000	ENTREPELADO - RIO DOS SINOS	1387.0	67.5	3.96	173
122	87380000	CAMPO BOM - RIO DOS SINOS	2821.0	109.0	0.66	305
123	87730000	PASSO DO MARINHEIRO - RIO CAMAQUA	9926.0	262.5	0.58	169
124	87905000	PASSO DO MENDONCA - RIO CAMAQUA	15485.0	360.0	0.47	404
125	88179000	DARIO LASSANCE - ARROIO CANDIOTA	313.0	32.5	3.60	5
126	88185000	CANDIOTINHA - ARROIO CANDIOTINHA	235.0	32.5	3.60	5

Dos 126 postos selecionados foram levantados dados para avaliação da qualidade da curva-chave e sua abrangência. Para tanto, utilizou-se o critério de exame com base na faixa de valores que a referida curva pode gerar. Os critérios adotados foram sintetizados em notas de A até E, descritos na tabela 3.4. A avaliação separada para vazões máximas e mínimas levou em conta que, para vazões máximas, é importante o extremo superior da curva-chave, e, para vazões mínimas, o extremo inferior. Os postos aceitáveis devem ter notas entre A e C, aceitando-se em alguns casos os postos com nota D. As notas de cada posto são apresentadas no anexo A, tabela A3.

Na tabela 3.5 são apresentadas as estatísticas da avaliação dos postos. Pode-se observar que, para vazões máximas o número de postos aceitáveis é extremamente reduzido, mostrando a preocupante qualidade das informações existente no Estado. Este problema é decorrente da falta de programação de medições durante as enchentes, por falta de recursos. Quanto à qualidade dos postos para estudo de vazões mínimas, pode-se observar que a situação é melhor. Desta tabela observa-se que, de 693 postos fluviométricos, apenas 7 podem ser considerados ideais, ou seja, cerca de 1%.

Quanto à cobertura espacial a situação é não homogênea. Enquanto que no rio Uruguai observa-se um número aceitável de postos, no Sul do Estado do Rio Grande do Sul e nas bacias contribuintes às Lagoas Mirim e dos Patos a situação é péssima. A avaliação da disponibilidade hídrica nestas regiões é extremamente precária, ou seja, qualquer avaliação hidrológica nas mesmas terá resultados duvidosos.

As bacias com medições de vazões são de tamanho médio e grande; praticamente não existem dados de bacias pequenas, onde se concentram projetos de abastecimento d'água e irrigação. A extrapolação dos resultados de bacias da ordem de 300 km² (são as menores bacias com dados) para outras de cerca de 10-30 km², pode produzir tendenciosidade, tanto no caso de vazões máximas como mínimas.

TABELA 3.4 - Critérios para classificação dos postos fluviométricos com vistas à regionalização

VAZÃO MÁXIMA			VAZÃO MÍNIMA	
GRAU	CARACTERÍSTICAS	H_{int}	Q_{irt}	CARACTERÍSTICAS
A	Postos fluviométricos de características excelentes cujas descargas máximas medidas estão dentro de 10 a 15% do valor máximo de cheia observada, com uma boa seção transversal para extrapolação, sem transbordamentos e estável.	$\leq 1,15$	$\leq 1,15$	Pouca ou nenhuma extrapolação inferior da curva-chave (<50cm); Existência de uma única curva-chave na parte baixa, demonstrando estabilidade da seção de medição, especialmente do fundo. Boa cobertura de medições de vazão na parte inferior da curva.
B	Postos bons com extrapolação da curva de descarga menor que 50% do valor máximo medido de vazão. Seções transversais boas, sem extravazamento e estável.	$\leq 1,25$	$\leq 1,50$	Extrapolação de alguma importância (entre 50 cm e 1 m). Algumas alterações do talvegue e do fundo, sem migrações marcadas. Alguma dispersão das medições de vazão na parte inferior da curva-chave. Oscilações da área da seção de escoamento.
C	Postos aceitáveis com extrapolação adequada da curva de descarga e com eventuais transbordamentos.	$\leq 1,75$	$\leq 2,50$	Extrapolação grande da curva-chave (>1,00 m). Alterações de importância no fundo do rio e modificações do talvegue, sem se constituírem em mudanças radicais. Dispersão nas medições de vazão. Existência de duas ou mais curvas chave na parte inferior, embora definidas. Aceitável para regionalização, com algumas restrições.
D	Postos geralmente inaceitáveis pela grande extrapolação da curva de descarga e transbordamentos excessivos na seção.	$\leq 2,00$	$\leq 3,00$	Grandes extrapolações da curva-chave (>1,20 m). Alteração total do talvegue e do fundo do rio. Grandes incôncordâncias nas variações da área de escoamento, denotando excessiva dispersão das medições. Inaceitável para regionalização.
E	Postos com extrapolação inadequada de curva de descarga. Não são considerados no estudo.	-	-	-

$$H_{int} = \frac{H_{max}}{H_{obs}} \quad \text{e} \quad Q_{int} = \frac{Q_{max}}{Q_{obs}}$$

onde: H_{max} - nível máximo observado no posto durante o período disponível de dados

H_{obs} - nível correspondente ao maior valor de vazão medida

Q_{max} - vazão correspondente ao H_{max} pela curva de descarga

Q_{obs} - maior vazão medida



Tabela 3.5 - Estatística da avaliação dos postos

Vazões máximas

Notas

A		B		C		D		E	
Postos	%	postos	%	postos	%	postos	%	postos	%
7	5,6	18	14,3	29	23,0	27	21,4	45	35,7

Vazões mínimas

Notas

A		B		C		D		E	
postos	%	postos	%	postos	%	postos	%	postos	%
6	4,8	58	46,0	54	42,8	7	5,6	1	0,8

Outra grande limitação dos dados existentes decorre do reduzido número de aparelhos registradores. Isto limita a maioria dos estudos de vazões máximas além da confiabilidade. Este aspecto é mais grave para as bacias pequenas.

No Estado do Rio Grande do Sul observa-se que as entidades que coletam dados têm uma organização setorizada, sem que exista o aproveitamento máximo dos investimentos. O DEPRC possui uma rede extensa de postos limimétricos, mas como o interesse é a navegação não existe medição de descargas. Esses dados não são suficientes para outros estudos. A rede da CEEE é voltada para os aproveitamentos hidrelétricos e abrange regiões específicas. A economia de escala neste caso poderia ser aproveitada para incorporar outros postos com outros objetivos. O DNAEE, que é um organismo federal, procura ter uma rede mínima de quantificação das macro-bacias. Torna-se necessário um órgão estadual que possa organizar a coleta de dados visando os diferentes usos da água e conservação.

Observa-se, portanto, que pequenas bacias, que são utilizadas para irrigação e abastecimento d'água, muitas vezes sem regularização, não possuem dados para definição de seus projetos. A drenagem de cheias rurais, de estradas e de áreas urbanas são problemas que sofrem da falta de informações.

Como consequência deste processo, os profissionais de um lado podem superdimensionar as obras ou sub-dimensionar com efeito catastrófico. De qualquer forma o custo social e econômico é significativo e poderia ser minimizado com reduzidos investimentos na coleta de dados mais confiáveis.

Para que o homem possa conviver com seu meio ambiente e utilize racionalmente dos Recursos Hídricos, é necessário conhecer o seu comportamento e quantificá-lo. Neste caso a rede de coleta de dados hidrológicos é essencial.

Deve-se ter em conta que em Hidrologia de nada valem métodos sofisticados de simulação se os dados são precários. Nenhuma metodologia gera informações, apenas explora melhor os dados existentes.

A seguir são apresentadas as conclusões sobre a avaliação dos dados para regionalização e as recomendações para melhorar a qualidade dos dados hidrológicos no Estado do Rio Grande do Sul.

3.6.2 Seleção e avaliação dos dados para regionalização

Os 126 postos foram avaliados quanto às vazões máximas e mínimas para o estudo de Regionalização. Observaram-se algumas anomalias em alguns anos e em alguns postos quanto a indicadores médios. Nenhum posto foi abandonado definitivamente; aqueles que obtiveram nota E e apresentaram alguma anomalia foram usados para confirmar a tendência regional dos outros postos.

A regionalização de vazões máximas pode ser afetada por estas condições, já que é grande o número de postos com nota E. A outra incerteza envolvida é que os postos normalmente não possuem registradores, portanto a vazão máxima é o maior valor de duas leituras diárias. Para bacias pequenas este é um problema sério e tende a subestimar os valores maiores.

No estudo foi consolidado um arquivo de dados hidrológicos com os 126 postos representando mais de 3000 anos de dados e 1,2 milhões de valores. Os postos em geral estão atualizados somente até 1985, que são as informações disponíveis nesta data.

3.6.3 Recomendações para melhoria dos dados

O custo da falta de dados hidrológicos se reflete no prejuízo das enchentes, no racionamento de água potável, no superdimensionamento ou falha da drenagem agrícola, urbana e de

estradas, ou mesmo na destruição de obras hidráulicas, entre outros.

Considerando a precária qualidade dos dados hidrológicos no Estado do Rio Grande do Sul, recomendamos o planejamento e instalação de uma rede estadual de coleta de dados hidrológicos, procurando otimizar os esforços estaduais e federais que atuam no setor de Recursos Hídricos no Estado.

Para o planejamento desta rede recomendamos os seguintes aspectos:

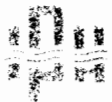
. Reavaliar os postos existentes, descartando aqueles que têm problemas crônicos de mudança de leito, pouca representatividade espacial e temporal e recuperando postos onde existem somente níveis através de medições de descarga.

. Utilizar locais onde existem funcionários de órgãos estaduais e uso da água, como nos postos de captação da CORSAN, para instalação de postos. Estes locais drenam, em geral, pequenas bacias, o que é uma deficiência estadual.

. Instalar um posto pluviométrico com linígrafo e um pluviógrafo por bacia representativa em algumas sub-regiões. Neste caso, outros postos de baixo custo com seção fixa podem ser localizados e operados através de leitura tradicional. Estes postos completariam a cobertura espacial da sub-região. O IPH, em estudo anterior para o Estado, instalou na região serrana cerca de 22 postos com seção fixa que podem ser aproveitados através de leitura sistemática.

. Utilizar os resultados da regionalização para melhor definir a distribuição espacial dos postos. Por exemplo, postos com alta correlação podem estar medindo a mesma informação.

. Utilizar as Prefeituras para leitura de níveis nas cidades



do Estado. As principais cidades devem ter postos nos grandes rios que passam pelas mesmas. No caso de cidades que não possuem leitura de nível e que estão localizadas às margens de rios de porte deve-se procurar instalar um posto. Para os principais centros urbanos deve-se procurar equipar pelo menos uma bacia urbana. Considerando que a urbanização é muito alta no país, a tendência é de que a drenagem urbana represente um custo alto dentro do aparelho urbano.

4 - REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÉDIAS

4.1 Vazões médias

A vazão média anual de um rio é a média diária de todos os valores do ano. A vazão média de longo período, Q_{lp} , é a média das vazões médias anuais ou a média das médias.

A vazão média permite caracterizar a capacidade de disponibilidade hídrica de uma bacia e seu potencial energético, entre outros usos. A vazão média de longo período é a maior vazão possível de ser regularizada numa bacia.

Normalmente, o valor mais utilizado é a vazão média de longo período. No entanto, a distribuição de probabilidade das vazões médias permite avaliar a magnitude de anos mais secos ou úmidos, em termos médios.

A seguir é descrito o procedimento utilizado para regionalizar a vazão média e a sua probabilidade de ocorrência.

4.2 Regionalização da vazão média

A regionalização consiste na determinação de duas funções básicas:

- a) Curva adimensional de probabilidade de vazões médias anuais;
- b) Equação de regressão entre Q_{lp} e características físicas e climáticas das bacias.

Essas funções são determinadas para cada região homogênea com base na análise do resíduo da equação de regressão e na tendência das curvas adimensionais.

Com as duas funções estabelecidas é possível estimar a vazão

com um determinado risco em função de características físicas e climáticas.

4.3 Curva de probabilidade de vazões médias

A probabilidade de que a vazão de um determinado ano seja maior ou igual a um determinado valor ($p[Q \geq Q^*]$) pode ser obtida com base nos valores de vazões anuais da série histórica. Para tanto, pode-se ajustar uma distribuição de probabilidades teórica ou empírica.

Neste estudo foram estabelecidas duas curvas de probabilidades, a curva de probabilidade com a vazão média e a curva de probabilidade adimensional. Esta última relaciona a vazão média com a média de longo período do posto. O método utilizado foi o do ajuste de uma distribuição empírica. Este método consiste em distribuir as vazões em ordem decrescente, sendo que a probabilidade é obtida com base na seguinte expressão

$$p = \frac{i - 0,44}{N + 0,12} \quad (4.1)$$

onde:

p = probabilidade da vazão ser igualada ou superada

i = a ordem do valor;

N = tamanho da amostra.

Na realidade não foram traçadas as curvas para cada posto, mas plotados os pontos com o objetivo de observar a tendência dos mesmos, para definição das regiões homogêneas.

Após a escolha dos postos de uma região, a curva média da região foi obtida de acordo com o procedimento descrito no capítulo 5 (item 5.3).

4.4 Regressão da vazão média de longo período

A regressão entre a vazão e as variáveis independentes permite estimar este valor para bacias sem dados.

As variáveis independentes utilizadas foram:

- área de drenagem, A;
- precipitação média anual, P;
- comprimento do rio, L;
- declividade do rio, S;
- densidade de drenagem, D.

A função que relaciona a vazão média de longo período e as variáveis independentes relacionadas é a seguinte:

$$Q = a A^b P^c L^d S^e D^f \quad (4.2)$$

onde a, b, c, d, e, f são parâmetros ajustados de acordo com os dados de cada região.

A equação 4.2 é transformada com base nos logaritmos, o que resulta

$$\ln Q = \ln a + b \ln A + c \ln P + d \ln L + e \ln S + f \ln D \quad (4.3)$$

Os parâmetros desta equação são obtidos através do ajuste por mínimos quadrados.

Os indicadores estatísticos utilizados são o coeficiente de determinação não tendencioso R^2 e o desvio padrão fatorial σ_f obtidos por

$$R^2 = 1 - \frac{\sigma_f}{\sigma} \quad (4.4)$$

$$\sigma_f = e^S \quad (4.5)$$

onde:

$$\sigma_m = [\sum (y_{ic} - y_{io})^2] / (N-p-1)$$

$$\sigma_o = [\sum (y_{io} - y_{om})^2] / (N-1)$$

s = desvio padrão dos logaritmos das vazões;

y_{ic} = valor calculado;

y_{io} = valor observado.

y_{om} = média dos valores observados

4.5 Resultados da regionalização

As vazões médias foram calculadas com base nos dados históricos existentes no banco de dados criado para todos os postos da região em estudo. A vazão média foi calculada para cada posto considerando o ano civil. Os resultados de cada posto e para cada ano são apresentados no Anexo B1.

Inicialmente a vazão média de longo período foi regionalizada, utilizando-se os dados de todos os postos da região em estudo. Os resultados podem ser observados na tabela 4.1. Apesar do coeficiente de determinação apresentar bons resultados, deve-se considerar que a bacia do Uruguai possui mais postos e cria tendenciosidade nos resultados das outras regiões.

Tabela 4.1 - Regressões de vazões médias para toda a região

Variáveis independentes	R ²	σ
A, P, L, S, D	0,9806	1,22
A, P, L, S	0,9831	1,21
A, P, L	0,9831	1,21
A, P	0,9828	1,21
A	0,9750	1,26

Na tabela 4.1 observa-se que a regressão com menor número de parâmetros e o melhor resultado utiliza a área e a precipitação como variáveis independentes. Esta regressão é a seguinte:

$$Q_{lp} = 0,0131 A^{0,99769} P^{1,18} \quad (4.6)$$

Q_{lp} em m³/s; A em km²; e P em m.

Considerando que o expoente da área é próximo de 1 e dividindo pela área, obtém-se a equação para a vazão específica

$$q_{lp} = 13,12 P^{1,18} \quad (4.7)$$

onde q_{lp} é obtido em l/s/km². Esta equação pode dar uma estimativa preliminar, mas deve ser usada com cuidado para regiões como a da Lagoa dos Patos.

Para definir as regiões foram utilizados os seguintes critérios:

- tendência das curvas adimensionais;
- regressão da vazão média.

Inicialmente procurou-se agrupar os postos com base na classificação DNAEE e verificar as tendências referidas. A seguir procurou-se agrupar os postos para reduzir o número de regiões. Na tabela 4.2 são apresentadas as regiões obtidas e na figura 4.1 são definidas estas regiões em mapa.

Tabela 4.2 - Regiões correspondentes às vazões médias

região	numeração DNAEE	rios
I	70,71,72 e 73	Alto Uruguai
II	74,75, 76 e 77	Médio Uruguai
III	parte 85	Alto Jacui
IV	parte 85	Médio Jacui e Vacacaí
V	86	Taquari
VI	87,88	Guaíba e Lagoas

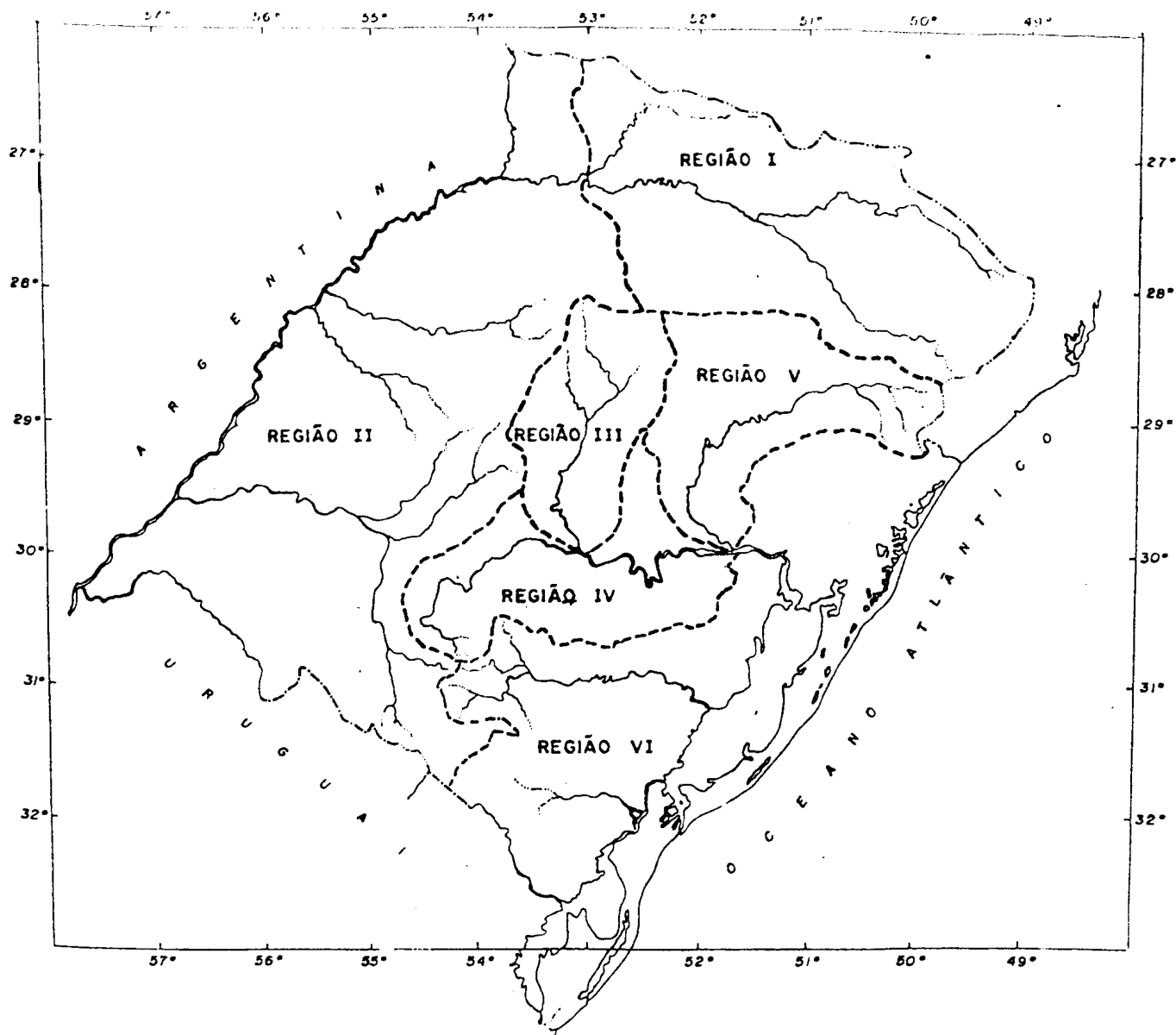


Figura 4.1 - Regiões Homogêneas para vazões médias e máximas

A seguir são apresentadas as equações adotadas para cada região. e, nas figuras 4.2 e 4.3, as curvas adimensionais de probabilidade das mesmas. O ajuste destas curvas aos pontos é apresentado no anexo B2.

Para as equações a seguir, a vazão de longo período (Q_{lp}) é obtida em m^3/s , A é fornecida em km^2 ; P em m . Normalmente a precipitação é fornecida em mm , mas para evitar um coeficiente muito pequeno é fornecido em metros.

REGIÃO I - ALTO URUGUAI

$$Q_{lp} = 0,0170 A^{0,99} P^{0,86} \quad (4.8)$$

$$R^2 = 0,9907 \quad \sigma_f = 1,162$$

REGIÃO II - MEDIO URUGUAI

$$Q_{lp} = 0,023 A^{0,96} P^{0,69} \quad (4.9)$$

$$R^2 = 0,9896 \quad \sigma_f = 1,159$$

REGIÃO III - ALTO JACUI

$$Q_{lp} = 0,031 A^{0,96} P^{0,048} \quad (4.10)$$

$$R^2 = 0,9914 \quad \sigma_f = 1,128$$

REGIÃO IV - MEDIO JACUI E VACACAI

$$Q_{lp} = 0,014 A^{1,01} \quad (4.11)$$

$$R^2 = 0,9915 \quad \sigma_f = 1,152$$

REGIÃO V - RIO TAQUARI

$$Q_{lp} = 0,014 A^{0,99} P^{1,20} \quad (4.12)$$

$$R^2 = 0,9906 \quad \sigma_f = 1,145$$

Figura 4.2 - Curvas de probabilidade adimensional

Vazões médias - Regiões I, II e III

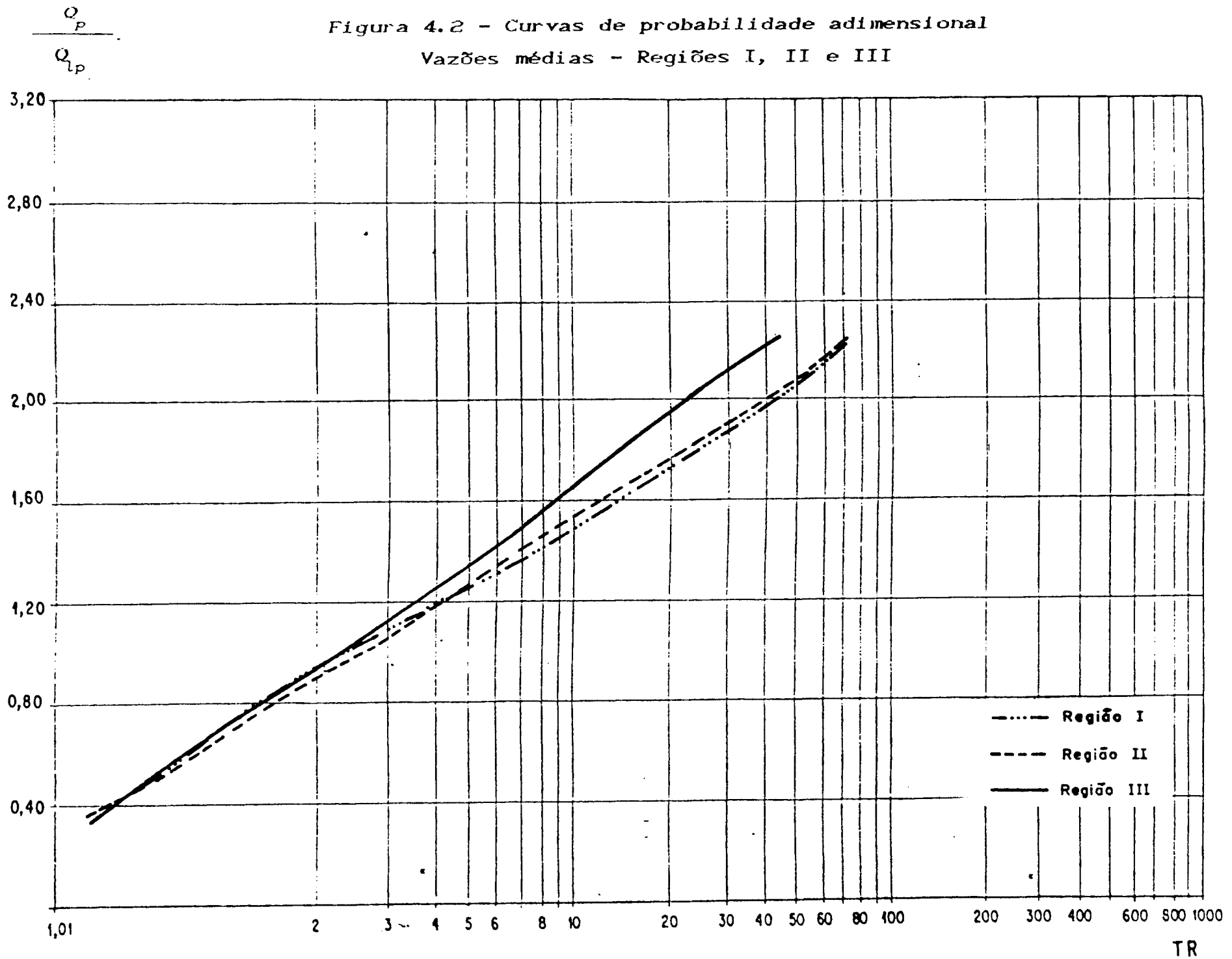
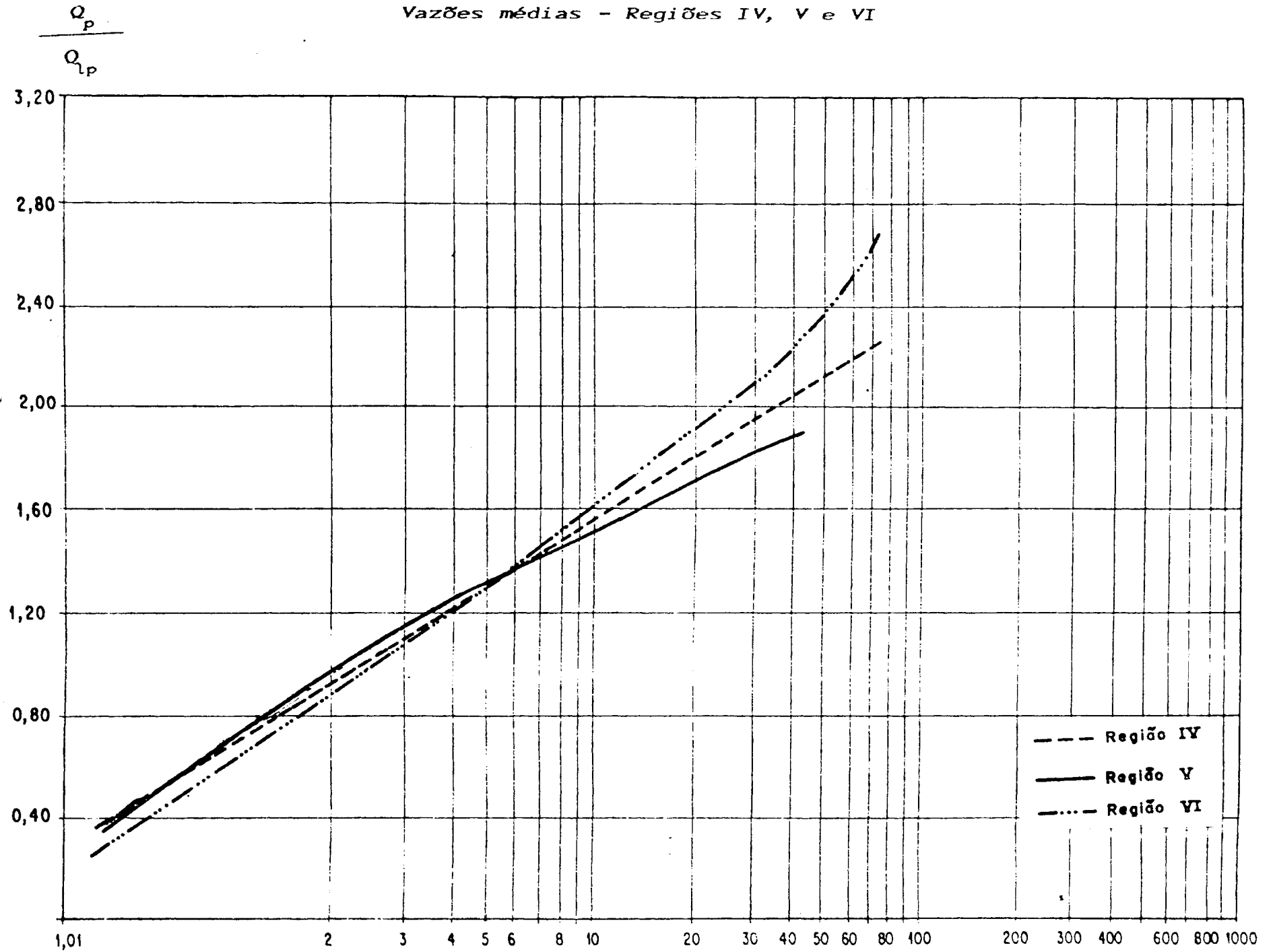


Figura 4.3 - Curvas de probabilidade adimensional
Vazões médias - Regiões IV, V e VI



REGIÃO VI- RIO GUAÍBA E LAGOAS

Para a região VI não foi possível estabelecer equação de regressão, pois as séries disponíveis dos postos são pequenas e tendenciosas; somente três postos se mostraram confiáveis. Verificou-se que a regressão da região III estima com menor erro os postos desta região. Portanto, recomenda-se o uso da equação da referida região para a estimativa da vazão média de longo período nesta região.

Na tabela 4.3 são apresentados, para cada posto selecionado, os valores de área da bacia, precipitação anual e vazão média de longo período que foram utilizados na regionalização, bem como a vazão calculada através das equações de regressão obtidas. Deve-se observar que alguns postos foram eliminados por apresentarem anomalias (séries muito curtas, com tendenciosidades ou outros problemas).

4.6 Estimativa da vazão média

Para a estimativa da vazão média em qualquer uma das regiões são utilizadas as duas funções determinadas, ou seja

$$\frac{Q_p}{Q_{lp}} = F_1(p) \quad (4.13)$$

$$Q_{lp} = F_2(A,P)$$

Onde A= área; P=precipitação; p=probabilidade. As funções $F_2(A,P)$ e $F_1(p)$ são, respectivamente, a equação de regressão e a curva adimensional de cada região. Para a estimativa da vazão com uma Probabilidade p, Q_p é obtida por

$$Q_p = F_1(p) \cdot F_2(A,P) \quad (4.14)$$

TABELA 4.3 - VAZOS MEDIAS - VARIÁVEIS UTILIZADAS NA REGIONALIZAÇÃO E VAZOS CALCULADAS

No	CODIGO DA ESTACAO	NOME DA ESTACAO E CURSO D'AGUA	AREA DA BACIA km2	PRECIPITACAO ANUAL mm	VAZAO MEDIA m3/s	VAZAO CALCULADA m3/s	REGIAO HOMOGEN No
1	70100000	DESPRAIADO - RIO PELOTAS	526.5	1754	18.00	13.69	I
2	70200000	INVERNADA VELHA - RIO PELOTAS	2816.4	1465	73.74	61.73	I
3	70300000	FAZ. MINEIRA - RIO LAVA TUDO	1147.0	1462	27.48	25.31	I
4	70400000	USINA TOUROS - RIO DOS TOUROS	244.0	1467	3.24	5.48	I
5	70500000	COXILHA RICA - RIO PELOTINHAS	638.6	1508	16.78	14.55	I
6	70700000	PASSO SOCORRO - RIO PELOTAS	8365.0	1534	190.72	188.80	I
7	71200000	VILA CANOAS - RIO CANOAS	978.5	1667	28.97	24.21	I
8	71250000	PTE RIO JOAO PAULO - RIO JOAO PAULO	499.6	1516	13.04	11.46	I
9	71300000	RIO BONITO - RIO CANOAS	1971.8	1516	49.06	44.66	I
10	71350000	ENCROZILHADA - RIO CANOAS	2980.0	1489	80.78	66.20	I
11	71383000	PTE ALTA DO SUL - RIO CANOAS	4783.0	1484	109.57	105.48	I
12	71385000	PTE DO RIO ANTINHAS - RIO ANTINHAS	41.0	1448	0.72	0.93	I
13	71490000	PONTE MAROMBAS - RIO MAROMBAS	374.0	1465	9.96	8.35	I
14	71496000	PTE DO RIO CORRENTES - RIO CORRENTES	643.0	1474	11.72	14.37	I
15	71498000	PASSO MAROMBAS - RIO MAROMBAS	3722.0	1459	76.84	81.08	I
16	71550000	PASSO CARU - RIO CANOAS	10071.0	1488	244.86	221.05	I
17	71800000	COLONIA SANTANA - RIO CANOAS	13225.0	1489	290.28	289.70	I
18	72300000	PASSO DO VIRGILIO - RIO PELOTAS	29619.0	1477	613.97	639.44	I
19	72400000	PASSO SAO GERALDO - RIO FORQUILHA	1434.0	1752	31.96	36.89	I
20	72430000	PASSO DO GRANZOTTO - RIO FORQUILHA	1683.0	1769	40.13	43.59	I
21	72580000	PTE DO RIO TAPEJARA - RIO TAPEJARA	1022.0	1662	31.44	25.21	I
22	72630000	PASSO SANTA TEREZA - RIO LIGEIRO	2783.0	1703	71.01	69.44	I
23	72680000	PASSO COLOMBELLI - RIO LIGEIRO	3627.0	1734	89.77	91.68	I
24	72810000	TANGARA - RIO DO PEIXE	2058.0	1641	42.74	49.88	I
25	72870000	BARRA DO RIO PARDO - RIO LEAO	454.0	1641	11.58	11.16	I
26	72980000	RIO URUGUAI - RIO DO PEIXE	5239.0	1444	108.76	112.75	I
27	73010000	MARCELINO RAMOS - RIO URUGUAI	41267.0	1553	863.57	927.28	I
28	73200000	ITA - RIO URUGUAI	43901.0	1542	968.12	979.89	I
29	73300000	BONITO - RIO IRANI	630.0	1932	19.18	17.77	I
30	73330000	PASSO ALTO IRANI - RIO IRANI	900.0	1997	27.87	26.03	I
31	73400000	JOSE BONIFACIO - RIO PASSO FUNDO	1763.0	1747	44.82	45.16	I
32	73420000	PASSO FUNDO I - RIO PASSO FUNDO	2157.0	1632	43.31	52.01	I
33	73480000	PTE RIO PASSO FUNDO - R. PASSO FUNDO	3650.0	1724	92.80	91.80	I
34	73550000	PASSO CAXAMBU - RIO URUGUAI	52671.0	1509	1124.67	1151.99	I
35	73600000	ABELARDO LUZ - RIO CHAPECO	1850.0	2190	57.90	57.52	I
36	73610000	PONTE SAUDADES - RIO SAUDADES	702.0	1956	19.33	19.99	I
37	73730000	PORTO ELVINO - RIO CHAPECO	5239.0	2112	147.95	156.36	I
38	73750000	PORTO FAE - RIO CHAPECO	5528.0	2125	146.00	165.77	I
39	73765000	PASSO QUILOMBO - RIO DO OURO	257.5	1969	8.52	7.44	I
40	73850000	PASSO NOVA ERECHIM - RIO CHAPECO	7535.0	2064	200.72	219.72	I
41	73900000	SAUDADES - RIO SAUDADES	445.0	1724	12.25	11.42	I
42	73960000	BARRA DO CHAPECO AUX. - RIO CHAPECO	8267.0	2021	230.87	236.54	I
43	74100000	IRAI - RIO URUGUAI	62199.0	1837	1295.18	1396.65	II
44	74205000	LINHA CESCON - CATURETE	442	1711	9.97	11.47	II
45	74270000	PASSO RIO DA VARZEA - RIO DA VARZEA	5298	1674	132.86	122.87	II
46	74295000	LINHA JATAI - RIO IRACEMA	328	1724	7.02	8.65	II
47	74310000	LINHA POLACA - RIO DAS ANTAS	902.0	1851	31.33	24.03	II
48	74320000	PTE DO RIO SARGENTO - RIO SARGENTO	604.0	1851	17.03	16.34	II
49	74370000	PALMITINHO - RIO GUARITA	2008.0	1775	55.69	50.36	II
50	74460000	PTE DO RIO TURVO - RIO TURVO	536.0	1723	11.98	13.87	II

