

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO**

**UM DIAGNÓSTICO DA UTILIZAÇÃO DOS CONCEITOS DE**  
**SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO**  
**PARA GERENCIAR RECURSOS HÍDRICOS**

**Dissertação de Mestrado**

**NELSON NETO DE FREITAS**

**PORTO ALEGRE - 1996**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS**

**UM DIAGNÓSTICO DA UTILIZAÇÃO DOS CONCEITOS DE  
SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO  
PARA GERENCIAR RECURSOS HÍDRICOS**

**NELSON NETO DE FREITAS**

*Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.*

*Porto Alegre, Julho de 1996.*

## APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. Antônio Eduardo Lanna da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e co-orientação do Prof. Raul Dorfman da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

☞

..

..

## AGRADECIMENTOS

*Muito obrigado a todos quantos colaboraram de qualquer forma  
para a realização deste trabalho.*

*Aos meus pais, pelos sacrifícios e pela dedicação de longa data.*

*Aos professores Lanna e Dorfman, pela orientação primorosa.*

*À Sra. Ligia Campos, pelo exemplo de dedicação.*

*« Aos verdadeiros amigos, pela amizade.*

*À minha esposa, pelo apoio irrestrito.*

*Onde está o sábio ?*

*Onde está o escriba ?*

*Onde está o inquiridor deste século ?*

*Porventura não tornou Deus louca a sabedoria deste mundo ?*

*I Cor. 1:20*

## RESUMO

Este trabalho trata da conveniência da utilização dos princípios básicos dos sistemas de apoio à decisão - SADs, em problemas relacionados com recursos hídricos.

Os principais conceitos definidores dos sistemas de apoio à decisão são ordenados, com base em diferentes autores. Os componentes básicos dos sistemas de apoio à decisão - subsistemas de dados, modelos e de diálogo - são examinados, e as principais capacidades esperadas de cada um são identificadas. Algumas aplicações são descritas, e procura-se ainda avaliar as peculiaridades contidas em um sistema de apoio à decisão destinado a tratar com recursos hídricos.

No caso em estudo, são apresentados todos os procedimentos adotados para encaminhar os estudos hidrológicos pertinentes, inclusive descrevendo as principais ferramentas ou metodologias utilizadas e avaliando seu desempenho. Os recursos caracterizados como ferramentas de SADs são igualmente avaliados, com vistas a identificar as vantagens de sua utilização.

Ao final do trabalho, resultam indicadores precisos da conveniência de introduzir os princípios de SAD como orientadores do desenvolvimento de ferramentas computacionais destinadas a tratar com recursos hídricos. As conclusões alcançadas destacam a necessidade de empreender esforços no sentido do melhor aproveitamento da tecnologia disponível, do aperfeiçoamento das ferramentas utilizadas e da qualificação dos profissionais envolvidos, habilitando-os a um relacionamento eficaz com os sistemas de apoio à decisão.

## ABSTRACT

*This dissertation deals with the suitability of the utilisation of the basic principles of decision support systems (DSS) in water resources related problems.*

*The leading determining concepts of the decision support systems are presented, with basis on the works of several authors. The DSS basic components - data component, dialogue component, and model component - are examined, and the main capacities expected from each one are identified.*

..

*For the case in study, all the procedures applied to conduct the hydrological studies are presented, including the description of the main tools and methodology applied and also evaluating their performances. Likewise, the resources identified as DSS tools are valued, with the main goal of identifying the benefits obtained from their utilisation.*

*At the end of the work, accurate indicators of the suitability of using the DSS principles as a guidance for computer tools development in order to deal with water resources are provided. The conclusions show the need to undertake efforts in order to obtain a better use of the available technology, to improve the utilised tools, and to qualify professionals who will be able to efficiently use the decision support systems.*

## SUMÁRIO

<b>I. INTRODUÇÃO</b> .....	01
<b>II. OBJETIVOS E RELEVÂNCIA</b> .....	03
<b>III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	04
III.1. Os sistemas de apoio à decisão - Conceitos e definições.....	04
III.2 Os componentes básicos de um sistema de apoio à decisão .....	09
III.3 O subsistema de dados.....	12
III.4 O subsistema de modelos.....	14
III.5 O subsistema de diálogo .....	17
III.6 A aplicação de SADs a problemas de recursos hídricos .....	22
III.7 Peculiaridades de um SAD aplicado a recursos hídricos .....	32
<b>IV. ESTUDO DE UM CASO :</b>	
<b>GERAÇÃO DE VAZÕES PARA O PROJETO SANTA MARIA</b> .....	34
IV.1 Caracterização do sistema em estudo .....	35
IV.2 Metodologia .....	38
IV.3 Caracterização da bacia hidrográfica do rio Ibicuí-Mirim .....	39
IV.4 Dados hidroclimatológicos disponíveis .....	45
IV.5 Determinação da série de vazões .....	56
IV.5 Aproveitamento do estudo realizado para o projeto Santa Maria.....	75

<b>V. DISCUSSÃO DO DESEMPENHO DAS FERRAMENTAS UTILIZADAS</b> .....	77
V.1 Avaliação, sob a ótica dos SADs, do conjunto de procedimentos adotados ..	78
V.2 Ganhos de qualidade e confiança produzidos pela utilização de ferramentas de SAD .....	83
<b>VI. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	84
<b>VII.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	87
• <b>ANEXOS</b> .....	92
Anexo A - Modelo de transformação precipitação-vazão .....	93
Anexo B - Quadros e Figuras do item IV.5 - Geração das séries de vazões.....	97
Anexo C - Curvas de permanência de vazões.....	104

## LISTA DE QUADROS

IV.3.1: Características físicas das bacias de contribuição .....	43
IV.4.1: Postos pluviométricos e climatológicos .....	45
IV.4.2: Postos fluviométricos .....	46
IV.4.3: Indicadores climáticos - Valores médios e absolutos de Santa Maria (1957 - 1977) .....	49
IV.4.4: Indicadores climáticos - Valores médios e absolutos de Júlio de Castilhos (1957 - 1977) .....	49
IV.4.5: Precipitações mensais em Santa Maria (*) (mm) - 1939/1946 - 1953/1987 .....	51
IV.4.6: Cálculo da evapotranspiração potencial (ETP) .....	53
IV.4.7: Valores médios anuais no período de ajuste do modelo matemático .....	56
IV.4.8: Balanço dos valores observados .....	56
IV.5.1: Vazões mensais observadas e calculadas durante a calibração em Usina Quebradente ( $m^3/s$ ) .....	59
IV.5.2: Curvas de permanência de vazões diárias em Usina Quebradente .....	62
IV.5.3: Vazões observadas e calculadas durante as calibrações em Usina Quebradente ( $m^3/s$ ) - 1977/1983 .....	63
IV.5.4: Comparativo de precipitações mensais registradas em 3 postos de Santa Maria .....	65
IV.5.5: Estatísticas dos postos utilizados, para os períodos comuns disponíveis .....	66
IV.5.6: Parâmetros do MODHAC para intervalo mensal .....	71
IV.5.7: Parâmetros do MODHAC para intervalo diário .....	72
B.1: Série de vazões médias mensais em Val de Serra ( $m^3/s$ ).....	98
B.2: Série de vazões médias mensais em Val de Serra Jusante ( $m^3/s$ ) .....	99
B.3: Série de vazões médias mensais em Intermediária ( $m^3/s$ ).....	100
B.4: Série de vazões médias mensais em Saturnino de Brito ( $m^3/s$ ) .....	101
B.5: Série de vazões médias mensais em Cerro Grande ( $m^3/s$ ).....	102
B.6: Série de vazões médias mensais em Cerro Bepão ( $m^3/s$ ) .....	103

C.1: Determinação da curva de permanência de vazões diárias em Val de Serra .....	105
C.2: Determinação da curva de permanência de vazões diárias em Val de Serra Jusante....	106
C.3: Determinação da curva de permanência de vazões diárias em Intermediária.....	107
C.4: Determinação da curva de permanência de vazões diárias em Saturnino de Brito.....	108
C.5: Determinação da curva de permanência de vazões diárias em Cerro Grande .....	109
C.6: Determinação da curva de permanência de vazões diárias em Cerro Bepão.....	110

## LISTA DE FIGURAS

III.1.1: Três níveis de SADs com cinco papéis associados para gerentes e técnicos .....	09
III.2.1: Os componentes de um SAD .....	11
III.5.1: Interface usuário/sistema .....	18
IV.1.1: Caracterização do sistema em estudo .....	37
IV.3.1: Bacias de interesse .....	44
IV.3.2: Perfil longitudinal do rio Ibicuí-Mirim no trecho de interesse .....	45
IV.4.1: Diagrama dos dados pluvio-fluviométricos existentes na área de interesse .....	48
IV.5.1: Calibração mensal em Usina Quebradente .....	60
IV.5.2: Curvas de permanência de vazões mensais - Usina Quebradente .....	60
IV.5.3: Amostra da calibração diária em Usina Quebradente (1980/1981) .....	61
IV.5.4: Curvas de permanência calculada e observada em Usina Quebradente .....	62
IV.5.5: Comparação entre os resultados das calibrações mensal e diária acumulada .....	63
IV.5.6: Comparativo entre os postos pluviométricos utilizados .....	66
IV.5.7: Distribuição de probabilidades da média amostral $\bar{x}$ .....	68
IV.5.8: Amostra do comportamento conjunto das seções estudadas .....	74
C.1: Curva de permanência de vazões diárias em Val de Serra .....	105
C.2: Curva de permanência de vazões diárias em Val de Serra Jusante .....	106
C.3: Curva de permanência de vazões diárias em Intermediária .....	107
C.4: Curva de permanência de vazões diárias em Saturnino de Brito .....	108
C.5: Curva de permanência de vazões diárias em Cerro Grande .....	109
C.6: Curva de permanência de vazões diárias em Cerro Bepão .....	110

## I - INTRODUÇÃO

A água, na condição de solvente universal e constituinte principal de todos os seres vivos, desempenha um papel de fundamental importância em qualquer atividade humana, desde épocas mais remotas. Durante muito tempo, e até um passado bem recente, o recurso água foi, em geral, tratado de uma forma excessivamente extrativa, não se preocupando seus usuários com o fato de ser a água um recurso limitado.

Com a intensidade e diversidade crescentes do uso, a água passou a ser fator estrutural e limitante do desenvolvimento sócio-econômico, sendo sua carência agente gerador de conflitos; surgiu então a necessidade de disciplinar o processo de desenvolvimento. O crescimento econômico devendo cada vez mais se processar lado a lado e de forma harmônica com a evolução da qualidade de vida das populações envolvidas. O planejamento, como instrumento para obter um desenvolvimento sustentado, consistente e equilibrado, fez-se então necessário.

A adoção de procedimentos ou tecnologias desprovidas de um enfoque sistêmico e integrado, visando a otimização de um empreendimento de maneira isolada, sem que se considere todas as implicações do meio de uma forma integrada, levará inevitavelmente a situações indesejáveis de conflito no uso de quaisquer recursos naturais, devendo por isso ser evitada. O fato de ser a água um recurso essencial, coloca-a à frente de todos os demais recursos, determinando a forma como tratá-los dentro do sistema ou unidade básica de planejamento, a bacia hidrográfica.

Os problemas de planejamento de recursos hídricos são em geral mal definidos ou semi-estruturados, pois a bacia hidrográfica configura um sistema notadamente dinâmico, interagindo continuamente e sendo complementado pelo conjunto de ações desenvolvidas em seu meio. Isto dificulta sobremaneira a mensuração correta de todos os aspectos, fazendo-se necessário estabelecer uma metodologia capaz de identificar adequadamente estas interações e acompanhar a dinâmica do sistema.

A ordenação de um volume elevado de informações e a consideração conjunta das implicações decorrentes das ações empreendidas sobre o recurso água, são tarefas que, com o auxílio de ferramentas adequadas, ganharão muito em eficiência. Os SADs - Sistemas de Apoio à Decisão - representam um conceito novo na criação, adaptação e utilização de ferramentas computacionais para o gerenciamento de quaisquer recursos. Sua aplicação em problemas relacionados com recursos hídricos ainda não é significativa, oferecendo um vasto campo de pesquisa.

«

.

..

..

## II - OBJETIVOS E RELEVÂNCIA

Este trabalho pretende transpor para o domínio dos recursos hídricos a base conceitual de SAD, superando as dificuldades oriundas, principalmente, da resistência dos profissionais que tratam com recursos hídricos e da quase total inexistência de trabalhos correlatos que sirvam de referência a empreendimentos desta natureza. Para tanto, quer-se apresentar de maneira ordenada os conceitos de sistemas de apoio à decisão, identificando em seguida as iniciativas até então empreendidas, de aplicação de SADs à recursos hídricos.

O estudo de caso tem por objetivo identificar as deficiências encontradas nas atuais abordagens. O exame de cada um dos procedimentos adotados permitirá identificar os aspectos que eventualmente tenham sido negligenciados. Com isso, quer-se reunir elementos que possam balizar trabalhos futuros que tenham a finalidade de desenvolver ou mesmo adaptar ferramentas computacionais destinadas a tratar com recursos hídricos, sob a luz dos conceitos dos sistemas de apoio à decisão.

De modo algum, pretende-se esgotar com um único trabalho um campo tão vasto de pesquisa. O que se quer é oferecer os elementos essenciais para que outros estudos possam ser empreendidos, permitindo que a base conceitual de SADs em recursos hídricos seja ampliada. Em suma, este trabalho busca a ordenação dos principais conceitos definidores dos sistemas de apoio à decisão, o estabelecimento de diretrizes que orientem a sua transposição para o domínio dos recursos hídricos, e o exame de um caso cujas características são passíveis de enquadramento na condição de SADs.

Cumprir-se-á o conjunto de objetivos propostos se, ao final, este trabalho resultar em um instrumento capaz de auxiliar os especialistas em recursos hídricos na construção de seus modelos, fazendo com que estes incorporem paulatinamente características de SADs em seus sistemas.

### III - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### III.1. Os sistemas de apoio à decisão - Conceitos e definições

Sistemas de apoio à decisão representam um conceito diferenciado, no que se refere ao uso de ferramentas computacionais como auxílio a empreendimentos nas mais diversas áreas do conhecimento humano.

SPRAGUE e CARLSON (1982), apud SPRAGUE e WATSON (1991), apresentam os sistemas de apoio à decisão como sendo sistemas computacionais que ajudam os responsáveis pela tomada de decisões a enfrentar problemas estruturais através de uma interação direta com modelos de dados e análises.

CÂMARA et al. (1990), estão de acordo, no tocante ao objeto, com Sprague e Carlson, pois consideram que o objetivo primordial de um sistema de apoio à decisão é auxiliar na tomada de decisões para resolver, principalmente, problemas semi-estruturados.

Com outro enfoque, JONHSON (1986) define um sistema de apoio à decisão como sendo um conjunto integrado de *hardware* e *software* computacional facilmente utilizável por gestores e operadores como auxiliar na implementação e operação de decisões e no estudo do desempenho provável do sistema. Segundo o autor, sistemas de apoio à decisão possibilitam o sinergismo homem-máquina, por permitirem incorporar o julgamento do operador no processo de análise. SPRAGUE e CARLSON (1982), apud JONHSON (1986), expressam opinião semelhante ao avaliar a principal diferença entre os sistemas de apoio à decisão e os usos tradicionais de computadores, referindo que os sistemas de apoio à decisão diferem dos usos de processamento e operação tradicionais porque requerem uma simbiose entre o usuário e o sistema em gestão para serem eficazes.

Segundo SPRAGUE (1980), Michael S. Scott Morton foi o primeiro a articular, no início da década de 1970, os conceitos envolvidos nos sistemas de apoio à decisão. Basicamente, sob o termo "Sistemas de Decisões Gerenciais", abrigavam-se sistemas computacionais interativos

que ajudavam os responsáveis pela tomada de decisões a utilizar dados e modelos para resolver problemas não-estruturados.

MEADOR e MEZGER (1984), definem os ambientes decisórios não-estruturados como sendo aqueles nos quais o problema global não é muito bem compreendido, e não se pode fazer uma descrição analítica completa. Para os mesmos autores, um SAD é um sistema que proporciona suporte analítico e computacional em situações onde é necessário integrar julgamento, experiência e discernimento quanto aos responsáveis pela decisão, com recursos de geração de modelos e apresentação através de computador.

Mais uma definição do que venha a ser sistema de apoio à decisão é oferecida por MANN e WATSON (1984), apud HOGUE (1987): "Um sistema de apoio à decisão é um sistema interativo que proporciona ao usuário acesso fácil a modelos decisórios e dados, a fim de dar apoio a atividades de tomada de decisões semi-estruturadas ou não-estruturadas". HOGUE (1987), considera que os sistemas de apoio à decisão tem um propósito específico: "Ajudar os responsáveis pela tomada de decisões de médio e alto nível em decisões importantes". Percebe-se claramente, que a definição de Mann e Watson está em perfeita sintonia com a definição primeira de Morton, apresentada anteriormente.

SPRAGUE (1980), considera que a definição de Morton, e todas as outras decorrentes desta, não delimitam suficientemente o que venha a ser sistema de apoio à decisão, já que alguns autores ampliaram a definição de SADs para incluir qualquer sistema capaz de dar alguma contribuição a um determinado processo decisório. Obviamente, nem o enfoque mais amplo, nem o mais restrito são úteis à perfeita compreensão do valor, das exigências técnicas ou da abordagem conveniente e necessária para o desenvolvimento de um SAD efetivo. Sem dúvida, o caminho trilhado pelos pesquisadores na área não foi o de simplesmente ampliar ou restringir o espectro dos sistemas aptos a serem classificados como SADs, mas sim examinar exemplos de sistemas capazes de tomar para si o rótulo de sistema de apoio à decisão. Neste sentido, ALTER (1977 e 1980), apud SPRAGUE (1980), examinou cerca de 55 (cinquenta e cinco) sistemas, descrevendo suas características. Da mesma forma KEEN (1980), apud

SPRAGUE (1980), indicou e comparou cerca de 30 (trinta) exemplos de sistemas passíveis de serem tomados como SADs. SPRAGUE (1980), considerou esta abordagem promissora, por permitir identificar os recursos necessários, em várias áreas críticas, à realização de objetivos perseguidos pelo desenvolvimento e uso de um SAD. Dentre as características de um SAD, identificadas a partir dos trabalhos de Alter e Keen, citam-se os seguintes:

- os SADs tendem a ser voltados para problemas pouco estruturados e menos especificados com os quais os gerentes de alto nível se deparam;
- tentam combinar o uso de modelos ou técnicas analíticas a funções tradicionais de acesso e recuperação de informações;
- concentram-se especificamente em recursos que facilitem seu uso para pessoal não especializado em computação, de forma interativa; e
- enfatizam a flexibilidade e a adaptabilidade de acomodar mudanças no ambiente e na abordagem à tomada de decisões utilizada pelo usuário.

Os conceitos de sistema de apoio à decisão começaram a se popularizar desde a metade da década de 70, na medida que vários desenvolvimentos importantes influenciaram o direcionamento e a natureza dos SADs.

De acordo com SPRAGUE E WATSON (1991), os SADs são carentes de uma teoria, já que no sentido estritamente acadêmico do termo, não há obviamente uma teoria para SADs. Há contudo, segundo os autores, estruturas conceituais como a que se originou do trabalho de um grupo de pessoas no Laboratório de Pesquisas da IBM, em San Jose, na Califórnia, no final da década de 70. Esta estrutura conceitual, que na ausência de uma teoria formal serve de base para que profissionais da área orientem suas ações, pode ser resumida nos seguintes aspectos:

1. A tecnologia para SAD tem que consistir num conjunto de recursos nas áreas de diálogo, dados e construção de modelos, o que Sprague e Carlson chamam de paradigma DDM (Diálogo, Dados, Modelos). Eles argumentam que num bom sistema de apoio à decisão tem que haver um *equilíbrio* entre esses três elementos. O sistema tem que ser também *fácil de usar*, a fim de proporcionar apoio à interação com

usuários não-técnicos, deve proporcionar acesso a uma *ampla variedade de dados, e análises e construção de modelos* de diversas formas;

2. Três *níveis* de tecnologia são úteis no desenvolvimento de SADs. Este conceito ilustra a utilidade das *ferramentas para SAD* num *gerador de SAD*, que podem ser usadas para desenvolver diversos *SADs específicos* com rapidez e facilidade, a fim de ajudar os responsáveis pela tomada de decisões;
3. Os SADs não são desenvolvidos de acordo com as abordagens tradicionais de desenvolvimento de sistemas; requerem uma forma de *desenvolvimento iterativo* que lhes permite evoluir e sofrer modificações à medida que houver alterações contextuais;
4. O desenvolvimento eficaz de SADs requer uma estratégia organizacional para a criação de um ambiente no qual tais sistemas possam surgir e se desenvolver. O ambiente inclui um grupo de pessoas com papéis interativos, tecnologia de *hardware* e de *software*, e fontes de dados. ...

A estrutura conceitual original, enunciada pelos pesquisadores californianos, amadureceu sobremaneira ao longo de mais de uma década. Cada um dos aspectos enunciados foram ampliados desde então por vários pesquisadores, gerando uma gama ampla de novos conceitos derivados, além do aprofundamento dos conceitos primordiais.

Dentre os conceitos enunciados, dois merecem uma referência adicional. São os aspectos relacionados com os diferentes níveis de tecnologia incluídos no contexto dos sistemas de apoio à decisão, combinados a característica interativa dos papéis assumidos pelo pessoal envolvido no desenvolvimento e aplicação de SADs.

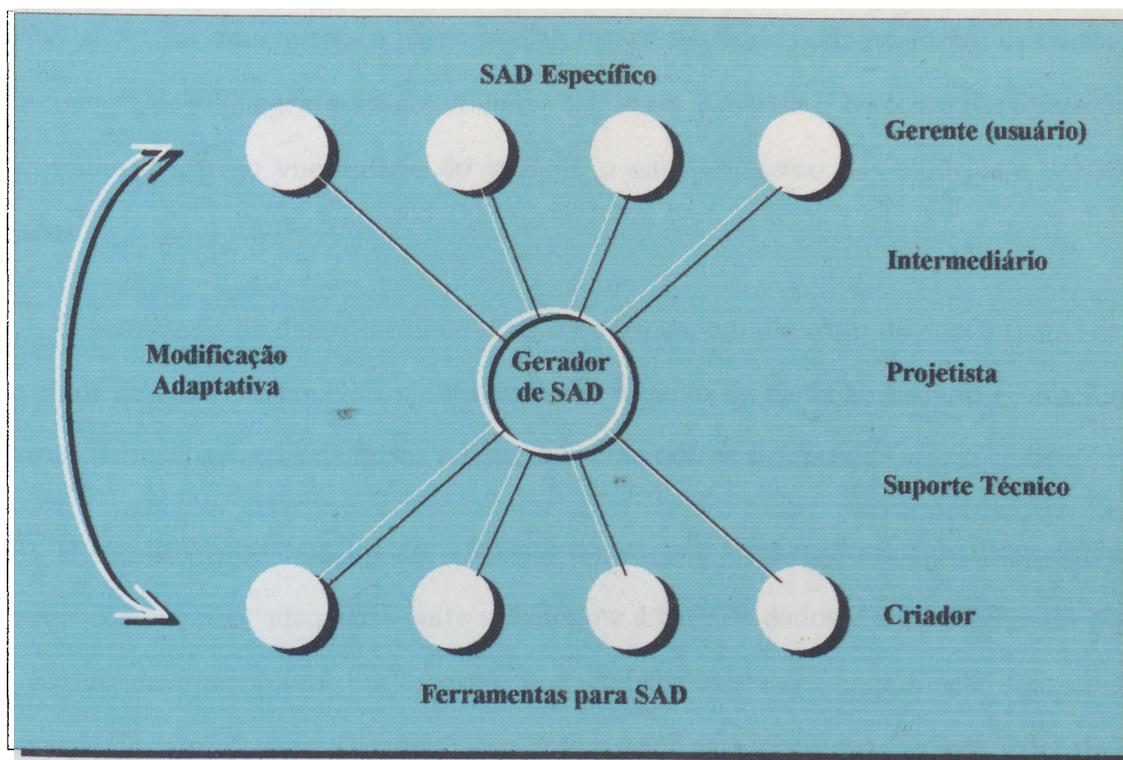
O primeiro nível de tecnologia refere-se aquele em que se encontra o aplicativo ou sistema que permite que um ou mais elementos, responsáveis pela tomada de decisão, lide com um conjunto de problemas afins. Este nível é chamado de *SAD específico*. O segundo nível, chamado de *Gerador de SAD*, consiste num pacote de *hardware* e *software* que oferece um conjunto de recursos para a criação de um SAD específico. O nível mais fundamental, ou

terceiro nível, é o chamado de *Ferramentas para SAD*. As ferramentas para SAD nada mais são que um conjunto de elementos de *hardware* e *software* que facilitam o desenvolvimento tanto de um SAD específico quanto de um Gerador de SAD. Todos os avanços, nos diferentes níveis de tecnologia, passam obrigatoriamente pelos constantes avanços conseguidos neste último nível, destacando-se novas linguagens de uso específico, melhorias nos sistemas operacionais de modo a dar suporte a abordagens conversacionais, *hardware* e *software* para geração e manipulação de imagens, etc.