TABELA 4.3 - VAZÕES MÉDIAS - VARIÁVEIS UTILIZADAS NA REGIONALIZAÇÃO E VAZÕES CALCULADAS

No	CODIGO DA ESTACAO	NOME DA ESTACAO E CURSO D'AGUA	AREA DA BACIA km2	PRECIPITACAO ANUAL mm	VAZAO MEDIA m3/s	VAZAO CALCULADA m3/s	REGIAO HOMOGEN No
51	74470000	TRES PASSOS - RIO TURVO	1545.0	1725	37.07	38.39	II
52	74600000	CASCATA BURICA - RIO BURICA	2201.0	1722	49.42	53.87	II
53	74700000	TUCUNDUVA - RIO SANTA ROSA	1113.0	1451	25.06	24.86	II
54	74750000	LINHA CASCATA - RIO SANTO CRISTO	355.0	1395	7.62	8.07	II
55	74880000	PASSO SAO JOAO - RIO COMANDAI	822.0	1684	19.99	20.59	II
56	74900000	LINHA UNIAO - RIO COMANDAI	1240.0	1690	34.92	30.64	II
57	75155000	PASSO FAXINAL - RIO IJUI	1951.0	1758	46.06	48.66	II
58	75185000	PTE NOVA DO POTIRIBU - RIO POTIRIBU	593.0	1729	14.31	15.32	II
59	75200000	CONCEICAO - RIO CONCEICAO	609.0	1729	19.17	15.72	II
60	75205000	PTE NOVA DO CONCEICAO - R. CONCEICAO	784.0	1729	22.92	20.03	II
61	75230000	SANTO ANGELO - RIO IJUI	5050.0	1714	119.20	119.26	II
62	75270000	PONTE QUEIMADA - RIO IJUIZINHO	867.0	1729	24.33	22.07	II
63	75295000	COLONIA MOUSQUER - RIO IJUIZINHO	2005.0	1632	54.13	47.46	II
64	75320000	PONTE MISTICA - RIO IJUI	9030.0	1700	228.03	207.29	II
65	75400000	PASSO DOS DIAS - RIO PIRATINIM	915.0	1604	23.50	22.07	II
66	75450000	PASSO SANTA MARIA - RIO PIRATINIM	3174.0	1675	80.98	75.13	II
67	75500000	PASSO DO SARMENTO - RIO PIRATINIM	5146.0	1706	108.64	121.05	II
68	75700000	PASSO DO NOVO - RIO ICAMAQUA	3724.0	1659	49.43	87.02	II
69	76100000	VILA CLARA - RIO TOROPI	2765.0	1445	55.05	59.44	II
70	76120000	PONTE TOROPI - RIO TOROPI	3323.0	1521	65.55	73.47	II
71	76310000	ROSARIO DO SUL - RIO SANTA MARIA	12210.0	1376	208.08	239.45	II
72	76440000	JAGUARI - RIO JAGUARI	2339.0	1487	49.64	51.62	II
73	76460000	ERNESTO ALVES - RIO JAGUARIZINHO	921.0	1693	26.37	23.05	II
75	76490000	PASSO DO LORETO - RIO JAGUARI	4574.0	1528	104.47	100.19	II
76	76500000	JACAQUA - RIO IBICUI	27260.0	1413	481.87	527.61	II
77	76550000	PONTE MIRACATU - ARROIO MIRACATU	379.6	1563	10.15	9.31	II
78	76560000	MANUEL VIANA - RIO IBICUI	28820.0	1418	541.07	557.95	II
79	76650000	PASSO CACHOEIRA - RIO ITU	2451.0	1503	56.83	54.39	II
80	76700000	PASSO DOS BRITOS - RIO IBIRAPUITA	3089.0	1416	82.31	65.20	II
81	76742000	PASSO DO OSORIO - ARROIO CAVERA	1426.0	1424	31.11	31.14	II
82	76750000	ALEGRETE - RIO IBIRAPUITA	5776.0	1425	116.85	119.48	II
83	76800000	PASSO MARIANO PINTO - RIO IBICUI	35935.0	1435	806.91	695.41	II
84	77150000	URUGUAIANA - RIO URUGUAI	189300.0	1531	4368.13	3589.44	II
85	85080000	ESPUMOSO - RIO JACUI	2595.0	1671	63.77	61.05	III
86	85140000	PASSO BELA VISTA - RIO JACUI	4015.0	1671	103.82	92.93	III
87	85150000	PONTE IBIRUBA - ARROIO GRANDE	375.0	2018	10.05	9.56	III
88	85180000	PTE SANTO ANTONIO - RIO JACUI-MIRIM	715.0	1694	19.62	17.66	III
89	85220000	PASSO DO NOVO - RIO JACUI	6419.0	1786	149.87	146.40	III
90	85240000	PASSO DO INGAI - RIO INGAI	1019.0	1641	22.29	24.80	III
92	85340000	FAZ. DO CERVO - RIO IVAI	1693.0	1591	35.78	40.38	III
93	85360000	ITAUBA I - RIO JACUI	10200.0	1629	187.69	227.75	III
94	85380000	PASSO ESTRELA - RIO JACUIZINHO	1860.0	1610	41.28	44.23	III
95	85385000	VOLTA GRANDE I - RIO JACUI	12720.0	1400	285.15	279.88	III
96	85395000	VOLTA GRANDE II - RIO JACUI	13028.0	1400	328.98	286.40	III
98	85470000	PTE SAO GABRIEL - RIO VACACAI	997.0	1283	14.61	14.95	IV
99	85480000	PASSO DO BOCHA - RIO VACACAI	2987.0	1301	45.83	45.19	IV
100	85600000	PASSO DAS TUNAS - RIO VACACAI	6725.0	1340	86.03	102.44	IV
101	85620000	PULQUERIA - ARROIO SAO SEPE	620.0	1391	9.23	9.26	IV
102	85625000	SAO SEPE - ARROIO SAO SEPE	732.0	1393	12.31	10.95	IV

TABELA 4.3 - VAZOS MEDIAS - VARIÁVEIS UTILIZADAS NA REGIONALIZAÇÃO E VAZOS CALCULADAS

No	CODIGO DA ESTACAO	NOME DA ESTACAO E CURSO D'AGUA	AREA DA BACIA km ²	PRECIPITACAO ANUAL mm	VAZAO MEDIA m ³ /s	VAZAO CALCULADA m ³ /s	REGIAO HOMOGEN No
103	85780000	PASSO DO MEIO - RIO PARDO	2058.0	1668	25.46	31.04	IV
105	85850000	SANTA CRUZ - RIO PARDINHO	890.0	1700	15.14	13.33	IV
106	85900000	RIO PARDO - RIO JACUI	38103.0	1497	677.50	588.86	IV
107	86050000	CAMISAS - RIO CAMISAS	149.0	1479	3.03	3.22	V
108	86100000	PASSO DO GABRIEL - RIO DAS ANTAS	1722.0	1466	37.60	36.07	V
109	86120000	TAINHAS - RIO TAINHAS	202.0	1450	5.20	4.25	V
110	86160000	PASSO TAINHAS - RIO TAINHAS	1094.0	1495	22.22	23.55	V
111	86200000	LAJEADO GRANDE - LAJEADO GRANDE	344.0	1501	5.46	7.51	V
112	86410000	P. BARRA DA GUAIAVEIRA - RIO TURVO	2690.0	1546	62.05	59.85	V
113	86420000	PONTE DO PRATA - RIO DO PRATA	320.0	1607	8.36	7.59	V
114	86480000	PASSO MIGLIAVACA - RIO CARREIRO	1265.0	1509	30.43	27.51	V
115	86500000	PASSO CARREIRO - RIO CARREIRO	1819.0	1576	39.68	41.55	V
116	86510000	MUCUM - RIO TAQUARI	14942.0	1563	325.62	332.08	V
117	85580000	SANTA LUCIA - RIO GUAPORE	2413.0	1736	59.87	61.78	V
118	86700000	PONTE JACARE - ARROIO JACARE	408.0	1697	10.00	10.32	V
119	86745000	PASSO DO COIMBRA - RIO FORQUETA	799.0	1681	21.70	19.86	V
122	87380000	CAMPO BOM - RIO DOS SINOS	2821.0	1513	64.80	65.88	VI
123	87730000	PASSO DO MARINHEIRO - RIO CAMAQUA	9926.0	1416	164.89	220.54	VI
124	87905000	PASSO DO MENDONCA - RIO CAMAQUA	15485.0	1399	304.13	338.22	VI

Na tabela 4.4 são apresentadas as curvas adimensionais $F^*(p)$ das figuras 4.2 e 4.3. As funções $F_z(A,P)$ são as equações 4.8 a 4.12. A probabilidade p e o tempo de retorno Tr se relacionam através de $p = 1/Tr$.

TABELA 4.4 - CURVAS DE PROBABILIDADE ADIMENSIONAL - VAZÕES MÉDIAS

Tr anos	Qp / Qlp					
	REGIAO I	REGIAO II	REGIAO III	REGIAO IV	REGIAO V	REGIAO VI
1.03	0.38333	0.38610	0.35000	0.38707	0.35857	0.25000
1.14	0.58432	0.54330	0.52000	0.52782	0.60000	0.48291
1.38	0.79139	0.72613	0.74000	0.69418	0.72000	0.66048
1.85	0.92698	0.89006	0.87189	0.88363	0.90000	0.85590
2.66	1.07779	1.06322	1.10219	1.06766	1.10643	1.06000
4.01	1.21794	1.24313	1.25000	1.25744	1.25000	1.23577
6.27	1.35015	1.41000	1.47000	1.45384	1.37000	1.39866
10.00	1.52000	1.56000	1.67000	1.66220	1.52000	1.61102
16.15	1.75000	1.72072	1.84000	1.75000	1.64000	1.81205
26.29	1.88000	1.87014	2.08000	1.90000	1.78000	2.07000
43.02	2.03024	2.08000	2.28000	2.10000	1.90000	2.30000
70.61	2.26000	2.26000	-	2.28000	-	2.68000

Exemplo - Determine a vazão média com probabilidade de 5% (Tempo de retorno de 20 anos) de ser superada, num afluente do rio Ijuí com bacia de 266 km². A precipitação média desta bacia é de cerca de 1650 mm (figura 3.2).

solução-- A equação de regressão desta região é a equação 4.9, ou seja

$$Q_{lp} = 0,0227 \cdot (266)^{0,95} \cdot (1,650)^{0,05}$$

$$Q_{lp} = 6,85 \text{ m}^3/\text{s}$$

Da figura 4.2 ou tabela 4.4, para a região II e $p=0,05$, ou $Tr=20$ anos, obtém-se $Q_p/Q_{lp} = 1,78$.

A vazão estimada para $p=0,05$ fica

$$Q_p = 12 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.7 Análise dos resultados

A regionalização de vazões médias do Estado permitiu visualizar sua disponibilidade hídrica. Na tabela 4.5 foram sintetizados os valores de vazão média de longo período na forma de vazão específica. Pode-se observar que a região Norte do Estado apresenta uma alta vazão específica, reduzindo-se para o Sul, reflexo direto da distribuição de precipitação. No entanto, deve-se considerar que apesar da alta vazão específica no Norte do Estado, a variação ao longo do ano é grande devido à pequena capacidade de regularização dos aquíferos.

Os resultados foram obtidos utilizando dados de bacias, na sua maioria, acima de 300 km². Para bacias menores, a variação pode ser significativa. As limitações de resultados mais importante encontra-se na região que engloba as bacias de contribuição direta do Guaíba e Lagoas dos Patos e Mirim. Esta região não dispõe de dados com séries longas e com distribuição espacial aceitável o que limita os resultados obtidos para a mesma.

Tabela 4.5 - Vazão específica média no Rio Grande do Sul

REGIÃO	VAZÃO ESPECÍFICA (l/s.km ²)	
	Intervalo	médio
I - Alto Uruguai	19,6 - 27,7	24,0
II - Médio Uruguai	21,0 - 29,5	24,0
III- Alto Jacui	22,3 - 28,9	24,4
IV - Médio Jacui e Vacacai	14,0 - 15,0	14,5
V - Taquari	16,2 - 29,7	23,3

5 - REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÁXIMAS

5.1 - Vazões máximas

A variação do nível ou vazão de um rio depende das características climatológicas e físicas da bacia hidrográfica. As principais características climatológicas são a distribuição temporal e espacial da precipitação e evaporação. Estas variáveis podem ser previstas, em termos reais, somente com antecedência de poucos dias ou horas, o que não permite a previsão dos níveis de enchentes com antecipação muito grande. O tempo máximo possível de previsão antecipada da cheia após a ocorrência da precipitação é limitado pelo tempo médio de deslocamento da água na bacia até a seção de interesse.

A previsão de vazão máxima num rio pode ser realizada a curto ou a longo prazo. A previsão de cheia a curto prazo, também chamada de previsão em tempo real, permite estabelecer a vazão máxima e seu tempo de ocorrência para uma seção de um rio com antecedência que depende da previsão da precipitação e dos deslocamentos da cheia na bacia. Este tipo de previsão é utilizado para alertar a população ribeirinha e operadores de obras hidráulicas. A previsão a longo prazo quantifica as chances de ocorrência da inundação em termos estatísticos, sem precisar quando ocorrerá a cheia. Este tipo de previsão se baseia na estatística de ocorrência de vazões no passado e permite estabelecer as vazões máximas para os riscos escolhidos.

Nos estudos correntes em Hidrologia, para projeto de obras hidráulicas, são utilizadas a vazão máxima com um determinado risco e/ou o hidrograma de projeto. A vazão máxima representa o maior valor com um risco escolhido, enquanto que o hidrograma de projeto é um hidrograma hipotético que coloca junto o volume máximo e a vazão máxima. O hidrograma de projeto é utilizado quando o volume de água é importante na definição das características de uma obra hidráulica, como no caso de reservatórios.

Neste estudo, a regionalização da vazão máxima envolve a estimativa regional do valor extremo com uma probabilidade escolhida. Deve-se interpretar que Q_p é a vazão máxima com probabilidade p de ser ultrapassada num ano qualquer.

5.2 Regionalização da vazão máxima

A regionalização da vazão máxima segue os mesmos passos globais da metodologia utilizada para a vazão média, ou seja:

- a) curva adimensional de probabilidade de vazões máximas anuais;
- b) regressão entre a vazão média de cheia e características físicas e climatológicas das bacias. A vazão média de cheia é definida como a média das vazões máximas anuais.

Estas funções são regionalizadas através de sub-regiões homogêneas com base na análise do resíduo da equação de regressão e na tendência das curvas adimensionais.

5.3 Curva de probabilidade de vazões máximas

O risco de ocorrência das vazões de enchente é obtido através das curvas de frequência. Esta curva relaciona a vazão máxima e a probabilidade citada. O tempo de retorno Tr é o intervalo médio, geralmente expresso em anos, entre a ocorrência de uma cheia, com determinada magnitude, e outra de igual ou maior valor. O tempo de retorno é obtido pelo inverso da probabilidade

$$Tr = \frac{1}{p} \quad (5.1)$$

A probabilidade ou o risco se refere a chance de ocorrência num ano qualquer. A probabilidade de que esta inundação de tempo de retorno Tr e probabilidade p seja maior ou igual a este valor é

$$P_n = 1 - (1 - 1/Tr)^n \quad (5.2)$$

A curva de probabilidade é obtida pelo ajuste de uma distribuição teórica ou empírica.

No caso específico da regionalização são estabelecidas as curvas de probabilidade empíricas dos postos selecionados. Este procedimento se baseia na ordenação das vazões de forma decrescente e cálculo da probabilidade com base na seguinte equação de posição de plotagem

$$p (Q \geq Q^*) = \frac{i - 0,44}{N + 0,12} \quad (5.3)$$

onde p = probabilidade da vazão Q^* ser igualada ou superada

i = a ordem da vazão Q^* ;

N = tamanho da amostra.

As vazões da curva empírica de probabilidades são adimensionalizadas com base na vazão média de cheia, definida por

$$Q_{mc} = \frac{\sum Q_i}{N} \quad (5.4)$$

onde Q_i são as vazões máximas anuais. Portanto a distribuição empírica relaciona Q/Q_{mc} e p .

A regionalização destas curvas consiste na superposição das curvas adimensionais segundo regiões homogêneas, obtendo-se uma curva média para a região. O cálculo da curva média é obtido pelo seguinte procedimento:

- Transformando a probabilidade p na variável reduzida da distribuição de extremos tipo I (Gumbel) y , ou seja

$$y = - \ln [- \ln (1 - p)] \quad (5.5)$$

- Classificando todas as vazões adimensionais dos diferentes postos de acordo com o valor de y em intervalos e classe da variável y ou seja $(-3,5, -3,0)$; $(-3,0, -2,5)$ A vazão adimensional média de todos os valores do intervalo é plotada com o valor médio de y do intervalo.

5.4 Regressão da vazão média de cheia

As mesmas variáveis utilizadas na regressão da vazão média de longo período foram utilizadas na regressão com a vazão média de cheia. A equação adotada é a mesma utilizada anteriormente na regionalização de vazões médias, sendo que as características físicas e climáticas que apresentaram melhor regressão variaram de acordo com a correlação de cada região.

5.5 Resultados da regionalização

As vazões máximas anuais foram selecionadas com base nos dados dos postos da região (capítulo 3). Neste caso adotou-se o ano civil (de janeiro a dezembro) para seleção destes valores máximos. No anexo C1 são apresentadas as vazões máximas anuais de cada posto.

Os critérios para definição das regiões foram os mesmos utilizados para as vazões médias, ou seja, tendência das curvas adimensionais e regressão da vazão máxima. Da mesma forma que para as vazões médias, inicialmente procurou-se agrupar os postos com base na classificação DNAEE e verificar as tendências referidas. A seguir procurou-se agrupar os postos para reduzir o número de regiões. As regiões obtidas foram as mesmas já definidas anteriormente para as vazões médias (figura 4.1 e tabela 4.2).

Curva adimensional de probabilidades: No anexo C2 são apresentados os pontos e ajuste da curva média de cada região. Pode-se observar que existe grande dispersão na parte superior das curvas de frequência. Isto se deve, principalmente, ao tamanho não representativo das séries, o que cria tendenciosidade na

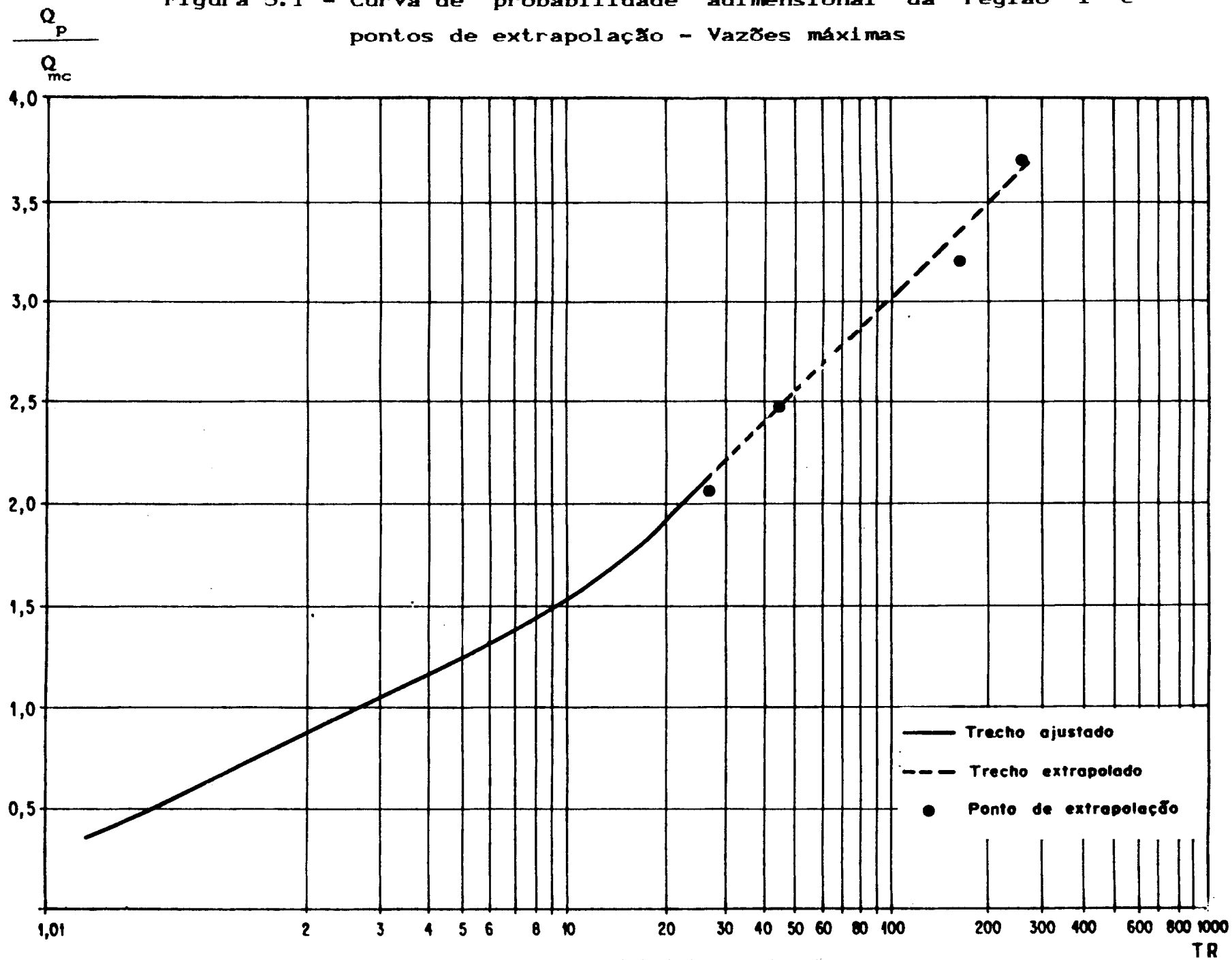
estimativa da probabilidade da distribuição empírica, criando a flutuação dos pontos. IPH (1985) mostra que, utilizando o preenchimento das séries curtas, pode-se reduzir a flutuação dos pontos médios, mas a curva média resultante é a mesma obtida sem o preenchimento.

A extrapolação das curvas de frequências adimensionais seguiu o seguinte procedimento (NERC, 1975):

- Para cada região foram determinados os coeficientes de correlação entre todos os postos;
- Procurou-se reunir os postos que apresentassem um pequeno coeficiente de correlação entre si, formando cerca de 4 a 7 grupos de postos;
- Considerando que os postos são pouco correlacionáveis, o tamanho da série é igual ao somatório de todos os anos de todos os postos, M . Sendo assim selecionando os cinco maiores valores de cada grupo e atribuindo a estes valores o primeiro de uma série de M valores, a probabilidade e o tempo de retorno são calculados pelas equações 5.3 e 5.1. Reunindo todos os valores dos diferentes grupos por intervalos de y , variável reduzida da distribuição Gumbel, obtem-se o valor médio de Q/Q_{mc} para cada intervalo médio de y . O intervalo de y é espaçado em função dos valores obtidos.
- Desta forma resultam cerca de 4 a 5 cinco pontos para extrapolar a curva regional até tempos de retorno de 200 anos, dando maior confiabilidade à mesma.

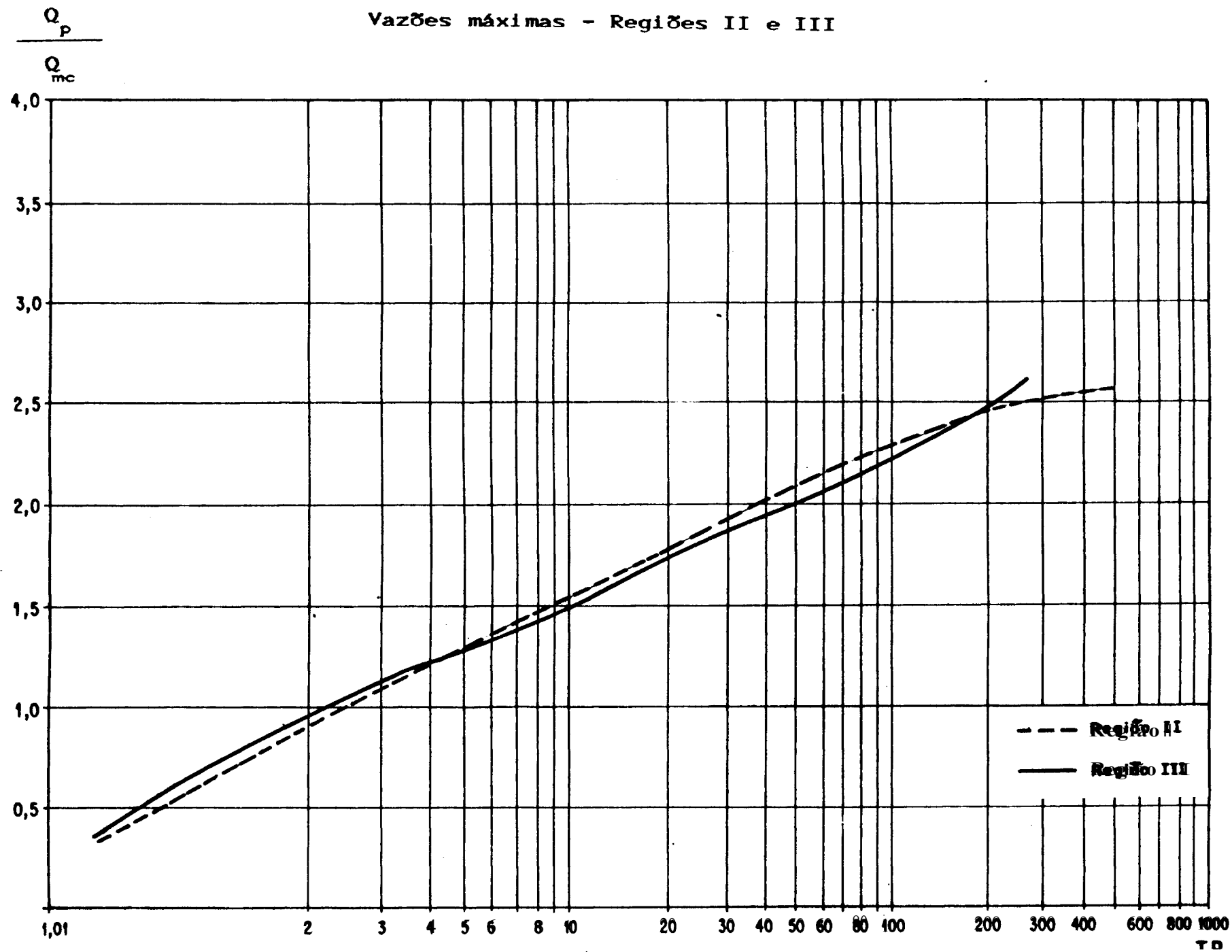
Na figura 5.1 é apresentada a curva média obtida e os pontos de extrapolação da região I. Nesta curva o trecho extrapolado, além da faixa de extrapolação descrita, é representado por linha tracejada. No anexo C3 são apresentados os resultados da extrapolação para todas as regiões. Nas figuras 5.2 e 5.3 são apresentadas as curvas médias obtidas para as regiões II a VI.

Figura 5.1 - Curva de probabilidade adimensional da região I e pontos de extrapolação - Vazões máximas



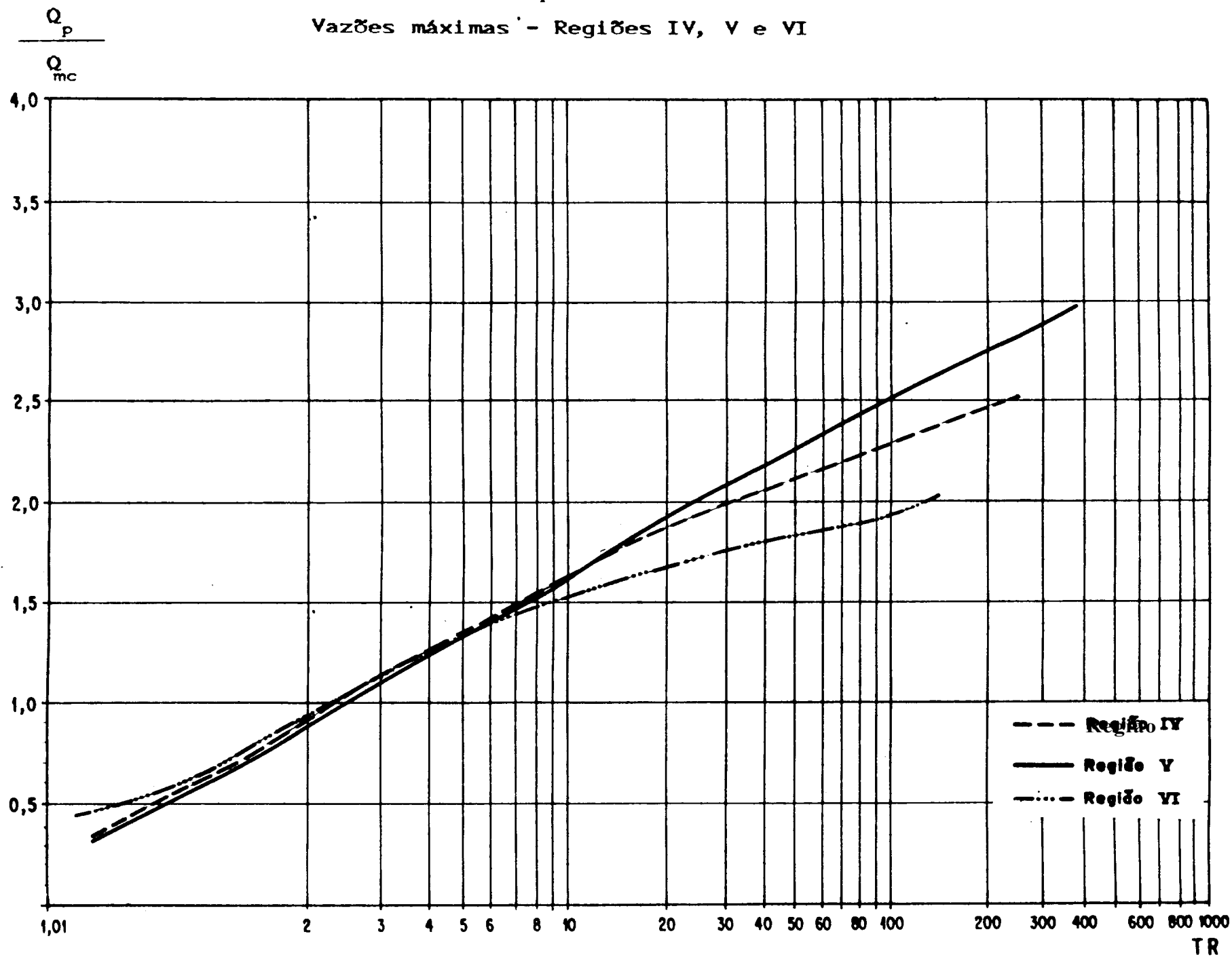
BIBLIOTECA I. M. S. 010110

Figura 5.2 - Curvas de probabilidade adimensional
Vazões máximas - Regiões II e III



60

Figura 5.3 - Curvas de probabilidade adimensional
 Vazões máximas - Regiões IV, V e VI



34

Equações de regressão- As melhores equações de regressão foram obtidas pela combinação de todas as variáveis independentes, e a equação escolhida para cada região baseou-se naquela que tivesse o maior coeficiente de determinação não-tendencioso. As equações de cada região são apresentadas a seguir. Para as mesmas, a vazão média de cheia (Q_{mc}) é obtida em m^3/s , A é a Área de drenagem informada em km^2 , P é a precipitação média anual, em m , L é o comprimento do rio principal em km , S é a declividade média do rio em m/km e D é o número de confluências no mapa em escala 1:250000. Este último fator pode ficar distorcido para bacias muito pequenas e, neste caso, sugerimos utilizar alternativamente a equação seguinte, em que este fator não está envolvido.

REGIÃO I - ALTO URUGUAI

$$Q_{mc} = 0,054 A^{0,69} L^{0,71} S^{0,62} \quad (5.6)$$

$$R^2 = 0,9074 \quad of = 1,577$$

REGIÃO II - MÉDIO URUGUAI

$$Q_{mc} = 0,451 A^{0,89} P^{0,38} S^{0,35} \quad (5.7)$$

$$R^2 = 0,9130 \quad of = 1,431$$

REGIÃO III - ALTO JACUÍ

$$Q_{mc} = 0,018 A^{1,98} D^{-0,96} \quad (5.8a)$$

$$R^2 = 0,9601 \quad of = 1,322$$

Equação alternativa:

$$Q_{mc} = 0,038 A^{0,14} L^{1,70} \quad (5.8b)$$

$$R^2 = 0,94 \quad of = 1,395$$

REGIÃO IV - MÉDIO JACUÍ E VACACAI

$$Q_{mc} = 4,50 A^{0,69} P^{-2,25} \quad (5.9)$$

$$R^2 = 0,9171 \quad of = 1,425$$

REGIÃO V - RIO TAQUARI

$$\begin{aligned} Q_{mc} &= 0,112 A^{1,11} S^{0,42} \\ R^2 &= 0,9574 \quad \sigma = 1,365 \end{aligned} \quad (5.10)$$

REGIÃO VI- RIO GUAÍBA E LAGOAS

O número de postos é reduzido. As regressões obtidas com base em outras regiões não se mostraram confiáveis para os valores disponíveis nesta região.

Na tabela 5.1 são apresentados, para cada posto selecionado, os valores das variáveis que foram utilizados na regionalização, bem como a vazão calculada através das equações de regressão obtidas. Deve-se observar que alguns postos foram eliminados por apresentarem anomalias (séries muito curtas, com tendenciosidades ou outros problemas).

5.6 Estimativa da vazão máxima

A vazão máxima é obtida, para uma bacia sem dados, pelo uso da equação adimensional de probabilidades e da equação de regressão, ou seja

$$\frac{Q_p}{Q_{mc}} = F_1 (p) \quad (5.11)$$

$$Q_{mc} = F_2 (A, P, S, \dots)$$

Com base nas características físicas da bacia, A, P, S..., (A=área; P=precipitação; S= declividade) determina-se a vazão média de cheia Q_{mc} e com a probabilidade p escolhida pelo usuário determina-se Q_p/Q_{mc} . A vazão desejada é

$$Q_p = Q_p/Q_{mc} \cdot Q_{mc} \quad (5.12)$$

TABELA 5.1 - VAZÕES MÁXIMAS - VARIÁVEIS UTILIZADAS NA REGIONALIZAÇÃO E VAZÕES CALCULADAS

No	CÓDIGO DA ESTACAO	NOME DA ESTACAO E CURSO D'AGUA	ÁREA DA PRECIPITACAO		COMPRIMENTO	DECLIVIDADE	NÚMERO DE CONFLUÊNCIAS	VAZÃO MÁXIMA	VAZÃO CALCULADA	REGIÃO HOMOGEN
			km ²	cm	m/km	%		m ³ /s	m ³ /s	No
1	70100000	DESPLAÇADO - RIO PELOTAS	526.5	1754	55.0	6.73	86	311.98	210.21	I
2	70200000	INVERNADA VELHA - RIO PELOTAS	2816.4	1465	191.0	3.04	343	1212.02	965.78	I
3	70300000	FAZ. MINEIRA - RIO LAVA TUDO	1147.0	1452	68.0	6.45	140	565.35	403.20	I
4	70400000	USINA TOUROS - RIO DOS TOUROS	244.0	1467	26.5	8.14	34	34.89	83.77	I
5	70500000	COXILHA BICA - RIO PELOTINHAS	638.6	1568	64.0	4.26	60	351.99	200.88	I
6	70700000	PASSO SOCORRO - RIO PELOTAS	8365.0	1534	222.8	2.74	981	2120.66	2110.98	I
7	71200000	VILA CANOAS - RIO CANOAS	978.5	1667	105.0	1.94	82	191.91	233.86	I
8	71250000	PTE RIO JOAO PAULO - RIO JOAO PAULO	499.6	1516	50.0	4.55	46	94.15	148.78	I
9	71300000	RIO BONITO - RIO CANOAS	1971.8	1516	130.0	1.33	165	228.36	346.03	I
10	71350000	ENCRUZILHADA - RIO CANOAS	2980.0	1489	211.0	0.47	362	354.56	338.45	I
11	71383000	PTE ALTA DO SUL - RIO CANOAS	4783.0	1484	342.5	0.28	454	461.24	476.67	I
12	71385000	PTE DO RIO ANTINHAS - RIO ANTINHAS	41.0	1448	5.0	18.18	2	7.82	12.64	I
13	71490000	FONTE MAROMBAS - RIO MAROMBAS	374.0	1465	52.5	3.88	15	94.65	114.68	I
14	71496000	PTE DO RIO CORRENTES - RIO CORRENTES	643.0	1474	64.5	4.27	23	69.93	203.23	I
15	71498000	PASSO MAROMBAS - RIO MAROMBAS	3722.0	1459	113.5	2.31	162	659.65	680.58	I
16	71550000	PASSO CARU - RIO CANOAS	10071.0	1488	461.5	0.46	705	1737.98	1326.21	I
17	71800000	COLONIA SANTANA - RIO CANOAS	13225.0	1469	520.0	0.50	888	1821.14	1827.72	I
18	72300000	PASSO DO VIRGILIO - RIO PELOTAS	29619.0	1477	636.5	0.86	2867	4741.32	5096.49	I
19	72400000	PASSO SAO GERALDO - RIO PORQUILHA	1434.0	1752	79.5	2.03	190	417.02	255.87	I
20	72430000	PASSO DO GRANZOTTO - RIO PORQUILHA	1683.0	1769	97.5	1.79	241	335.45	304.80	I
21	72580000	PTE DO RIO TAPEJARA - RIO TAPEJARA	1022.0	1662	75.0	5.87	108	445.02	377.00	I
22	72630000	PASSO SANTA TEREZA - RIO LIGEIRO	2783.0	1703	128.0	2.45	352	889.80	631.22	I
23	72680000	PASSO COLOMBELLI - RIO LIGEIRO	3627.0	1734	160.5	1.80	470	1059.78	732.28	I
25	72870000	BARRA DO RIO PARDO - RIO LEAO	454.0	1641	82.0	5.51	90	243.09	222.88	I
29	73300000	BONITO - RIO IRANI	630.0	1932	84.0	5.71	27	221.21	289.37	I
30	73330000	PASSO ALTO IRANI - RIO IRANI	900.0	1997	120.0	4.33	32	467.37	399.56	I
31	73400000	JOSE BONIFACIO - RIO PASSO FUNDO	1763.0	1747	106.0	1.24	171	179.85	265.80	I
32	73420000	PASSO FUNDO 1 - RIO PASSO FUNDO	2157.0	1632	131.5	1.05	172	190.10	320.19	I
33	73480000	PTE RIO PASSO FUNDO - R. PASSO FUNDO	3650.0	1724	175.0	1.26	287	752.91	626.78	I
34	73550000	PASSO CAXAMBU - RIO URUGUAI	52671.0	1509	711.0	1.32	1580	9129.44	10616.85	I
39	73765000	PASSO QUILOMBO - RIO DO OURO	257.5	1969	35.0	6.84	2	394.00	94.98	I
41	73900000	SAUDADES - RIO SAUDADES	445.0	1724	40.0	7.58	18	192.33	161.17	I
24	72818000	TANGARA - RIO DO PEIXE	2058.0	1641	126.4	3.31		776.60	614.52	I
26	72980000	RIO URUGUAI - RIO DO PEIXE	5239.0	1444	224.2	3.25		1810.02	1716.83	I
27	73010000	MARCELINO RAMOS - RIO URUGUAI	41267.0	1553	683.0	0.93		7944.86	7040.12	I
28	73200000	ITA - RIO URUGUAI	43901.0	1542	791.0	0.91		8504.82	8036.71	I
35	73600000	ABELARDO LUZ - RIO CHAPECO	1850.0	2190	192.6	2.85		550.11	702.18	I
36	73610000	FONTE SAUDADES - RIO SAUDADES	702.0	1956	71.6	4.91		569.41	253.23	I
37	73730000	PORTO BLVINO - RIO CHAPECO	5239.0	2112	301.7	3.30		1564.18	2138.71	I
38	73750000	PORTO FAE - RIO CHAPECO	5528.0	2125	320.5	3.32		1526.30	2323.62	I
40	73850000	PASSO NOVA BRÉCHIM - RIO CHAPECO	7535.0	2064	362.2	2.99		2226.67	2928.91	I
42	73960000	BARRA DO CHAPECO AUX. - RIO CHAPECO	8267.0	2021	420.2	2.69		2431.73	3244.85	I
43	74100000	IRAI - RIO URUGUAI	62199.0	1837	800.0	1.03	1850	10403.59	9954.35	II
44	74205000	LINHA CESCON - CATURETE	442	1711	42.5	5.1	11	181.15	214.20	II
45	74270000	PASSO RIO DA VARZEA - RIO DA VARZEA	5298	1674	343.5	0.9	222	1875.50	1037.69	II
46	74295000	LINHA JATAI - RIO ITACEMA	328	1724	68.5	5.05	3	170.31	164.43	II
47	74310000	LINHA POLACA - RIO DAS ANTAS	902.0	1851	78.5	4.60	25	445.29	399.87	II
48	74320000	PTE DO RIO SARGENTO - RIO SARGENTO	604.0	1851	62.5	9.96	19	431.08	368.13	II
49	74370000	PALMITINHO - RIO GUARITA	2008.0	1775	158.5	2.54	53	652.71	648.10	II
50	74460000	PTE DO RIO TURVO - RIO TURVO	536.0	1723	195.0	0.47	15	62.05	110.01	II

TABELA 5.1 - VAZÕES MÁXIMAS - VARIÁVEIS UTILIZADAS NA REGIONALIZAÇÃO E VAZÕES CALCULADAS

No	CODIGO DA ESTACAO	NOME DA ESTACAO E CURSO D'AGUA	AREA DA	PRECIPITACAO	COMPRIMENTO	DECLIVIDADE	NUMERO DE	VAZAO	VAZAO	REGIAO
			BACIA	ANUAL	RIO PRINCIPAL	RIO PRINCIPAL	CONFLUENCIAS	MAXIMA	CALCULADA	HOMOGEN
			km2	mm	m/km	km	No	m3/s	m3/s	No
51	74470000	TRES PASSOS - RIO TURVO	1545.0	1725	292.5	0.98	44	465.41	363.61	II
52	74600000	CASCATA BURICA - RIO BURICA	2201.0	1722	151.5	1.74	113	607.17	608.25	II
53	74700000	TUCUNDUVA - RIO SANTA ROSA	1113.0	1451	116.0	1.38	56	258.78	287.54	II
54	74750000	LINHA CASCATA - RIO SANTO CRISTO	355.0	1395	40.0	3.93	16	159.26	149.06	II
55	74880000	PASSO SAO JOAO - RIO COMANDAI	822.0	1684	106.0	1.83	64	210.49	256.93	II
56	74900000	LINHA UNIAO - RIO COMANDAI	1240.0	1690	154.5	1.42	100	395.13	338.47	II
57	75155000	PASSO FAXINAL - RIO IJUI	1951.0	1758	93.0	2.17	113	378.60	595.56	II
58	75185000	PTE NOVA DO POTIRIBU - RIO POTIRIBU	593.0	1729	66.5	1.64	79	119.25	187.04	II
59	75200000	CONCEICAO - RIO CONCEICAO	609.0	1729	68.0	1.95	158	176.32	203.53	II
60	75205000	PTE NOVA DO CONCEICAO - R. CONCEICAO	784.0	1729	75.0	1.83	172	200.59	248.85	II
61	75230000	SANTO ANGELO - RIO IJUI	5050.0	1714	233.0	1.07	453	808.44	1066.53	II
62	75270000	PONTE QUEIMADA - RIO IJUIZINHO	867.0	1729	57.5	1.14	206	366.39	230.26	II
63	75295000	COLONIA MOUSQUER - RIO IJUIZINHO	2005.0	1632	158.0	1.25	348	555.86	488.53	II
64	75320000	PONTE MISTICA - RIO IJUI	9030.0	1700	358.5	0.75	937	1447.88	1568.68	II
65	75400000	PASSO DOS DIAS - RIO PIRATINIM	915.0	1604	60.0	6.15	83	602.06	424.99	II
66	75450000	PASSO SANTA MARIA - RIO PIRATINIM	3174.0	1675	162.5	0.99	270	1124.99	682.24	II
67	75500000	PASSO DO SARMENTO - RIO PIRATINIM	5146.0	1706	286.5	0.61	417	1086.71	888.19	II
68	75700000	PASSO DO NOVO - RIO ICAMAQUA	3724.0	1659	165.0	1.35	324	408.20	873.34	II
69	76100000	VILA CLARA - RIO TOROPI	2765.0	1445	105.5	3.61	300	902.25	900.77	II
70	76120000	PONTE TOROPI - RIO TOROPI	3323.0	1521	134.2	2.39	375	681.83	934.44	II
71	76310000	ROSARIO DO SUL - RIO SANTA MARIA	12210.0	1376	192.5	0.40	681	1799.67	1515.98	II
73	76460000	ERNESTO ALVES - RIO JAGUARIZINHO	921.0	1693	58.0	3.11	83	938.28	343.13	II
75	76490000	PASSO DO LORETO - RIO JAGUARI	4574.0	1528	208.5	2.05	472	1026.12	1176.44	II
76	76500000	JACAQUA - RIO IBICUI	27260.0	1413	256.5	0.40	2287	2283.42	3115.63	II
77	76550000	PONTE MIRACATU - ARROIO MIRACATU	379.6	1563	28.0	4.68	54	98.38	175.54	II
78	76560000	MANUEL VIANA - RIO IBICUI	28820.0	1418	293.5	0.29	2570	2759.28	2926.33	II
79	76650000	PASSO CACHOEIRA - RIO ITU	2451.0	1503	125.0	1.14	272	613.29	547.62	II
80	76700000	PASSO DOS BRITOS - RIO IBIRAPUITA	3089.0	1416	147.5	0.64	108	554.81	536.17	II
81	76742000	PASSO DO OSORIO - ARROIO CAVERA	1426.0	1424	94.0	0.80	90	388.48	293.38	II
82	76750000	ALEGRETE - RIO IBIRAPUITA	5776.0	1425	182.5	0.50	245	976.63	857.04	II
83	76800000	PASSO MARIANO PINTO - RIO IBICUI	35395.0	1435	493.5	0.19	2760	3901.62	3037.72	II
84	77150000	URUGUAIANA - RIO URUGUAI	189300.0	1531	1732.5	0.60		15808.10	20562.75	II
85	85080000	ESPUMOSO - RIO JACUI	2595.0	1671	140.0	1.54	237	588.35	530.36	III
86	85140000	PASSO BELA VISTA - RIO JACUI	4015.0	1671	153.0	1.31	389	887.59	781.44	III
87	85150000	PONTE IBIRUBA - ARROIO GRANDE	375.0	2018	47.5	2.56	33	58.44	76.72	III
88	85180000	PTE SANTO ANTONIO - RIO JACUI-MIRIM	715.0	1694	86.0	1.58	53	168.06	174.46	III
89	85200000	PASSO DO NOVO - RIO JACUI	6419.0	1786	183.0	1.16	643	901.07	1220.21	III
90	85240000	PASSO DO INGAI - RIO INGAI	1019.0	1641	75.5	2.08	175	91.31	111.72	III
92	85340000	FAZ. DO CERVO - RIO IVAI	1693.0	1591	90.0	1.83	237	365.11	227.91	III
93	85360000	ITAUBA I - RIO JACUI	10200.0	1629	262.5	1.45	1142	1246.33	1757.12	III
94	85380000	PASSO ESTRELA - RIO JACUIZINHO	1860.0	1610	122.5	3.71	144	534.62	442.81	III
95	85385000	VOLTA GRANDE I - RIO JACUI	12720.0	1400	295.0	1.57	1315	2307.34	2374.84	III
96	85395000	VOLTA GRANDE II - RIO JACUI	13028.0	1400	315.0	1.57	1327	2777.17	2468.30	III
98	85470000	PTE SAO GABRIEL - RIO VACACAI	997.0	1283	77.5	1.96	60	356.64	303.05	IV
99	85480000	PASSO DO ROCHA - RIO VACACAI	2987.0	1301	127.5	0.81	154	456.72	626.93	IV
100	85600000	PASSO DAS TUNAS - RIO VACACAI	6725.0	1340	285.0	0.46	413	719.83	1027.80	IV
101	85620000	PULQUERIA - ARROIO SAO SEPE	620.0	1391	75.0	2.50	27	261.36	181.91	IV
102	85625000	SAO SEPE - ARROIO SAO SEPE	732.0	1393	77.5	2.41	30	210.36	203.37	IV

TABELA 5.1 - VAZÕES MÁXIMAS - VARIÁVEIS UTILIZADAS NA REGIONALIZAÇÃO E VAZÕES CALCULADAS

N ^o	CODIGO DA ESTACAO	NOME DA ESTACAO E CURSO D'AGUA	AREA DA PRECIPITACAO		COMPRIMENTO RIO PRINCIPAL	DECLIVIDADE RIO PRINCIPAL	NUMERO DE CONFLUENCIAS	VAZAO MAXIMA	VAZAO CALCULADA	REGIAO HOMOGEN
			ha2	mm						
103	85780000	PASSO DO MEIO - RIO PARDO	2058.0	1668	135.0	1.41	123	205.83	276.86	IV
104	85850000	SANTA CRUZ - RIO PARDINHO	890.0	1700	75.0	5.65	56	151.37	148.61	IV
105	85900000	RIO PARDO - RIO JACUI	38103.0	1497	393.5	0.76	2553	3927.84	2655.16	IV
107	86050000	CAMISAS - RIO CAMISAS	149.0	1479	17.0	7.10	5	38.33	65.51	V
109	86100000	PASSO DO GABRIEL - RIO DAS ANTAS	1722.0	1466	97.5	3.50	154	755.95	733.29	V
109	86120000	TAINHAS - RIO TAINHAS	202.0	1450	19.5	2.20	20	67.27	56.04	V
110	86160000	PASSO TAINHAS - RIO TAINHAS	1094.0	1495	83.5	3.60	124	484.56	448.74	V
111	86200000	LAJEADO GRANDE - LAJEADO GRANDE	344.0	1501	28.0	2.80	26	101.81	111.93	V
112	86410000	P.BARRA DA GUAIABEIRA - RIO TURVO	2690.0	1546	122.5	4.50	345	954.61	1336.72	V
113	86420000	PONTE DO PRATA - RIO DO PRATA	320.0	1607	40.0	3.20	32	96.11	109.28	V
114	86480000	PASSO MIGLIAVACA - RIO CARREIRO	1265.0	1509	72.5	4.10	142	541.67	556.83	V
115	86500000	PASSO CARREIRO - RIO CARREIRO	1819.0	1576	179.0	2.10	184	830.18	628.33	V
116	86510000	MUCUM - RIO TAQUARI	14942.0	1563	366.0	2.41	1493	5576.19	6876.73	V
117	85580000	SANTA LUCIA - RIO GUAPORE	2413.0	1736	181.0	3.09	287	1025.87	1011.42	V
118	86700000	PONTE JACARE - ARROIO JACARE	408.0	1697	42.5	12.36	25	294.79	252.81	V
119	86745000	PASSO DO COIMBRA - RIO FORQUETA	799.0	1681	95.0	6.73	73	748.76	412.26	V

Na tabela 5.2 são apresentadas as curvas adimensionais $F_1(p)$ das figuras 5.1, 5.2 e 5.3. As funções $F_2(A, P, S, \dots)$ são as equações 5.6 a 5.10. Os diferentes procedimentos alternativos do uso das equações de regressão e da curva de probabilidade são descritos no Manual do Usuário.

TABELA 5.2 - CURVAS DE PROBABILIDADE ADIMENSIONAL - VAZÕES MÁXIMAS

Tr anos	Qp / Qmc					
	REGIAO I	REGIAO II	REGIAO III	REGIAO IV	REGIAO V	REGIAO VI
1.03	0.35453	0.35833	0.38233	0.34533	0.31839	0.45946
1.14	0.51103	0.52960	0.59878	0.52000	0.50405	0.57194
1.38	0.69430	0.72639	0.78000	0.68217	0.66909	0.73000
1.85	0.86000	0.90801	0.92000	0.89653	0.86274	0.90000
2.66	1.03000	1.07426	1.10000	1.11237	1.06358	1.08000
4.01	1.20796	1.24913	1.25431	1.28000	1.25063	1.26673
6.27	1.36236	1.40990	1.38323	1.46623	1.46000	1.41803
10.00	1.55207	1.57000	1.53000	1.62740	1.64000	1.53000
16.15	1.80200	1.74000	1.70000	1.80000	1.83000	1.64000
26.29	2.18000	1.90000	1.84240	1.93000	2.04000	1.72000
43.02	-	2.06000	2.00000	-	2.20000	1.80000
70.61	-	2.21000	2.15000	-	2.37450	1.86000

5.7 Vazão máxima instantânea

A vazão máxima obtida na regionalização está próxima da vazão máxima diária porque os dados utilizados dos postos são o maior valor de duas observações diárias. Nos projetos normalmente deseja-se conhecer a vazão máxima instantânea, que é o maior valor ocorrido. Com base em duas observações diárias a tendência é de subestimar a vazão máxima instantânea em bacias pequenas.

A diferença entre o máximo instantâneo e o máximo diário depende do tempo de concentração da bacia, ou seja, do tempo de resposta. Para bacias pequenas, o tempo de concentração é reduzido e responde com grandes gradientes de vazão e valores alto de pico. À medida que a bacia aumenta, o gradiente fica reduzido e a diferença entre a

vazão máxima instantânea (Q_{mx}) e a vazão máxima diária (Q_{md}) diminui. Outros fatores como a declividade e comprimento do rio, densidade de drenagem, intensidade e distribuição da precipitação influenciam na relação citada.

Fuller(1914) estabeleceu a relação entre Q_{mx} e Q_{md} , onde Q_{md} não ocorre necessariamente no mesmo dia. Na realidade, o autor estabeleceu a distribuição estatística das duas séries para obter a relação. Esta análise foi realizada para dados do rio Tohickson nos Estados Unidos, resultando na seguinte expressão:

$$K = \frac{Q_{mx}}{Q_{md}} = 1 + 2,66 \cdot A^{-0,3} \quad (5.13)$$

onde a área A é fornecida em km^2 .

Langbein (1944) analisou vários eventos e estabeleceu a relação entre Q_{mx} e Q_{md} com base nas vazões do dia anterior e do posterior ao pico. Este tipo de procedimento não atende as necessidades deste estudo. Gray (1970) relacionou os resultados de outros estudos apresentados por Ellis para algumas regiões dos Estados Unidos. Na tabela 5.3 são apresentadas os resultados apresentados por Gray (1970), Fuller (1914) e Correia (1983).

Tabela 5.3 Equações entre Q_{mx} e Q_{md} da literatura

Numero	Região	Equação	amostra
1	Rio Tohickson (Fuller)	$K=1 + 2,66 \cdot A^{*0,3}$	
2	M.Rochosas(Foothills) (Gray)	$K=3,9 A^{-0,22}$	60 - 300 mi^2
3	Cypress Hills (Gray)	$K=10 A^{-0,46}$	50 - 200 mi^2
4	Central Plains (Gray)	$K=11 A^{-0,36}$	45 - 255 mi^2
5	Manitoba Encarpment (Gray)	$K=3,7 A^{-0,38}$	15 - 50 mi^2
6	Portugal (Correia)	$K=1+1,2 A^{*0,036}$	4 - 3460 km^2

A em mi^2 ; A^* em km^2

Para obter equação semelhante foram levantados dados da região em estudo. Infelizmente o número de postos que dispunham de linígrafo é pequeno. Além disso, apresentaram inconsistências, como por exemplo, nível da régua maior que o valor do linígrafo. Sendo assim, procurou-se reunir dados de outras bacias fora da Região em estudo para permitir uma amostra aceitável. Os dados adicionados se referem às bacias do Rio Itajaí-Açu e Iguaçú que têm características semelhantes à região em estudo.

A relação entre as duas vazões mencionadas foi calculada para cada posto com cerca de 6 enchentes (os linígrafos são recentes). Na tabela 5.4 são apresentados os valores.

Tabela 5.4 Coeficiente K dos postos com dados de linígrafo e régua

Numero	POSTO	AREA km ²	K	N. EVENTOS
1	Rio Uruguai em Iraí	62199	1,03	4
2	Rio Canoas em Colonia Santana	13225	1,08	2
3	Rio Itajaí do Sul em Ituporanga	1774	1,21	6
4	Rio Hercílio em Ibirama	3314	1,10	6
5	Rio Itajaí-Açu em Apiuna	9242	1,08	6
6	Rio Itajaí-Açu em Blumenau	11803	1,03	6
7	Rio Iguaçú em Porto Amazonas	3362	1,10	6
8	Rio Jacuí em Passo Bela Vista	4015	1,08	5
9	Rio Pelotas em Invernada Velha	2816	1,36	6

Utilizando os dados da tabela 5.4 foi ajustada uma curva do tipo usado por Fuller, obtendo-se a seguinte expressão

$$\frac{Q_{mx}}{Q_{md}} = 1 + 15,03 A^{-0,50} \quad (5.14)$$

onde $R^2 = 0,64$. Os pontos e a curva são apresentados na figura 5.4.

Observa-se que o posto de Invernada Velha está fora da tendência. Retirando este dado, a equação de regressão fica

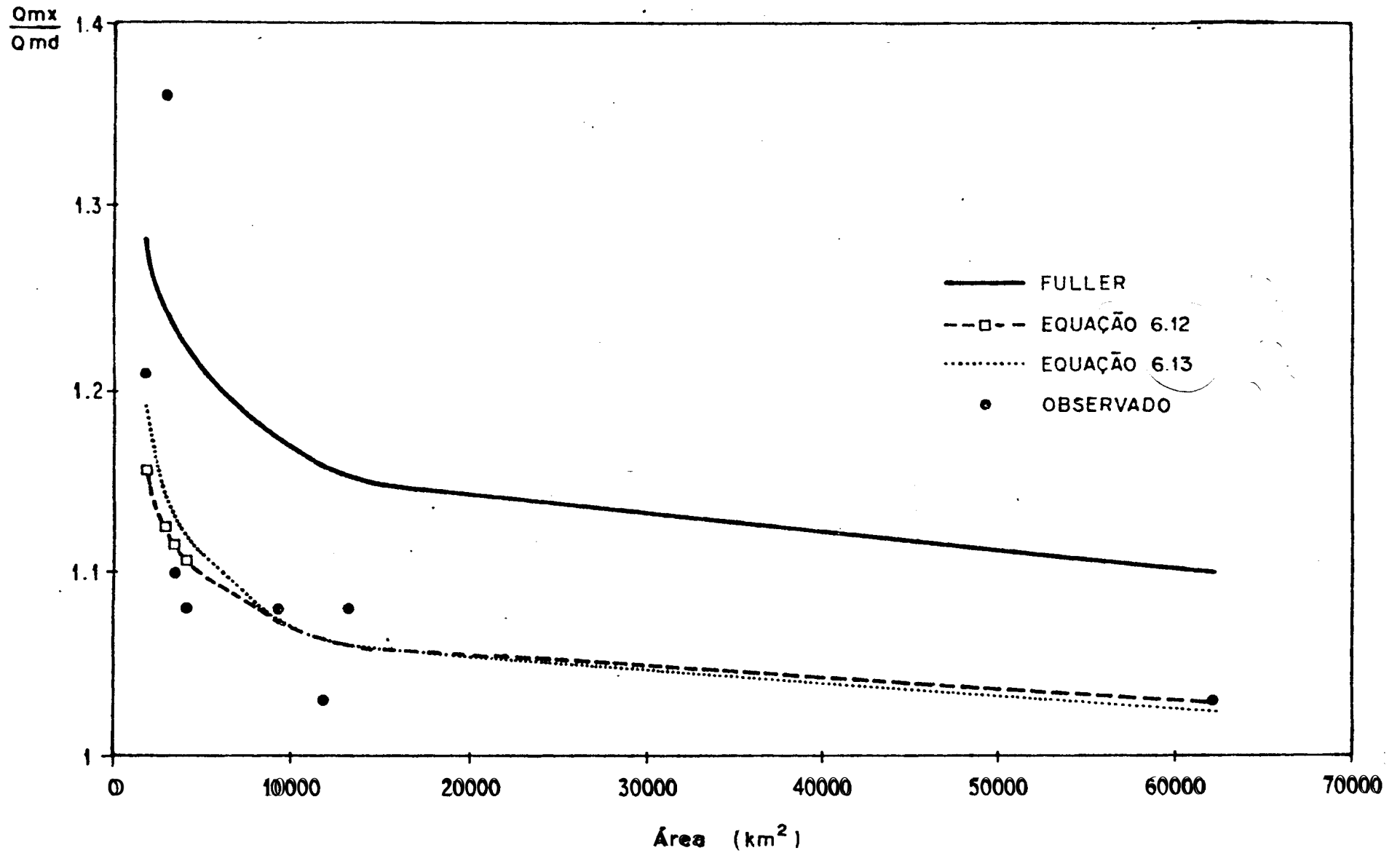
$$\frac{Q_{mx}}{Q_{md}} = 1 + 5,67 A^{-0,48} \quad (5.15)$$

onde $R^2 = 0,72$. Na figura 5.4 são apresentados os pontos e as curvas dadas pelas equações 5.15 e 5.14. A segunda equação tende a apresentar coeficientes menores para pequenas áreas. A limitação principal deste resultado é a falta de dados de postos de bacias pequenas onde estas equações serão mais utilizadas.

Para verificar a tendência destes pontos com as curvas obtidas para outra região com dados de pequenas bacias, na figura 5.4 foi apresentada a curva resultante do uso da equação de Fuller.

A relação entre a vazão instantânea e a vazão média depende de vários fatores, como mencionado anteriormente. As expressões apresentadas retratam esta relação somente com base na área da bacia, portanto, dentro das limitações encontradas e no estágio atual de disponibilidade de dados, sugere-se a utilização da equação 5.14 ou da 5.15. Destaca-se que a primeira, que parece ter mais compatibilidade regional, é mais conservadora do que a segunda, que pode gerar tendenciosidade se o posto Invernada Velha não tiver dados confiáveis.

Figura 5.4 - Relação entre área da bacia e Q_{mx}/Q_{md}



Exemplo- Determine a vazão máxima para uma sub-bacia do rio Vacacaí com 750 km², onde a precipitação média é de cerca de 1320 mm. O tempo de retorno escolhido é de 50 anos.

solução-- A equação de regressão desta região é a equação 5.9, ou seja

$$Q_{mc} = 4,5 \cdot (750)^{0,69} \cdot (1,320)^{-2,25}$$
$$Q_p = 233,45 \text{ m}^3/\text{s}$$

Da figura 5.3 ou tabela 5.2, para a região IV e Tr=50 anos, obtém-se $Q_p/Q_{mc} = 1,94$.

A vazão estimada para Tr=50 anos fica

$$Q_p = 453 \text{ m}^3/\text{s}$$

A vazão máxima instantânea para este tempo de retorno pode ser estimada utilizando-se a equação 5.14, ou seja,

$$Q_{mx} = 453 [1 + 15,03 (750)^{-0,58}]$$

$$Q_{mx} = 599,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

5.8 Análise dos resultados

A regionalização das vazões máximas explorou os dados existentes, mas apresenta ainda algumas limitações que de alguma forma ficam embutidas nos resultados finais obtidos. Essas limitações são as seguintes:

- A maioria dos postos apresentou grande extrapolação da curva-chave na sua parte superior;
- Existem poucos postos com linígrafos, portanto os dados utilizados se referem ao máximo de duas medidas diárias;
- Existem regiões como a afluyente às Lagoas e parte do Guaíba

que apresentam poucos dados, o que não permite uma estimativa das funções regionais com confiabilidade.

Os melhores resultados foram obtidos na parte superior do rio Uruguai, onde os dados são de melhor qualidade e existe um número razoável de postos fluviométricos, além de séries extensas.

6 - REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÍNIMAS

6.1 Vazões mínimas

As vazões mínimas no contexto deste capítulo se caracterizam pelos menores valores das séries anuais. A vazão mínima neste caso deve estar associada a uma duração t . Por exemplo, a vazão mínima de um ano qualquer com duração de 30 dias indica que é o menor valor do ano da vazão média de 30 dias consecutivos. Na prática pouca utilidade tem a vazão mínima de 1 dia. Normalmente durações maiores, como 7 dias ou 30 dias apresentam maior interesse ao usuário já que a sequência de vazões baixas é que representa um risco maior. Por exemplo, a vazão de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno é utilizada para estudos de qualidade água em rios.

A curva de probabilidade de vazões mínimas permite a estimativa do risco de que ocorram vazões menores que um valor escolhido. Esta curva de probabilidade é utilizada em estudos de qualidade da água, regularização de vazão para abastecimento d'água e irrigação, entre outros.

A metodologia utilizada para a regionalização da vazão mínima é semelhante à utilizada no capítulo 4 para vazões médias. A seguir são apresentadas as etapas dos procedimento utilizado.

6.2 Regionalização da vazão mínima

O procedimento para regionalização da vazão mínima com uma duração t consiste na determinação das duas funções seguintes: a) curva adimensional de probabilidades de vazões mínimas, adimensionalizada pela vazão mínima média de cada duração t , Q_{mt} ; b) equação de regressão de Q_{mt} função da duração t e das características físicas e climáticas das bacias.

As duas funções são estabelecidas para regiões hidrologicamente homogêneas de acordo com os resíduos da regressão e a tendência das

curvas adimensionais regionais. Estas funções permitem estimar a vazão mínima para uma bacia com dados escassos.

6.3 Curva de probabilidade de vazões mínimas

Inicialmente são definidas as durações para as quais os dados são selecionados. Para cada duração escolhida e para cada posto foram selecionados as menores vazões do ano definido pelos meses de julho a junho, desta forma evitando-se que ocorra dependência entre os valores anuais.

Com base nos valores selecionados são estabelecidas as curvas de probabilidade das vazões mínimas para cada posto e duração t . A curva de probabilidade de cada posto é estabelecida com base no método empírico, ou seja ordenando os valores de vazão em ordem crescente e utilizando a distribuição empírica

$$P = \frac{i - 0,4}{N + 0,2} \quad (6.1)$$

sendo que neste caso P representa o risco de ocorrer vazão menor ou igual a Q_i ; i a ordem das vazões e N o tamanho da série.

As curvas de probabilidades são adimensionalizadas pela sua média, ou seja a vazão média de cada posto e duração t , denominada de Q_{mt} .

6.4 Regressão da vazão mínima média de duração t

A regressão da vazão média mínima de duração t pode utilizar as seguintes variáveis independentes neste estudo:

- duração t ;
- área de drenagem A ;
- declividade do rio S ;
- precipitação anual P ;

- comprimento do rio L ;
- densidade de drenagem D .

A equação matemática utilizada é semelhante à equação 4.2, acrescentando-se a duração t como mais uma variável independente. O método de estimativa e os indicadores estatísticos são os mesmos utilizados no capítulo 4.

6.5 Resultados da regionalização

A vazão mínima utilizada em estudos hidrológicos depende da duração e do tempo de retorno. As durações utilizadas neste estudo foram as seguintes: 1, 3, 7, 15, 30, 60, 90, 180, 270 e 365 dias.

As vazões foram selecionadas com base nos seguintes critérios:

- ano definido de julho a junho;
- vazão mínima média na duração especificada.

As vazões selecionadas para cada posto, duração e ano são apresentadas no Anexo D1.

Os critérios para definição das regiões foram os mesmos utilizados para as vazões médias e máximas, ou seja, tendência das curvas adimensionais e regressão da vazão mínima. Da mesma forma que nos casos anteriores, inicialmente procurou-se agrupar os postos com base na classificação DNAEE e verificar as tendências referidas, reagrupando os postos para melhorar o ajuste.

A partir das tendências das curvas adimensionais foram identificadas 18 regiões distintas, algumas delas com um reduzido número de postos. Assim, para executar a regressão das vazões mínimas foi necessário agrupar estas regiões de forma que se obtivessem os melhores resultados possíveis para os indicadores estatísticos, sempre mantendo um número significativo de graus de liberdade. Foram, assim, identificadas 8 regiões distintas tendo

como base as regressões das vazões mínimas.

A seguir são apresentadas as equações de regressão das regiões. Para estas equações, a vazão mínima de duração t (Q_{mt}) é obtida em m^3/s , t é fornecido em dias, A em km^2 , P em m , L em km , S em m/km e D em número de confluências no mapa em escala 1:250000. Este último fator pode ficar distorcido para bacias muito pequenas e, neste caso, sugerimos utilizar alternativamente a equação seguinte, em que este fator não está envolvido.

REGIÃO R1

$$Q_{mt} = 7,600 * 10^{-4} t^{0,87} A^{0,99} P^{1,88} \quad (6.2)$$

$$R^2 = 0,91 \quad \sigma = 1,429$$

REGIÃO R2

$$Q_{mt} = 1,920 * 10^{-3} t^{0,33} A^{1,04} \quad (6.3)$$

$$R^2 = 0,98 \quad \sigma = 1,316$$

REGIÃO R3

$$Q_{mt} = 1,652 * 10^{-3} t^{0,36} A^{1,03} \quad (6.4)$$

$$R^2 = 0,93 \quad \sigma = 1,656$$

REGIÃO R4

$$Q_{mt} = 1,913 t^{0,48} A^{-0,92} S^{-0,70} D^{1,43} \quad (6.5a)$$

$$R^2 = 0,87 \quad \sigma = 1,722$$

Equação alternativa:

$$Q_{mt} = 9,376 * 10^{-3} t^{0,47} A^{1,13} L^{-0,67} \quad (6.5b)$$

$$R^2 = 0,81 \quad \sigma = 1,937$$

REGIÃO R5

$$Q_{mt} = 6,393 * 10^{-6} t^{0,31} A^{0,0003} P^{2,64} L^{2,40} \quad (6.6)$$

$$R^2 = 0,90 \quad \sigma_f = 1,640$$

REGIÃO R6

$$Q_{mt} = 3,636 * 10^{-5} t^{0,52} A^{1,30} S^{0,49} \quad (6.7)$$

$$R^2 = 0,92 \quad \sigma_f = 1,664$$

REGIÃO R7

$$Q_{mt} = 1,271 * 10^{-3} t^{0,42} A^{0,99} \quad (6.8)$$

$$R^2 = 0,92 \quad \sigma_f = 1,564$$

REGIÃO R8

O número de postos é reduzido nesta região e, utilizando-se as funções de outras regiões, não foram obtidos bons resultados.

Na tabela 6.1 são apresentadas as regiões obtidas conforme as tendências das curvas adimensionais e, na tabela 6.2, as regiões obtidas a partir das regressões. Na figura 6.1 são definidas em mapa as regiões conforme as curvas adimensionais e, na figura 6.2, as regiões conforme as regressões. Nas figuras 6.3 a 6.8 são apresentadas as curvas adimensionais. No anexo D2 são apresentadas as curvas ajustadas com os pontos. Nas referidas figuras foram eliminados os pontos que apresentavam desvios altos com relação à tendência da região.

No Anexo D3 são apresentados, para cada posto selecionado, os valores das variáveis que foram utilizadas na regionalização, bem como a vazão calculada através das equações de regressão obtidas. Deve-se observar que alguns postos foram eliminados por apresentarem anomalias (séries muito curtas, com tendenciosidades ou outros problemas).