As características dos papéis a serem desempenhados por gerentes e técnicos, durante o desenvolvimento e operação de um SAD, estão intimamente relacionados com os diferentes níveis de tecnologia. SPRAGUE (1980), faz a seguinte distribuição:

- O *gerente ou usuário* é a pessoa que tem que resolver o problema ou tomar a decisão - a pessoa que tem que entrar em ação e se responsabilizar pelas conseqüências;
- O *intermediário* é a pessoa que ajuda o usuário, talvez meramente como um assistente burocrático, para executar comandos, ou talvez oferecendo uma ajuda mais substancial, interagindo e dando sugestões;
- O *projetista de SAD* ou facilitador congrega os recursos necessários no Gerador de SAD a fim de "configurar" o SAD específico com o qual o usuário ou o intermediário interage diretamente. Esta pessoa deverá estar familiarizada com a área na qual o problema está inserido, bem como com os componentes e recursos do sistema de informação;
- O *responsável pelo suporte técnico* desenvolve recursos ou componentes adicionais para o sistema de informação, quando eles se fizerem necessários. Novos bancos de dados, novos modelos de análise, e novos formatos para exibição de dados serão desenvolvidos pela pessoa que exerce este papel. Exige-se que esta pessoa conheça profundamente a tecnologia em uso, e tenha um conhecimento razoável da área na qual o problema está inserido;
- O *criador* desenvolve novas tecnologias, novas linguagens, novos *hardware* e *software*, aumenta a eficiência das ligações entre subsistemas, etc.

A distribuição de Sprague, pode ser sintetizada como na figura III.1.1, a seguir:



**Figura III.1.1: Três níveis de SADs com cinco papéis associados para gerentes e técnicos**

Sprague observa ainda que os espectros dos diferentes papéis não precisam ser necessariamente estáticos e exclusivos. O autor sustenta que um único indivíduo pode assumir vários papéis, ou até mesmo ser necessário mais de um elemento para desempenhar um determinado papel, dependendo basicamente da natureza do problema, da natureza ou qualificação das pessoas e do poder da tecnologia disponível.

### **III.2. Os componentes básicos de um sistema de apoio à decisão**

ARIAV e GINZBERG (1985), apud CÂMARA et al. (1990), listam os três aspectos principais que devem estar presentes no projeto de uma estrutura para o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão que são: o subsistema de dados, o subsistema de modelos, e o diálogo.

O diálogo que suporta o uso do sistema de apoio à decisão deve focar três aspectos principais: Usar uma interface para manejar aspectos sintáticos da interação; usar uma função de controle de linguagem para determinar a semântica e manter o contexto das interações; usar um tradutor entre o vocabulário do usuário, o sistema interno dos modelos e o acesso aos dados.

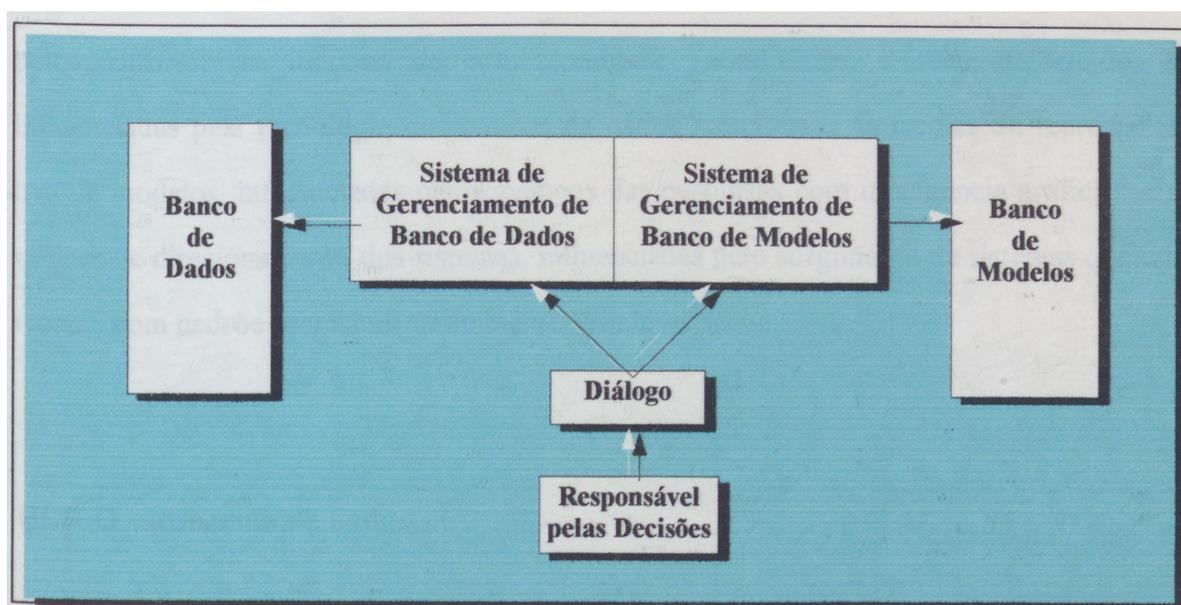
O subsistema de dados inclui um banco de dados, um diretório de dados (para descrever os tipos de dados disponíveis no sistema), um arquivo de ajuda ao usuário e uma função de acesso a fontes externas de dados ou conexão com outros sistemas.

O subsistema de modelos deve facilitar o manejo e a execução dos modelos disponíveis e incluir combinações adequadas entre o diálogo e a base de dados. Para atingir estes objetivos, o sistema deve incorporar um diretório dos modelos existentes, uma função para controlar e estabelecer conexões entre modelos, um processador para interpretar as instruções do diálogo e, finalmente, um contato com o subsistema de dados.

JOHNSON (1986), avaliza ARIAV e GINZBERG (1985) ao considerar que um sistema de apoio à decisão deve incorporar capacidades de entrada, armazenamento e recuperação eficiente de dados; capacidade de processamento de informações (modelos); e um contato amigável com o usuário (diálogo). Devem haver ligações diretas entre o banco de dados e o módulo de análise do sistema, com o usuário podendo acessar dados e funções dos modelos de forma flexível, sem treinamento intensivo. Recursos computacionais gráficos devem ser usados para auxiliar na confirmação de dados e revisão de tarefas, bem como para providenciar um meio de comunicar os resultados da análise para orientar o gestor. O autor ainda salienta a importância do critério de uso amigável, por permitir ao gestor do sistema evitar intermediários na operação computacional, uma situação que é inconveniente e reduz a confiança do usuário.

As abordagens de ARIAV e GINZBERG (1985), apud CÂMARA et al. (1990), e de JOHNSON (1986) são idênticas à encontrada em SPRAGUE (1980). Sprague sintetiza inicialmente um SAD como um banco de dados, um banco de modelos, e um sistema de

*software* complexo para vincular o usuário a cada um deles. O banco de dados e o banco de modelos possuindo alguns componentes inter-relacionados e o sistema de *software* sendo composto de três conjuntos de recursos: o *software* para gerenciamento de banco de dados (DBMS), o *software* para gerenciamento do banco de modelos (MBMS), e o *software* para gerenciamento da interface entre o usuário e o sistema, que pode ser denominado *software* para o gerenciamento e geração de diálogos (DGMS). De acordo com o autor, estes três subsistemas principais proporcionam um esquema conveniente para a identificação dos recursos técnicos que um SAD deve ter.



**Figura III.2.1: Os componentes de um SAD**

A abordagem de SPRAGUE (1980), ou de ARIAV e GINZBERG (1985), apud CÂMARA et al. (1990), foi aceita e adotada por diversos profissionais, além de difundida por outros autores. Tanto que SPRAGUE (1987), já se refere ao paradigma diálogo-dado-modelo como sendo *uma forma popular* de categorizar o conjunto de recursos necessários em um SAD. Desde então, é usual a tripartição dados, diálogo, modelos, consagrada como a forma mais útil e eficiente de considerar as partes componentes de um sistema de apoio à decisão (SAD). WATSON e SPRAGUE (1991), reafirmam definitivamente esta tendência,

acrescentando que embora os componentes difiram de aplicativo para aplicativo, eles sempre existem de alguma forma.

É evidente a importância de compreender como cada componente pode ser desenvolvido, tanto para os usuários quanto para os projetistas de SAD. WATSON e SPRAGUE (1991) consideram que os usuários são os responsáveis por criar uma consciência do que pode ser necessário num SAD, enquanto que os projetistas sugerem o que pode ser feito. Ao mesmo tempo em que destacam a importância de explorar as partes componentes de um SAD e de buscar a descrição da ampla gama de possibilidades atuais, os autores referem-se à contínua expansão deste domínio, devido à tecnologia emergente. Alguns exemplos são destacados pelos autores: as funções de armazenamento, atualização e recuperação de dados, influenciadas pela tecnologia dos bancos de dados relacionais; as formas de representação e uso de modelos, influenciadas pelos avanços das pesquisas com inteligência artificial; e novas opções de direcionamento dos sistemas, influenciadas pelo surgimento de sistemas que utilizam ícones, com padrões similares ao ambiente Windows®.

### **III.3. O subsistema de dados**

Um primeiro aspecto importante a ser ressaltado, refere-se às peculiaridades relacionadas com o banco de dados de um SAD, quando comparadas com o banco de dados de um sistema qualquer.

SPRAGUE (1980), considera que existem diferenças significativas entre as abordagens de bancos de dados aplicáveis a um SAD e as aplicáveis aos banco de dados de sistemas tradicionais. O autor ressalta que o conjunto de fontes de dados de um aplicativo caracterizado como SAD é muito mais rico que o encontrado em outros aplicativos. De um modo geral, o subsistema de dados de um SAD deve suportar uma ampla variedade de dados de diferentes fontes. Outro aspecto é que, para um SAD, é muito importante o processo de extração e obtenção de dados a partir destas inúmeras fontes. A natureza de um SAD requer que o

processo de extração e o Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (DBMS) que o controla sejam flexíveis o suficiente, para permitir acréscimos e mudanças rápidas, em resposta a pedidos do usuário. Finalmente, a maioria dos SADs bem sucedidos, descobriu ser necessário criar ou manter um banco de dados para o SAD, separado logicamente de outros bancos de dados operacionais.

Com base nos aspectos acima referidos, SPRAGUE (1980) apresenta um conjunto dos principais recursos necessários à área de banco de dados em um SAD, e que pode ser resumido da seguinte forma:

- capacidade de combinar diversas fontes de dados através do processo de extração e obtenção de dados;
- capacidade de acrescentar e excluir fontes de dados rápida e facilmente;
- capacidade de retratar estruturas de dados lógicas de modo que o usuário compreenda o que está disponível e possa especificar os acréscimos e exclusões necessários;
- capacidade de lidar com dados pessoais e não oficiais de modo que o usuário possa testar alternativas com base em seu julgamento pessoal; e
- capacidade de gerenciar esta ampla variedade de dados com uma ampla gama de funções de gerenciamento de banco de dados.

WATSON e SPRAGUE (1991), reforçam a idéia de um banco de dados para SAD separado dos bancos de dados operacionais, argumentando com questões tais como segurança, facilidade de acesso, e integridade dos dados. Os autores apontam como solução, a manutenção de arquivos externos ao sistema de banco de dados, criados especialmente para atender às necessidades do usuário final. Watson e Sprague acrescentam que a maioria dos sistemas de gerenciamento de banco de dados foram criados para especialistas em sistemas de informações, e não para o usuário final. Sem dúvida, não é conveniente misturar os universos do usuário final com o dos sistemas de informações. O usuário final, em geral eventual, espera respostas rápidas, e estas respostas são melhor obtidas a partir de estruturas mais simples.

### III.4. O subsistema de modelos

Os modelos fornecem os recursos necessários para a análise em um SAD. Usando uma representação matemática do problema ou do sistema que se quer avaliar, são empregados processos algorítmicos para a geração das informações que servem de apoio a decisões.

Vários são os enfoques através dos quais um modelo matemático pode ser categorizado. WATSON e SPRAGUE (1991), consideram importantes as distinções que podem ser feitas de acordo com o seu propósito, com a forma de tratamento da aleatoriedade, e com a generalidade de sua aplicação.

O propósito de um modelo pode ser tanto otimização quanto descrição. Um modelo de otimização busca identificar pontos de maximização ou minimização da performance de um determinado evento. Um modelo descritivo descreve o comportamento de um determinado sistema. De certa forma, qualquer modelo é descritivo, se for uma representação válida da realidade. Porém, um modelo descritivo apenas descreve o comportamento do sistema; não sugere condições para sua otimização.

Em relação à aleatoriedade, quase todos os sistemas são probabilísticos. Isto é, o comportamento do sistema não pode ser previsto com segurança, pois existe um certo grau de aleatoriedade. Um modelo probabilístico tenta captar a natureza probabilística do sistema, solicitando a entrada de dados probabilísticos e gerando resultados probabilísticos. Embora a maioria dos sistemas sejam probabilísticos, grande parte dos modelos matemáticos são determinísticos. Os modelos determinísticos empregam estimativas compostas de um único valor para as variáveis no modelo e geram saídas compostas de um único valor. Os modelos determinísticos são mais populares que os probabilísticos, pois são mais baratos, menos difíceis, o tempo necessário ao seu desenvolvimento e uso é menor, e freqüentemente suprem informações satisfatórias como apoio na tomada de decisões.

No que se refere à generalidade da aplicação, um modelo pode ser desenvolvido especificamente para ser usado em um único sistema, ou pode ser aplicável a muitos sistemas.

Em geral, os modelos que se aplicam a apenas um sistema descrevem um sistema específico e, via de regra, fornecem uma descrição melhor do que aquela conseguida com um modelo genérico, aplicável a vários sistemas.

Uma classificação mais ampla sobre modelos pode ser encontrada em VILLENEUVE et al. (1975), incluindo outras formas ou enfoques para sua categorização, ou ainda em TUCCI (1986).

### **A integração dos modelos em um SAD**

Uma característica importante num SAD é a capacidade de integrar acessos a dados e modelos. Isto é conseguido, basicamente, agrupando-se em um sistema de informações único e consistente, um conjunto de modelos capazes de interagir com um banco de dados e usar este como mecanismo de integração e comunicação entre os modelos.

O uso equivocado de modelos tem sido amplamente discutido por diversos autores, das mais diversas áreas. Para WATSON e SPRAGUE (1991), um dos maiores problemas é o fato de os projetistas se preocuparem quase que única e exclusivamente com a estrutura dos modelos.

"A existência da entrada correta de dados e da correta apresentação da saída ou resultado para o usuário era tomada como pressuposto. Além destas pressuposições quase heróicas, os modelos tendiam a sofrer inadequabilidades, devido à dificuldade de se desenvolver um modelo integrado, capaz de lidar com um conjunto de decisões inter-relacionadas. A solução era um conjunto de modelos separados, cada um dos quais lidando com uma parcela distinta do problema. A comunicação entre esses modelos ficava a cargo do responsável pela decisão e do processo intelectual." WATSON e SPRAGUE (1991)

De acordo com WATSON e SPRAGUE (1991), uma visão mais esclarecedora dos modelos sugere que eles devem ser incluídos num sistema de informação, tendo os bancos de dados como mecanismo de integração e comunicação entre eles. Os autores defendem um

processo flexível que utilize uma linguagem potente para geração de modelos e um conjunto de blocos de criação, semelhantes a sub-rotinas, que possam ser montados de modo a facilitar o processo de criação dos modelos. De forma análoga às funções para gerenciamento de dados, o ideal seria contar com um conjunto de funções para gerenciamento do banco de modelos. Os principais recursos que um SAD deveria incluir, relacionados com o subsistema de modelos são:

- capacidade de criar novos modelos rápida e facilmente;
- capacidade de catalogar e manter uma ampla variedade de modelos;
- capacidade de inter-relacionar esses modelos através do banco de dados;
- capacidade de acessar e integrar blocos; e
- capacidade de gerenciar o banco de modelos com funções análogas às usadas para o gerenciamento de bancos de dados (por exemplo, mecanismos para o armazenamento, catalogação e acesso a modelos ).

Obviamente, não existem sistemas de gerenciamento de modelos disponíveis comercialmente. Esta, sem dúvida, é uma dificuldade importante a ser superada por um sistema que queira ser enquadrado como um SAD legítimo. Inúmeras pesquisas estão sendo realizadas neste sentido, cabendo apenas citar as duas principais linhas de pesquisa empreendidas. Uma delas, concentra-se na aplicação e na ampliação do modelo relacional de sistemas de gerenciamento de banco de dados para sistemas de gerenciamento de banco de modelos, podendo-se encontrar subsídios neste sentido em BLANNING (1987), apud WATSON e SPRAGUE (1991). A outra linha consiste na aplicação de conceitos de inteligência artificial ao gerenciamento de modelos, sendo que uma abordagem neste sentido pode ser encontrada em ELAM e KONSZYNSKI (1987), apud WATSON e SPRAGUE (1991).

A abordagem de SAD à geração de modelos tem como principal objetivo minimizar os problemas encontrados na modelagem matemática tradicional, e que serão identificados adiante. Este objetivo é perseguido, enfatizando-se a necessidade de um sistema integrado - diálogo, dados e modelos trabalhando juntos - como auxiliar na solução dos problemas.

Em síntese, tem-se no banco de dados as informações necessárias para gerar, montar e usar modelos. Os resultados oriundos dos modelos são colocados no banco de dados, tornando-se então acessíveis a outros modelos, o que é um passo decisivo para proporcionar a integração entre modelos. Por seu turno, um diálogo bem elaborado amplia a probabilidade de que os usuários consigam desenvolver seus próprios modelos, operá-los adequadamente, mantê-los atualizados, e aplicar com maior eficácia os resultados. Agregado às considerações anteriores, o alto grau de envolvimento durante o processo de desenvolvimento do sistema, propicia substancialmente uma maior confiança nos modelos. Sem dúvida, este alto grau de envolvimento não se verifica quando do uso de um modelo ou pacote estanque.

..

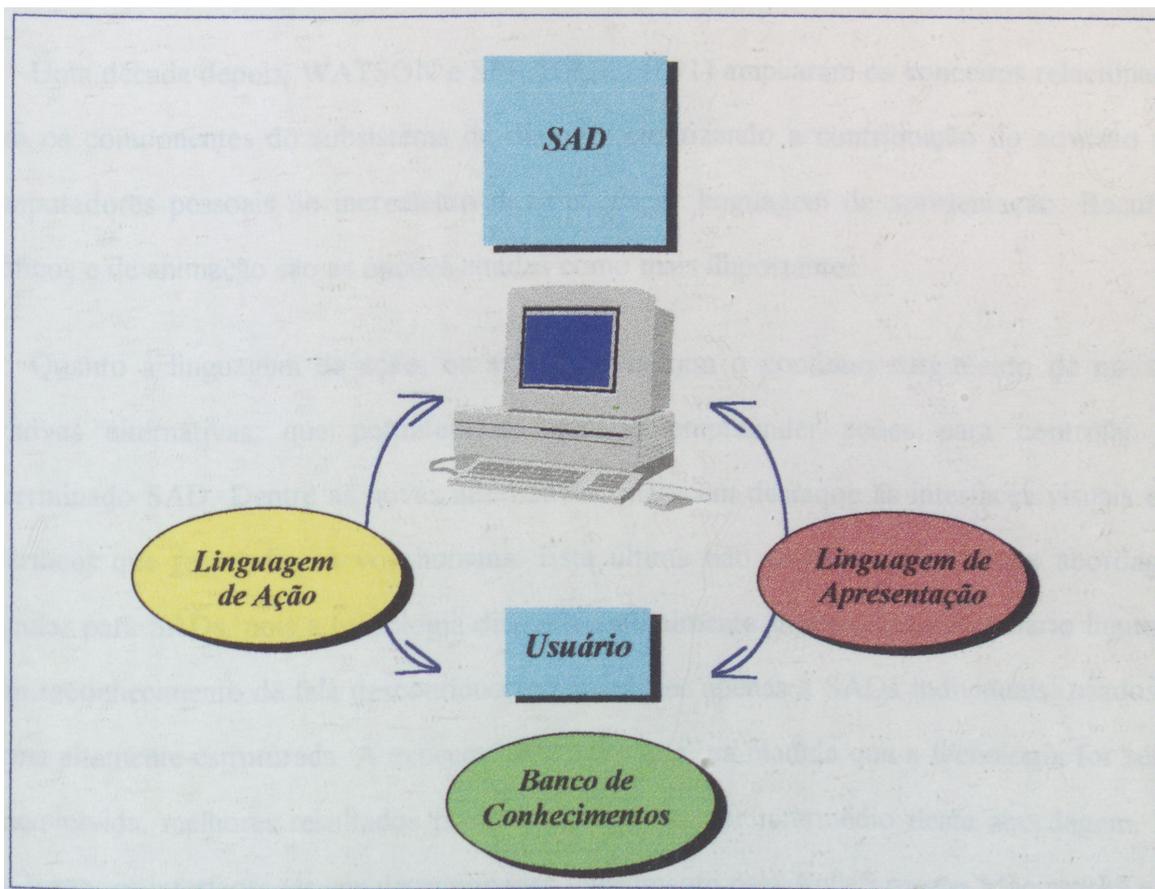
### III.5. O subsistema de diálogo

Segundo LOUCKS et al. (1985), qualquer sistema ou modelo computacional é um gestor de informações, um meio de criação, armazenamento, ordenamento, edição, combinação, resumo e apresentação de dados ou informações, mas o *design* particular de um sistema e seu uso são essencialmente dependentes das necessidades e capacidades individuais ou institucionais.

MARTIN (1983), apud LOUCKS et al. (1985), ressalta que não há um único ou melhor caminho para gerenciar e transmitir informações, mas há numerosos caminhos que são mais eficientes que outros. LOUCKS et al. (1985), consideram que um método mais eficiente envolve o uso de computação gráfica que, apesar de simples, desempenha importante papel como auxiliar na entrada de dados, edição e apresentação, além de prover uma interface eficiente entre o usuário e o sistema gerenciador de dados. Percebe-se aqui o consenso entre diferentes autores, já que esta interface nada mais é que o diálogo proposto por ARIAV e GINZBERG (1985), apud CÂMARA et al. (1990), ou o contato amigável com o usuário, requisito indispensável para JONHSON (1986) na caracterização de um sistema de apoio à decisão.

..

SPRAGUE (1980), considera que grande parte do potencial, da flexibilidade e da utilidade características de um SAD provêm dos recursos da interface usuário/sistema. Para WATSON e SPRAGUE (1991), pode-se obter uma apreciação da real importância do componente diálogo, reconhecendo-se que, do ponto de vista do usuário, o diálogo é o sistema. O que importa para o usuário comum, é o que saber a fim de usar o sistema, as opções para direcionar as ações do sistema, e as alternativas para apresentação das respostas. BENNETT (1977), apud SPRAGUE (1980), já identificava o usuário, o terminal e o *software* como sendo os componentes do subsistema de interface ou de diálogo. Divide-se então o diálogo ou a interface em si em três partes, conforme é apresentado na Figura III.5.1, a seguir.



**Figura III.5.1: Interface usuário/sistema**

1. A linguagem de ação - o que o usuário pode fazer ao se comunicar com o sistema. Inclui opções como a disponibilidade de um teclado padrão, teclas de função, painéis que respondem a toques, *joy stick*, possibilidades de emitir comandos em voz alta, recursos de *mouse*, etc.;

2. A linguagem de apresentação - o que o usuário vê. A linguagem de apresentação inclui opções como saída de vídeo, impressora, gráficos, plotadores, saída para áudio, etc.;

3. O Banco de conhecimentos - o que o usuário tem que saber. O banco de conhecimentos consiste naquilo que o usuário precisa trazer para uma sessão com o sistema a fim de utilizá-lo de forma eficaz. O conhecimento pode estar na cabeça do usuário, ou num cartão de referência, num manual do usuário, ou numa série de comandos de socorro disponíveis (*help on line*), etc.

Sprague considera que o potencial da interface como um todo dependerá do potencial dos recursos de cada uma destas três áreas.

Uma década depois, WATSON e SPRAGUE (1991) ampliaram os conceitos relacionados com os componentes do subsistema de diálogo, enfatizando a contribuição do advento dos computadores pessoais no incremento das opções de linguagem de apresentação. Recursos gráficos e de animação são as opções citadas como mais importantes.