Tabela 6.1 - Regiões conforme curvas de probabilidade adimensional

Região	Numeração DNAEE	Rios Principais
A1	70	Pelotas
A2	71	Canoas
A3	72 (parcial)	Peixe - Forquilha
A4	72 (parcial) e 73(parcial)	Irani-P.Fundo-Ligeiro
A5	73 (parcial) e 74(parcial)	Chapecó e Bacia 74
A6	75	Ijuí - Piratinim
A7	76 (parcial)	Jaguari-Toropi-S.Maria
A8	76 (parcial)	Ibicuí - Ibirapuitã
A9	76 (parcial)	Miracatu - Itu
A10	72, 73, 74 (parciais) e 77	Eixo do Rio Uruguai
A11	85 (parcial)	Alto Jacuí
A12	85 (parcial)	Médio Jacuí
A13	85 (parcial)	Vacacai
A14	85 (parcial)	Pardo
A15	86 (parcial)	Antas
A16	86 (parcial)	Prata - Carreiro
A17	86 (parcial)	Taquari
A18	87 e 88	Guaíba - Lagoas

Tabela 6.2 - Regiões para vazões mínimas conforme regressões

Região	Região Curvas Adim	Numeração DNAEE
R1	A1, A3 e A4	70,72(parcial),73(parcial)
R2	A2	71
R3	A5, A6 e A10	72 e 73(parciais), 74, 75 e 77
R4	A7, A8 e A9	76
R5	A11 e A12	85 (parcial)
R6	A13 e A14	85 (parcial)
R7	A15, A16 e A17	85 (parcial)
R8	A18	87 e 88

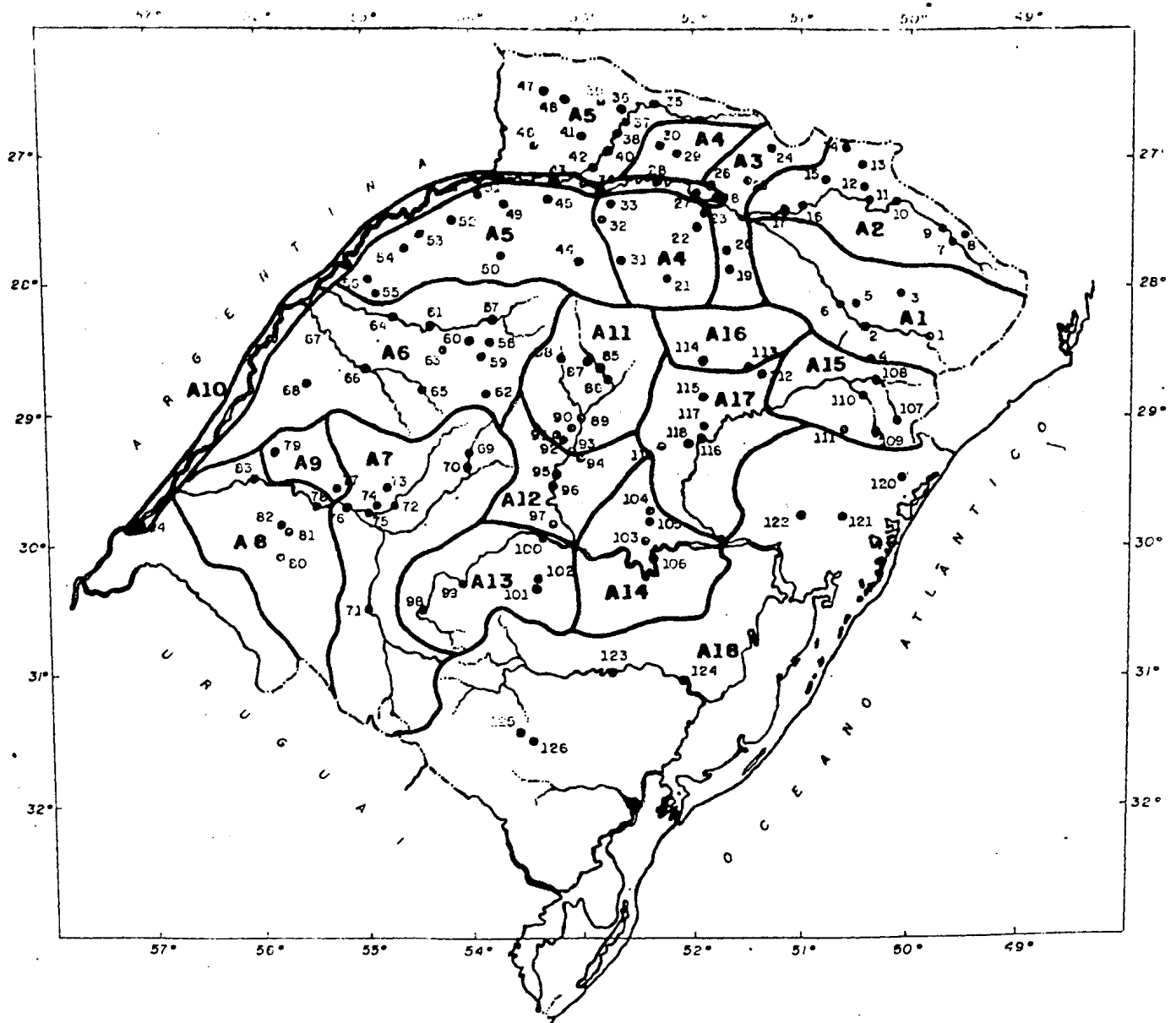


Figura 6.1 - Regiões homogêneas conforme as curvas de probabilidade adimensional para vazões mínimas

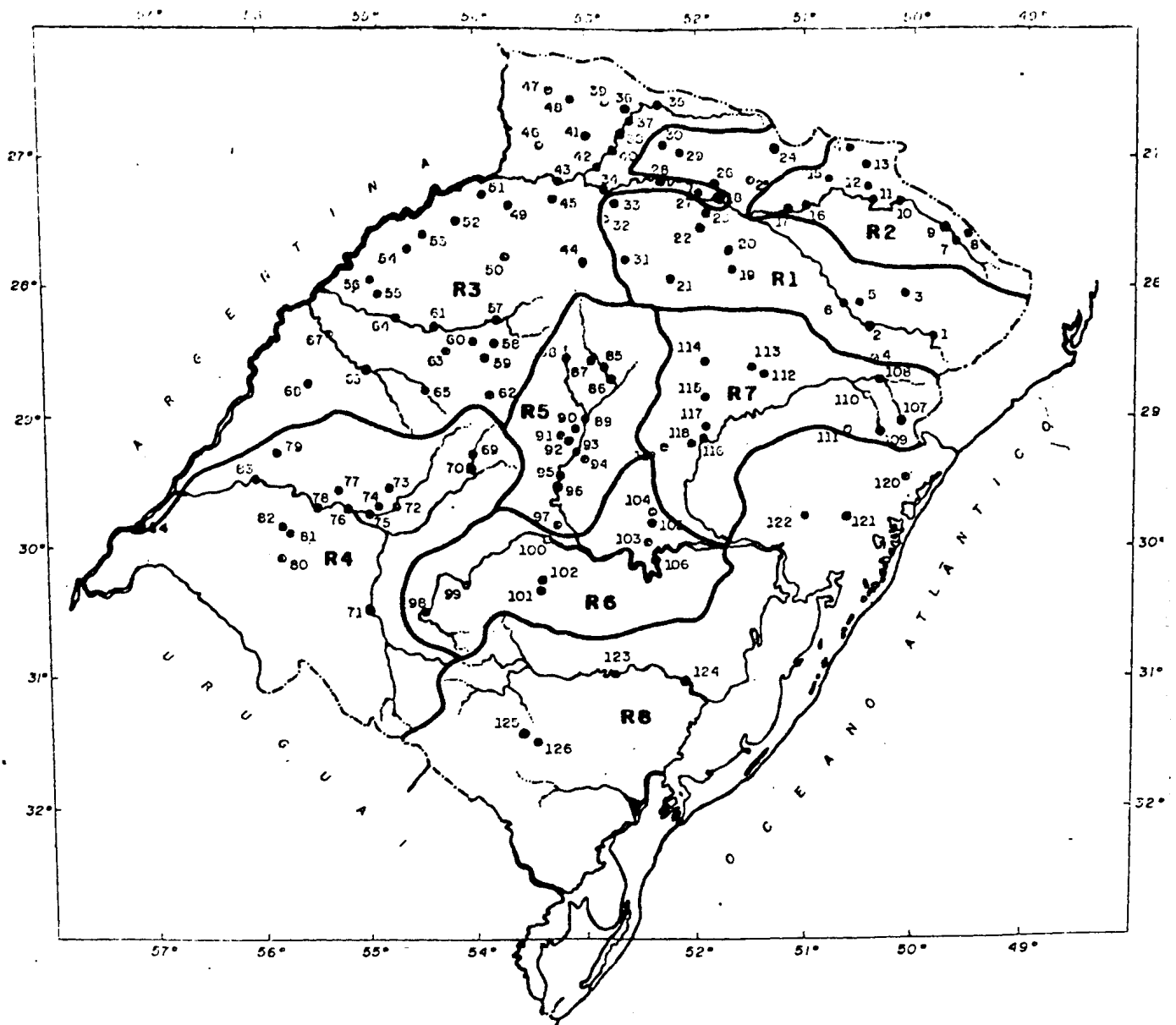
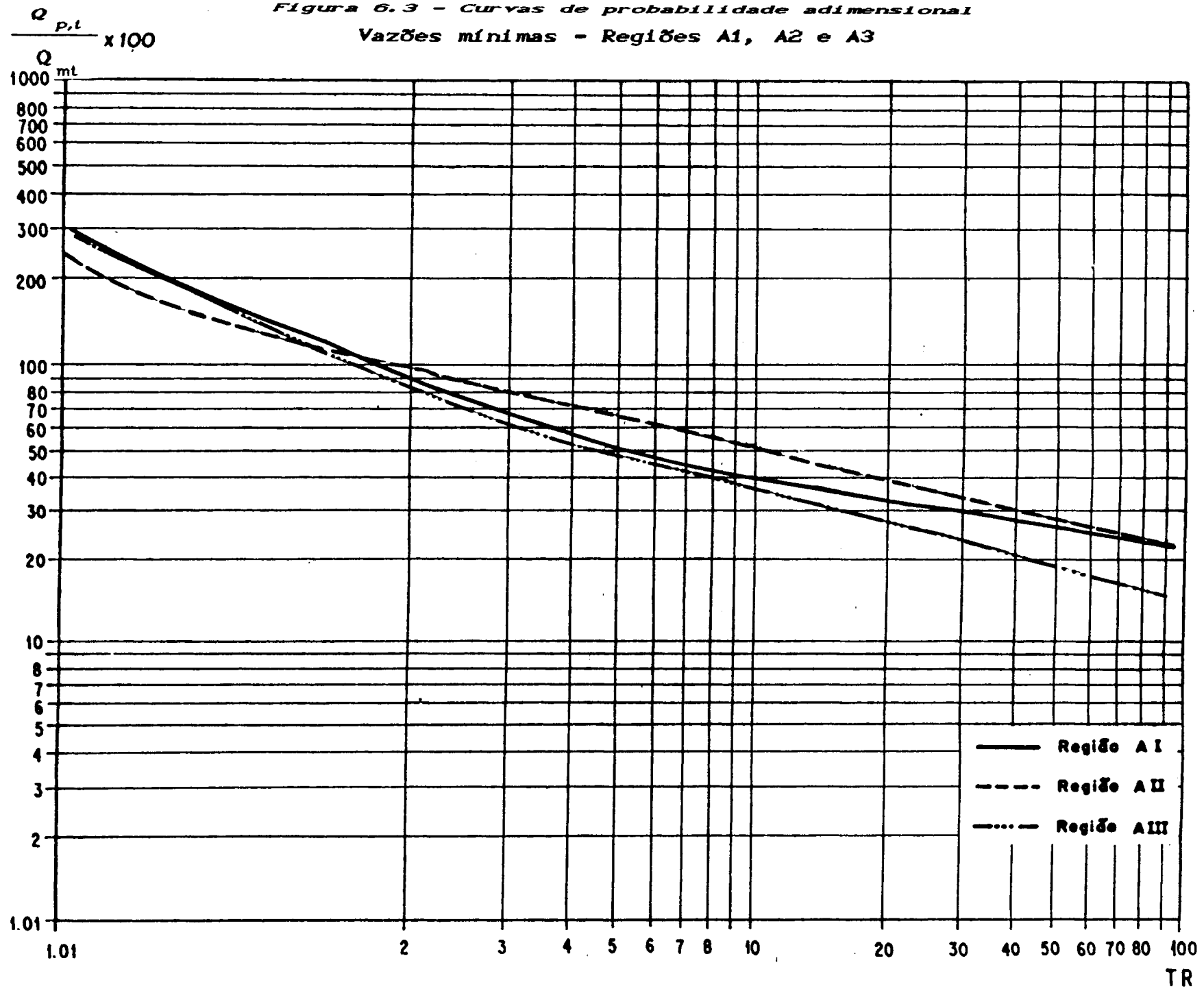


Figura 6.2 - Regiões homogêneas conforme as regressões para vazões mínimas

Figura 6.3 - Curvas de probabilidade adimensional

Vazões mínimas - Regiões A1, A2 e A3



82

TR

Figura 6.4 - Curvas de probabilidade adimensional

Vazões mínimas - Regiões A4, A5 e A6

83

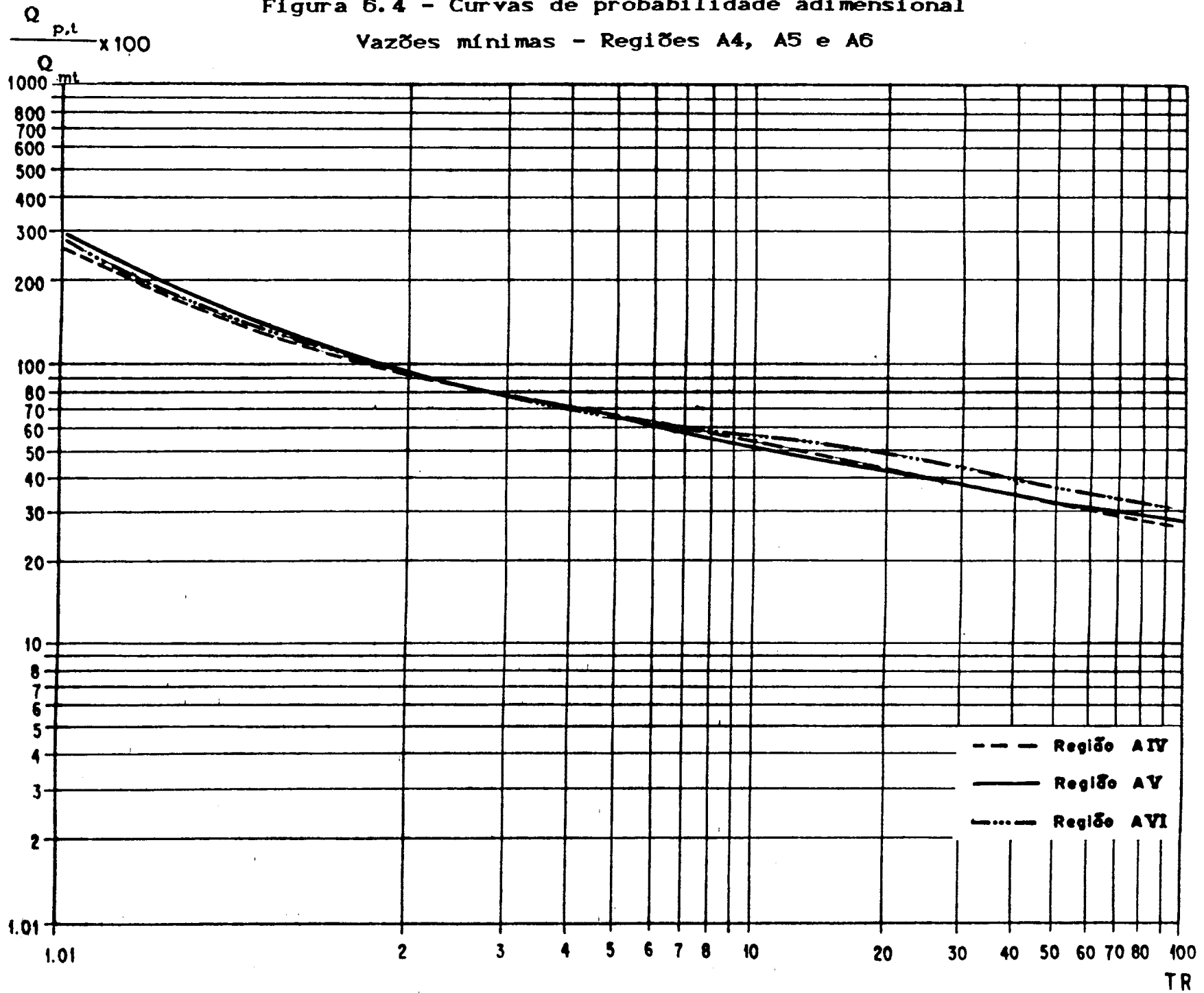
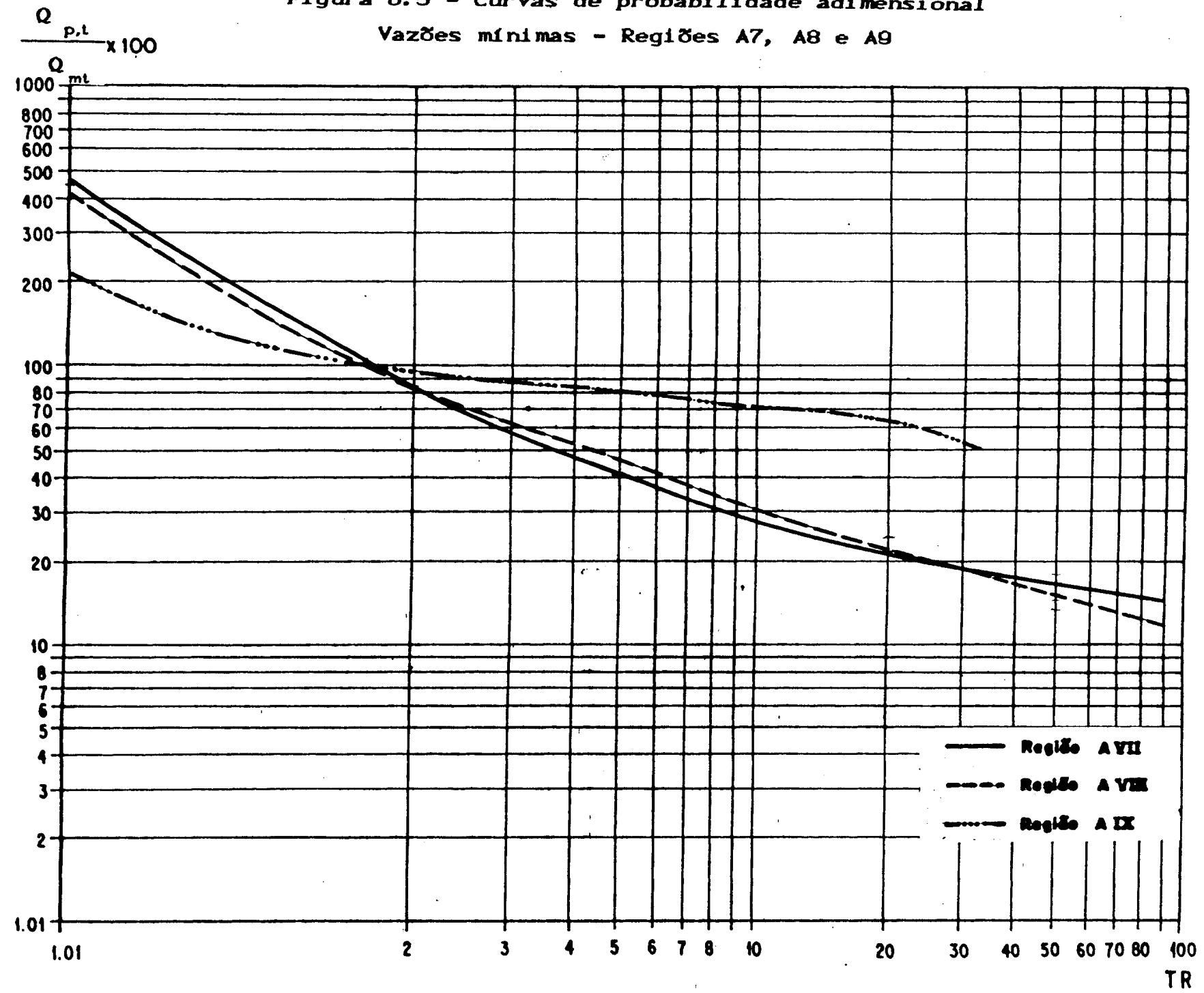


Figura 6.5 - Curvas de probabilidade adimensional

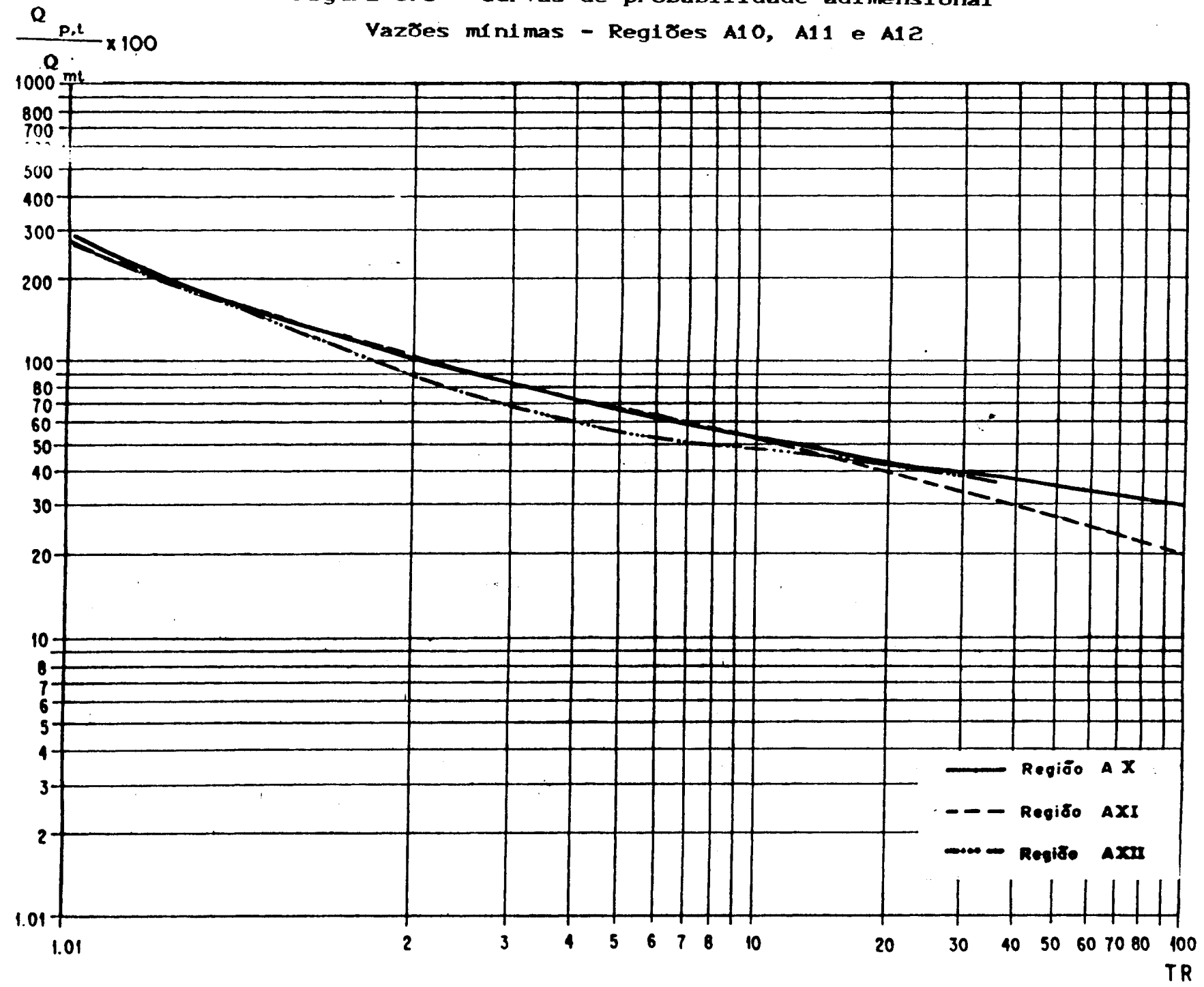
Vazões mínimas - Regiões A7, A8 e A9



B4

TR

Figura 6.6 - Curvas de probabilidade adimensional
 Vazões mínimas - Regiões A10, A11 e A12



85

Figura 6.7 - Curvas de probabilidade adimensional

Vazões mínimas - Regiões A13, A14 e A15

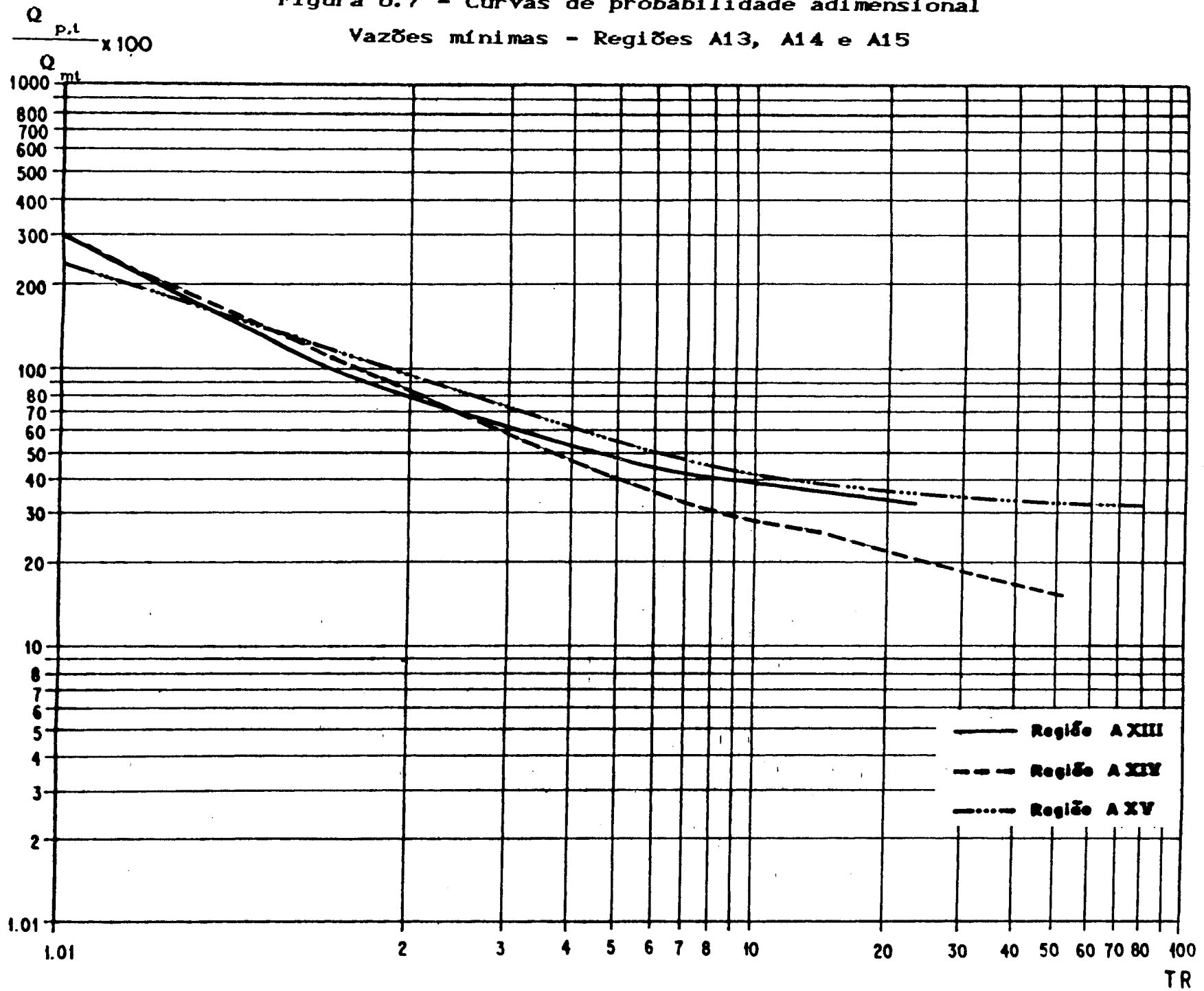
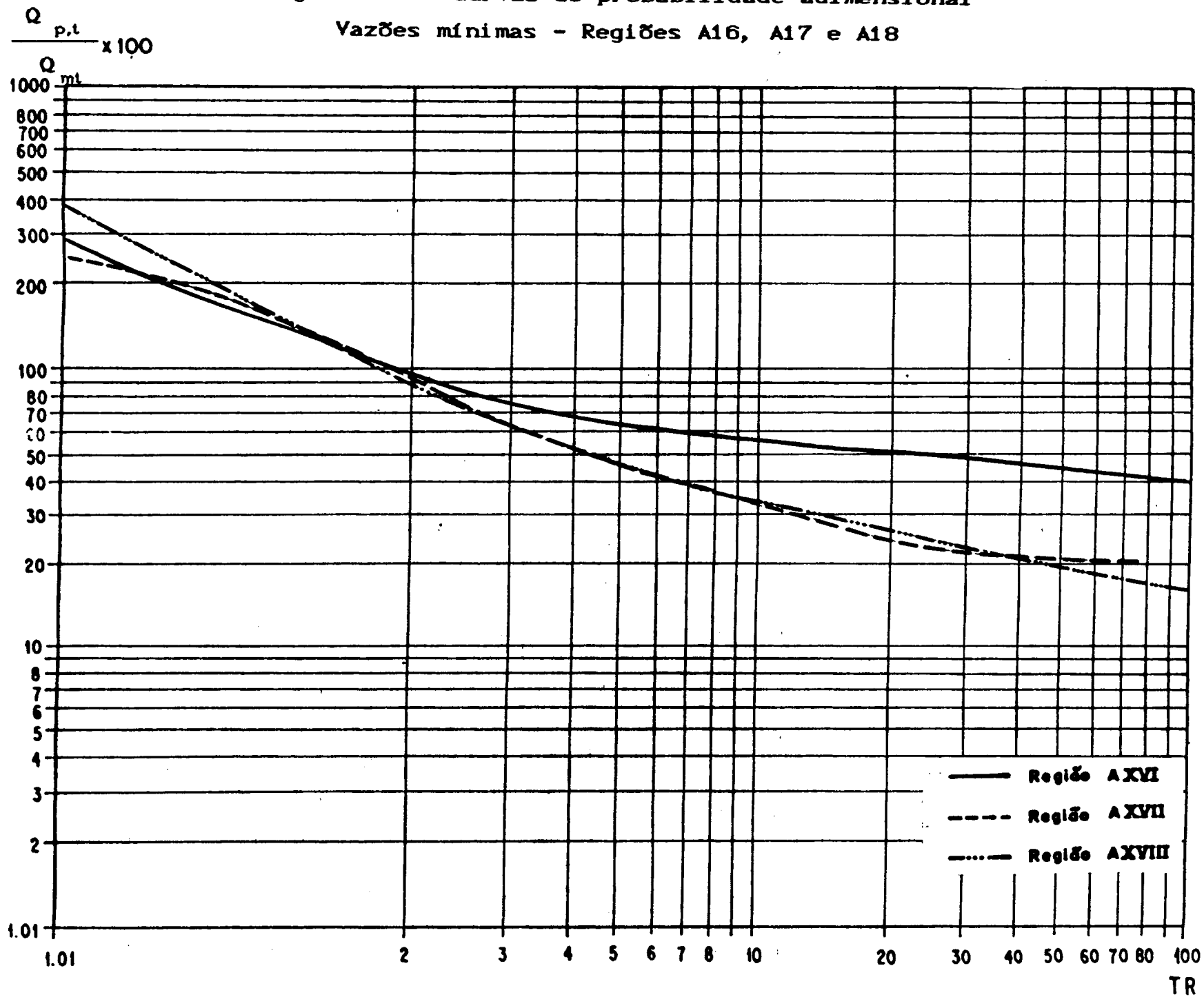


Figura 6.8 - Curvas de probabilidade adimensional

Vazões mínimas - Regiões A16, A17 e A18



6.6 Estimativa da vazão mínima

Para estimar a vazão mínima com uma probabilidade p (ou tempo de retorno T_r) e duração t , é necessário identificar em que região da curva de probabilidade adimensional e da equação de regressão a bacia se situa. Conhecida a curva adimensional é possível estimar a vazão adimensional

$$\frac{Q_{p,t}}{Q_{mt}} = F_1(p) \quad (6.9)$$

onde $F_1(p)$ é a curva adimensional da região em que se situa a bacia. A vazão Q_{mt} é obtida da equação de regressão em que a bacia se situa, com base na duração escolhida, nas características físicas da bacia e da precipitação,

$$Q_{mt} = F_2(A, S, \dots, P) \quad (6.10)$$

onde F_2 é a equação de regressão. A estimativa da vazão mínima é

$$Q_{p,t} = \frac{Q_{pt}}{Q_{mt}} Q_{mt} \quad (6.11)$$

As curvas adimensionais são apresentadas nas figuras 6.3 a 6.8 e na tabela 6.3. As equações de regressões são as equações 6.2 a 6.8.

Exemplo - Determine a vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno para uma sub-bacia do rio Ijuí com 550 km^2 .

solução - O rio Ijuí encontra-se na região R3 da equação de regressão, e a equação é a 6.4, ou seja

$$Q_{mt} = 1,652 \cdot 10^{-3} t^{0,36} A^{1,03}$$

e

$$Q_{mt} = 1,652 \cdot 10^{-3} (7)^{0,36} (550)^{1,03}$$

$$Q_{mt} = 2,19 \text{ m}^3/\text{s}$$

A curva adimensional desta região é a da região A6. Da figura 6.4 ou tabela 6.3 obteve-se, para tempo de retorno de 10 anos, $Q_{p,t}/Q_{mt} = 0,57$.

A vazão resultante fica

$$Q_{p,t} = Q_{10,7} = Q_{0,1;7} = 1,25 \text{ m}^3/\text{s}.$$

TABELA 6.3 - CURVAS DE PROBABILIDADE ADIMENSIONAL - VAZÕES MÍNIMAS

Tr	Q _{p,t} / Q _{mt}																	
anos	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
1.03	2.80	2.50	2.90	2.60	2.80	2.60	4.30	4.00	2.20	2.65	2.40	2.60	2.90	2.85	2.40	2.70	2.45	3.60
1.14	2.50	2.10	2.70	2.30	2.60	2.20	3.60	3.40	1.80	2.30	2.15	2.20	2.60	2.60	2.20	2.30	2.30	3.10
1.38	1.80	1.60	1.80	1.70	1.80	1.65	2.30	2.10	1.50	1.70	1.70	1.80	1.80	1.90	1.80	1.80	1.90	2.20
1.85	1.20	1.00	1.00	1.00	1.20	1.10	1.10	1.00	1.05	1.15	1.20	1.10	0.95	1.15	1.20	1.10	1.20	1.15
2.66	0.72	0.88	0.70	0.80	0.82	0.84	0.67	0.70	0.90	0.85	0.86	0.75	0.70	0.74	0.80	0.78	0.73	0.72
4.01	0.57	0.74	0.54	0.70	0.70	0.68	0.47	0.53	0.82	0.70	0.70	0.60	0.56	0.52	0.60	0.65	0.52	0.53
6.27	0.48	0.62	0.45	0.60	0.58	0.62	0.36	0.41	0.77	0.59	0.59	0.54	0.47	0.39	0.48	0.57	0.39	0.40
10.00	0.40	0.52	0.37	0.54	0.50	0.57	0.28	0.32	0.70	0.50	0.50	0.50	0.41	0.33	0.40	0.53	0.33	0.34
16.15	0.36	0.45	0.32	0.48	0.45	0.52	0.24	0.27	0.68	0.46	0.43	0.47	0.38	0.28	0.37	0.50	0.28	0.30
26.29	0.32	0.37	0.27	0.39	0.39	0.47	0.19	0.20	0.57	0.39	0.36	0.42	0.36	0.24	0.34	0.48	0.23	0.26
43.02	0.28	0.30	0.22	0.33	0.34	0.39	0.17	0.17	-	0.36	0.29	-	-	0.19	0.32	0.43	0.22	0.22
70.61	0.25	0.26	0.17	-	0.30	0.35	-	0.14	-	0.33	0.24	-	-	-	0.31	-	0.21	-

6.7 Estimativa do volume de regularização

Gomide (1983) descreve uma metodologia para estimar o volume de reservatórios com base nas curvas de probabilidades de vazões mínimas.

Considerando o tempo de retorno T_r ou a probabilidade p , é possível construir uma curva que relacione vazão mínima e duração para uma valor escolhido de T_r .

O volume necessário para garantir uma vazão Q^* numa duração t para uma probabilidade p é

$$V = (Q^* - Q_{p,t}) k t \quad (6.12)$$

onde k = número de segundos do dia.

Considerando que $Q_{p,t}$ é obtido pela equação 6.11 e $q = Q_{p,t}/Q_{mt}$, resulta

$$V = (Q^* - q \cdot Q_{mt}) k t \quad (6.13)$$

onde Q_{mt} é obtido das equações de regressão para cada região e q função do tempo de retorno na curva adimensional.

Derivando a equação 6.13 com base na duração t pode-se obter o tempo onde ocorre o volume máximo. Substituindo este valor em 6.13 obtém-se o referido volume. A equação do volume máximo para cada região, definida pela regressão é apresentada a seguir, onde V é obtido em 10^6 m^3 ; Q^* em m^3/s ; A em km^2 ; P em m ; S em m/km ; L em km .

$$\text{REGIÃO R1} \quad V = 2,58 \cdot 10^6 \cdot \frac{Q^{2,7}}{A^{2,08} P^{3,08}} \quad (6.14)$$

$$\text{REGIÃO R2} \quad V = 1,297 \cdot 10^6 \cdot \frac{Q^{4,0}}{A^{2,09}} \quad (6.15)$$

$$\text{REGIÃO R3} \quad V = 0,664 \cdot 10^6 \cdot \frac{Q^{0,82}}{A^{2,09}} \quad (6.16)$$

$$\text{REGIÃO R4} \quad V = 3,21 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{Q^{2,08} A^{1,91} S^{1,45}}{D^{2,97}} \quad (6.17a)$$

Equação alternativa:

$$V = 2,302 \cdot 10^8 \cdot \frac{Q^{2,107} \cdot L^{1,422}}{A^{2,857}} \quad (6.17b)$$

$$\text{REGIÃO R5} \quad V = 0,1334 \cdot 10^6 \cdot \frac{Q^{4,28}}{A^{0,021} P^{11,96} L^{8,14}} \quad (6.18)$$

$$\text{REGIÃO R6} \quad V = 5 \cdot 10^6 \cdot \frac{Q^{2,928}}{A^{2,51} S^{0,94}} \quad (6.19)$$

$$\text{REGIÃO R7} \quad V = 0,94 \cdot 10^6 \cdot \frac{Q^{2,29}}{A^{2,877}} \quad (6.20)$$

Os principais comentários sobre esta metodologia de determinação do volume de regularização são os seguintes:

- Este método admite uma vazão média de duração t e não considera sua flutuação dentro do período t ;
- O período de retorno se refere a chance média de duração t e não considera sua flutuação dentro do período t ;
- O método é recomendável para regularização intra-anual;
- O volume calculado não considera a perda de evaporação pelo reservatório.

6.8 Análise dos resultados

Os resultados obtidos de regionalização de vazão mínima indicaram grande variabilidade de tendência da curva de probabilidade de vazões mínimas e da equação de regressão. Esta variação se deve aos seguintes aspectos:

- O extremo inferior da curva-chave de um posto, que caracteriza as vazões mínimas, pode ter várias incertezas não identificadas nos registros históricos, tais como : a) O impacto da modificação do leito do rio maior nas vazões menores; b) Na extrapolação inferior da curva-chave, a magnitude dos valores pode mascarar erros; c) A sensibilidade dos aparelhos é menor e representa maior erro para as vazões menores; d) modificação do nível de referência ou local de medição pode ter impacto maior nesta faixa de valores;

- A variabilidade dos aquíferos que regularizam as vazões mínimas. Em regiões como o Planalto do Estado, onde a formação rochosa é o basalto, a maior ocorrência de fraturas numa pequena bacia pode aumentar a vazão mínima. Como a fratura tem uma ocorrência aleatória do ponto de vista espacial, a regionalização é obtida mais pela distribuição aleatória espacial do que por uma distribuição representativa;

- A amostra de vazões numa dada região, principalmente no Sul do Estado, nem sempre é suficientemente representativa da ocorrência das vazões mínimas. Observou-se que a década de 40 apresentou um período longo mais seco, não encontrado nas séries mais recentes (veja capítulo 8). A grande maioria dos postos possui série de vazões após a década de 50, o que torna as séries menos representativas das estiagens. Isto é observado pela grande variabilidade encontrada nos pontos no extremo inferior das curvas de probabilidades regionais.

Os resultados deste estudo de regionalização foram obtidos com

as informações disponíveis atualmente e devem ser atualizados à medida que mais informações forem medidas, diminuindo as incertezas dos resultados atuais.

7 REGIONALIZAÇÃO DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA

7.1 Curva de permanência

A curva de permanência relaciona a vazão ou nível de um rio e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada. Esta curva pode ser estabelecida com base em valores diários, semanais ou mensais.

Esta função hidrológica é utilizada em estudos hidrelétricos, navegação, qualidade da água, entre outros.

Existem dois procedimentos principais para a determinação da curva de permanência, que são os seguintes:

- metodologia empírica;
- ajuste de uma distribuição de probabilidades.