Quanto à linguagem de ação, os autores ressaltam o contínuo surgimento de novas e atrativas alternativas, que permitem ao usuário empreender ações para controlar um determinado SAD. Dentre as novas alternativas, merecem destaque as interfaces visuais e as interfaces que respondem à voz humana. Esta última não configura ainda uma abordagem popular para SADs, pois a tecnologia disponível atualmente suporta um vocabulário limitado, com reconhecimento de fala descontínuo, prestando-se apenas à SADs individuais, usados de forma altamente estruturada. A expectativa atual é que, na medida que a tecnologia for sendo desenvolvida, melhores resultados possam ser obtidos por intermédio desta abordagem. Por seu turno, as interfaces visuais desenvolvidas inicialmente pela Apple® para o Macintosh® e em seguida clonado pela Microsoft® para o padrão IBM® PC, têm uma popularidade cada vez maior. As interfaces visuais utilizam símbolos pictóricos para representar objetos familiares, como um documento, uma pasta de arquivo, ou uma lata de lixo. A ação propriamente dita, é implementada normalmente usando-se um *mouse* ou até mesmo toques diretos no visor, para movimentar os ícones ou fazer escolhas em um menu.

Um outro aspecto da interface usuário/sistema é o conceito de estilo de diálogo. As características do banco de conhecimentos, linguagem de ação e linguagem de apresentação reunidas, compõem o conceito de estilo de diálogo, já abordado por Sprague em 1980 e definido por WATSON e SPRAGUE (1991) como sendo a combinação ou o conjunto de opções para a implementação do banco de conhecimentos, da linguagem de ação, e da linguagem de apresentação, tomados como um todo. Por exemplo, um determinado estilo de diálogo consiste em um sistema no qual os usuários têm um cartão de referência (banco de conhecimentos) e memorizam os comandos a serem fornecidos num teclado (linguagem de ação) a fim de obter um relatório impresso (linguagem de apresentação). Um outro estilo bem diferente é o que resulta do uso do mouse para acessar menus e mover ícones numa tela, a fim de obter uma apresentação de gráficos dos resultados de uma análise ou simulação. Para os autores, os aspectos favoráveis ou contrários a cada estilo de diálogo e a escolha do estilo mais apropriado são estritamente dependentes do tipo de usuário, da atividade realizada e da situação decisória.

HOUGUE (1987), considera importante definir o perfil dos usuários, quando da elaboração do diálogo em um SAD. Para WATSON e SPRAGUE (1991), deve-se, considerando sempre as características do usuário, oferecer a melhor combinação entre simplicidade e flexibilidade no momento de conceber um determinado diálogo. Isto porque os diálogos mais simples são pouco flexíveis, enquanto que os diálogos mais flexíveis requerem um conhecimento adicional, podendo inviabilizar ou dificultar o uso de um SAD por usuários novatos ou inexperientes.

Uma tendência cada vez mais consolidada, principalmente para SADs que servem a diversos usuários, é a de oferecer várias opções de diálogo para o sistema. A utilização de vários níveis de diálogo permite que usuários novatos utilizem o sistema de uma forma mais simples, enquanto os usuários mais experientes podem usufruir de mais flexibilidade, tirando maior proveito do sistema. Ainda, um mesmo usuário pode migrar passo a passo de um estilo para outro de diálogo, na medida que for se familiarizando com o sistema.

MCKENNY (1974), apud MANN et al. (1986), aborda mais um aspecto favorável à idéia de se ter, em um mesmo SAD, múltiplas opções de diálogo: o estilo cognitivo, intrínseco a cada indivíduo, e definido como a forma característica de organização do seu pensamento. As três dimensões de estilo cognitivo que recebem maior atenção na literatura sobre sistemas de informação - a complexidade cognitiva, a dependência-independência do contexto, e o estilo de raciocínio - foram identificadas por ZMUD (1978), apud MANN et al.(1986).

A primeira dimensão, denominada complexidade cognitiva, pode ser entendida como possuindo três propriedades distintas: (1) diferenciação, ou o número de elementos que um indivíduo busca e assimila no processo cognitivo; (2) discriminação, ou a forma através da qual uma pessoa atribui estímulos ligeiramente diferentes a diferentes categorias e (3) integração, ou o número e a completude das regras que um responsável pela tomada de decisões usa no processo cognitivo. A dimensão complexidade cognitiva classifica indivíduos num contínuo, que vai do mais simples ao mais complexo.

A segunda dimensão, dependência ou independência do contexto, classifica os indivíduos de acordo com sua tendência para perceber padrões de dados que sejam relativamente independentes de seu contexto, ou como itens descontínuos inseridos num contexto.

A terceira categoria, estilo de raciocínio, refere-se à tendência de uma pessoa em procurar os dados para relações causais que promovam uma solução algorítmica e a utilizar modelos abstratos, ou a basear a busca em experiências e no bom senso usando testes de hipóteses *ad hoc* e tentativa e erro. Os indivíduos são classificados como sistemáticos, no primeiro caso, ou como heurísticos, no segundo.

MANN et al. (1986), consideram que se conhecêssemos mais sobre os vários tipos de estilo cognitivo, e se os usuários de um sistema pudessem ser categorizados corretamente, deveria ser possível elaborar sistemas de informação que fossem usados com mais frequência, resultassem numa maior eficácia na tomada de decisões e fossem melhor aceitos pelos usuários. Contudo, verifica-se um alto grau de subjetividade envolvendo a consideração do estilo cognitivo do usuário, na elaboração de um SAD. As inúmeras pesquisas na área não

produziram diretrizes operacionais relevantes para o desenvolvimento de SADs. LUCAS e NIELSON(1982), apud MANN et al. (1986), consideram que o desenvolvimento de um corpo de conhecimentos com bases empíricas é demorado, enquanto que o ritmo do desenvolvimento em *hardware* e *software* é acelerado. Isto certamente inviabiliza a consideração prática das pesquisas sobre estilos cognitivos.

De qualquer forma, com a contínua evolução dos *softwares*, torna-se cada vez mais fácil elaborar sistemas de diálogo que contemplem múltiplas alternativas. Sendo esta uma tendência consolidada, e partindo-se do pressuposto que o usuário é suficientemente capaz de selecionar entre as diversas alternativas oferecidas a mais adequada à sua realidade, é possível considerar superada a questão relacionada com a necessidade de levar em conta o estilo cognitivo do usuário na elaboração de um subsistema de diálogo.

Cabe por fim, descrever um conjunto parcial de recursos desejáveis para um SAD, no tocante ao diálogo, e que são encontrados em SPRAGUE (1980):

- capacidade de lidar com diversos estilos de diálogo, talvez com a capacidade de passar de um estilo para outro, de acordo com a escolha do usuário;
- capacidade de trabalhar com ações do usuário em diversos meios;
- capacidade de apresentar dados em diversos formatos e meios; e
- capacidade de proporcionar suporte flexível ao banco de conhecimentos do usuário.

### **III.6. A aplicação de SADs a problemas de recursos hídricos**

Uma bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema que recebe entradas do sistema envolvente ou exterior, processa-as, e gera saídas dependentes daquelas. Através da modelagem matemática é possível simular os processos que ocorrem na bacia, quantificá-los e, até certo ponto, controlá-los na medida do interesse e da necessidade.

Atualmente, já não cabe discutir a validade do uso da modelagem matemática para representar um sistema real. Obviamente, os modelos matemáticos são simplificações da realidade e, como tal, imperfeitos. Entretanto, esta deficiência na representação do sistema real não é algo inerente ao modelo empregado mas deve-se, em primeiro lugar, à complexidade dos processos que ocorrem no interior do sistema representado e, em segundo lugar, ao relativo desconhecimento destes processos.

Na medida que se conhece mais um sistema e cada um de seus processos, avança-se no sentido de uma melhor modelação do mesmo. O limite para o exercício deste controle e o elenco de aspectos passíveis de serem controlados é variável, função das características do planejamento e, em última análise, dos objetivos propostos. Em síntese, há que se identificar quais são as metas e de que forma se processará a ação sobre o sistema para atingi-las.

A eficiência do controle sobre um sistema físico - bacia hidrográfica - depende diretamente da qualidade das informações existentes, ou seja, da disponibilidade de dados que descrevam convenientemente os componentes do sistema, sua participação nos processos e o fluxo resultante destes. Por outro lado, a eficiência também é função das ferramentas utilizadas para exercer o controle. Mesmo quando não é mais possível melhorar a qualidade das informações, resta ainda a alternativa de aperfeiçoar as ferramentas utilizadas, de maneira a aproveitar ao máximo os dados disponíveis.

As demandas externas sempre crescentes, influenciando e modificando o comportamento dos sistemas naturais, agregam continuamente uma maior complexidade ao entendimento do funcionamento deste sistemas. Isto se dá, basicamente, pelo aumento do número de conflitos de uso, o que gera, necessariamente, um volume maior de informações a serem coletadas e processadas.

Desde a década de 50, com o advento dos computadores, e, mais recentemente, com a expansão da microinformática, é crescente a tendência de representar sistemas reais com o auxílio da modelagem matemática. Diversos autores, mediante os mais diferentes enfoques,

têm procedido revisões a respeito da modelagem matemática em recursos hídricos e reunido esforços no sentido de desenvolver novos e melhores modelos.

Embora tenha havido muitos sucessos dentre as iniciativas de representar matematicamente sistemas reais, houve também muitos fracassos, sendo que os principais problemas responsáveis pelos fracassos, segundo WATSON e SPRAGUE (1991), são os seguintes:

- dificuldades de obtenção de dados de entrada para os modelos (modelos pouco realistas, afastados das condições presentes, de pouca ou nenhuma disponibilidade de dados);
- dificuldades de entender como aplicar os resultados gerados pelos modelos;
- dificuldades de manter os modelos atualizados;
- falta de confiança dos usuários nos modelos;
- pouca ou nenhuma integração entre os modelos;
- pouca interação entre modelos e usuários;
- dificuldades dos usuários na criação de modelos próprios; e
- pouca explicação dos resultados por parte dos modelos.

As dificuldades relacionadas com o pouco realismo dos modelos não são inerentes aos mesmos, mas advindas de fatores externos: a deficiência e o descaso com a manutenção e ampliação das redes de coleta de dados. O profissional da área de recursos hídricos depara-se freqüentemente com o dilema: servir-se de métodos simplificados ao extremo, que quase sempre não atendem convenientemente aos propósitos, ou tentar sem sucesso utilizar metodologias mais adequadas, mas que não encontram subsídios nos dados disponíveis.

Os demais pontos listados por WATSON e SPRAGUE (1991), mostram-se claramente interligados. Modelos desatualizados, usados de maneira desordenada pela ausência de integração entre os mesmos e com deficiências na apresentação dos resultados produzidos, levam inevitavelmente a dificuldades no seu aproveitamento e conseqüente redução de confiança por parte do usuário.

Os SADs representam um conceito novo, conforme já enunciado anteriormente. Sua introdução no domínio dos recursos hídricos é recente, haja visto a defasagem natural que ocorre desde o estabelecimento das linhas gerais de uma nova abordagem, até sua aplicação ou vinculação efetiva com uma determinada atividade específica. Portanto, são escassos os elementos capazes de descrever estas aplicações de SADs para tratar com recursos hídricos. Entretanto, os exemplos recolhidos são suficientes para identificar uma tendência consolidada, permitindo avaliar as vantagens decorrentes de tais iniciativas, além de justificá-las.

Dentre as diversas definições a respeito do que venha a ser SAD e de suas aplicações, a maioria delas apresenta uma referência comum. Trata-se da conveniência da aplicação de SADs a problemas semi-estruturados ou mal definidos, isto é, cuja base não pode ser exatamente definida ou determinada. Pois HOPKINS (1984), apud CÂMARA et al.(1990), justifica o uso de SADs para tratar com problemas de recursos hídricos, considerando que muitos problemas espaciais, tais como problemas de planejamento de recursos hídricos, são semi-estruturados ou mal definidos devido a todos os seus aspectos não poderem ser mensurados ou modelados.

Por seu turno, a definição de MEADOR e MEZGER (1984), apresentada anteriormente, delimita convenientemente o que venha a ser um problema semi-estruturado, além de ressaltar as virtudes principais esperadas dos gestores da decisão, e que devem ser combinadas com os atributos oferecidos pelas ferramentas computacionais para se compor um sistema de apoio à decisão. As habilidades esperadas do gestor por Meador e Mezger são aquelas relacionadas com capacidade de julgamento, experiência e discernimento, requisitos essenciais para atuar em ambientes decisórios cujo problema global não é facilmente compreendido, e do qual não se pode fazer uma descrição analítica satisfatória..

Em LABADIE e SULLIVAN (1986), encontra-se um diagnóstico pormenorizado das aplicações experimentais de SAD, para resolver problemas de recursos hídricos. Os autores destacam em um primeiro momento a relutância de vários gestores de recursos hídricos para aceitar integralmente a tecnologia de SADs. Questões relacionadas fundamentalmente com

custo, eficácia e confiabilidade são a principal fonte de argumentos contrários. Além disso, temores relacionados com o *modus faciendi* do sistema, e possíveis decisões envolvendo excessivamente especialistas em modelagem e programação, completam o quadro de questionamentos dos opositores.

São compreensíveis o temor e a desconfiança demonstrados por parte dos gestores. Sem dúvida, seus argumentos gozam de fundamento, uma vez que a inquietude entre os gestores é tanto maior quanto menor é sua familiaridade com ferramentas computacionais. Justamente por isso, é que os gestores necessitam se envolver com a concepção dos sistemas, de modo a adquirir um mínimo de autonomia e independência, com relação a analistas e programadores. De qualquer forma, a conceituação de SAD contempla justamente a necessidade de interação entre usuário (gestor) e projetista (analista), como forma de otimizar de maneira constante o sistema, mantendo-o atual, eficiente e confiável. Em última análise, o desejável é que se tenha um rápido *feedback* com o usuário.

Todavia, apesar da existência de opositores, cada vez mais gestores têm reconhecido a necessidade de incorporar ao domínio dos recursos hídricos, a nova tecnologia emergente. O aumento da conscientização pública com problemas de gerenciamento, as inúmeras restrições financeiras, e o aumento contínuo da complexidade dos sistemas hídricos a serem gerenciados ou operados são realidades importantes a pressionar os profissionais neste sentido. Além de concordar com os últimos aspectos arrolados, LABADIE e SULLIVAN (1986) agregam ao elenco dois fatores exógenos, como principais responsáveis pelo aumento do interesse ou redução da resistência de gestores e operadores na área de recursos hídricos:

1. A revolução dos microcomputadores;
2. O aumento da aceitação de técnicas de inteligência artificial.

Os microcomputadores pessoais têm substituído drasticamente a atitude social sobre computadores, de uma posição de desconfiança para uma de aceitação de uma ferramenta amigável, auxiliar na solução de problemas. Isto tem sido intensificado por periféricos atrativos, tais como monitores coloridos, e por potentes *softwares* gráficos. A drástica redução

de custos e o desenvolvimento de *softwares* facilmente utilizáveis como, por exemplo, algumas planilhas eletrônicas e bancos de dados relacionais têm tornado os computadores disponíveis para todos. Isto tem reduzido o temor do pessoal de gerenciamento e operação em se tornar dependente da "elite" de programadores e analistas, os quais no passado eram considerados como os únicos capazes de entender e utilizar computadores e sua tecnologia. Isto não é verdadeiro atualmente ou, pelo menos, não é regra geral.

O outro ponto importante citado por Labadie e Sullivan, é a aceitação recente de técnicas de inteligência artificial, como os sistemas especialistas, que na verdade tem estado disponíveis por vários anos. Os autores, destacam que uma das maiores queixas dos gestores de recursos hídricos no passado, foi que suas experiências e conhecimentos dos sistemas reais não foi apropriadamente incorporado aos modelos desenvolvidos por analistas de sistemas e especialistas em modelagem computacional. De fato, uma opinião comum expressada por gestores durante muito tempo, e que é destacada por Labadie e Sullivan, é que analistas de sistemas tinham uma atitude um tanto arrogante, e que com o conhecimento de algumas informações básicas eles poderiam prescindir da colaboração de analistas e desenvolver sozinhos os modelos. Os autores consideram que esta atitude resultou em inúmeras publicações fracassadas de aplicações de modelos computacionais e SADs em recursos hídricos, podendo até mesmo ter propiciado um retrocesso na área nos últimos anos. Entretanto, as opiniões contrárias podem ser proveitosas para o aperfeiçoamento do conceito de sistemas especialistas. O "expert", o gestor experiente, engenheiro ou operador, representam, neste caso, o elemento chave em qualquer estudo de modelagem e deveriam ser "clonados" tanto quanto possível. Portanto, segundo LABADIE e SULLIVAN, o ataque aos sistemas especialistas tem produzido uma mudança de atitude entre os cientistas de computadores, o que pode propiciar um cenário mais favorável para que se aumente o número de implementações em SADs, no campo dos recursos hídricos.

O entusiasmo de Labadie e Sullivan, com respeito à aplicação de sistemas de apoio à decisão no trato dos problemas relacionados com recursos hídricos, é compartilhado por

outros autores especialistas na área, tais como Johnson, Loucks, Taylor, French, Amend e Cunningham, Ford, etc.

Em JOHNSON (1986), encontra-se um exame abrangente do estado da arte dos sistemas de apoio à decisão para gerenciar recursos hídricos. O exame se dá com base num variado elenco de exemplos, que incluem monitoramento de sistemas de recursos hídricos, controle de inundações, sistemas de abastecimento d'água, operação de reservatórios, planejamento auxiliado por computador e sistemas especialistas. O trabalho de Johnson fornece uma descrição sucinta de alguns destes SADs, seus usos correntes na operação e gerenciamento de recursos hídricos e diretrizes para futuros desenvolvimentos. Inclui ainda a avaliação de aspectos funcionais da estrutura dos SADs e dos benefícios decorrentes de seu uso.

Merece destaque aqui, a ênfase dada por Johnson ao uso de alguns poderosos *softwares* comerciais disponíveis a pouco tempo para microcomputadores. Segundo o autor, nenhuma discussão de sistemas de apoio à decisão para tratar com recursos hídricos será completa se não mencionar o uso produtivo destes *softwares*. As atenções de Johnson são especialmente dirigidas às populares planilhas, aos editores de texto, e aos pacotes de gerenciamento de banco de dados. Estes *softwares* são encarados como linguagens computacionais de alto nível, que permitem rápida programação, análise gráfica de dados, apresentação de resultados e geração de relatórios. O autor considera que a facilidade e a rapidez de programação, aliadas ao baixo custo destas ferramentas, revolucionaram a prática da engenharia em geral e no campo dos recursos hídricos.

Percebe-se em Johnson, clara inspiração nos conceitos de sistemas de apoio à decisão, o que pode ser comprovado pelas suas referências à Ralph Sprague e E. Carlson, dois dos precursores dos sistemas de apoio à decisão, e a Daniel Loucks e Peter French, alguns dos vários especialistas em recursos hídricos a se envolver igualmente com SADs.

LOUCKS et al. (1985), registram sua preocupação e seus esforços no sentido de adaptar dispositivos gráficos de exposição em programas computacionais destinados ao estudo de recursos hídricos e problemas de gestão ambiental. Os autores usam a sigla CAP (*Computer-*

*aided planning*) para designar os sistemas que contam com facilidades para entrada, edição e exibição de dados, construção e uso de modelos, e análise e síntese interativa de políticas e planos de manejo de recursos. Ao longo do trabalho, discutem a abordagem a escolher para gerir e apresentar os dados de entrada ou aqueles resultantes de um sistema interativo de modelagem.

Embora não se encontre nenhuma referência explícita ao termo SAD, percebe-se uma clara sintonia entre os esforços de LOUCKS (1985), e os conceitos de sistemas de apoio à decisão. Os autores dedicam atenção especial a aspectos relacionados com o *design* particular de um sistema e sua dependência das necessidades e capacidades individuais ou institucionais, e com o envolvimento necessário entre gestores, programadores e construtores de modelos, quando da escolha da maneira mais adequada ao tratamento das informações. Há uma preocupação com o usuário último da informação, suas necessidades peculiares e seu estilo de trabalho. Encontra-se ainda em LOUCKS (1985), iniciativas no sentido de prover uma interface eficiente entre o usuário e o sistema, com opção pelo uso da computação gráfica.

CÂMARA et al. (1990), apresentam um sistema de apoio à decisão destinado ao gerenciamento de qualidade de água do estuário do rio Tejo. O sistema, chamado Hypertejo, é suportado pelo *software* denominado Hypercard, da Apple Computer. Em FEDOROWICZ(1991), encontra-se uma referência breve ao sistema Hypercard, como exemplo de aplicativos para computadores pessoais, destinados a recuperação de hipertextos. O Hypercard permite o gerenciamento de vários tipos de documentos através de referência cruzada, além de rotulação de documentos armazenados por outros *softwares*, tais como: planilhas eletrônicas, processadores de texto, etc. De acordo com a autora, o hipertexto é uma forma de se associar vários documentos com base em associações especificadas pelo próprio usuário. Um memorando e um relatório que guardem afinidade podem ser associados através de um rótulo de modo que o usuário possa lembrar-se facilmente de um ao chamar o outro. Da mesma forma, gráficos, imagens, e mesmo os processos de raciocínio do usuário podem ser associados, proporcionando rapidez e flexibilidade na recuperação de informações.

CÂMARA et al. (1990), asseguram que o Hypercard foi escolhido por ser a ferramenta que se mostrou mais satisfatória, destacando a possibilidade de que indivíduos não especialistas em programação desenvolvam suas próprias aplicações utilizando Hipertalk, uma linguagem orientada para o objeto. O Hypercard também oferece capacidade de integração com outros *softwares* existentes, incluindo planilhas, processadores de texto, bancos de dados e outras linguagens computacionais, além de manipular gráficos e mapas digitalizados.

Em seu trabalho, CÂMARA et al. (1990), utilizaram convenientemente a conceituação básica que define os sistemas de apoio à decisão. Além de utilizar o *software* Hypercard como elemento definidor do subsistema de diálogo, os autores dispuseram de dois bancos de dados específicos e de um elenco de modelos matemáticos destinados a descrever os diferentes processos considerados na gestão da qualidade da água do estuário do Rio Tejo. Assim como Johnson, Câmara et al. não se afastam dos fundamentos básicos dos SADs. Além de referências explícitas a autores envolvidos com SADs, inclusive Johnson, os autores demonstram ter montado o seu SAD com base na tríade Diálogo-Dados-Modelos. A preocupação com os aspectos relacionados com a integração entre os três subsistemas fica caracterizada na escolha do Hypercard, cujas qualidades aludidas vão ao encontro das principais características consideradas essenciais num sistema de apoio à decisão.

Em FORD (1990), encontram-se valiosos esforços no sentido de obter um melhor desempenho dos *softwares* destinados de um modo geral a tratar com recursos hídricos. Ford avalia as revisões de Wurbs et al. (1985) e Yeh (1985) sobre modelos de simulação e a constatação histórica da necessidade de grandes computadores e horas de preparo de dados e análise de resultados. Todavia, o autor contrapõe que, no atual estágio de tecnologia computacional disponível, um analista munido de um computador pessoal pode simular um processo qualquer, desde que disponha do *software* apropriado para tal. HANCOCK e HEANEY (1987), apud FORD (1990), superaram as dificuldades do uso de programas adaptados para PC, usando planilhas eletrônicas. Contudo, o autor considera muito trabalhoso para um usuário eventual a simulação baseada em planilhas, por requerer experiência e paciência.

Embora não proponha formalmente um SAD em seu trabalho, FORD (1990) emprega fundamentos identificados com a teoria dos sistemas de apoio à decisão para propor um sistema de operação de reservatórios: o ResQ. O ResQ é uma tentativa de consenso entre os modelos tradicionais de simulação e as planilhas de uso fácil. Utilizando um algoritmo compatível com as técnicas utilizadas pelo *HEC Reservoir Yield model*, o autor incorpora conceitos de uso amigável e de interface usuário-sistema, dois aspectos fundamentais nos SADs. A interface de Ford inclui menus *pull-down*, controle de edição e simulação, entrada de dados, *helps*, e capacidade de escrever arquivos que possam ser lidos por planilhas e programas gráficos. Embora não tenha lançado mão de forma ordenada dos conceitos de SADs, Ford fundamenta seus esforços nos mesmos princípios básicos seguidos pelos demais autores apresentados.

Com uma abordagem semelhante a de Ford, BAUERMANN (1994), apresenta uma aplicação passível de enquadramento na condição de SAD, combinando um modelo de qualidade de água com os recursos oferecidos por uma planilha eletrônica.