7.2 Métodos de estimativa da curva de permanência

7.2.1 Metodologia empírica

A metodologia de determinação da curva de permanência consiste no seguinte:

- Estabelecer n intervalos de classe de vazões (ou níveis). Os intervalos podem ser estabelecidos de acordo com a magnitude das vazões procurando ter uma quantidade razoável de valores que caiam em cada intervalo. Neste estudo adotou-se um número fixo de 50 intervalos de classe. A sub-divisão de cada intervalo foi baseada na escala logarítmica devido à grande variação de magnitude das vazões envolvidas. A amplitude de cada intervalo foi calculada por:

$$d = [\ln (Q_{mx}) - \ln (Q_{mi})] / 50 \quad (7.1)$$

onde Q_{mx} = vazão máxima da série;

Q_{mi} = vazão mínima da série;

Os limites inferiores dos intervalos foram calculados por:

$$Q_j = \text{EXP} [\ln Q_{mi} + (j - 1) d] \quad (7.2)$$

onde Q_j é o limite inferior do intervalo j .

- Classificar as vazões nos intervalos, contando o número de valores em cada intervalo (f_i).

- Acumular os valores de f_i no sentido da maior vazão para a menor e obter, assim, os valores d_i . A probabilidade (em porcentagem) de uma vazão Q ser maior ou igual a Q_i é:

$$P_i = \frac{d_i}{N_v} * 100 \quad (7.3)$$

onde N_v é o número total de valores.

7.2.2 Ajuste de uma distribuição de probabilidades

Considerando que a curva resultante acompanhe uma distribuição de probabilidades, Beard (1943) sugeriu o uso da distribuição log-normal para representar a curva de permanência. O ajuste de uma distribuição para um posto não é um procedimento melhor que o anterior, mas considerando que este estudo procura estabelecer a regionalização destas curvas, o ajuste de uma distribuição permite uma sintetização maior das informações, facilitando a regionalização.

As limitações deste procedimento são as seguintes:

a) a correlação serial das vazões implica que a amostra não possui $365 * n$ valores, (n é o número de anos) e a probabilidade é estimada com tendenciosidade;

b) a curva teórica ajusta toda a faixa de valores e pode apresentar anomalias no trecho de interesse, que é o ramo inferior da curva.

Sendo Q as vazões diárias de um rio, pode-se ajustar uma distribuição log-normal, da forma

$$f(Q) = Q^{-1} [\sigma(2\pi)^{1/2}] \exp \left[-1/2 (\ln Q - \mu)^2 / \sigma^2 \right] \quad (7.4)$$

pelo método dos momentos. Para obtermos estimativas dos parâmetros μ e σ^2 na equação acima, determinamos a média e a variância das vazões diárias, ou seja:

$$X = \frac{\sum Q_i}{N} \quad (7.5)$$

$$S^2 = \frac{\sum (Q_i - X)^2}{N} \quad (7.6)$$

A média e a variância da distribuição log-normal estimadas com base no método dos momentos são:

$$\mu = \ln X - 1/2 \cdot \ln (1 + S^2/X^2) \quad (7.7)$$

$$\sigma^2 = \ln (1 + S^2/X^2) \quad (7.8)$$

7.3 Regionalização

Para regionalizar as curvas de permanência existem dois procedimentos básicos:

- regionalizar os parâmetros da distribuição que são correlacionados com características físicas das bacias. Neste caso existem as seguintes alternativas possíveis:

a) regionalizar os valores de X e S e obter μ e σ com base nas equações acima;

b) regionalizar μ e σ diretamente com base nas características físicas;

c) regionalizar μ e cv , onde $cv = \sigma/\mu$ com base nas características físicas;

- regionalizar vazões com determinadas probabilidades, obtidas da curva empírica, definindo a curva de permanência no trecho de interesse.

7.4 Resultados da regionalização

7.4.1 Comparação e escolha do método de ajuste da curva individual.

Os dois procedimentos citados no item anterior foram testados. Para tanto foram desenvolvidas as seguintes etapas:

- determinação das curvas com base no método empírico para verificação da qualidade do ajuste da distribuição aos postos individuais;

- determinação dos valores de X e S para todos os postos;

No anexo E são apresentadas as curvas de permanência de vazões média diária de todos os postos estudados, na forma de tabela.

Para verificar a viabilidade da utilização do método de ajuste de uma distribuição estatística foram plotadas, para cada posto, a curva teórica e a empírica e comparados alguns valores característicos da curva de permanência, como as vazões Q_{50} e Q_{95} .

Na figura 7.1 pode-se observar o ajuste da curva teórica e a distribuição empírica para um posto. Na figura 7.1.a a abcissa é apresentada numa escala cartesiana normal e na figura 7.1.b numa escala de probabilidades. Pode-se observar que a primeira figura mascara as diferenças encontradas nos extremos criando tendenciosidade de avaliação, já que esta curva normalmente é utilizada no seu ramo inferior. Na literatura normalmente a curva é plotada na escala aritmética, o que facilita o erro de avaliação.

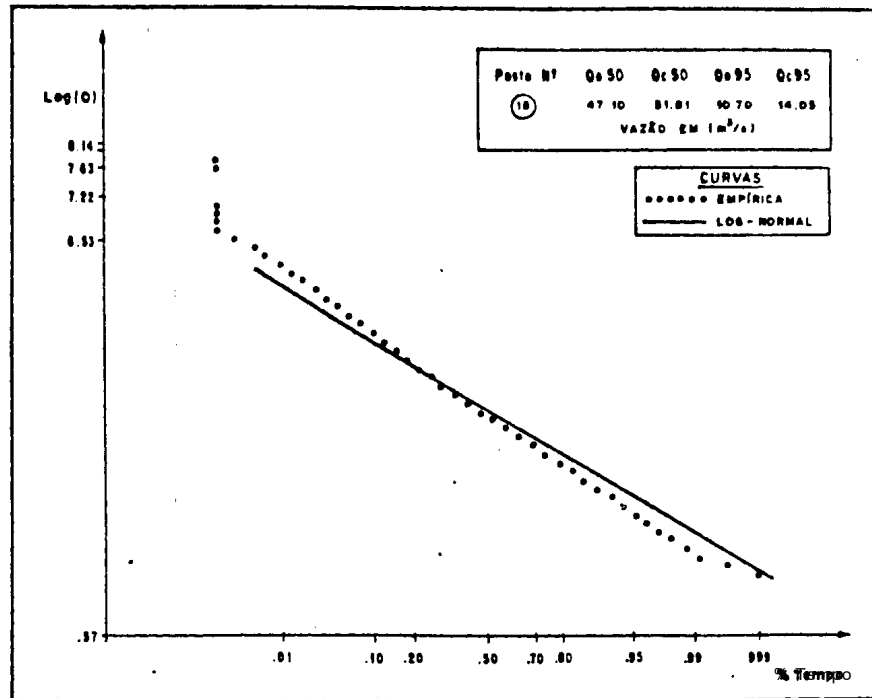


Figura 7.1.a. - Ajuste da distribuição Log-normal (abscissa em escala probabilística)

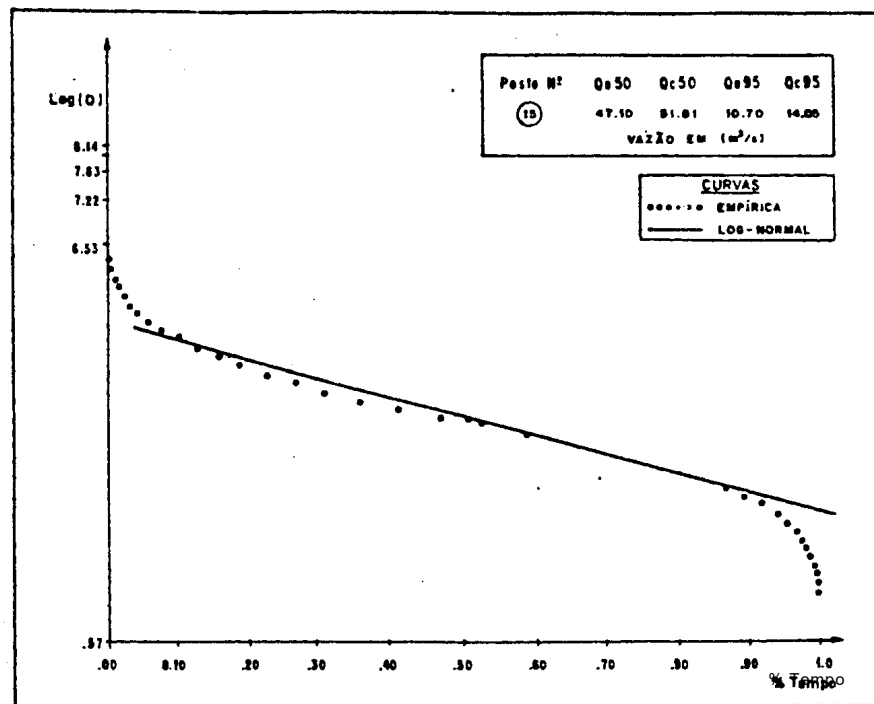


Figura 7.1.b. - Ajuste da distribuição Log-normal (abscissa em escala aritmética).

A tendência de ajuste inadequado da distribuição estatística log-normal foi encontrada na maioria dos postos; nas figuras 7.2.a e 7.2.b pode-se observar uma amostra desses resultados.

Na tabela 7.1 são apresentados os valores de Q_{50} e Q_{95} obtidos da curva empírica ($QD 50$ e $QD 95$ respectivamente) e da curva de permanência ajustada pela log-normal ($QC 50$ e $QC 95$). Pode-se observar em termos absolutos o nível de erro, inadequado para as estimativas correntes. As regiões nas quais foram agrupados os postos correspondem às indicadas na figura 7.7.

Examinando as curvas de permanência, verificou-se que, utilizando-se as vazões citadas de Q_{50} e Q_{95} , e ajustando uma equação do tipo exponencial, a mesma retrata bem o trecho entre 50 % e 95 % da curva de permanência.

Na figura 7.3 pode-se observar a curva empírica e a curva exponencial estimada com base nas vazões referidas. Estes resultados são encontrados em praticamente todos os postos. Na figura 7.4 é apresentada uma amostra adicional destes resultados.

A curva de permanência obtida com base na distribuição log-normal de probabilidades e estimada através das vazões Q_{50} e Q_{95} fica:

$$Q = \text{EXP} (p \cdot a + b) \quad (7.9)$$

onde

p = probabilidade (fornecida no intervalo 0 - 1)

$$a = - [\ln (Q_{50} / Q_{95})] / 0,45 \quad (7.10)$$

$$b = \ln Q_{50} - 0,50 a \quad (7.11)$$

Q = vazão em m^3/s com probabilidade p

Q_{50} e Q_{95} = vazões para as probabilidades de 50 e 95%, em m^3/s .

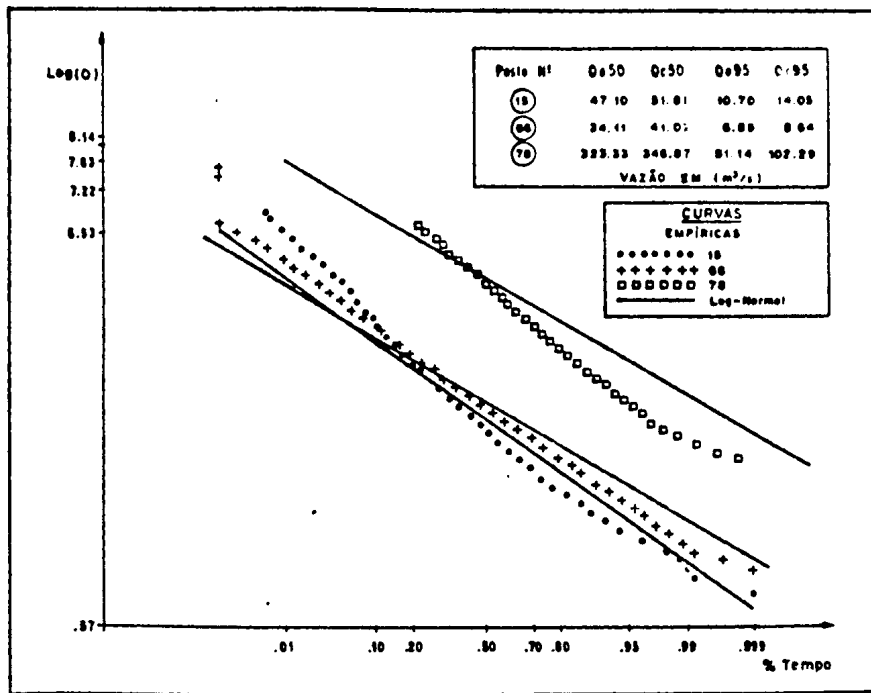


Figura 7.2.a. - Ajuste da distribuição Log-normal

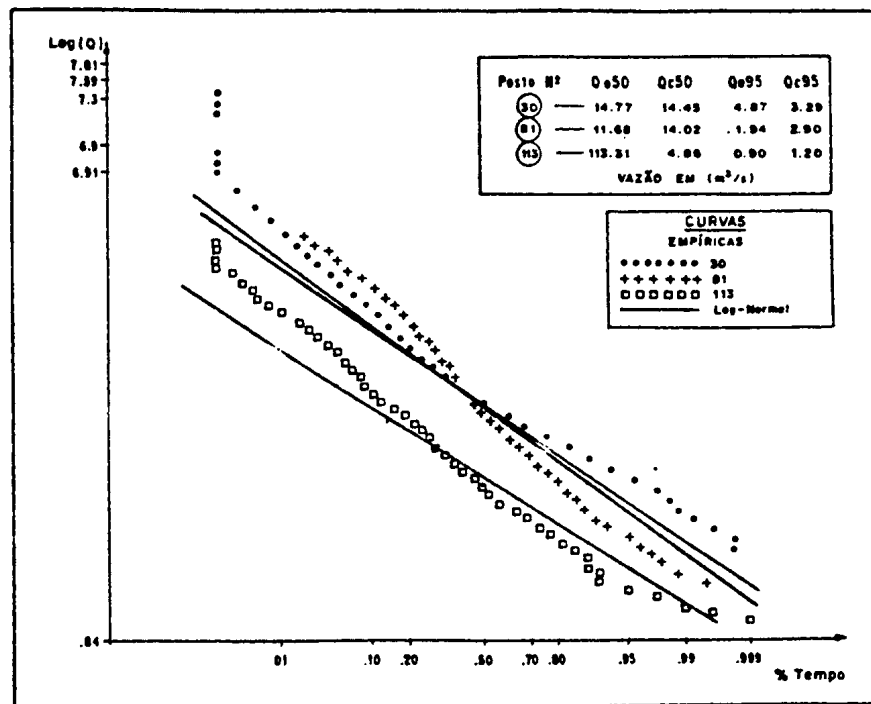


Figura 7.2.b. - Ajuste da distribuição Log-normal.

Tabela 7.1 - Comparação das estimativas de Q50 e Q95 obtidas a partir das curvas empíricas e da distribuição Log-normal.

REGIAO I				
Nro.	QD 50	QC 50	QD 95	QC 95
1	8.65	12.75	2.32	3.13
2	38.77	39.57	7.06	8.88
3	14.27	13.21	1.86	2.56
5	7.28	8.90	1.46	1.55
6	100.21	114.95	17.32	28.42
7	17.18	22.15	4.93	6.13
8	6.40	9.42	1.48	2.53
9	29.84	36.15	8.22	11.76
10	47.34	57.07	13.60	18.07
11	70.99	81.48	21.04	27.18
12	0.39	0.40	0.13	0.10
13	5.88	6.46	1.53	1.76
15	47.10	51.81	10.70	14.05
16	149.99	159.23	43.98	44.65
17	196.32	207.18	57.49	64.21
18	473.74	521.14	134.59	179.70
19	18.04	19.30	2.32	5.13
20	21.52	23.66	3.39	6.14
21	17.48	17.67	4.66	4.28
22	36.30	38.84	8.62	9.11
23	45.52	48.71	10.55	11.53
24	23.33	30.26	3.94	6.73
25	4.44	3.74	1.61	0.55
26	53.87	58.19	9.54	12.91
27	511.43	515.81	131.21	138.83
28	596.60	610.01	156.26	169.91
29	10.22	11.16	2.95	2.92
30	14.77	14.45	4.87	3.29
31	32.45	36.88	9.95	13.23
32	35.75	38.70	11.10	14.77
33	66.71	64.93	12.71	18.92
34	709.70	746.60	177.37	215.33
35	35.85	33.81	9.72	8.92
36	5.24	5.83	1.07	0.80
37	95.81	92.59	26.60	26.62
38	93.47	95.69	29.23	27.3
39	1.79	1.99	0.10	0.24
40	113.26	110.68	30.81	27.88
41	5.75	6.32	1.52	1.40
42	124.80	119.87	31.74	29.10
43	861.82	891.33	225.04	251.28
44	5.04	5.14	1.17	1.08

QD → Valores obtidos da curva empírica

QC → Valores obtidos da curva ajustada pela log-normal

Tabela 7.1 - Comparação das estimativas de Q₅₀ e Q₉₅ obtidas a partir das curvas empíricas e da distribuição Log-normal.

 REGIAO I (continuação).

Nro.	Q0 50	QC 50	Q0 95	QC 95
45	67.41	68.24	15.55	14.44
46	2.97	3.03	0.31	0.53
47	16.50	16.61	1.97	3.42
48	7.07	7.43	1.56	1.38
49	36.63	36.06	11.63	10.22
50	9.94	10.82	3.31	3.90
51	23.43	23.49	6.83	6.45
52	25.78	26.10	5.66	6.09
53	15.74	14.62	3.32	3.77
54	4.64	4.01	1.15	0.90
55	10.97	11.17	2.17	2.67
61	73.34	80.03	22.86	24.07
62	12.21	12.64	2.74	2.72
63	26.82	32.56	5.91	8.16
64	130.00	149.72	33.72	43.42
65	9.94	10.40	2.10	1.89
66	34.11	41.02	6.89	8.64
67	50.33	61.08	12.81	14.28
84	3220.61	3321.07	615.04	1233.44

REGIAO II

Nro.	Q0 50	QC 50	Q0 95	QC 95
69	19.51	24.61	1.38	4.70
70	26.68	36.41	3.32	8.13
71	97.18	112.51	7.53	26.37
72	20.62	23.81	1.72	4.47
73	9.82	10.02	0.93	1.64
75	48.80	62.37	5.40	14.71
76	286.19	312.95	30.36	90.31
78	323.33	346.87	51.14	102.29
80	23.07	35.16	2.49	7.93
81	11.68	14.02	1.94	2.90
82	31.60	56.95	4.47	11.93
83	436.05	502.13	62.98	143.73

Q0 → Valores obtidos da curva empírica

QC → Valores obtidos da curva ajustada pela log-normal

Tabela 7.1. - Comparação das estimativas de Q50 e Q95 obtidas a partir das curvas empíricas e da distribuição Log-normal

 REGIAO III

Nro.	Q0 50	QC 50	Q0 95	QC 95
85	41.16	43.74	14.26	12.60
86	66.61	69.36	23.06	19.86
87	6.82	7.58	2.03	2.41
88	12.47	12.86	3.47	3.68
90	13.97	16.90	4.77	5.99
92	13.37	16.33	3.86	3.41
94	17.84	20.25	2.87	4.48
93	134.78	135.60	52.33	35.99
95	194.65	189.56	44.03	54.07
96	216.79	212.30	48.68	62.10

 REGIAO IV

Nro.	Q0 50	QC 50	Q0 95	QC 95
98	4.34	5.81	0.91	0.99
99	18.02	21.69	1.07	4.70
101	2.20	6.57	0.43	1.05
102	4.48	5.58	1.05	1.02
103	11.75	6.05	1.69	0.44
104	6.91	9.78	0.40	2.17
105	6.12	1.80	0.88	0.11
106	387.47	462.52	59.00	125.29

 REGIAO V

Nro.	Q0 50	QC 50	Q0 95	QC 95
107	1.80	1.75	0.39	0.44
108	20.42	20.50	4.89	4.47
112	32.51	33.29	5.00	7.40
113	4.31	4.86	0.90	1.20
114	12.52	14.86	2.42	3.07
115	17.86	19.21	2.33	3.89
116	158.12	167.83	24.83	35.87
117	28.23	31.36	6.40	6.80
118	4.02	3.78	0.56	0.58
119	8.34	8.43	0.66	1.35

 Q0 → Valores obtidos da curva empírica

QC → Valores obtidos da curva ajustada pela log-normal

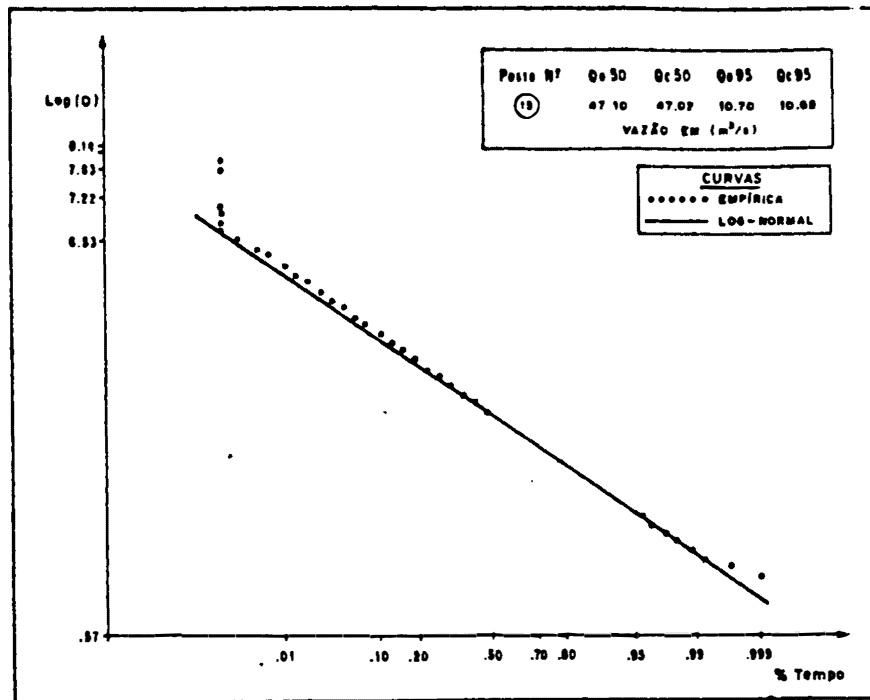


Figura 7.3 - Ajuste de uma função exponencial ao setor inferior da curva de permanência (entre Q50 e Q95).

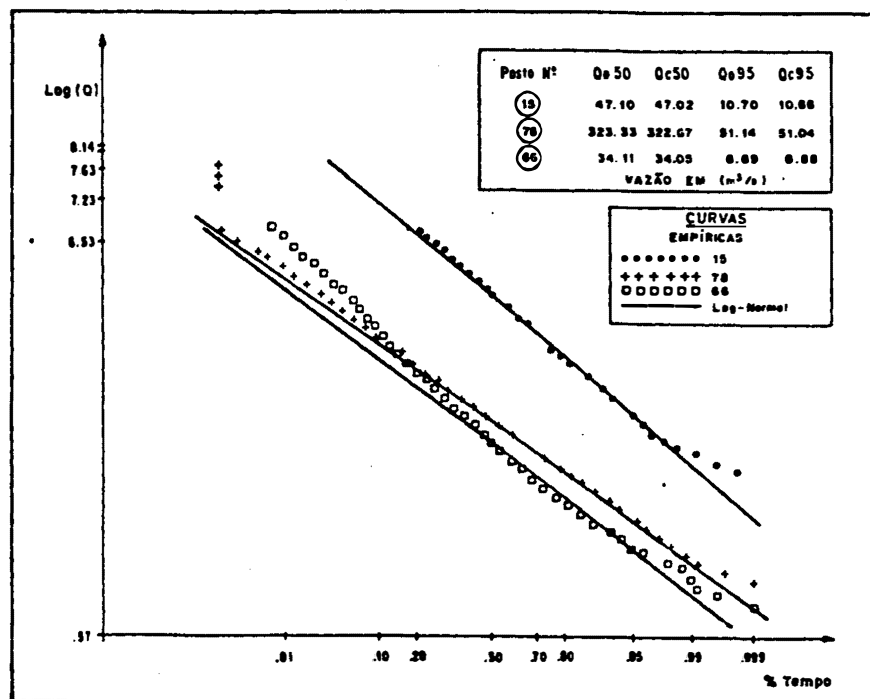


Figura 7.4 - Ajuste de uma função exponencial ao setor inferior da curva de permanência (entre Q50 e Q95).

7.4.2 Regionalização de vazões Q_{50} e Q_{95}

As tentativas de regionalização das vazões citadas contemplaram, num primeiro estágio, a área e a precipitação média anual como variáveis explicativas. Observou-se que o ganho adicional por incluir a precipitação foi mínimo para todos os postos, sendo aconselhável, portanto, utilizar apenas a área como base nas regressões.

A definição das regiões baseou-se no resíduo da equação de regressão, passando por refinamentos que utilizaram a regionalização de vazão mínima e curva de regularização como base para inspeção das regiões.

A definição final das regiões apresentou similaridade com aquelas estabelecidas para a regionalização das vazões mínimas, exceto para as bacias do alto e médio Uruguai (excluindo a bacia do rio Ibicuí), onde observou-se um comportamento diferencial entre os postos com séries mais longas (1940-1984) e os restantes postos da área com série mais curta.

A inclusão de alguns destes postos junto a outros de série menor (1950-1984) diminuiu a qualidade das regressões, evidenciando assim o fato da falta de representatividade do período 1950-1984. Dado que toda a década de 40 apresentou valores baixos de vazão, as curvas de permanência estabelecidas apenas com base no período 1950-1984 superestimam as vazões baixas.

As figuras 7.5 e 7.6, nas quais são apresentadas as curvas de permanência empíricas para dois postos da região alto e médio Uruguai, deduzidas a partir de registros com série longa (1940-1984) e série menor (1950-1984), ilustram o comportamento citado.

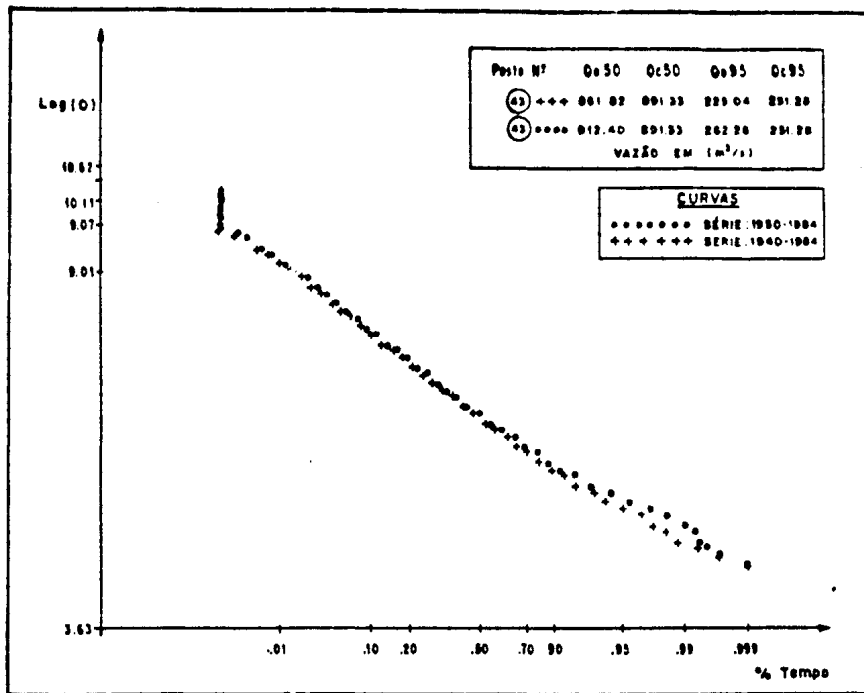


Figura 7.5 - Influência da década de 40 na definição das curvas de permanência empíricas num posto da região I.

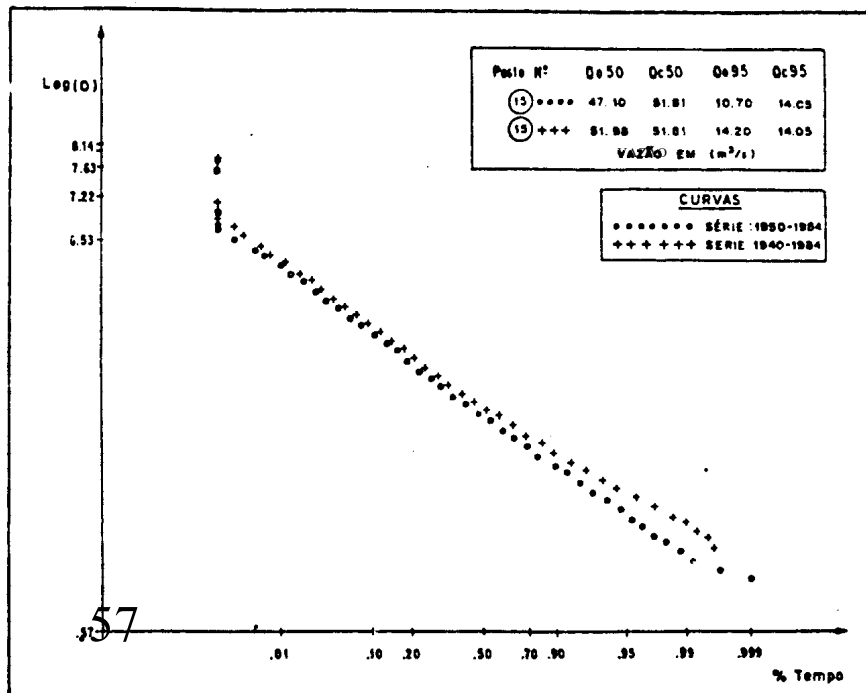


Figura 7.6 - Influência da década de 40 na definição das curvas de permanência empíricas num posto da região I.

Na tabela 7.2 são apresentados os valores de Q_{50} e Q_{95} obtidos a partir das séries longas (1940-1984) e das curtas (1950-1984), para todos aqueles postos da região I dos quais existiram dados na década de 40. As diferenças percentuais também são indicadas. Observa-se que praticamente em todos os postos o comportamento foi similar, no sentido de provocar superestimativas de Q_{50} e Q_{95} quando a análise restringiu-se ao período 1950-1984. Em alguns postos as diferenças foram importantes, fundamentalmente no valor de Q_{95} (as menores vazões).

Tabela 7.2 - Influência da década de 40 nas vazões Q_{50} e Q_{95} em postos da região I.

POSTO	A			B		
	Q0 50	Q050	DIF. (%)	Q095	Q095	DIF. (%)
3	14.27	15.88	11.28	1.86	2.55	37.10.
6	100.21	105.61	5.39	17.32	19.27	11.26
9	29.84	31.23	4.66	8.22	9.19	11.80
15	47.10	51.98	10.36	10.70	14.20	32.71.
23	45.52	48.24	5.98	10.55	12.08	14.50.
26	53.87	56.32	4.55	9.54	9.99	4.72
27	511.43	531.99	4.02	131.21	145.76	11.09
34	709.70	746.50	5.19	177.37	200.09	12.81.
43	861.82	912.40	5.87	225.04	262.26	16.54.
45	67.41	67.67	0.39	15.55	16.42	5.59
52	25.78	28.05	8.81	5.66	6.20	9.54
53	15.74	16.30	3.56	3.32	3.62	9.04
55	10.97	11.45	4.38	2.17	2.31	6.45
57	29.12	29.96	2.88	8.85	9.31	5.20
59	11.28	11.75	4.17	3.23	3.41	5.57
61	73.34	76.60	4.45	22.86	23.66	3.50
65	9.94	9.43	5.13	2.10	2.00	4.76
67	50.33	53.46	6.22	12.81	12.91	0.78

A : SERIE LONGA (1940 - 1984)

B: SERIE MAIS CURTA (1950 - 1984)

Para a região I a regressão estabelecida com base nos postos de série longa permitiu, na grande maioria dos casos, resultados melhores que aqueles deduzidos de regressões envolvendo postos de séries longa e mais curta.

As regiões definidas são apresentadas na figura 7.7 e as equações obtidas são apresentadas a seguir.

REGIÃO I

$$Q_{50} = 0.01517 * A^{0.982} \quad (7.12)$$
$$R^2 = .9901 \quad \sigma_f = 1.1569$$

$$Q_{95} = 0.00263 * A^{1.018} \quad (7.13)$$
$$R^2 = .9588 \quad \sigma_f = 1.3685$$

REGIÃO II

$$Q_{50} = 0.00468 * A^{1.078} \quad (7.14)$$
$$R^2 = .9738 \quad \sigma_f = 1.2520$$

$$Q_{95} = 0.00031 * A^{1.184} \quad (7.15)$$
$$R^2 = .9372 \quad \sigma_f = 1.4548$$

REGIÃO III

$$Q_{50} = 0.01389 * A^{1.01} \quad (7.16)$$
$$R^2 = .9535 \quad \sigma_f = 1.3366$$

$$Q_{95} = 0.00458 * A^{0.981} \quad (7.17)$$
$$R^2 = .8869 \quad \sigma_f = 1.5833$$

REGIÃO IV

$$Q_{50} = 0.00210 * A^{1.145} \quad (7.18)$$
$$R^2 = .9678 \quad \sigma_f = 1.3617$$

$$Q_{95} = 0.00038 * A^{1.106} \quad (7.19)$$
$$R^2 = .9130 \quad \sigma_f = 1.6561$$

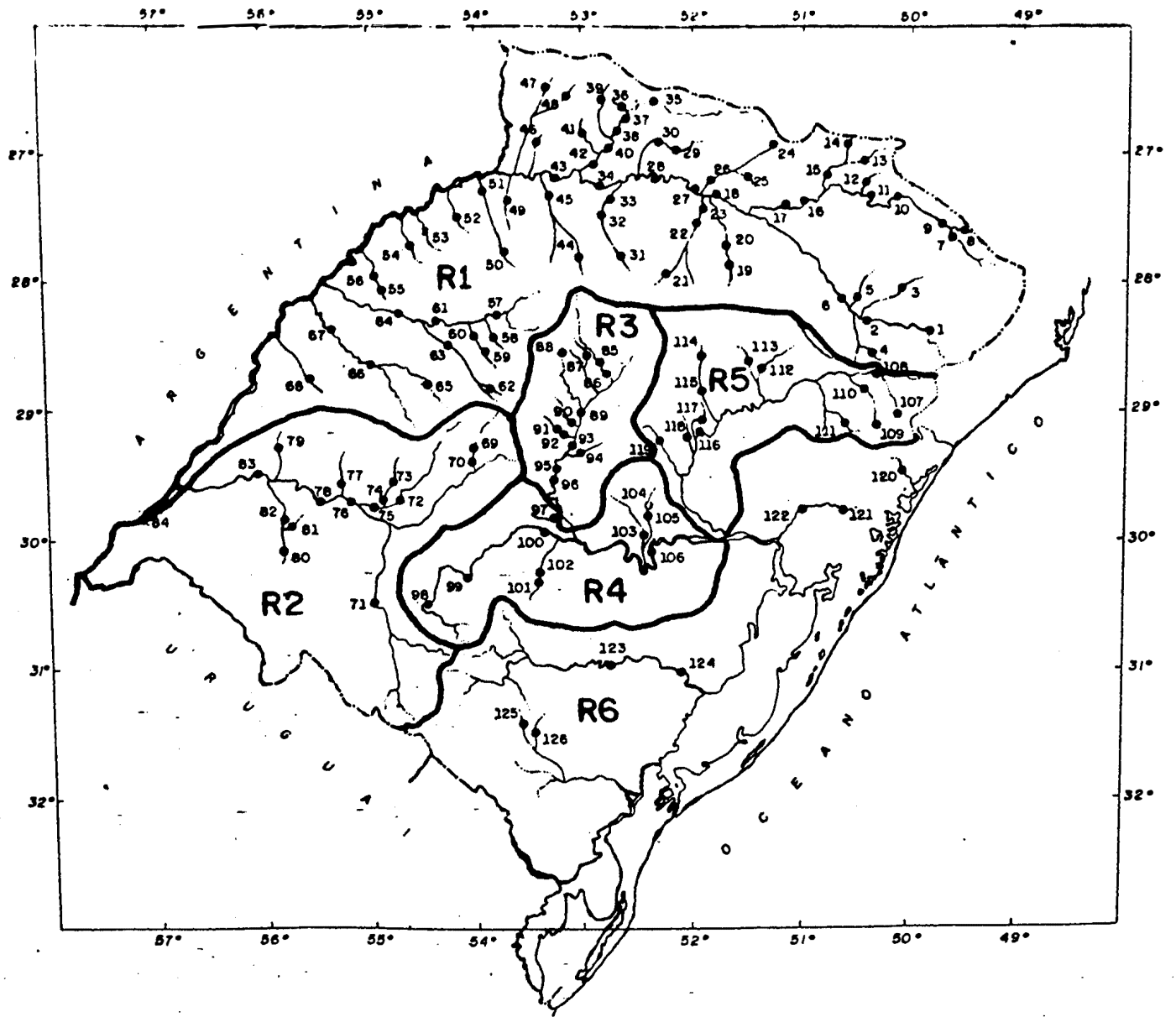


Figura 7.7 - Regiões homogêneas conforme as regressões para as curvas de permanência

REGIÃO V

$$Q_{50} = 0.01294 * A^{0,979} \quad (7.20)$$
$$R^2 = .9931 \quad \sigma_f = 1.1185$$

$$Q_{95} = 0.00249 * A^{0,958} \quad (7.21)$$
$$R^2 = .9049 \quad \sigma_f = 1.5351$$

REGIÃO VI

Adverte-se que as equações indicadas a seguir deverão ser utilizadas com restrições, dado que as mesmas foram obtidas com base num número reduzido de postos e que, por sua vez, estes postos caracterizaram-se por possuir incertezas consideráveis no setor inferior de suas curvas-chave.

$$Q_{50} = 0.00309 * A^{1,121} \quad (7.22)$$

$$Q_{95} = 0.00035 * A^{1,105} \quad (7.23)$$

Conforme se observa nas estatísticas R^2 e σ_f associadas às equações (7.12) a (7.23), as regressões relativas a Q_{95} são de qualidade inferior que as relativas a Q_{50} . Este comportamento pode ser considerado normal e decorre das maiores incertezas associadas ao setor inferior das curvas-chave dos postos fluviométricos.

Na tabela 7.3 são apresentados os valores estimados pelas respectivas equações de regressão regional (QC_{50} e QC_{95}), aqueles deduzidos das curvas empíricas (QD_{50} e QD_{95}) e as diferenças percentuais entre eles ($\% QD_{50}$ e $\% QD_{95}$). Para a região I os postos de série longa que foram utilizados para definir as equações (7.12) e (7.13) são também indicados. Pode-se observar que os resultados são, em geral, aceitáveis. As maiores diferenças associadas à determinação do Q_{95} decorrem, segundo fora apontado, das incertezas próprias do setor inferior das curvas-chave.

Tabela 7.3 - Desempenho da equação de regressão regional

REGIAO I							
Nro.	QD 50	QC 50	% QD 50	QD 95	QC 95	% QD 95	
	1	8.65	7.15	-17.35	2.32	1.55	-33.29
	2	38.77	37.13	-4.24	7.06	8.53	20.83
Regr.	3	14.27	15.36	7.65	1.86	3.42	83.81
	5	7.28	8.64	18.71	1.46	1.88	29.01
Regr.	6	100.21	108.16	7.93	17.32	25.84	49.17
	7	17.18	13.14	-23.50	4.93	2.91	-41.01
	8	6.40	6.79	6.10	1.48	1.47	-0.87
Regr.	9	29.84	26.16	-12.34	8.22	5.93	-27.80
	10	47.34	39.24	-17.10	13.60	9.04	-33.56
	11	70.99	62.46	-12.02	21.04	14.63	-30.49
	12	0.39	0.58	49.36	0.13	0.12	-11.44
	13	5.88	5.11	-13.10	1.53	1.09	-28.59
Regr.	15	47.10	48.82	3.65	10.70	11.33	5.89
	16	149.99	129.79	-13.47	43.98	31.21	-29.04
	17	196.32	169.62	-13.60	57.49	41.18	-28.36
	18	473.74	374.50	-20.95	134.59	93.58	-30.47
	19	18.04	19.13	6.04	2.32	4.29	84.97
	20	21.52	22.39	4.03	3.39	5.05	49.00
	21	17.48	13.72	-21.53	4.66	3.04	-34.77
	22	36.30	36.69	1.08	8.62	8.43	-2.23
Regr.	23	45.52	47.60	4.56	10.55	11.04	4.61
	24	23.33	27.28	16.93	3.94	6.20	57.33
	25	4.44	6.18	39.22	1.61	1.33	-17.33
	26	53.87	68.30	26.80	9.54	16.05	68.20
Regr.	27	511.43	518.72	1.42	131.21	131.15	-0.04
	28	596.60	551.22	-7.61	156.26	139.68	-10.61
	29	10.22	8.53	-16.56	2.95	1.86	-37.02
	30	14.77	12.11	-18.04	4.87	2.67	-45.15
	31	32.45	23.43	-27.79	9.95	5.30	-46.78
	32	35.75	28.57	-20.09	11.10	6.50	-41.42
	33	66.71	47.89	-28.21	12.71	11.11	-12.61
Regr.	34	709.70	659.21	-7.11	177.37	168.13	-5.21
	35	35.85	24.57	-31.47	9.72	5.56	-42.78
	36	5.24	9.48	81.00	1.07	2.07	93.84
	37	95.81	68.30	-28.71	26.60	16.05	-39.68
	38	93.47	72.00	-22.97	29.23	16.95	-42.02
	39	1.79	3.54	97.83	0.10	0.75	647.26
	40	113.26	97.61	-13.82	30.81	23.23	-24.61
	41	5.75	6.06	5.40	1.52	1.30	-14.20
	42	124.80	106.92	-14.33	31.74	25.53	-19.57
Regr.	43	861.82	776.17	-9.94	225.04	199.14	-11.51
	44	5.04	6.02	19.46	1.17	1.30	10.70

QD → Valores obtidos da curva empírica

QC → Valores obtidos da curva ajustada pela log-normal

% QD → Diferença percentual: $(QC - QD) / QD * 100\%$

Tabela 7.3 - Desempenho da equação de regressão regional

REGIÃO I (continuação)							
Nro.	QD 50	QC 50	% QD 50	QD 95	QC 95	% QD 95	
Regr. 45	67.41	69.06	2.45	15.55	16.23	4.37	
46	2.97	4.49	51.23	0.31	0.96	208.38	
47	16.50	12.13	-26.47	1.97	2.68	35.89	
48	7.07	8.18	15.73	1.56	1.78	14.09	
49	36.63	26.63	-27.30	11.63	6.05	-48.02	
50	9.94	7.28	-26.80	3.31	1.58	-52.39	
51	23.43	20.58	-12.15	6.83	4.63	-32.21	
Regr. 52	25.78	29.14	13.03	5.66	6.64	17.27	
Regr. 53	15.74	14.91	-5.24	3.32	3.32	-0.13	
54	4.64	4.85	4.62	1.15	1.04	-9.90	
55	10.97	11.07	0.95	2.17	1.04	-9.90	
56	14.91	16.58	11.23	2.96	3.70	25.04	
Regr. 57	29.12	25.89	-11.11	8.85	5.87	-33.66	
58	8.83	8.04	-9.00	3.76	1.75	-53.54	
Regr. 59	11.28	8.25	-26.88	3.23	1.79	-44.44	
60	13.65	10.57	-22.55	4.75	2.32	-51.14	
Regr. 61	73.34	65.88	-10.17	22.86	15.46	-32.38	
62	12.21	11.67	-4.43	2.74	2.57	-6.16	
63	26.82	26.59	-0.86	5.91	6.04	2.14	
64	130.00	116.60	-10.31	33.72	27.93	-17.18	
Regr. 65	9.94	12.30	23.78	2.10	2.72	29.35	
66	34.11	41.75	22.40	6.89	9.63	39.83	
Regr. 67	50.33	67.11	33.35	12.81	15.76	23.00	
84	3220.61	2316.13	-28.08	615.04	618.26	0.52	

REGIÃO II							
Nro.	QD 50	QC 50	% QD 50	QD 95	QC 95	% QD 95	
69	19.51	23.14	18.59	1.38	2.47	79.18	
70	26.68	28.18	5.64	3.32	3.05	-8.26	
71	97.18	113.91	17.22	7.53	13.32	76.86	
72	20.62	19.33	-6.23	1.72	2.05	18.92	
73	9.82	7.11	-27.59	0.93	0.71	-23.54	
75	48.80	39.71	-18.62	5.40	4.38	-18.98	
76	286.19	269.72	-5.76	30.36	33.10	9.04	
78	323.33	286.32	-11.45	51.14	35.26	-31.05	
80	23.07	26.06	12.96	2.49	2.80	12.60	
81	11.68	11.37	-2.67	1.94	1.17	-39.83	
82	31.60	51.01	61.43	4.47	5.70	27.52	
83	436.05	362.82	-16.79	62.98	45.28	-28.10	

QD → Valores obtidos da curva empírica

QC → Valores obtidos da curva ajustada pela log-normal

% QD → Diferença percentual: $(QC - QD) / QD * 100\%$

Tabela 7.3 - Desempenho da equação de regressão regional
(continuação).

REGIAO III						
Nro.	QO 50	QC 50	% QO 50	QO 95	QC 95	% QO 95
85	41.16	36.36	-11.66	14.26	10.23	-28.25
86	66.61	56.28	-15.50	23.06	15.70	-31.93
87	6.82	5.24	-23.13	2.03	1.53	-24.41
88	12.47	10.00	-19.78	3.47	2.89	-16.73
90	13.97	14.26	2.09	4.77	4.09	-14.25
92	13.37	23.71	77.33	3.86	6.73	74.35
94	17.84	26.05	46.03	2.87	7.38	157.16
93	134.78	143.14	6.20	52.33	39.17	-25.14
95	194.65	178.55	-8.27	44.03	48.64	10.48
96	216.79	182.88	-15.64	48.68	49.80	2.30

REGIAO IV						
Nro.	QO 50	QC 50	% QO 50	QO 95	QC 95	% QO 95
98	4.34	5.68	30.91	0.91	0.78	-14.57
99	18.02	19.95	10.71	1.07	2.62	144.46
101	2.20	3.30	49.94	0.43	0.46	6.91
102	4.48	3.99	-10.96	1.05	0.55	-47.39
103	11.75	13.02	10.84	1.69	1.73	2.52
104	6.91	4.16	-39.74	0.40	0.58	43.95
105	6.12	4.99	-18.48	0.88	0.69	-22.08
106	387.47	367.75	-5.09	59.00	43.68	-25.96

REGIAO V						
Nro.	QO 50	QC 50	% QO 50	QO 95	QC 95	% QO 95
107	1.80	1.73	-3.76	0.39	0.30	-22.77
108	20.42	19.00	-6.98	4.89	3.14	-35.76
112	32.51	29.39	-9.59	5.00	4.82	-3.67
113	4.31	3.66	-15.09	0.90	0.63	-30.39
114	12.52	14.05	12.20	2.42	2.34	-3.40
115	17.86	20.04	12.22	2.33	3.31	42.09
116	158.12	157.36	-0.48	24.83	24.90	0.27
117	28.23	26.43	-6.39	6.40	4.34	-32.18
119	8.34	8.96	7.44	0.66	1.51	128.08

QO → Valores obtidos da curva empírica

QC → Valores obtidos da curva ajustada pela log-normal

% QO → Diferença percentual: $(QC - QO) / QO * 100\%$

É de se salientar que, com relação à região I, as maiores diferenças registram-se naqueles postos para os quais existiam poucos anos de dados para a estimativa da curva empírica. Dada a falta de representatividade das séries disponíveis, os valores de Q_{50} e Q_{95} deduzidos das curvas empíricas desses postos podem ser considerados tendenciosos. Na tabela 7.4 indica-se o comprimento de série disponível daqueles postos onde se verificaram as maiores diferenças.

Tabela 7.4. Síntese das características dos registros disponíveis para alguns postos da região I.

Nro. Posto	Nro. Total de anos com dados	Características destacadas
12	12	Período 1960-1971.
25	6	Período 1977-1983 com interrupções.
31	17	Período 1949-1970 com interrupções.
33	11	Período 1971-1982 com interrupções.
36	7	Período 1978-1984.
39	8	Período 1977-1984.
46	4	Período 1977-1984 com interrupções.

Nas figuras 7.8 e 7.9 são apresentados os resultados da curva empírica e dos valores obtidos pela equação de regressão para alguns postos para o trecho da curva de permanência entre 50 e 99%.

95%

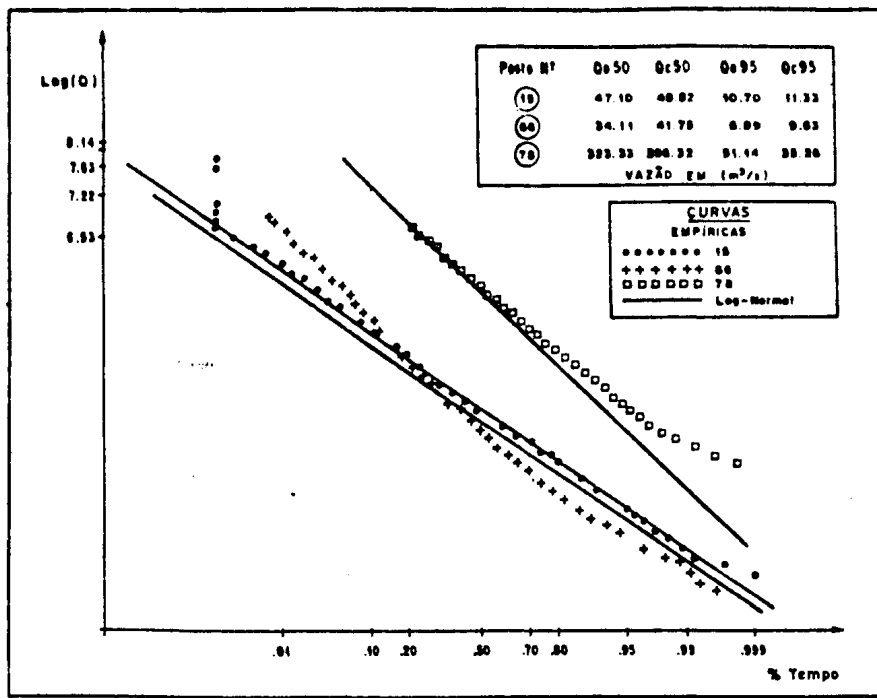


Figura 7.8 - Desempenho das equações de regressão.

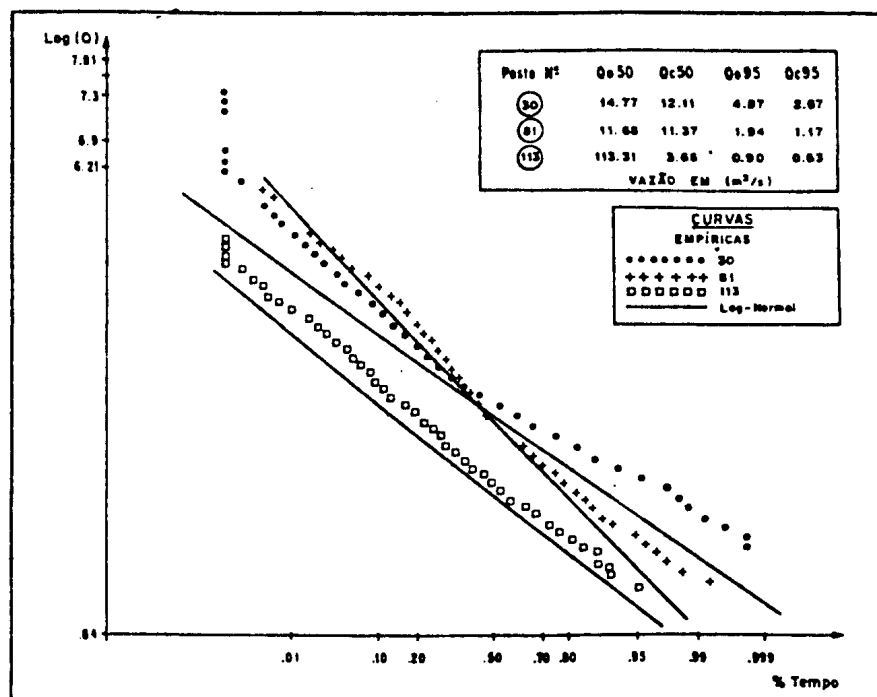


Figura 7.9 - Desempenho das equações de regressão.

7.5 Análise dos resultados

Observou-se que a década de 40 foi importante na definição das curvas de permanência, principalmente para a parte média e superior do rio Uruguai. Nas outras regiões não foi possível estabelecer com clareza esta importância devido ao reduzido número de postos e à qualidade das informações. Portanto, utilizaram-se, na maioria das regiões, postos com séries que abrangessem a década de quarenta. Em algumas regiões isto não foi possível devido à falta de dados com qualidade.

As estimativas de Q_{95} foram, em geral, de pior qualidade que as relativas a Q_{50} . Isto decorreu das maiores incertezas associadas ao setor inferior das curvas-chave. É provável que uma melhoria destas estimativas possa ser obtida ao se incorporar nas regressões variáveis explicativas adicionais, como algumas variáveis relacionadas às características geológicas das bacias.

As limitações dos resultados obtidos são as seguintes:

- As regressões obtidas permitem apenas a estimativa do setor da curva de permanência entre Q_{50} e Q_{95} .
- A região VI (Lagoas) é a que apresenta pior representatividade, devendo-se usar estes resultados com cuidado.
- As curvas deduzidas são usadas para bacias sem reservatórios com regularização a montante.

8 - REGIONALIZAÇÃO DE CURVAS DE REGULARIZAÇÃO

8.1- Regularização de vazões

O escoamento em rios apresenta uma variação sazonal que frequentemente impede seu uso ao longo de todo o ano. A regularização de vazão através de reservatórios é uma prática utilizada para usos como: abastecimento d'água, irrigação, produção de energia elétrica, navegação e diluição de despejos.

A regularização de vazão depende de como a demanda será solicitada ao sistema fluvial. Para aproveitamentos como irrigação isto somente ocorre em alguns meses do ano. No abastecimento d'água a vazão é solicitada durante todo o ano, mas aumenta no verão. Portanto, para estabelecer o volume de um reservatório é necessário conhecer a demanda e sua distribuição no tempo. No entanto, numa avaliação preliminar das condições de regularização de um rio, algumas premissas podem ser estabelecidas, tais como: demanda constante, desprezar a evaporação e utilizar uma série de uma bacia próxima.

Uma das principais dificuldades que o hidrólogo encontra é de não dispor de dados no local de interesse. Para obter a série no local desejado são utilizadas as mais diferentes práticas, desde o uso da vazão específica até a aplicação de modelos precipitação-vazão. A regionalização da curva de regularização visa a utilização de vazões dos postos da região para melhor estimar esta relação no local sem dados. Neste caso ficam mantidas as limitações de uma demanda constante e o uso de uma estimativa da evaporação.

A evaporação normalmente é desprezada em estudos de regularização, principalmente em climas em que o período crítico não ocorre concomitantemente com as maiores evaporações, como na região Sudeste do Brasil. No Rio Grande do Sul o período crítico ocorre normalmente no verão, quando a evaporação é maior, apresentando uma

influência maior. A regionalização desenvolvida não contemplou a evaporação, mas é apresentado um procedimento simplificado para considerá-la nos cálculos do volume útil.

As curvas obtidas neste estudo devem ser usadas para uma estimativa preliminar do volume útil necessário para garantir uma determinada demanda.

Para o estabelecimento das curvas regionais de regularização foram desenvolvidas as seguintes etapas: Preenchimento de falhas das vazões mensais; determinação das curvas individuais adimensionais para cada posto; estabelecimento das regiões homogêneas e ajuste da curva para cada região. A seguir serão apresentados os elementos metodológicos; no terceiro item são relacionados os dados básicos utilizados e séries preenchidas e adotadas. No quarto item são descritos os resultados das curvas individuais e regionalização.

8.2- Metodologia

8.2.1 Relação volume-demanda

O volume que um reservatório deve ter para atender uma demanda sem que ocorram falhas de atendimento, durante a série histórica, pode ser obtido por métodos como o desenvolvido por Rippl em 1883, descrito nos livros básicos de Hidrologia. O método de Rippl é um método gráfico muito trabalhoso para ser utilizado com um grande número de postos. Além disto, tornou-se obsoleto devido às facilidades computacionais hoje existentes para o tratamento destas informações.

Heras (1976) utiliza o critério de período crítico para estimar o volume, para uma determinada demanda. Este método utiliza um algoritmo que considera a envoltória de um polígono de linhas retas. Haktanir (1984) utilizou uma simulação iterativa para obter a referida curva.

Neste estudo utilizou-se uma adaptação, sob a forma computacional, do critério de Rippl, . Considere o armazenamento acumulado segundo a equação seguinte

$$S_{t+1} = S_t + (Q_t - q) \Delta t \quad (8.1)$$

onde S_{t+1} e S_t são os armazenamentos; Q_t a vazão afluyente; q a demanda e Δt o intervalo de tempo. O armazenamento mínimo da equação 8.1 permite estimar o volume que atenda a demanda q . A função de S com o tempo é apresentada na figura 8.1. O volume V é o armazenamento necessário para garantir a demanda q pelo período da série histórica.

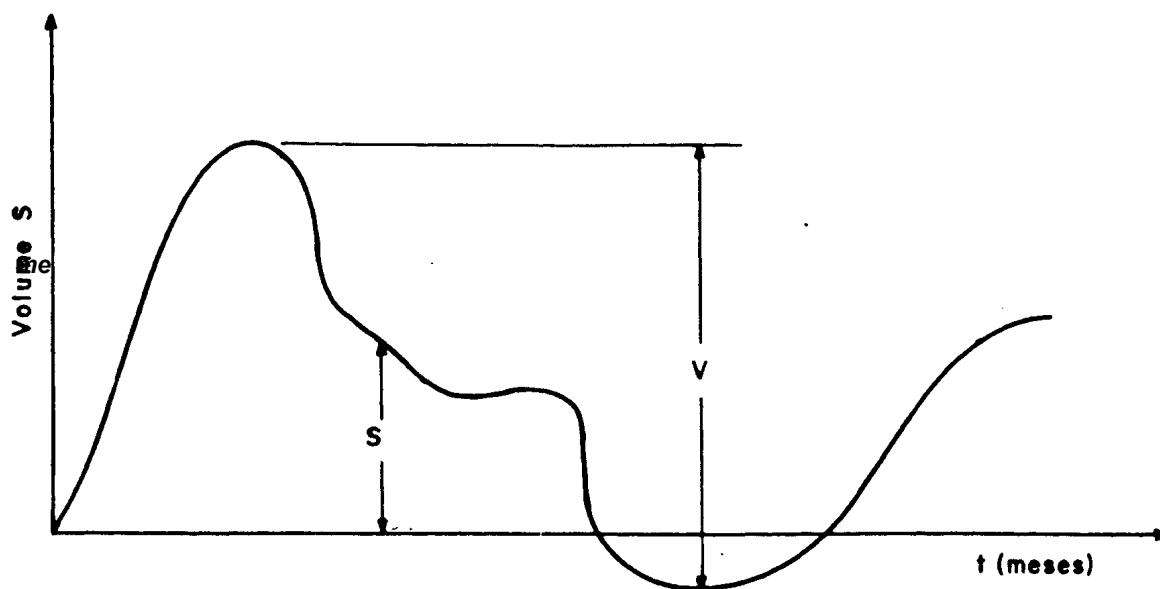


Figura 8.1 - Armazenamento função do tempo

Simulando a equação 8.1 para várias demandas pode-se obter a relação entre volume e vazão, ou seja

$$V = f_1(q) \quad (8.2)$$

onde V é o volume.

Modificando as variáveis envolvidas para

$$\alpha = V/(Q_m \text{ lano}) \quad (8.3)$$

$$\beta = q/Q_m \quad (8.4)$$

onde Q_m é a vazão média de longo período, a função da equação 8.2 resulta numa função adimensional do tipo

$$\alpha = f_2(\beta) \quad (8.5)$$

Com base nos valores obtidos da simulação pode-se ajustar uma função do tipo

$$\alpha = a \beta^b \quad (8.6)$$

onde a e b são obtidos por mínimos quadrados.

8.2.2 Função regional

Considerando que as curvas adimensionais das equações 8.5 ou 8.6 são obtidas para cada posto, pode-se verificar a possibilidade de que postos de bacias com características semelhantes tenham a mesma tendência, já que as vazões mensais, que são as variáveis do processo, podem ser correlacionáveis.

Neste caso dois procedimentos podem ser seguidos:

- estabelecer a regressão entre os parâmetros a e b da função da equação 8.6 com características físicas das bacias estudadas;
- ajuste de uma curva média com postos de tendência

semelhante.

8.3 - Dados disponíveis

8.3.1 Postos fluviométricos

Os postos fluviométricos com vazões foram relacionados anteriormente. Para estes postos foram preenchidas as falhas mensais com base em postos vizinhos. Cada posto teve sua série iniciada no primeiro mês com dados e encerrada no último mês com dados. As falhas internas foram preenchidas com base numa equação de regressão com posto vizinho que apresentasse o melhor coeficiente de correlação.

Na tabela B.1) são apresentados os postos e o tamanho da série efetiva obtida, além de caracterizar os períodos preenchidos. A maioria dos postos possui um número reduzido de valores preenchidos. Nesta tabela são apresentados também os postos usados no preenchimento de cada posto e o número de meses preenchidos. O número total de meses é de 39.768, representando 3314 anos, sendo uma parcela de 6,6 % de valores preenchidos por correlação. Neste processo um posto foi abandonado devido ao período longo de preenchimento, o que distorceu totalmente a série de vazões. No anexo F1 são apresentadas as vazões médias mensais e suas estatísticas.

8.3.2 Curvas de regularização individuais

As curvas de regularização de cada posto foram determinadas segundo metodologia descrita anteriormente. Para tanto utilizaram-se vazões variando de 0 a 99% da vazão média. Estes valores foram adimensionalizados com base na vazão média e multiplicados por 100 para se obter o valor em percentagem. O volume também foi dividido pela vazão média, pelo intervalo de tempo de um ano e multiplicado por 100, obtendo-se o resultado em %. Estes resultados foram gerados na forma tabular e encontram-se no anexo F2.

TABELA 8.1 - PREENCHIMENTO DE VAZES MEDIAS MENSAIS

POSTO PREENCHIDO					POSTOS USADOS NO PREENCHIMENTO																				
No	CODIGO DA ESTACAO	NOME DA ESTACAO E CURSO D'AGUA	NUMERO			POSTO 1				POSTO 2				POSTO 3				POSTO 4							
			DE MESES TOTAL	DE MESES PREENCHIDOS	X	No	CODIGO ESTACAO	No DE MESES PREENCHIDOS	X	R	No	CODIGO ESTACAO	No DE MESES PREENCHIDOS	X	R	No	CODIGO ESTACAO	No DE MESES PREENCHIDOS	X	R					
198	185470000	PTE SAO BARTHEL - RIO VACACAI	204	13	6.4	99	854800000	3	1.5	0.92	100	856000000	10	4.9	0.84										
199	185480000	PASSO DO ROCHA - RIO VACACAI	168	12	7.1	100	856000000	12	7.1	0.94															
100	185600000	PASSO DAS TUNAS - RIO VACACAI	528	8	1.5	106	859000000	8	1.5	0.88															
101	185620000	PULQUEIRA - ARROIO SAO SEPE	216																						
102	185625000	SAO SEPE - ARROIO SAO SEPE	96	8	0.3	100	856000000	4	4.2	0.91	1123	877300000	4	4.2	0.80										
103	185700000	PASSO DO MEIO - RIO PARDO	180	25	13.9	94	853800000	7	3.9	0.96	101	856200000	4	2.2	0.76	118	867800000	7	3.9	0.72	108	861000000	7	3.9	0.63
104	185830000	SANTA CRUZ MONT. - RIO PARDINHO	60	1	1.7	105	858500000	1	1.7	0.98															
105	185850000	SANTA CRUZ - RIO PARDINHO	480	191	39.8	104	858300000	12	2.5	0.98	119	867450000	69	14.4	0.80	92	853400000	71	14.8	0.77	123	877300000	39	0.1	0.65
106	185900000	RIO PARDO - RIO JACUI	528	108	20.5	100	856000000	108	20.5	0.88															
107	186050000	CANISAS - RIO CANISAS	492	6	1.2	109	861200000	4	0.8	0.93	108	861000000	2	0.4	0.90										
108	186100000	PASSO DO GABRIEL - RIO DAS ANTAS	516	17	3.3	115	865000000	8	1.6	0.80	116	865100000	5	1.0	0.88	107	860500000	4	0.8	0.90					
109	186120000	TAINHAS - RIO TAINHAS	492	6	1.2	107	860500000	4	0.8	0.93	108	861000000	2	0.4	0.89										
111	186200000	LAJEADO GRANDE - LAJEADO GRANDE	132	1	0.8	116	865100000	1	0.8	0.91															
112	186410000	P. BARRA DA BONAFEIRA - RIO TURVO	324	12	3.7	116	865100000	12	3.7	0.97															
113	186420000	PONTE DO PRATA - RIO DO PRATA	288	19	6.6	115	865000000	18	6.3	0.97	116	865100000	1	0.3	0.96										
114	186480000	PASSO NIGLIAVACA - RIO CARREIRO	324	12	3.7	115	865000000	11	3.4	0.99	117	865800000	1	0.3	0.95										
115	186580000	PASSO CARREIRO - RIO CARREIRO	504	17	3.4	117	865800000	17	3.4	0.94															
116	186510000	HUCUN - RIO TAQUARI	492																						
117	186580000	SANTA LUCIA - RIO GUMPORE	516	10	1.9	115	865000000	10	1.9	0.94															
118	186700000	PONTE JACARE - ARROIO JACARE	468	20	4.3	117	865800000	19	4.1	0.75	104	858300000	1	0.2	0.86										
119	186745000	PASSO DO COITHRA - RIO FORQUETA	312	86	27.6	117	865800000	86	27.6	0.89															
120	187310000	ITATI - RIO TRES FORQUILHAS	276	179	64.9	Regressoes muito baixas				Periodo muito longo de preenchimento															
121	187360000	ENTREPELADO - RIO DOS SINOS	300	68	22.7	109	861200000	57	19.0	0.78	122	873800000	11	3.7	0.92										
122	187380000	CAMPO BON - RIO DOS SINOS	528	58	11.0	121	873600000	41	7.8	0.92	109	861200000	17	3.2	0.86										
123	187730000	PASSO DO MARINHEIRO - RIO CANAUA	504	91	18.1	124	879050000	12	2.4	0.96	71	763100000	2	0.4	0.89	101	856200000	57	11.3	0.89	100	856000000	20	4.0	0.81
124	187905000	PASSO DO HENDONCA - RIO CANAUA	204	37	18.1	123	877300000	35	17.2	0.96	106	859000000	2	1.0	0.82										
125	188179000	BARIO LASSANCE - ARROIO CANDIOTA	108	15	13.9	123	877300000	14	13.0	0.87	101	856200000	1	0.9	0.69										
126	188185000	CANDIOTINHA - ARROIO CANDIOTINHA	156	33	21.2	123	877300000	31	19.9	0.82	124	879050000	2	1.3	0.79										

Nesta mesma tabela existe uma equação que permite o cálculo do volume para uma demanda escolhida, utilizando-se os valores tabulados, para facilitar o seu uso.

Na tabela 8.2 são apresentados os parâmetros a e b do ajuste da equação 8.6 para cada posto individualmente. Como pode-se observar o ajuste é muito bom.

8.3.3 Regionalização das curvas de regularização

Para regionalizar este tipo de curva, procurou-se estabelecer o intervalo mais apropriado, já que no extremo superior existe muita variação de tendência da curva devido à magnitude das vazões envolvidas e do volume necessário para regularizá-las, pois os períodos que influenciam estes volumes são superiores a 1 ou mais anos. Além disso, dificilmente procura-se regularizar a vazão média. Portanto, a regionalização foi realizada com curva adimensional para o intervalo superior menor que a vazão média, escolhido de acordo com a precisão obtida.

Domokos e Gilyen-Hofer (1990) regionalizaram os parâmetros da equação 8.6 com o coeficiente de variação das bacias, obtendo resultados com uma tendência aceitável, mas sem indicar os coeficientes de correlação obtidos.

Inicialmente testou-se a regionalização dos parâmetros a e b das curvas ajustadas para cada posto com o coeficiente de variação. Os resultados foram ruins, não indicando qualquer tendência. Posteriormente testou-se a regressão com outros fatores físicos e também não se obteve boa correlação, mas observou-se grande proximidade entre os valores obtidos e os parâmetros ajustados, o que poderia indicar que as curvas adimensionais poderiam ter tendências semelhantes.

Utilizando-se as curvas adimensionais, procurou-se determinar os grupos de postos que apresentassem a mesma tendência,

Tabela B.2 - Parâmetros de ajuste das curvas individuais de regularização

CODIGO DO POSTO	PARAMETROS		R	VAZAO MEDIA	DESVIO PADRAO
	A	B		M3/S	M3/S
1	2.634	.7529	.948	16.511	12.238
2	2.443	.9827	.995	74.467	67.724
3	2.545	2.4522	.994	27.104	26.109
4	2.802	2.1287	.993	4.170	5.214
5	2.236	3.8150	.992	16.427	19.091
6	2.765	2.8200	.997	188.146	160.600
7	2.464	1.2293	.978	28.373	22.945
8	2.583	1.2354	.986	13.028	9.605
9	3.225	2.8534	.991	48.492	37.168
10	1.719	.8533	.996	79.353	69.908
11	3.080	1.8263	.968	114.851	102.774
12	2.936	1.4540	.994	.692	0.977
13	2.380	.9736	.983	10.278	8.614
14	3.545	1.7760	.992	12.945	9.521
15	2.562	3.3340	.987	75.567	64.676
16	3.417	2.0823	.956	234.200	223.188
17	2.885	1.4292	.979	315.738	298.482
18	3.578	1.1878	.981	645.666	496.557
19	2.135	1.0499	.997	32.987	29.545
20	2.343	1.2066	.992	39.073	34.360
21	3.135	1.7010	.947	30.822	26.504
22	2.548	1.2367	.973	69.605	60.822
23	2.406	2.9569	.982	87.565	77.695
24	2.858	1.6877	.975	47.091	50.064
25	3.030	1.6088	.998	9.613	13.839
26	2.345	2.6073	.993	107.044	99.814
27	3.141	3.8099	.991	842.658	724.083
28	3.233	1.7103	.932	1003.857	873.174
29	2.396	.9317	.980	18.900	15.981
30	2.716	1.0405	.990	27.412	24.455
31	2.975	.8199	.956	46.663	35.885
32	3.854	1.0794	.983	54.231	42.786
33	2.786	1.2447	.994	100.657	89.761
34	3.568	5.5588	.948	1179.223	1006.528
35	2.279	.9193	.992	56.525	47.545
36	1.828	.8474	.996	17.206	24.286
37	2.462	.8387	.976	147.754	101.128
38	3.187	1.3858	.978	146.211	106.292
39	1.657	1.0949	.997	7.982	14.077
40	2.626	1.2970	.985	193.617	167.283
41	2.220	1.0890	.983	11.756	10.241
42	2.539	1.1694	.981	223.430	203.326
43	3.034	3.9416	.982	1476.475	1274.677
44	2.093	.9669	.994	10.396	9.746
45	2.479	3.3386	.991	135.971	138.489
46	1.651	.7709	.996	8.125	8.989
47	2.119	1.4469	.992	34.334	39.022
48	2.082	.9705	.981	16.658	16.784
49	3.203	1.8932	.981	58.264	46.569
50	3.525	1.7341	.992	15.529	12.170

Tabela B.2 - Parâmetros de ajuste das curvas individuais de regularização

CODIGO DO POSTO	PARAMETROS		R	VAZAO MEDIA	DESVID PADRAO
	A	B		M3/S	M3/S
51	3.062	1.7492	.993	39.098	32.883
52	2.305	2.2347	.990	50.225	47.200
53	3.198	3.6861	.941	24.837	21.242
54	2.917	1.5793	.952	7.735	6.267
55	2.635	2.6820	.998	20.456	17.839
56	2.692	2.4640	.983	35.473	35.727
57	3.359	2.6750	.980	46.240	37.071
58	5.130	3.4918	.973	14.366	11.354
59	2.961	2.6326	.983	19.128	15.344
60	3.714	1.5540	.993	22.066	16.665
61	3.048	2.2828	.971	117.162	95.615
62	2.985	1.5424	.973	25.247	24.815
63	2.722	1.4832	.991	52.649	51.390
64	3.291	2.7091	.990	220.135	194.763
65	2.520	2.1140	.993	22.508	23.210
66	2.609	2.3784	.985	80.369	81.618
67	3.023	2.9088	.978	110.713	108.901
68	1.872	.9038	.984	59.905	62.114
69	1.447	1.1290	.987	54.987	57.679
70	2.094	1.6402	.977	68.825	69.731
71	1.841	1.0863	.994	212.622	227.003
72	1.737	1.5035	.984	52.491	52.999
73	1.677	1.3285	.995	26.180	24.801
75	1.798	1.1329	.998	111.824	110.504
76	1.780	1.0768	.992	518.506	491.175
77	10.361	10.9367	.789	10.551	5.113
78	2.588	1.0113	.986	548.317	504.145
79	4.971	3.0182	.957	61.103	46.479
80	1.643	.4331	.997	71.949	61.708
81	2.379	.9179	.997	30.570	27.044
82	1.651	1.1118	.995	117.013	131.376
83	1.803	1.1229	.991	808.053	770.463
84	3.164	1.5100	.998	4116.284	3037.902
85	2.818	2.4404	.986	69.346	59.023
86	2.621	2.5872	.984	108.306	91.195
87	2.925	1.8296	.948	9.587	7.353
88	3.110	3.9327	.951	20.211	16.347
89	5.563	5.5514	.977	151.546	121.080
90	2.849	1.6375	.979	23.412	17.009
92	2.561	1.8126	.982	32.299	35.007
93	5.713	5.0990	.923	215.715	198.672
94	2.395	1.7274	.982	38.476	36.176
95	4.185	2.8182	.986	300.634	251.809
96	3.807	2.1374	.999	327.164	258.832
97	1.820	.6154	.983	19.067	19.557
98	1.992	.9250	.998	15.195	16.476
99	1.638	.7896	.994	44.653	48.869
100	1.524	1.7487	.989	102.127	118.015

Tabela B.2 - Parâmetros de ajuste das curvas individuais de regularização

CODIGO DO POSTO	PARAMETROS		R	VAZAO MEDIA	DESVIO PADRAO
	A	B		M3/S	M3/S
101	2.048	1.3041	.991	9.202	11.747
102	2.592	1.2319	.992	12.269	12.976
103	2.162	2.1564	.981	42.347	129.927
104	1.725	.8321	.982	20.319	18.313
105	1.927	1.4750	.995	16.894	45.999
106	2.010	2.0687	.976	748.685	796.818
107	2.980	1.5772	.989	3.009	2.515
108	2.743	1.2764	.994	39.878	33.099
109	2.753	1.6803	.982	5.426	4.287
111	1.907	1.1001	.961	5.264	5.492
112	2.263	1.2584	.993	63.937	60.588
113	2.788	1.8347	.993	8.437	7.403
114	2.769	1.9532	.975	30.270	28.886
115	1.803	1.2701	.990	39.764	38.095
116	2.268	2.1285	.973	325.220	317.733
117	2.600	1.5142	.955	58.519	55.809
118	2.110	1.8655	.991	10.263	12.520
119	1.966	1.3826	.990	21.012	23.481
121	2.317	.7868	.996	29.270	22.927
122	2.334	1.6836	.977	61.160	49.598
123	1.644	.8613	.996	172.644	196.881
124	2.868	1.7121	.972	293.738	296.733
125	1.597	.9219	.993	3.119	4.051
126	2.060	1.4260	.988	4.359	4.388

permitindo estabelecer uma curva única para cada região. Com este critério obteve-se o resultado apresentado na figura 8.2, onde se observam os postos do trecho médio e inferior da bacia do rio Canoas com tendência semelhante. Somente um posto não apresentou a mesma tendência. Para outras regiões foi utilizado o mesmo procedimento, obtendo-se resultados semelhantes (figuras 8.3 a 8.6). Verificando-se os postos que não apresentavam a mesma tendência que os demais, constatou-se que eram os postos com série mais longa. Para analisar este aspecto foram reunidos os postos de série longa e série curta dos rio Canoas, Rio do Peixe e Ligeiro. Na figura 8.7 são apresentadas as curvas médias dos postos de série longa (1940-1984) e os postos com série menor (1951-1984). Constata-se que a curva obtida com os postos que não possuem a década de 40 subestimam o volume para uma demanda escolhida. Isto se deve ao período crítico que ocorre entre os anos 42 e 44, além de toda a década apresentar valores baixos de vazão. Na figura 8.8 são apresentadas as curvas dos dois grupos de postos, mas para a curva do grupo de postos com série longa foram retirados os valores de 1940 a 1950 e determinada novamente a curva de regularização. Pode-se observar que as duas curvas médias são aproximadamente equivalentes, o que indica claramente a falta de representatividade do período 1951-1984.