ORLOB (1992), ao tratar das questões relacionadas com o desenvolvimento de modelos matemáticos para auxiliar na gestão da qualidade d'água, aponta os sistemas de apoio à decisão como alternativa aos gestores que preferam usar modelos de forma alternativa, interpretando diretamente resultados e montando configurações específicas para atender suas necessidades.

As considerações de Orlob sobre SADs são desenvolvidas em torno de três elementos principais. Os tópicos Gestor de Informações, Ferramentas Analíticas e Interface com o Usuário, nada mais são do que os subsistemas de dados, modelos e diálogo, sugeridos pela maioria dos proponentes de SADs como a forma mais adequada e proveitosa de estruturar um sistema de apoio à decisão.

Mais exemplos da introdução de conceitos de SAD, para tratar com problemas de recursos hídricos, podem ainda ser encontrados em DAVIS et al.(1991), PINGRI et al. (1991). Ambos utilizam SADs para orientar a atuação sobre sistemas complexos, incluindo aquisição,

tratamento, distribuição e reutilização dos recursos hídricos, além da disposição conveniente de efluentes.

Recentemente, configurando uma consolidação definitiva da tendência de aplicação dos princípios de SADs a recursos hídricos, WALSH (1993), propõe a fusão entre sistemas de apoio à decisão - SADs, e sistemas de informações geográficos - SIGs. De acordo com o autor, a análise espacial e a capacidade de apresentação dos SIGs podem melhorar o desempenho de cada um dos componentes dos SADs, permitindo sua evolução para algo que seria chamado de Sistema Espacial de Apoio à Decisão - SEAD. Todavia, Walsh ressalta que o sucesso desta nova abordagem para tratar com recursos hídricos exigirá a colaboração permanente de projetistas de SIGs, criadores de modelos, projetistas de SADs e gestores, aceitando os desafios decorrentes da integração destas tecnologias. O autor recomenda ações futuras destinadas a aperfeiçoar as interfaces e os métodos de gerenciamento de dados e modelos, além do desenvolvimento de protótipos para demonstrar e testar os conceitos de Sistema Espacial de Apoio à Decisão. Um exemplo próximo, passível de enquadramento como SAD por incorporar características de modularidade, é o SAGBAH - Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Bacias Hidrográficas -, concebido em 1992, e já aplicado a vários estudos. Uma apresentação do SAGBAH pode ser encontrada em LANNA e CHAVES (1993).

Em todo Brasil, entidades e órgãos envolvidos com o tratamento dos problemas de gerenciamento da recursos hídricos - CESP, RURALMINAS, etc - já explicitam em seus termos de referência para elaboração de propostas de gerenciamento de bacias, exigências no sentido da utilização de modelos de avaliação/gestão - MAG's, cujas características enunciadas refletem perfeitamente os princípios dos sistemas de apoio à decisão.

### **III.7. Peculiaridades de um SAD aplicado a recursos hídricos**

Por se tratar de um conjunto genérico de conceitos, a tecnologia dos sistemas de apoio à decisão deve ser adaptada conforme o caso em que se queira aplicá-la. Embora a abordagem empreendida aqui não alcance propriamente o nível operacional, onde então se justificaria

sobremaneira uma discussão pormenorizada a respeito das peculiaridades comportadas em um SAD para a área em questão, é possível identificar no nível global, algumas características importantes que devem ser consideradas. Além de importantes, estas considerações serão extremamente úteis, caso este trabalho venha a subsidiar, num futuro próximo, iniciativas no sentido do desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para tratar com recursos hídricos.

Certamente, as principais peculiaridades dos SADs para recursos hídricos são derivadas quase que exclusivamente das discussões a respeito do comportamento mais adequado a ser assumido pelo usuário frente ao sistema, em especial, ao subsistema de modelos. Um aspecto merecedor de destaque especial, no caso dos SADs para recursos hídricos, decorre principalmente da consideração de WATSON e SPRAGUE (1991), apresentada neste trabalho, de que "para o usuário, o diálogo é o sistema". Os autores sustentam que o usuário em geral tem pouco interesse em considerações tais como o *hardware* e o *software* utilizados, o armazenamento dos dados na memória e os algoritmos empregados pelos modelos, e que tais fatores não são nem vistos nem reconhecidos pelo usuário. No caso particular dos SADs para recursos hídricos esta tese não pode ser sustentada. O gestor/usuário acumula, muitas vezes, vários papéis, sendo ao mesmo tempo usuário, projetista e responsável pelo suporte técnico. Esta é uma característica válida nos SADs, defendida justamente por Sprague, que considera os papéis desempenhados por cada indivíduo, estritamente dependentes da natureza do problema, da natureza e qualificação das pessoas e do poder da tecnologia disponível.

A referência aos algoritmos empregados pelos modelos é crucial. Em recursos hídricos, o desenvolvimento de modelos matemáticos é, via de regra, tarefa controlada pelos especialistas da área. Sem dúvida, a necessidade de conhecimento efetivo dos algoritmos empregados é decorrência natural desta realidade.

## IV - ESTUDO DE UM CASO: GERAÇÃO DE VAZÕES

### PARA O PROJETO SANTA MARIA

O exame da validade e da conveniência da aplicação dos princípios básicos dos sistemas de apoio à decisão, no tratamento de problemas de recursos hídricos, pode ser enriquecido sobremaneira se for realizado mediante a avaliação de casos concretos, em que se tenha a possibilidade de realizar um largo emprego de ferramentas computacionais. Tanto os procedimentos efetuados sob a ótica dos SADs, quanto aqueles em que os princípios de SAD não tenham sido utilizados, permitem identificar as vantagens e desvantagens do uso ou não de sistemas de apoio à decisão.

Este estudo de caso apresenta o conjunto de procedimentos necessários à obtenção de séries de vazões para locais sem dados, avaliados sempre os referidos procedimentos, segundo os princípios definidores dos SADs.

Embora em um primeiro momento o caso escolhido para estudo possa parecer demasiado corriqueiro e já empreendido em inúmeros trabalhos anteriores, é justamente esta condição que o faz próprio para os objetivos do trabalho. Os procedimentos envolvidos na obtenção de séries de vazões em locais sem dados são suficientemente conhecidos, o que permite centrar a atenção mais sobre a forma de empreendê-los e menos sobre sua essência ou conteúdo.

De outra parte, a realidade brasileira caracterizada pela notória deficiência das redes de monitoramento, amplia a importância das metodologias destinadas à geração de séries para locais sem dados, justificando plenamente a frequência com que são examinadas

É conveniente destacar que o estudo em questão subsidiou o Estudo de Alternativas de Barramento, Captação e Adução para a Ampliação do Sistema de Abastecimento de Água de Santa Maria (CORSAN, 1993), o qual consiste basicamente na avaliação de um conjunto de alternativas predefinidas pela Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN, para a

ampliação do Sistema de Abastecimento de água de Santa Maria-RS. As alternativas estudadas foram selecionadas com base em estudos anteriores, realizados pela própria CORSAN. Em seguida, o estudo de avaliação das alternativas selecionadas foi contratado a uma empresa de consultoria.

#### **IV.1 - Caracterização do sistema em estudo**

O município de Santa Maria-RS localiza-se no limite norte da região fisiográfica gaúcha denominada Depressão Central, com áreas ao Norte já pertencentes ao Planalto. A população total segundo o Censo-IBGE/1991 é superior a 217.000 habitantes. O acesso à cidade de Santa Maria, desde Porto Alegre, é feito pelas BR-290 e BR-392, totalizando 300 km. Outras vias de acesso são as BR-287 e BR-158.

O abastecimento de água da cidade de Santa Maria, incluindo o distrito de Camobi, é viabilizado atualmente por dois sistemas de captação, localizados um no rio Ibicuí-Mirim e outro no rio Vacacaí-Mirim.

A captação no rio Ibicuí-Mirim conta com as seguintes unidades de acumulação:

- Barragem Val de Serra, com volume de armazenamento de 2.830.000 m<sup>3</sup>;
- Barragem Saturnino de Brito, com capacidade de 329.300 m<sup>3</sup>, onde está localizada a

tomada de água do sistema de captação do Ibicuí-Mirim.

A captação no rio Vacacaí-Mirim é realizada junto à barragem do extinto DNOS, com capacidade de acumulação de 3.800.000 m<sup>3</sup>.

Segundo estimativas feitas pela CORSAN, o sistema existente teria um alcance de atendimento previsto até o ano de 1995, correspondendo a uma demanda média de 600 l/s, sendo 400 l/s garantidos pelo sistema Ibicuí-Mirim que atua por gravidade e os restantes 200 l/s obtidos por recalque desde o reservatório do DNOS. Desde 1984 este recalque vem sendo cada vez mais necessário para complementar as vazões regularizadas pelo sistema Ibicuí-Mirim, causando preocupação o drástico racionamento ocorrido no verão 1985/86, quando foram feitos suprimentos de 24 horas em 72 horas. No período mais crítico, do total de

266 l/s produzidos (para uma demanda da ordem de 470 l/s) apenas 51 l/s vieram da Bacia do Ibicuí-Mirim (Val de Serra + Saturnino de Brito). A magnitude dos *deficits* constatados, bem como a frequência com que estes vêm ocorrendo, tem gerado, entretanto, dúvidas com relação às vazões realmente garantidas pelo sistema existente. Dentro desse contexto e atenta às projeções populacionais que indicam a necessidade de, no mínimo, duplicar-se a disponibilidade de vazão regularizada até o ano de 2027, a CORSAN vem desenvolvendo, desde a década de 70, estudos para ampliação do Sistema de Abastecimento de Água de Santa Maria.

Após exame dos mananciais viáveis - rios Vacacaí-Mirim, Toropi, Vacacaí e Ibicuí-Mirim - o rio Ibicuí-Mirim foi considerado a fonte hídrica mais adequada para suprir a demanda futura da cidade. Os fatores que influenciaram favoravelmente a escolha foram a menor distância, o desnível geométrico positivo em relação ao local de abastecimento, e as vazões possíveis de regularizar.

No rio Ibicuí-Mirim foram identificados diversos locais de barramento, conduzindo à dez soluções alternativas. Dentre estas, a CORSAN selecionou cinco como mais interessantes para a continuidade dos estudos, e conseqüente determinação da solução mais apropriada.

Em resumo, tem-se as seguintes opções, incluindo a possibilidade de construção de dois barramentos conjugados:

- Barragem Intermediária;
- Barragem Cerro Grande;
- Barragem Cerro do Bepão;
- Barragem Val de Serra Jusante + pequeno barramento em Cerro Grande; e
- Barragem Intermediária + pequeno barramento em Cerro Grande.

A figura IV.1.1, a seguir, reúne os principais elementos que caracterizam o sistema em estudo.