Este exame foi realizado para as outras regiões, constatando-se características semelhantes em partes das regiões. Na figura 8.9 pode-se observar as curvas da região do rio Ibicuí, onde não se observa nitidamente este problema de amostragem.

Com o objetivo de verificar se a causa da redução da vazão era apenas um problema de variação aleatória do clima, utilizou-se da precipitação de um posto com série longa na região onde estas condições aparecem. O posto é na cidade de Passo Fundo e tem série de precipitações com poucas falhas, iniciando em 1923. Na figura 8.10 são apresentadas as precipitações anuais de Passo Fundo adimensionalizadas com base na sua média de longo período. Observa-se nesta figura que o período de 40 a 50 está abaixo da

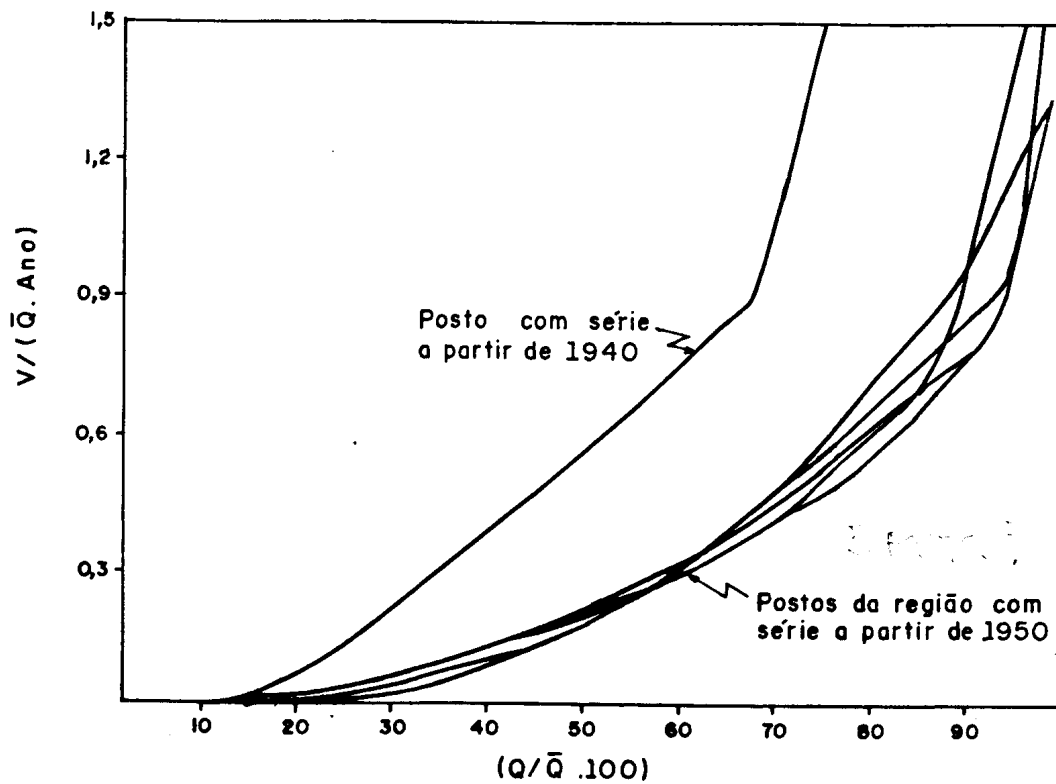


Fig. 8.2 — Curva de regularização
Rio Canoas

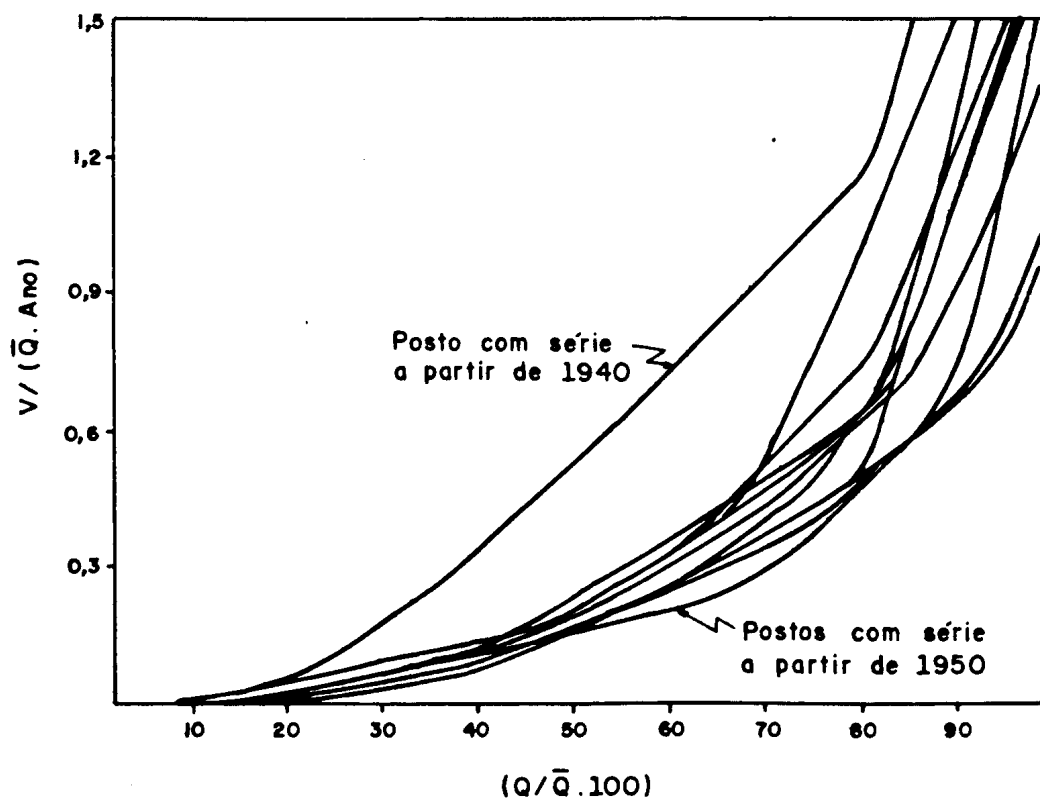


Fig. 8.3 — Curva de regularização
Rios do Peixe e Chapecó
(margem direita do rio Uruguai)

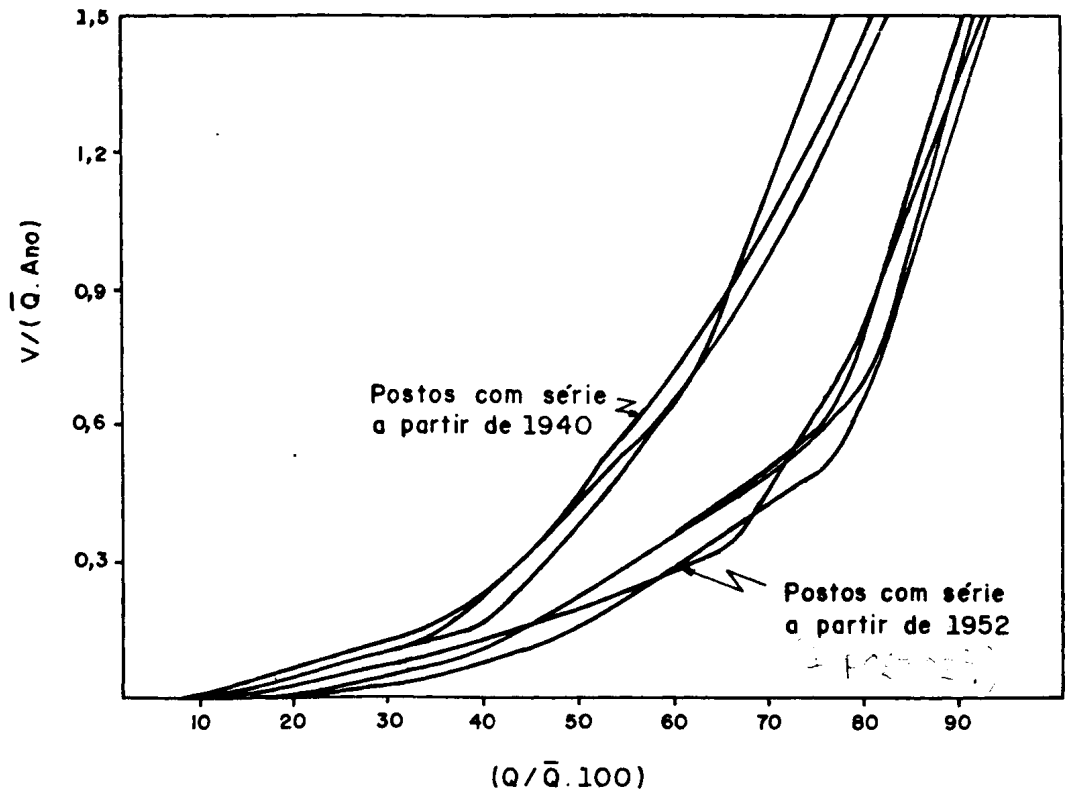


Fig. 8.4 - Curva de regularização
Rios Santa Rosa, Buricá e Comandá
(margem esquerda do rio Uruguai)

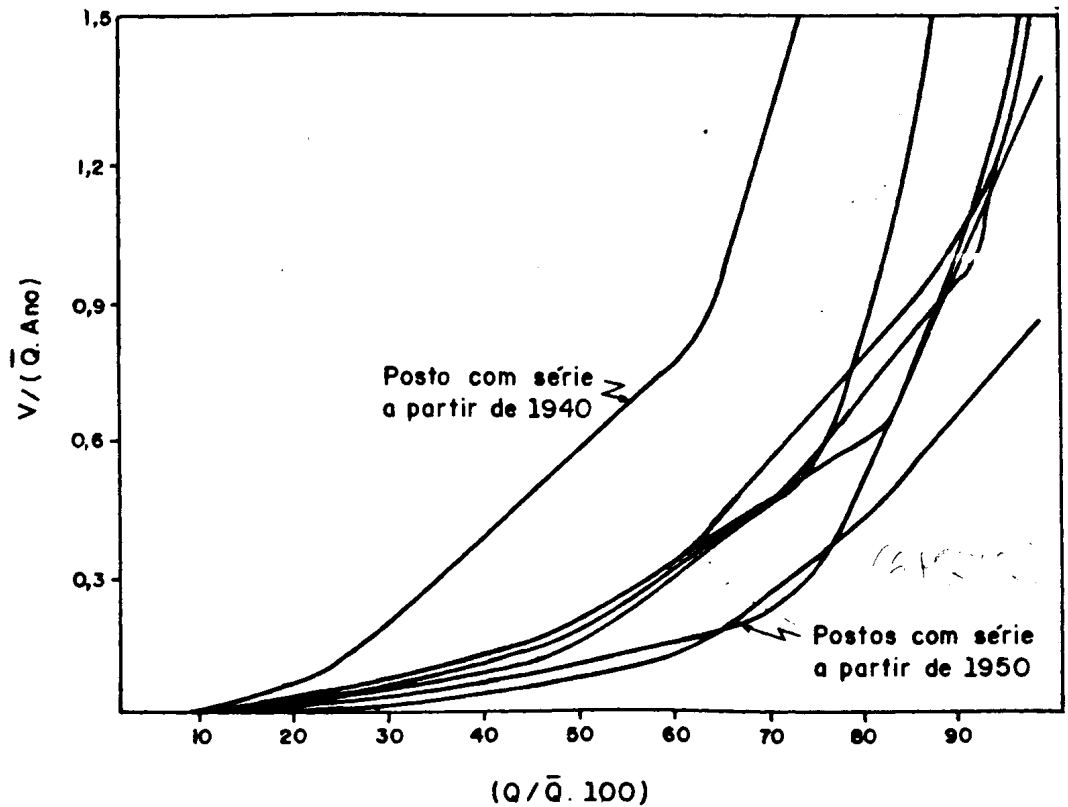


Fig. 8.5 - Curva de regularização
Rio Passo Fundo e Ligeiro
(margem esquerda do rio Uruguai)

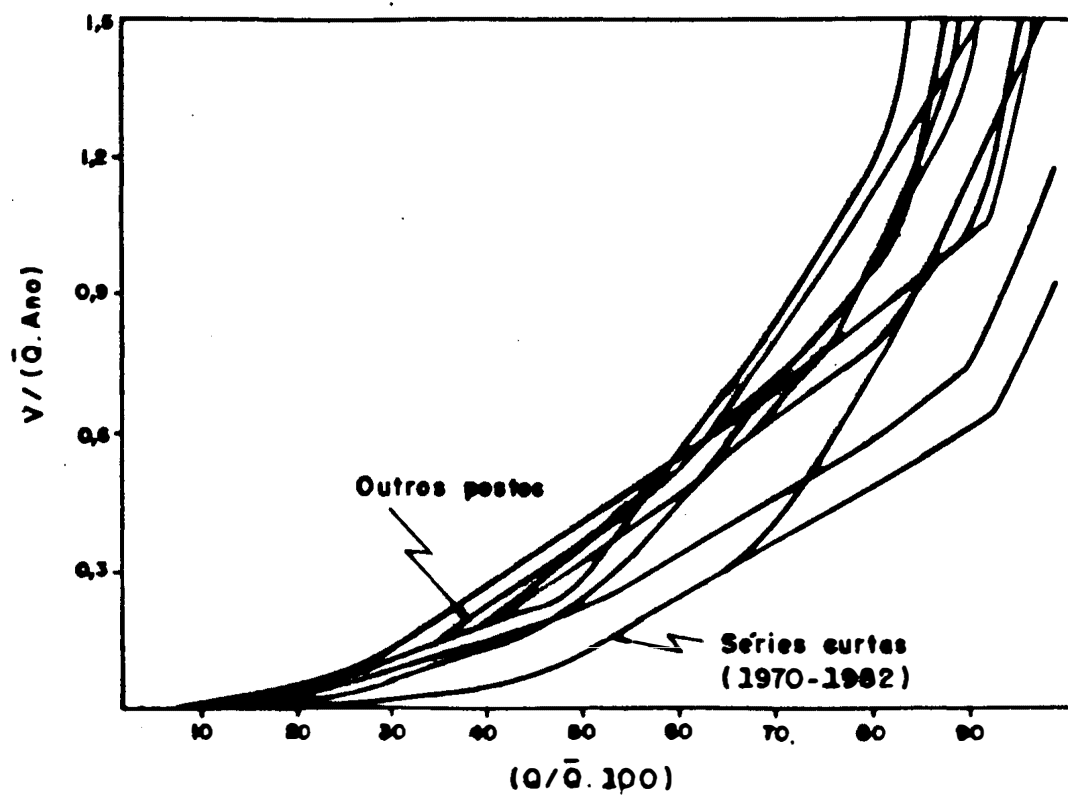


Fig. 8.6 - Curva de regularização
Rios Ijuí e Piratini

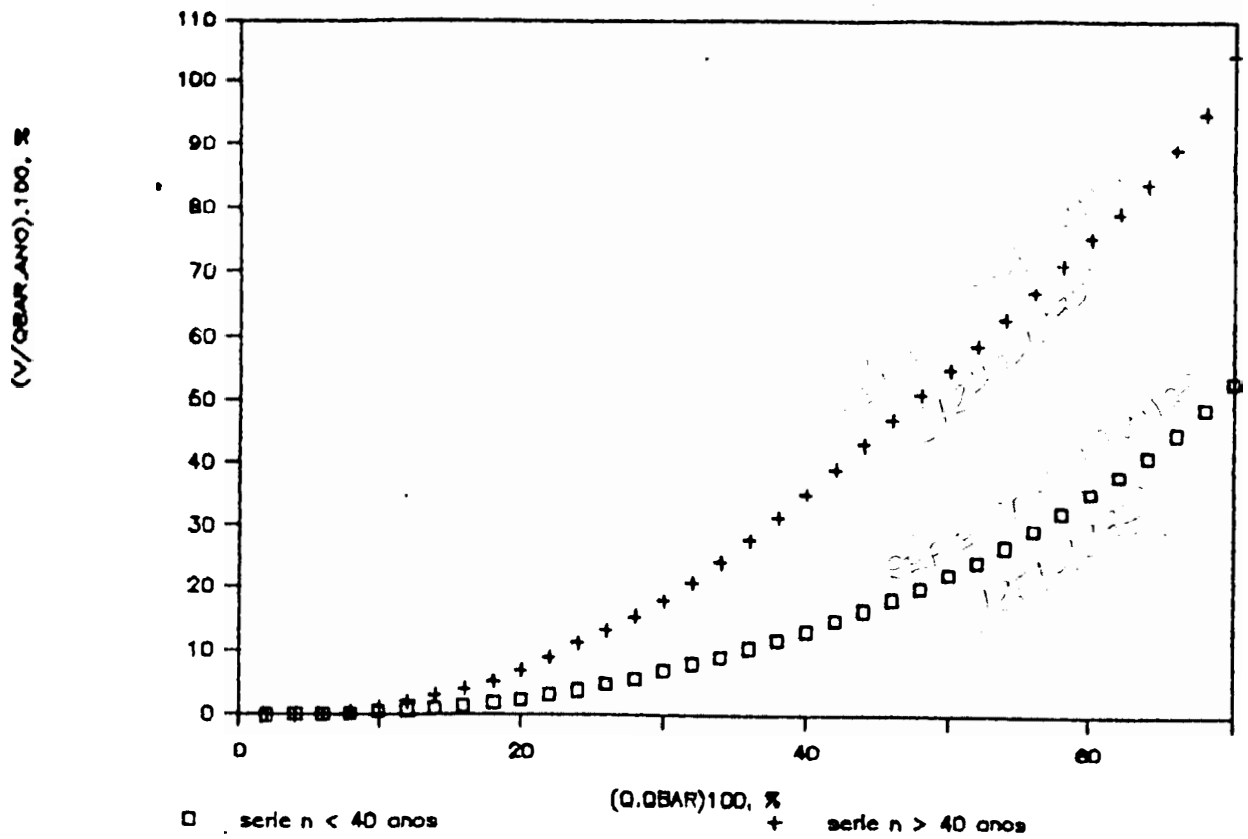


Figura 8.7 - Comparação de curvas de regularização
série curta * série longa

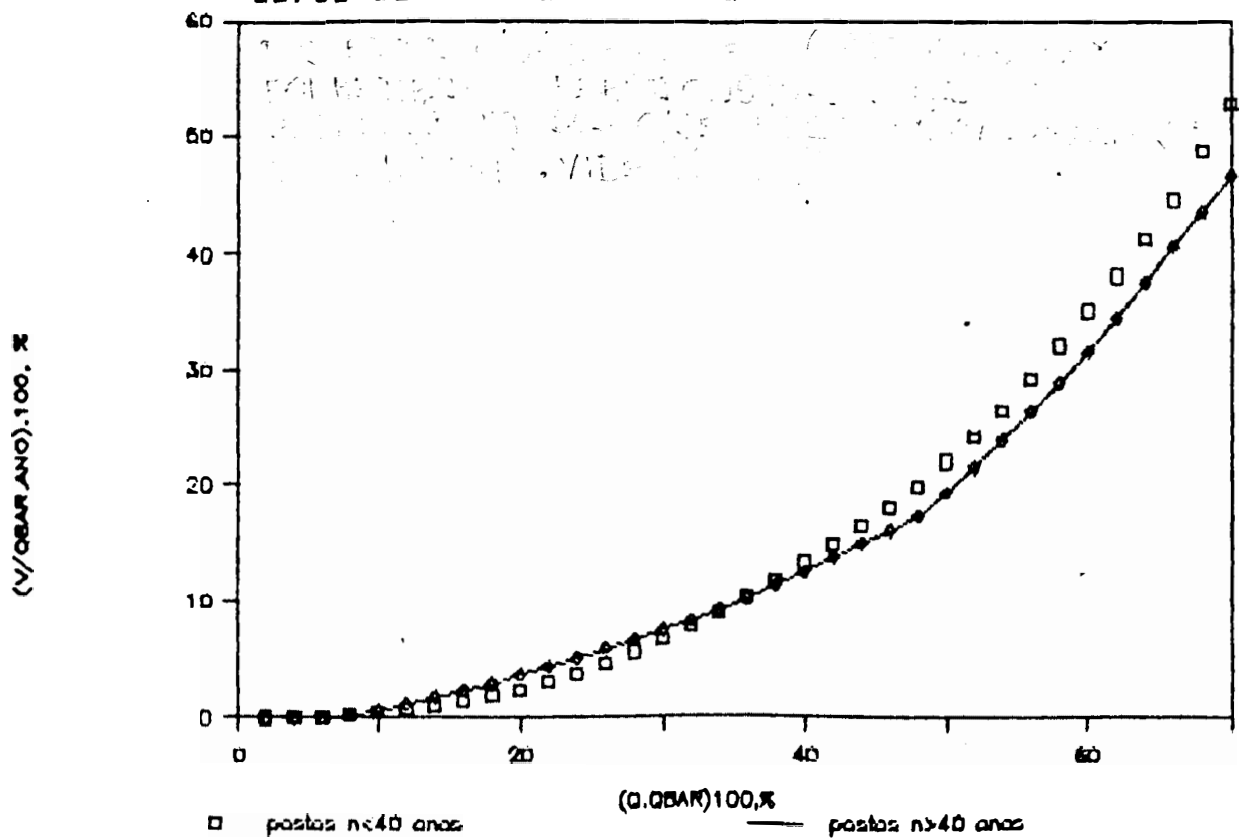
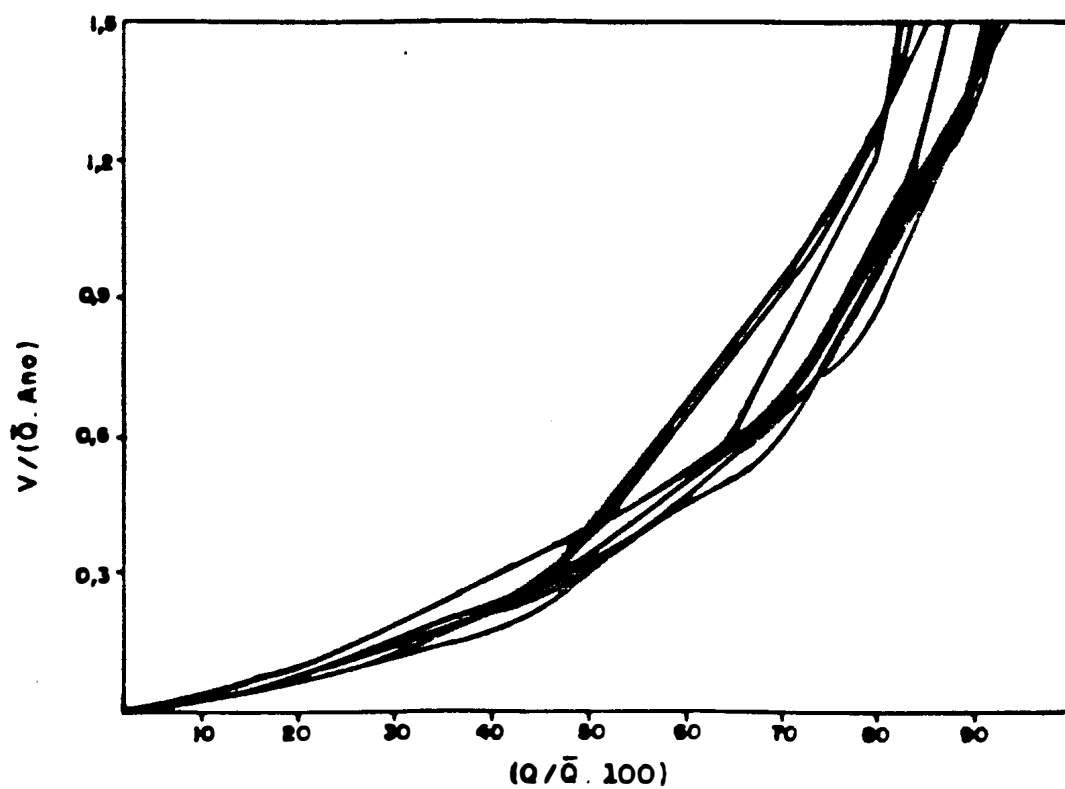


Figura 8.8 - Curvas de regularização
" todos com série curta "



**Fig. 8.9 - Curva de regularização
Rio Ibicuf**

média e representa a principal estiagem dos 63 anos analisados. Nas figuras 8.11 a 8.13 são apresentadas, além da precipitação adimensionalizada, as vazões de alguns postos com série longa na região, indicando a boa correlação entre a precipitação anual e a vazão.

Considerando que as séries que não abrangem a década de 40 são tendenciosas do ponto de vista amostral, utilizaram-se somente postos com séries que englobassem a década referida.

A determinação da curva regional de regularização foi baseada nos seguintes critérios:

- pelo menos três postos para definir uma região;
- verificar a possibilidade de usar os outros postos com séries menores;
- curva média obtida pela média dos valores de volume de cada demanda. Inicialmente testou-se o ajuste de uma curva do tipo da equação 8.6 para todos os postos da região, mas verificou-se que o ajuste era ruim para valores maiores de volume;
- definição de um intervalo de vazão adimensional onde a curva regional pode ser utilizada devido ao grau de ajuste dos valores.

Na figura 8.14 são apresentadas as regiões definidas e nas figuras 8.15 a 8.18 são apresentadas as curvas de cada região. Na tabela 8.3 são apresentadas as estatísticas do ajuste de cada curva regional e no anexo F3 são apresentadas as curvas regionais na forma tabular e o ajuste da curva média aos pontos dos postos.

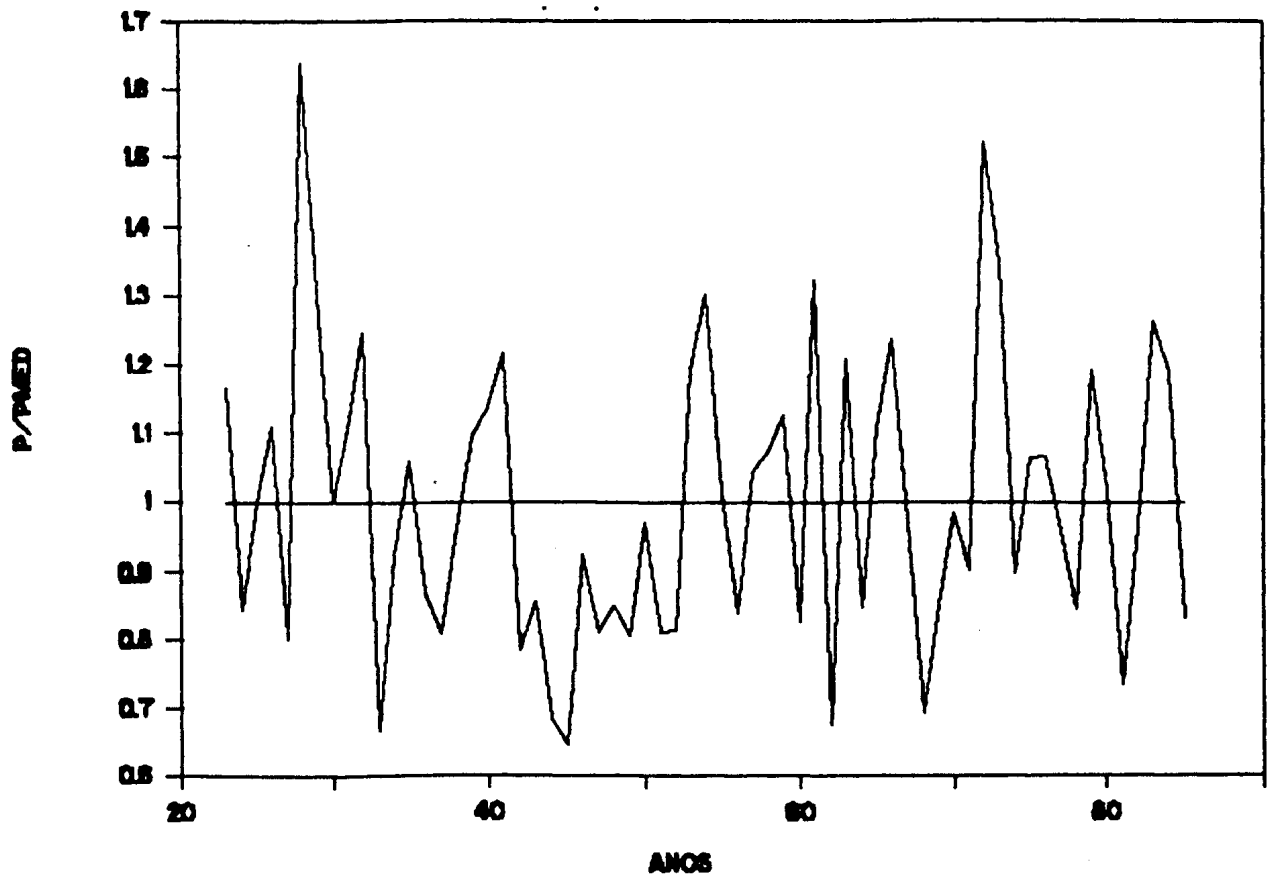


Figura 8.10 - Passo Fundo - Precipitação adimensional

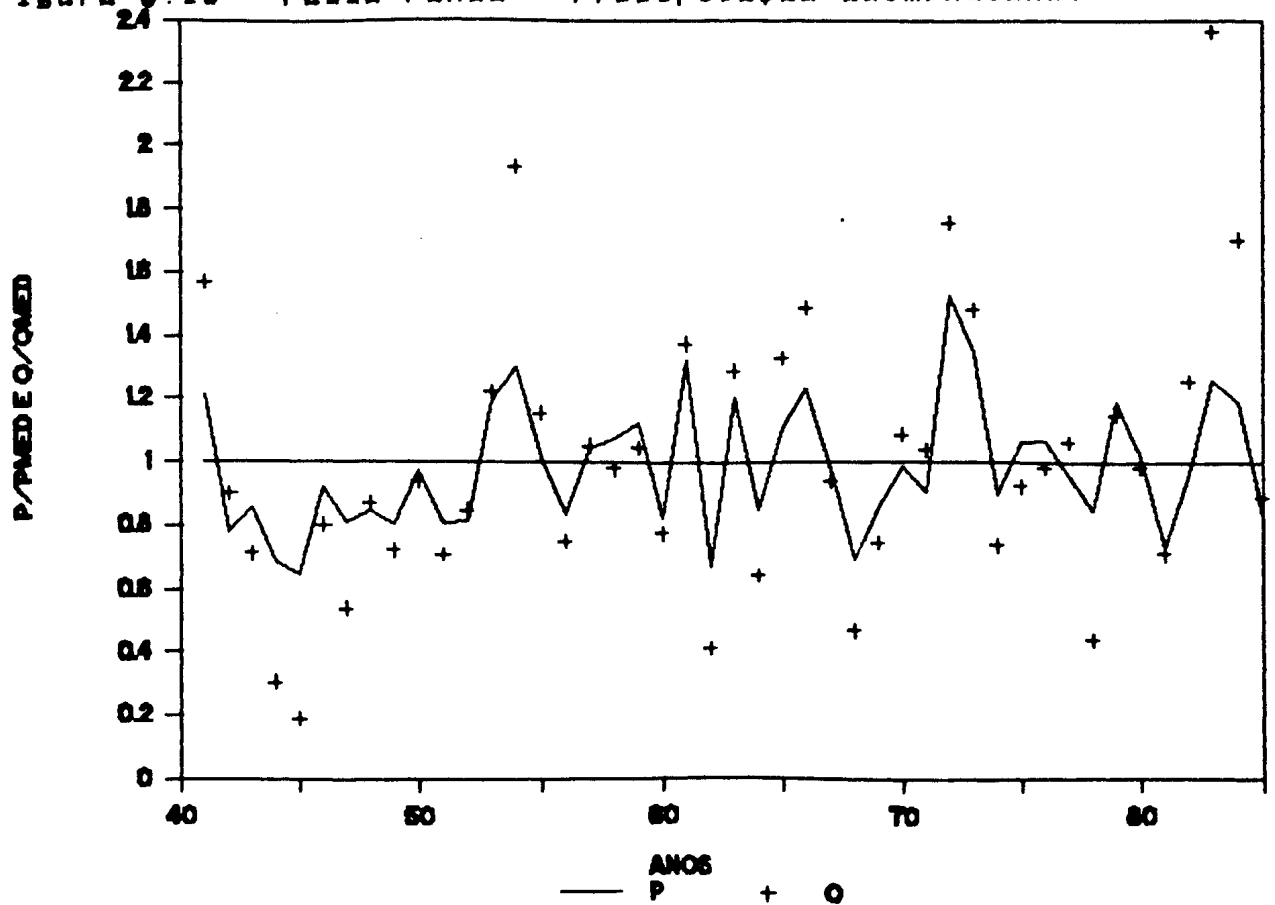


Figura 8.11 - Precipitação e vazão - P (Passo Fundo) - Q (Ligeiro)

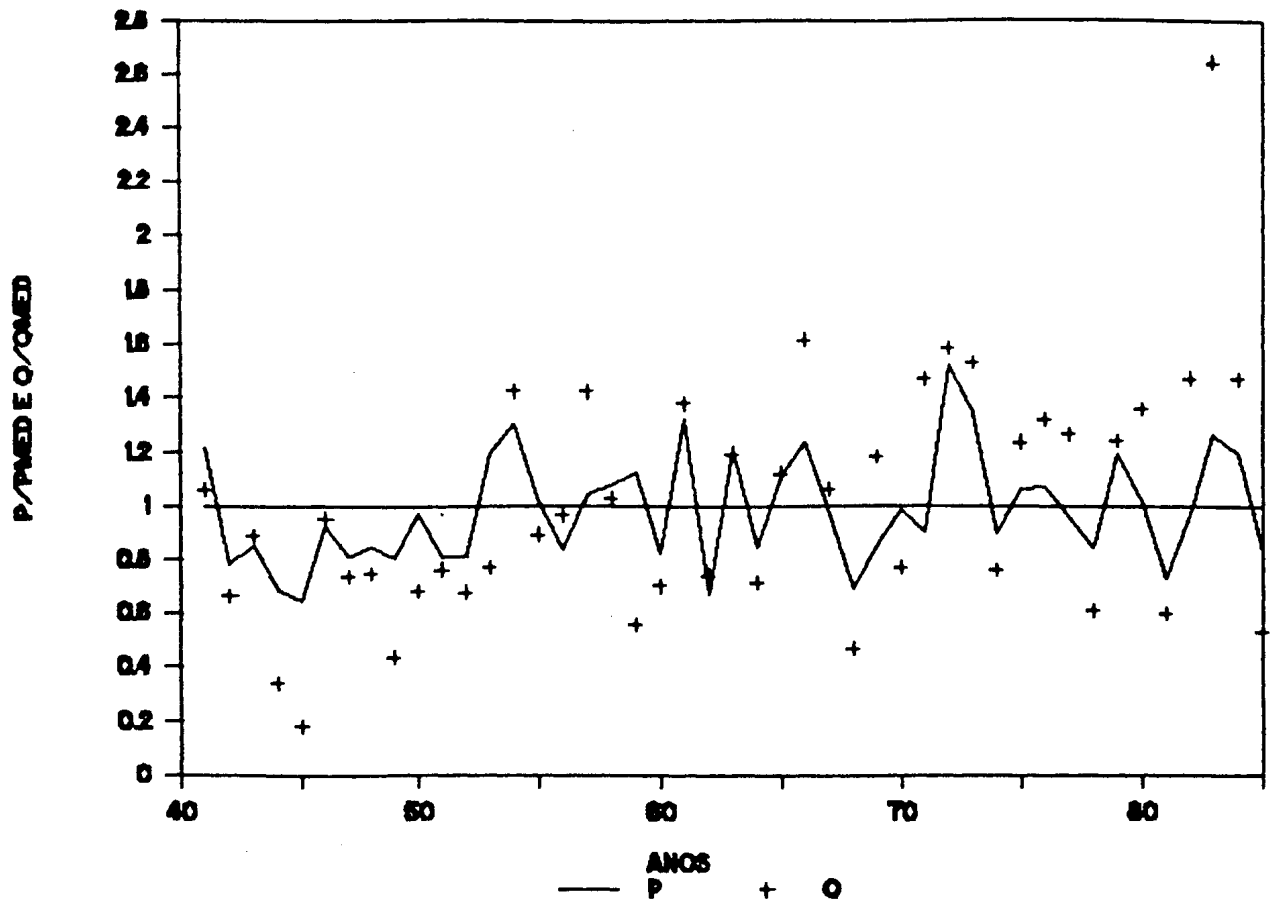


Figura 8.12 - Precipitação e vazão - P(Passo Fundo) - Q(Marombas)

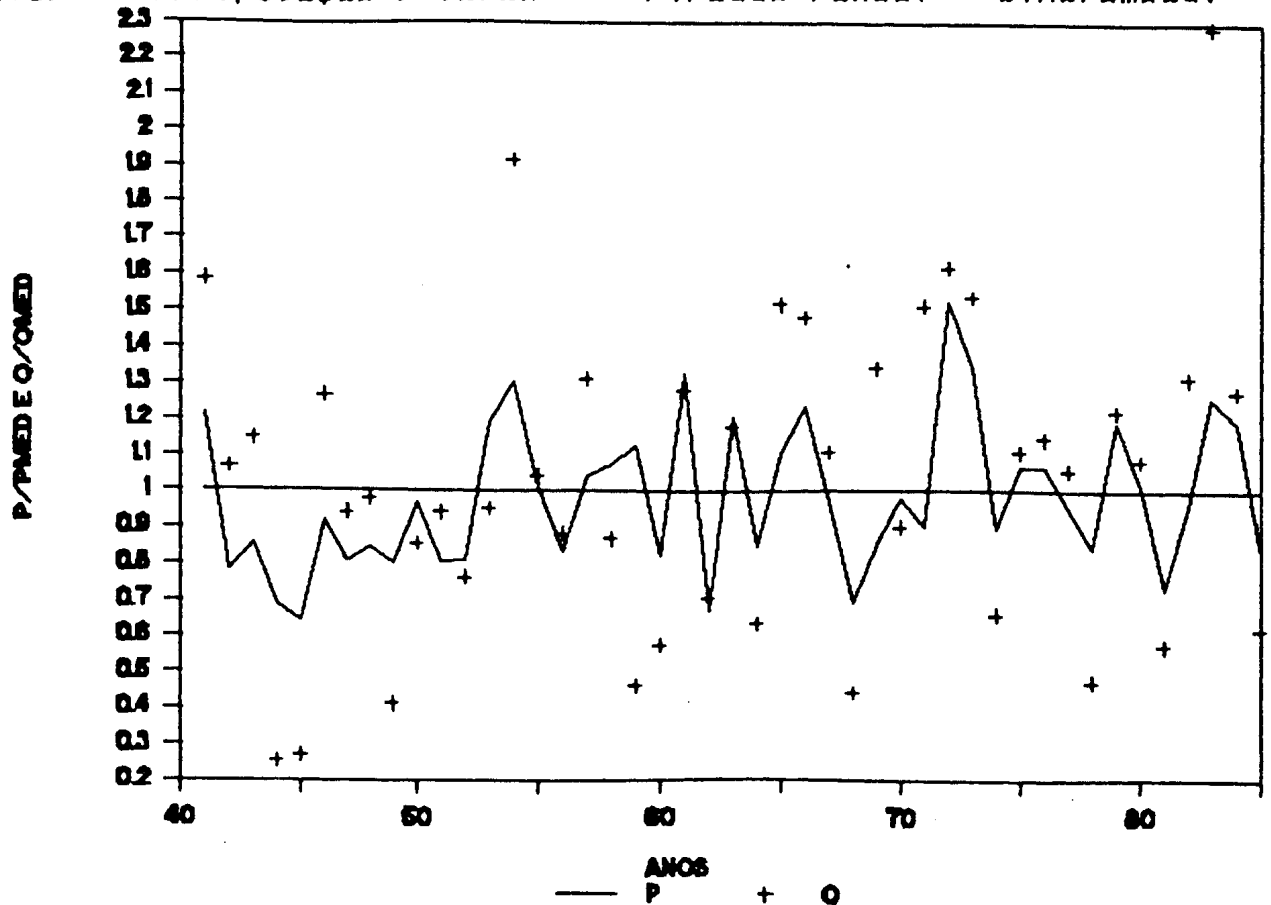


Figura 8.13 - Precipitação e vazão - P (Passo Fundo) - Q (Peixe)

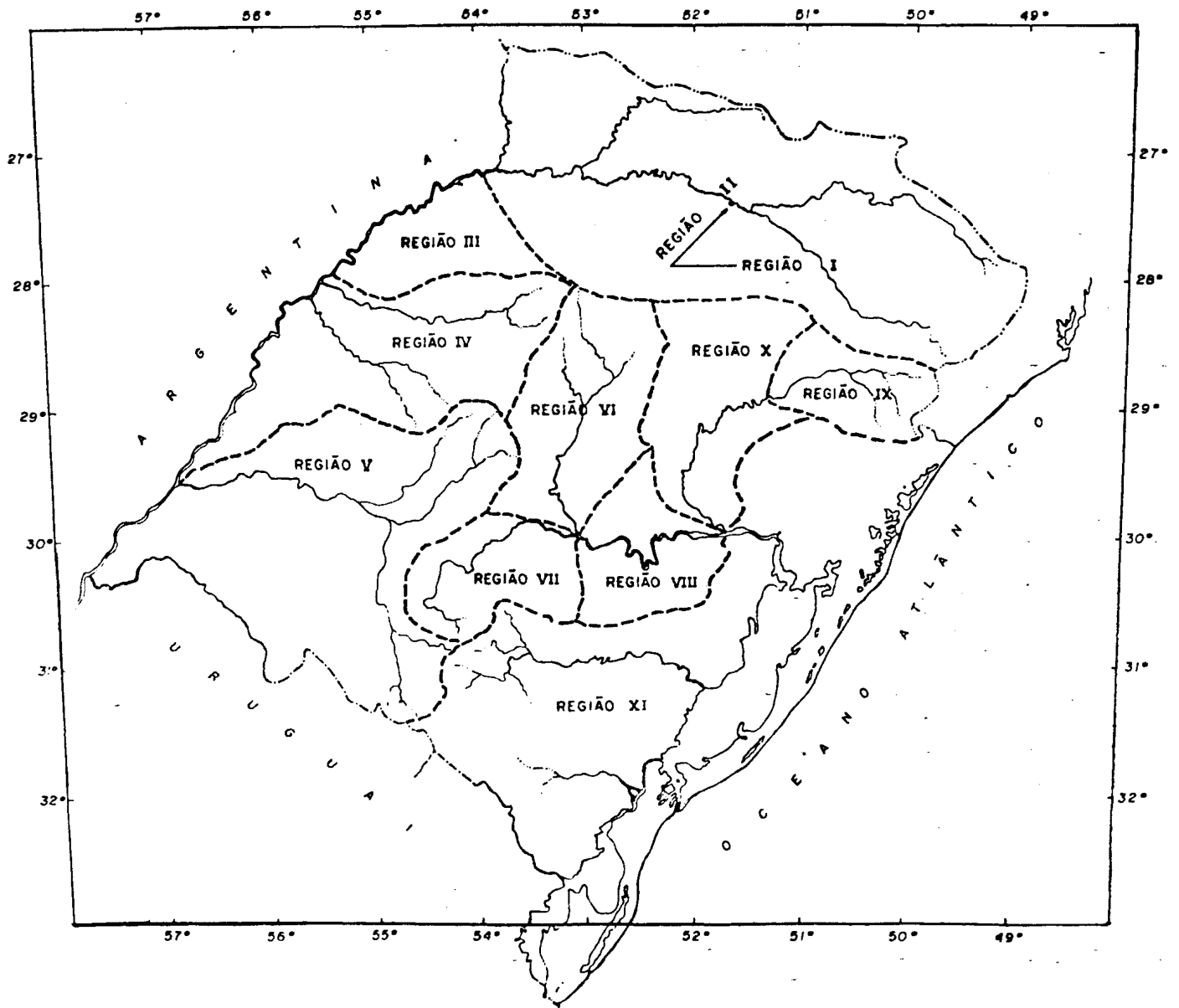


Figura B.14 - Regiões para curvas de regularização

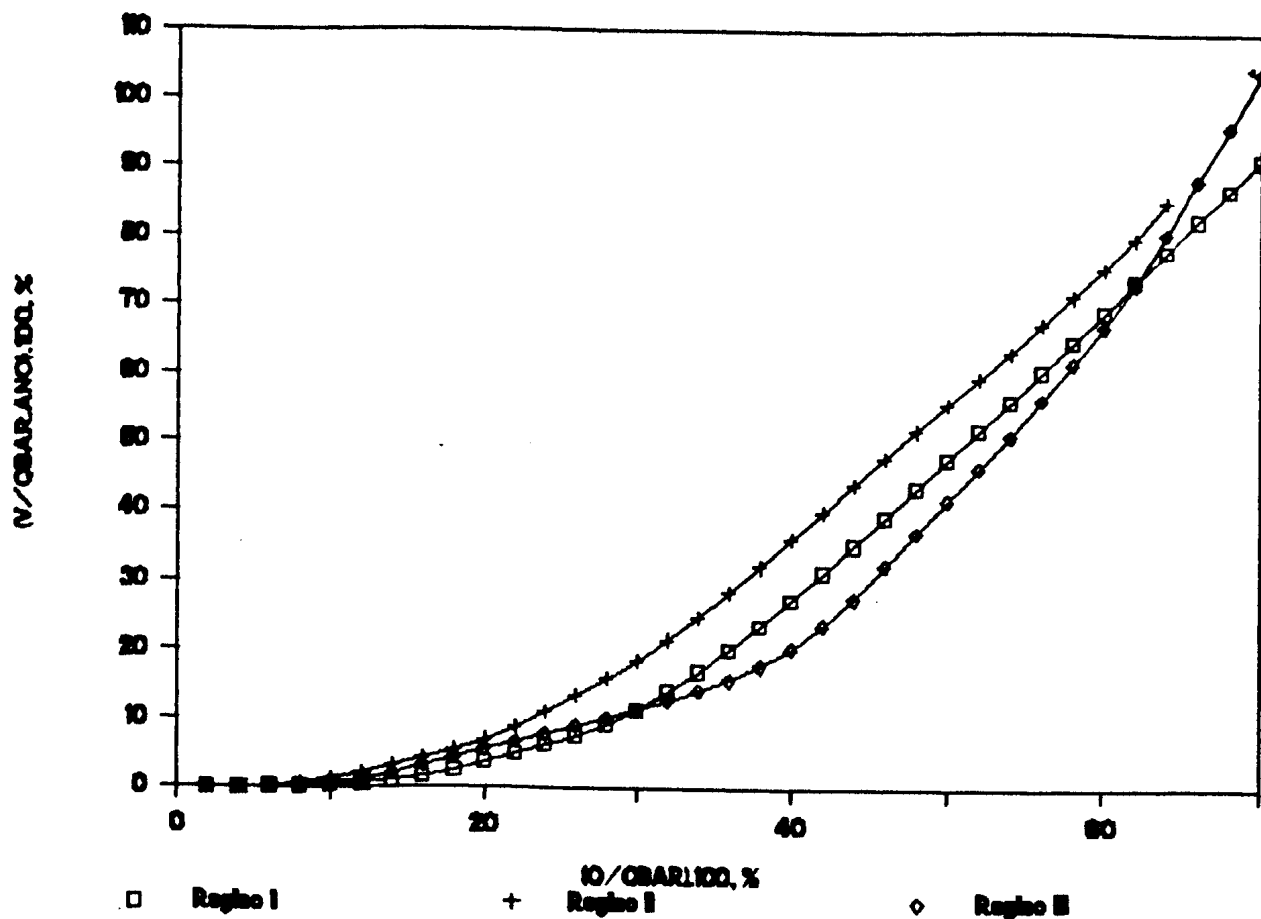


Figura B.15 - Curvas de regularização - Regiões I, II e III

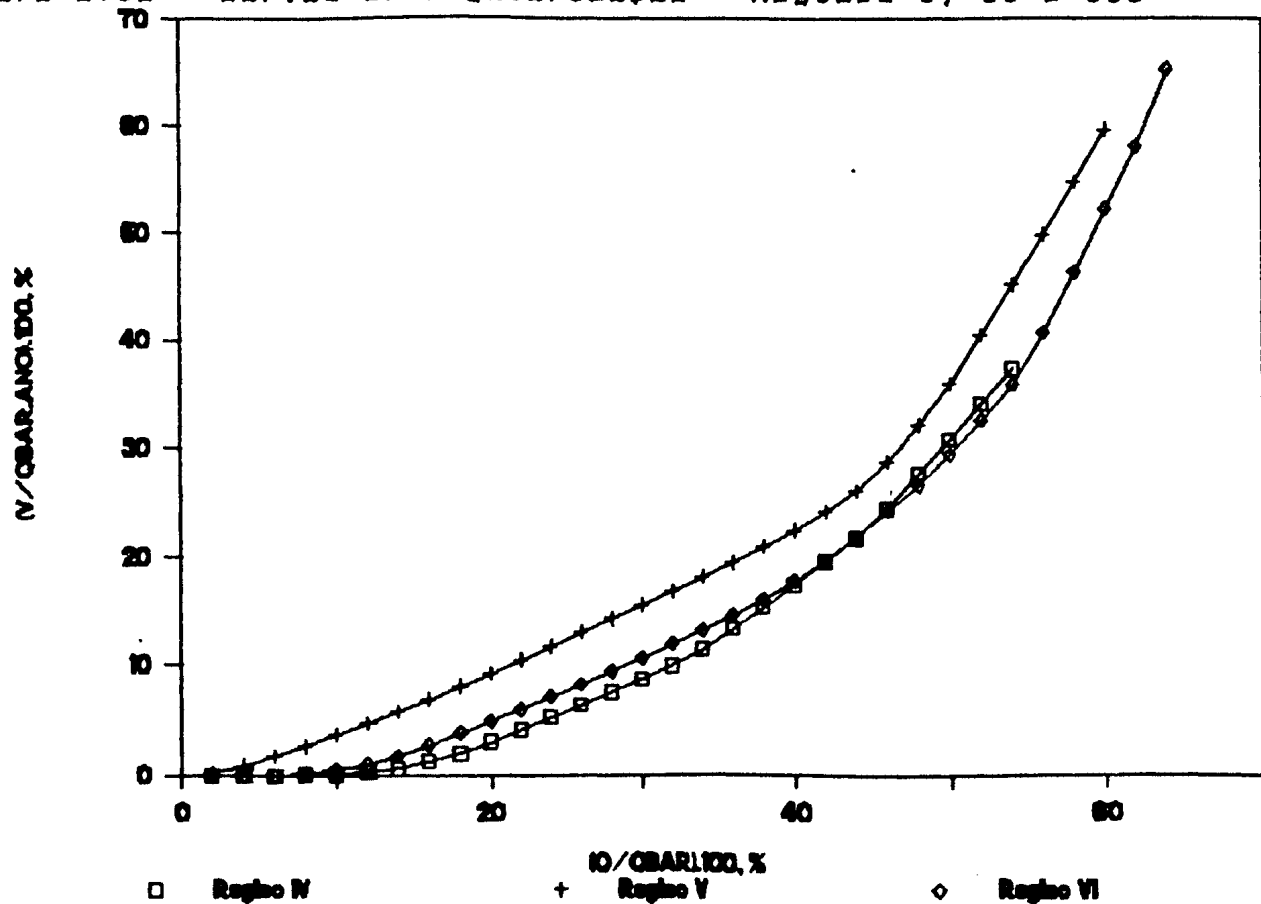


Figura B.16 - Curvas de regularização - Regiões IV, V e VI

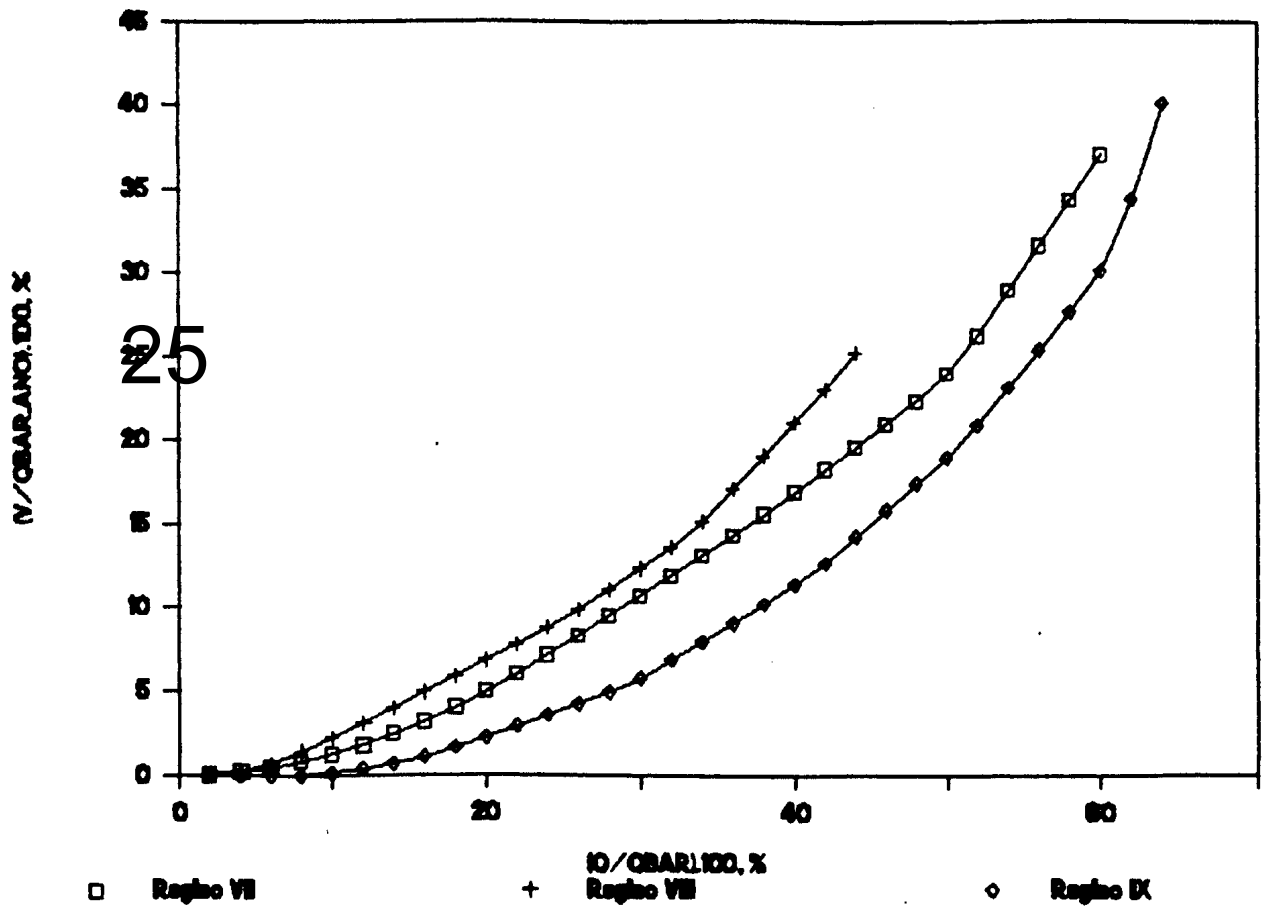


Figura B.17 - Curvas de regularização - Regiões VII, VIII e IX

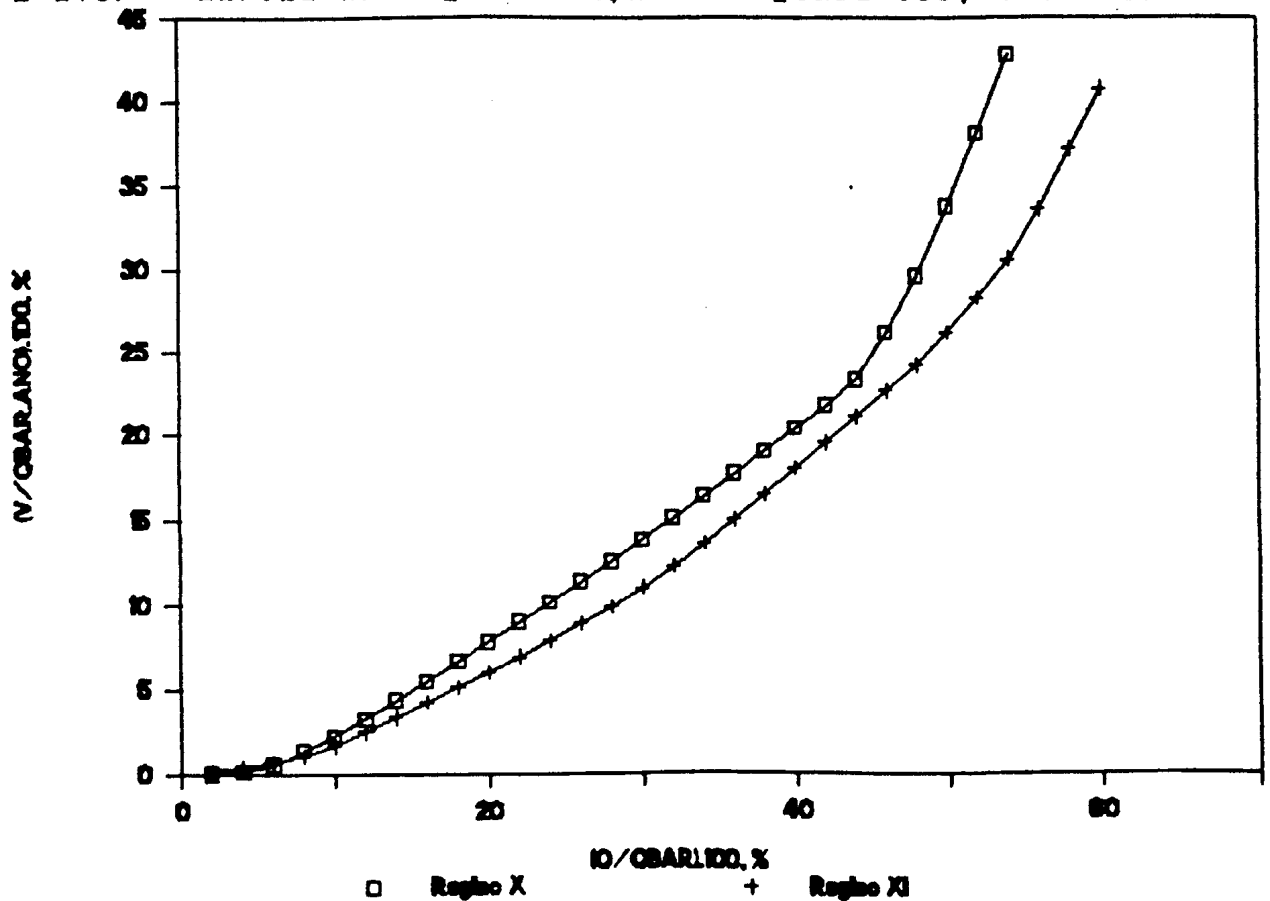


Figura B.18 - Curvas de regularização - Regiões X e XI

Tabela B.3 - Estatísticas do ajuste das curvas de regularização

REGIÃO	DESCRIÇÃO	LIMITE DE VALIDADE % de QM	POSTOS USADOS	R ²	σ %
I	Uruguai: Rio Principal, trecho nacional	70	3,6, 27,34, 43	0,996	2,06
II	Uruguai: contribuintes, trecho nacional	65	15,23, 26,45	0,996	1,86
III	Uruguai: contribuintes, margem esq. até Ijuí	70	52,53, 55	0,994	2,59
IV	Uruguai: Ijuí e Piratinin	55	57,59, 61,65	0,933	3,45
V	Uruguai: Ibicuí	60	69,72, 82	0,962	3,28
VI	Alto Jacuí	65	85,86, 94	0,979	2,85
VII	Vacacaí e São Sepé	60	98,99, 101	0,975	1,78
VIII	Rio Pardo	45	103,104, 105	0,953	1,72
IX	Rio Taquari Superior	65	107,108, 109	0,960	2,44
X	Rio Taquari medio, inferior	55	115,116, 118	0,980	1,80
XI	Lagoas e Sinos	60	122,123, 125	0,980	1,83

8.3.4 Uso das curvas para estimativa do volume

Para o cálculo do volume necessário para regularização da demanda, sem considerar a evaporação, utiliza-se a seguinte sequência:

- 1 - Determine a vazão média da bacia em estudo, com base nas equações do capítulo 4.
- 2 - Sendo a demanda desejada q , calcule $m = (q/Qlp) \cdot 100$, onde Qlp é a vazão média de longo período;
- 3 - Com o valor calculado no item anterior entre na tabela da região em que se encontra a bacia, obtendo o valor seguinte

$$r = (U/Qlp \cdot \text{ano}) \cdot 100 \quad (8.7)$$

4- O volume é obtido por

$$V = 0,3154 \cdot r \cdot Qlp \quad (10^6 \text{ m}^3) \quad (8.8)$$

Para considerar a evaporação, sugere-se aqui uma metodologia simplificada, sujeita a verificações posteriores. Pode-se considerar que a evaporação seja uma demanda adicional, obtida por

$$m^e = 0,00317 \cdot E \cdot A / Qlp \quad (8.8)$$

onde E é a evaporação total média anual em mm; A a área do reservatório para $2/3$ do volume útil, em km^2 .

A demanda adimensional total, neste caso é

$$m^* = m^e + m \quad (8.9)$$

Exemplo: Calcule o volume necessário para a demanda constante de $5 \text{ m}^3/\text{s}$, numa bacia de 1000 km^2 , com precipitação

média anual de 1720 mm, localizada na bacia do rio Canoas. Evaporação anual = 1300 mm e Área do reservatório para 2/3 do volume = 10 km².

a- sem considerar a evaporação :

A vazão média é obtida (capítulo 4) pela equação seguinte (Região I)

$$Q_{lp} = 0,017 \cdot A^{0,99} \cdot P^{0,87}$$

substituindo os valores

$$Q_{lp} = 0,017 (1000)^{0,99} (1,72)^{0,87} = 25,50 \text{ m}^3/\text{s}$$

A vazão adimensional fica

$$m = Q/Q_{lp} \cdot 100 = 5/25,5 \cdot 100 = 19,6 \%$$

Entrando com este valor na tabela da Região II no anexo F3, obtém-se o valor de r = 7,17 %.

O volume é obtido pela equação 8.8

$$V = 0,3154 \cdot 7,17 \cdot 25,5 = 57,67 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

b- considerando a evaporação:

Neste caso

$$m_e = 0,00317 \cdot E \cdot A / Q_{lp}$$

$$m_e = 0,00317 \cdot 1300 \cdot 10 / 25,5 = 1,62 \%$$

$$m^* = 19,6 + 1,62 = 21,22$$

Utilizando novamente a tabela referida, obtém-se

$r=8,24 \%$, e o volume fica

$$V = 0,3154 \cdot 8,24 \cdot 25,5 = 66,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

8.4- Avaliação dos resultados

Observou-se que a década de 40 era muito importante na definição das curvas de regularização, principalmente para a parte média e superior do rio Uruguai. Nas outras regiões não foi possível estabelecer com clareza esta importância devido ao reduzido número de postos e à qualidade das informações. Portanto, utilizaram-se, na maioria das regiões, postos com séries que abrangessem a década de quarenta. Em algumas regiões isto não foi possível devido à falta de dados com qualidade.

As limitações dos resultados obtidos são as seguintes:

- Não foi possível estabelecer a variância da estimativa devido à pequena quantidade de postos que definiram cada região;
- As regiões que abrangem o rio Vacacaí, rio Pardo e Lagoas são as que apresentam pior representatividade, devendo-se usar estes resultados com cuidado.
- A regionalização da curva de regularização considera demanda constante.
- A evaporação é considerada de forma simplificada, resultando em estimativas grosseiras deste valor. Quando este valor é pequeno o impacto no volume é insignificante.
- Essas curvas são usadas para bacias sem reservatórios com regularização a montante.

9 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A regionalização hidrológica procurou extrair o máximo de informações dos dados hidrológicos visando servir de base ao planejamento dos aproveitamentos dos recursos hídricos do Estado do Rio Grande do Sul.

Em cada capítulo foram examinados os resultados de cada função regionalizada e apresentada uma conclusão setorizada, além do próprio exame dos dados hidrológicos. As principais conclusões e recomendações deste estudo são as seguintes:

Quanto aos dados hidrológicos:

- Na região em estudo foram listados 693 postos linimétricos existentes e extintos. Deste total apenas 126 foram selecionados para este estudo, devido a vários fatores. A distribuição espacial e temporal dos dados nas regiões do Estado é extremamente não-uniforme. Os dados de melhor qualidade se concentram na bacia do rio Uruguai, enquanto que no Sul do Estado e nas bacias contribuintes as Lagoas dos Patos e Mirim a informação é precária. Adicionalmente, existem reduzidas informações sobre pequenas bacias e para vazões máximas os dados em geral são inadequados.

- Para que a população possa conviver com o seu meio ambiente e utilize racionalmente dos recursos hídricos é necessário conhecer o seu comportamento e quantificá-lo. Neste caso, de nada valem métodos sofisticados se os dados são precários. O custo da falta de dados hidrológicos se reflete no prejuízo das enchentes, no racionamento de água potável, no superdimensionamento ou falha da drenagem agrícola e de estradas, ou mesmo na destruição de obras hidráulicas.

Considerando a precária qualidade dos dados hidrológicos no Estado, recomendamos o planejamento e instalação de um rede

estadual de coleta de dados hidrológicos, procurando otimizar os esforços estaduais e federais que atuam no setor de recursos hídricos.

Quanto à regionalização de curvas de probabilidades de vazões médias, máximas e mínimas:

- A vazão específica média de longo período no Estado varia entre 14 e 29,5 l/(s.km²). Os maiores valores, como era de esperar, são encontrados na região serrana, Alto e Médio Uruguai e cabeceiras do rio Taquari, enquanto que no Sul do Estado os valores são mais reduzidos. Estes valores de vazão média caracterizam uma disponibilidade hídrica apreciável, principalmente se considerarmos que na maioria do Estado a flutuação anual não é significativa. Observou-se, no entanto, no médio e alto Uruguai um período de anos secos significativo a partir de 1942 até início da década de 50.

- A regionalização de vazões máximas apresenta como resultado uma série de opções quanto à sua determinação, considerando os dados disponíveis na bacia de interesse. A curva de probabilidade adimensional foi extrapolada em geral até 200 anos, permitindo uma melhor confiabilidade. As dificuldades encontradas se referem fundamentalmente aos dados, pois a maioria dos postos apresentava grande extrapolação na curva de descarga e existiam reduzidos postos com registradores, além da quase inexistência de dados de bacias pequenas.

- A regionalização da curva de probabilidade de vazões mínimas com determinadas durações foi a que apresentou maior dificuldade devido à grande variabilidade da curva de probabilidade entre os postos. Os resultados obtidos devem ser utilizados com reserva para bacias menores que 200 km², devido ao pequeno número de bacias com área reduzida e à influência que a formação geológica e os aquíferos possuem sobre estes valores. Neste caso, recomendamos o desenvolvimento de pesquisas

que procurem aprimorar estes resultados levando em conta características hidrogeológicas das bacias.

Quanto às curvas de permanência e regularização:

- A regionalização da curva de permanência foi realizada para um trecho desta curva entre as probabilidades de 50 e 95%, que são as mais utilizadas na prática. Fora deste intervalo as estimativas são razoáveis para probabilidades maiores que 95 % e tendem a ser ruins para valores menores que 50%. No entanto, este último intervalo tem pouco interesse prático. A regionalização com apenas a área da bacia permitiu uma estimativa aceitável para os estudos que utilizam esta curva. Para bacias muito pequenas, os resultados para probabilidades altas dependem muito da formação geológica e representatividade da série e devem ser avaliados com cuidado.

A utilização de parâmetros indicativos da hidrogeologia poderão melhorar as estimativa para o ramo inferior da curva de permanência.

- Os resultados obtidos com as curvas de regularização indicaram que a década de 40 era muito importante na definição das mesmas, principalmente para a parte média e superior do rio Uruguai. Sendo assim, procurou-se utilizar postos com séries que abrangessem a referida década, o que reduziu as amostras disponíveis. Os postos utilizados, no entanto, apresentaram tendências muito próximas para cada sub-região definida.

Comentários gerais e recomendações

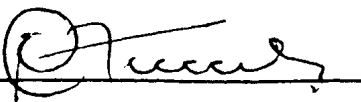
Os resultados obtidos em todas as funções regionalizadas devem ser utilizados para bacias sem regularização a montante. Para projetos de médio e grande porte devem se adotados como primeira estimativa das variáveis hidrológicas, portanto não dispensam um estudo hidrológico de maior detalhe.

As recomendações adicionais resultantes deste estudo são as seguintes:

- A regionalização utilizou somente dados de vazões; as precipitações foram utilizadas apenas como variável da equação de regressão. Considerando que na precipitação existem informações que não foram transferidas para a vazão, a regionalização poderia ser realizada com séries mais longas e mais representativas se as precipitações fossem usadas para gerar vazões através de modelos precipitação-vazão, aumentando o período e as séries disponíveis.

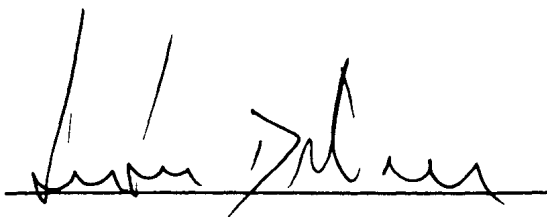
- Após cinco anos é recomendável que este estudo seja atualizado, incorporando os dados coletados no período e tornando as funções regionais mais representativas pelo aumento da amostra disponível.

- A regionalização elaborada e o programa aplicativo desenvolvido podem ser complementados com outras variáveis hidrológicas e funções de usos em projetos, como por exemplo pequenas centrais hidrelétricas, abastecimento d'água e irrigação, tornando-se um sistema de base para planejamento e projeto em recursos hídricos.



Prof. Carlos E. M. Tucci
Coordenador

Visto:



Prof. Lawson F. S. Beltrame
Vice - Diretor no exercício da direção

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEARD, L.R. 1943. Statistical analysis is in hidrology. *Transactions American Society of Civil Engineers*, New York, v.108, p.1110-1160.
- CORREIA, F.N. 1983. *Métodos de análise e determinação de caudais de cheia*. Lisboa: LNEC.
- DALRYMPLE, T. 1960. Flood frequency analysis. Manual of hydrology: part 3. Flood flow techniques. *Geological Survey Water Supply Paper*, Washington, n.1543-A.
- DOMOKOS, M., GILYÉN - HOFER, A. 1990. Regionalized estimation of reservoir capacity-yield curves in Hungary. In: LJUBLJANA SYMPOSIUM, 1990. *Regionalization in hydrology*. Wallingford: IAHS. 260p. p.239-251. (International Association of Hydrological Sciences. Publication n. 191).
- FARQUHARSON, F. 1981. *Manual do projeto de estimativa de cheias para o estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre : UFRGS - UNESCO. Não paginado. (Projeto PNUD/UNESCO/BRA/75/007. Publicação n.18).
- FULLER, W.E. 1914. Flood flows. *Transactions American Society of Civil Engineers*, New York, v.77, p.564-617.
- GOMIDE, F.L.S. 1983. Dimensionamento de sistemas de reservatórios. In: *CURSO de engenharia hidrológica*. São Paulo: EPUSP. 2v. V.2, p.J.1-34.
- GRAY, D.W. (ed.) 1973. *Handbook on principles of hydrology*. Part Washington: Water Information Center. Paginação irregular.

- HAKTANIR, T. 1984. Storage-yield relationships for reservoirs by two different procedures. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v.72, p.245-259.
- HERAS, R. 1976. *Hidrología y recursos hidráulicos*. Madrid: Centro de Estudios Hidrográficos. t.1.
- INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS. 1985. *Metodologia para regionalização de vazões*. Porto Alegre. 2v. em 1.
- JARRIN CRESPO, C.E. 1982. *Regionalização de vazão máxima do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. Porto Alegre: UFRGS - Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 83.f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.
- LANGBEIN, W.B. 1944. Peak discharges from daily records. *Geological Survey Bulletin*, p.145, Aug.
- LANNA, A., BELTRAME, L., AGUINSKY, S., FARIAS FILHO, D., FROES, F. 1989. *Estudos da disponibilidade de águas fluviais e solo na região sul do Brasil: relatório final*. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. 2v.
- LANNA, A.E., SILVEIRA, G.L., TUCCI, C.E. 1983. *Regionalização de Vazões mínimas na bacia do rio Jacuí, RS*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 5., 1983, Blumenau. *Anais Florianópolis: ABRH*. 4v. v3, p.109-132.
- MORENO, J. 1961. *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura do RGS. 41p.
- NERC. 1975 *Flood studies report*. London. 5v.
- ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS. Secretaria Geral. 1971. *Bacia do rio da Prata, estudo para sua planificação e desenvolvimento*. Washington. 183p.