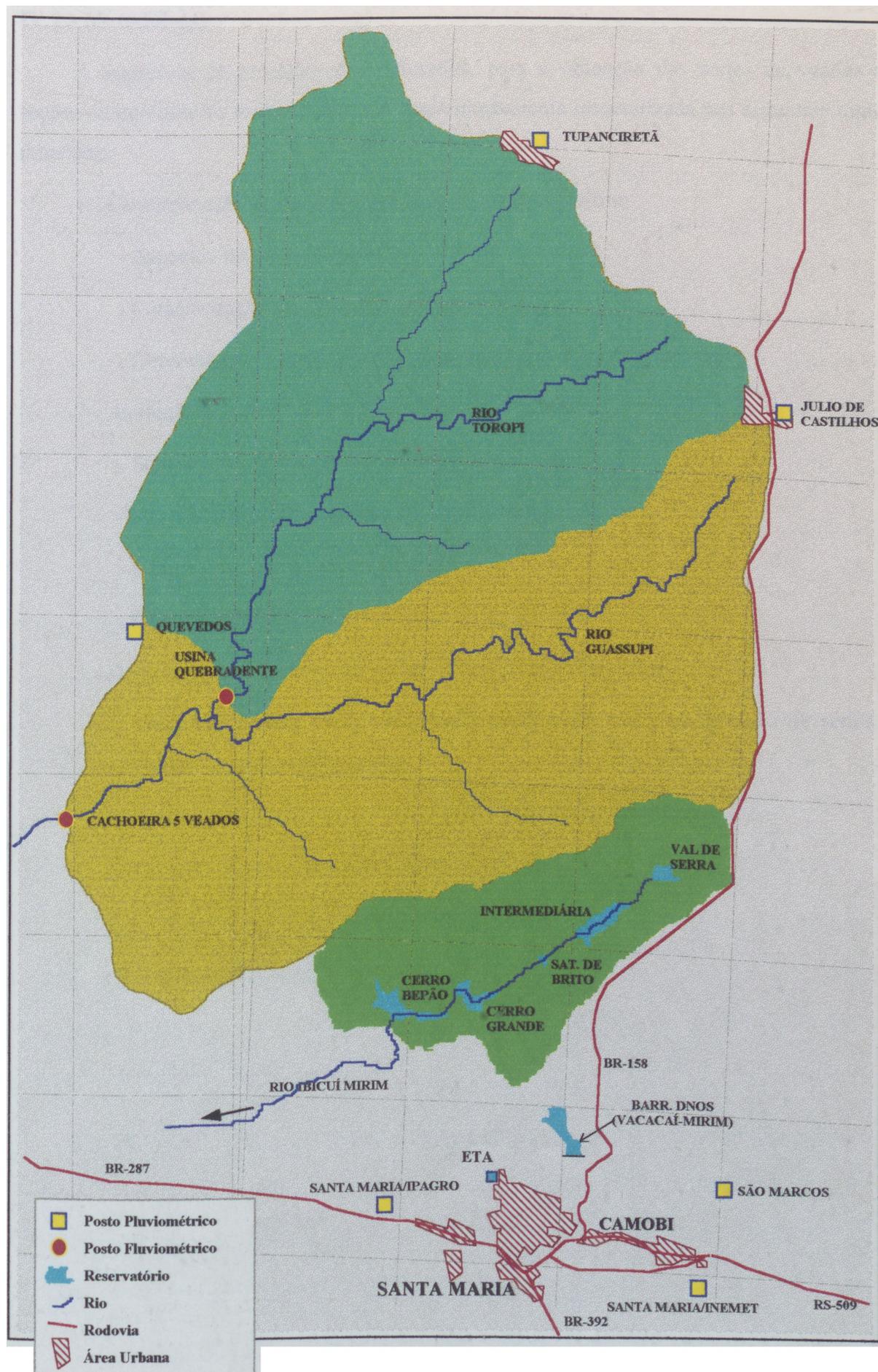


Figura IV.1.1: Caracterização do sistema em estudo

## IV.2 - Metodologia

A seqüência de procedimentos adotados, para a obtenção das séries de vazões nas seções de interesse do projeto, pode ser convenientemente caracterizada nos seguintes tópicos principais:

### 1 - Caracterização da bacia hidrográfica do rio Ibicuí-Mirim:

- Aspectos físicos principais;
- Caracterização dos locais de barramento; e
- Determinação dos parâmetros físicos da sub-bacias de interesse.

### 2 - Avaliação dos dados hidroclimatológicos disponíveis:

- Seleção dos postos hidroclimatológicos;
- Descrição do clima regional;
- Exame dos postos fluviométricos; e
- Balanço hídrico.

### 3 - Determinação das séries de vazões para os locais sem dados:

- Descrição sucinta da metodologia específica adotada para geração de séries de vazões nas seções sem dados;
- Ajuste e verificação do modelo matemático precipitação-vazão;
- Geração de séries de vazões mensais;
- Geração de séries de vazões diárias; e
- Avaliação dos resultados obtidos.

### **IV.3 - Caracterização da bacia hidrográfica do rio Ibicuí-Mirim**

#### **Generalidades**

O rio Ibicuí-Mirim nasce nas coxilhas do Planalto Gaúcho, a uma altitude de aproximadamente 500 m, descendo por entre degraus e escarpas até atingir a Depressão Central, onde encontra o rio Ibicuí, afluente do rio Uruguai. A bacia de drenagem total é da ordem de 1.700 km<sup>2</sup>, com o leito principal desenvolvendo-se ao longo de 88.000 m. É em seu trecho de montante, onde drena áreas pertencentes ao município de Santa Maria, que tem lugar o presente estudo.

Segundo CORSAN (1993), neste trecho as águas do rio Ibicuí-Mirim podem ser consideradas como de boa qualidade física, química e bacteriológica, apresentando condições favoráveis para tratamento. Estas características, aliadas à proximidade e posicionamento altimétrico superior aos níveis da cidade, fizeram da bacia do Ibicuí-Mirim o manancial mais viável para o abastecimento de Santa Maria.

#### **Aspectos físicos**

Os principais aspectos físicos relacionados com a bacia do rio Ibicuí-Mirim são apresentados em CORSAN (1993), e podem ser sintetizados nos seguintes pontos:

- Em termos geológicos, a bacia do Ibicuí-Mirim é caracterizada pela presença de basalto em diferentes graus de fraturamento, superposto a arenitos Botucatu com espessuras da ordem de 50 m a 100 m. Existem falhamentos regionais visíveis em fotografias aéreas na altura de Cerro do Bepão;
- O relevo é altamente dissecado pela ação erosiva, sendo que o sulcamento dos vales obedece um padrão aproximadamente retangular de acordo com as orientações regionais dos falhamentos. De maneira geral, o vale se apresenta bastante encaixado até a seção de Cerro do Bepão, sendo mais aberto daí para jusante;

- Nos vales em formato de "V", com encostas íngremes, ocorrem solos do tipo Brunizem Avermelhado (unidade Ciríaco) e Litólicos (unidade Charrua). Os primeiros apresentam um horizonte "A" pouco profundo e argiloso com transição abrupta para o horizonte "B", textural e muito argiloso. Os segundos são caracterizados por afloramentos de rocha na forma de blocos e pedregulhos no horizonte "B". Nas cotas mais baixas onde o vale se abre o relevo é suave-ondulado a plano, com ocorrência de solos aluviais e planossolos de horizonte "A" incipiente e caracterizados por uma textura arenosa com concreções (CL, SC, CH e MA). Os chapadões situados nas cotas mais elevadas apresentam latossolos vermelho a vermelho escuro com horizonte "A" incipiente e transição gradual para os horizontes "B" e "C" devido a ação do intemperismo. Suas características são a alta permeabilidade e uma textura argilo-arenosa com presença de silte;

- A cobertura vegetal apresenta-se mais desenvolvida nas cabeceiras do curso d'água principal e afluentes, bem como nas encostas e morros, onde se observam espécies arbóreas de maior porte, bem como vegetação arbustiva e rasteira. É observada ainda a ocorrência de mata ciliar junto às margens dos cursos d'água. A maior parte da área, entretanto, é caracterizada por pastagens, ocorrendo cultivos localizados de soja, milho e trigo num percentual da ordem de 25% do total.

### **Locais de barramento**

Os dois barramentos existentes, Val de Serra e Saturnino de Brito, o primeiro de acumulação e o segundo para captação, localizam-se nas cabeceiras do rio, com áreas de drenagem de 44,9 km<sup>2</sup> e 84,6 km<sup>2</sup>, respectivamente. Das seções em estudo, duas - Val de Serra Jusante e Intermediária - estão a montante de Saturnino de Brito, enquanto as outras duas - Cerro Grande e Cerro do Bepão - encontram-se a jusante.

Além da diferença de áreas de drenagem (variando entre 44,9 e 223,9 km<sup>2</sup>), os barramentos existentes e em estudo localizam-se em trechos da bacia com características bem diferenciadas em termos geológicos, hidrogeológicos, topográficos e de uso do solo. Val de Serra é, caracteristicamente, um reservatório de cabeceira, com pequena capacidade de

regularização e vazões afluentes nos períodos de estiagem praticamente nulas, o que indica contribuições ainda insignificantes do aquífero local. A bacia contribuinte restringe-se a 44,9 km<sup>2</sup>, apresentando extensa exploração agropecuária e relevo típico do Planalto Gaúcho. A rede de drenagem até este trecho é pequena, com poucos afluentes e, na sua maioria, intermitentes. O barramento existente apresenta erosão do leito e margens a jusante do vertedouro, necessitando obras de recuperação.

Um pouco mais abaixo, logo a jusante da confluência com um pequeno afluente, está em estudo a construção de uma segunda barragem, denominada Val de Serra Jusante, a qual submergiria a de montante. Apesar da área de drenagem desta seção ser um pouco maior (49,4 km<sup>2</sup>), predominam as mesmas características já relatadas. A quase totalidade da área é constituída por campos e lavouras.

A seção Intermediária, localizada a montante de Saturnino de Brito, apresenta condições topográficas e hidrológicas distintas de Val de Serra, tanto pela descida da serra quanto pela presença de um aquífero mais atuante para a perenização do rio. A rede de drenagem é mais densa, apresentando vertentes e trechos em acentuado declive, inclusive com cascatas. A própria seção de barramento é de difícil acesso, seja pela mata nativa ou pelas ombreiras íngremes que apresenta. A área de drenagem, com 62,6 km<sup>2</sup>, é somente 20% maior que em Val de Serra Jusante.

Na altura da barragem de Saturnino de Brito mantém-se as condições descritas para a seção Intermediária, apenas com declives menos acentuados e atividades agropecuárias mais intensas. A área de drenagem é de 84,6 km<sup>2</sup>, sendo que neste trecho existe uma reserva ecológica.

A jusante de Saturnino de Brito, a bacia do rio Ibicuí-Mirim começa a apresentar menores declividades e vazões perenes mais significativas. A presença de basalto altamente fraturado superposto a arenito indica a existência de um aquífero de maior porte, justificando contribuições de estiagem bem superiores às existentes nos trechos de montante, onde o grau de fraturamento é menor. Neste trecho, dois locais estão em estudo, Cerro Grande e Cerro do

Bepão, apresentando respectivamente 155,3 e 223,9 km<sup>2</sup> de área de drenagem, grande parte ocupada por florestas.

Estimativas de técnicos do escritório regional da CORSAN em Santa Maria indicam que nos períodos de estiagem prolongada, captando o máximo possível em Saturnino de Brito, as vazões mínimas no local denominado Escrimim (referentes à bacia incremental portanto) são da ordem de 60 l/s. O Escrimim localiza-se logo a jusante de Cerro Grande e vem sendo utilizado pela CORSAN como ponto de captação para situações emergenciais, injetando-se as vazões ali captadas diretamente na adutora.

### **Parâmetros físicos das sub-bacias de interesse**

Como parâmetros físicos de interesse para os estudos hidrológicos desenvolvidos destacam-se: área de drenagem, comprimento e declividade do curso d'água principal, e tempo de concentração.

Com o fim de caracterizar as bacias de contribuição de cada seção de barramento foram procedidos estudos sobre as cartas do exército para a região de Santa Maria, na escala 1:50.000, voo datado de 1975, utilizando-se como ferramenta o *software* AutoCAD.

Para a estimativa de tempo de concentração, foram utilizadas equações empíricas adequadas para bacias onde não existem dados simultâneos e contínuos de precipitação e descarga. Considerando a discrepância que normalmente se verifica nestes casos, o tempo de concentração foi estimado com base em um valor representativo da média entre os valores obtidos por diferentes equações, tais como:

a) Equação de Ven Te Chow (SANCHEZ, 1987): 
$$tc = 0,42 \cdot \left( \frac{L}{\sqrt{J}} \right)^{0,64}$$

b) Equação de Kirpich (TUCCI, 1983): 
$$tc = 0,95 \cdot \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

c) Equação do *U.S. Corps of Engineers*: 
$$tc = 0,2772 \cdot \frac{L^{0,76}}{J^{0,25}}$$

sendo:

$t_c$  : tempo de concentração em *horas*;

$L$  : comprimento do curso d'água principal, em *km*;

$H$  : desnível entre o ponto mais remoto da bacia e a seção de interesse, em *m*;

$J$  : declividade do curso d'água principal, em *m/m*.

O quadro IV.3.1 apresenta os principais parâmetros físicos obtidos para as bacias de contribuição das barragens de Val de Serra (atual e na seção de jusante), Intermediária, Saturnino de Brito, Cerrão Grande e Cerro do Bepão. Na figura IV.3.1 consta, de forma esquemática, a bacia do rio Ibicuí-Mirim, bem como as áreas e comprimentos incrementais e acumulados. A figura IV.3.2 apresenta o perfil longitudinal do rio Ibicuí-Mirim até a seção de Cerro do Bepão.

**Quadro IV.3.1 - Características físicas das bacias de contribuição**

BACIA	ÁREA (km <sup>2</sup> )	L (km)	H (m)	J (m/m)	$t_c$ (h)
Val de Serra Atual	44,9	10,0	104	0,0104	3,0
Val de Serra Jusante	49,4	10,9	111	0,0102	4,0
Intermediária	62,5	15,3	194	0,0127	4,5
Saturnino de Brito	84,5	18,5	239	0,0129	5,0
Cerro Grande	155,3	27,8	337	0,0121	7,0
Cerro do Bepão	223,9	33,9	359	0,0105	8,5

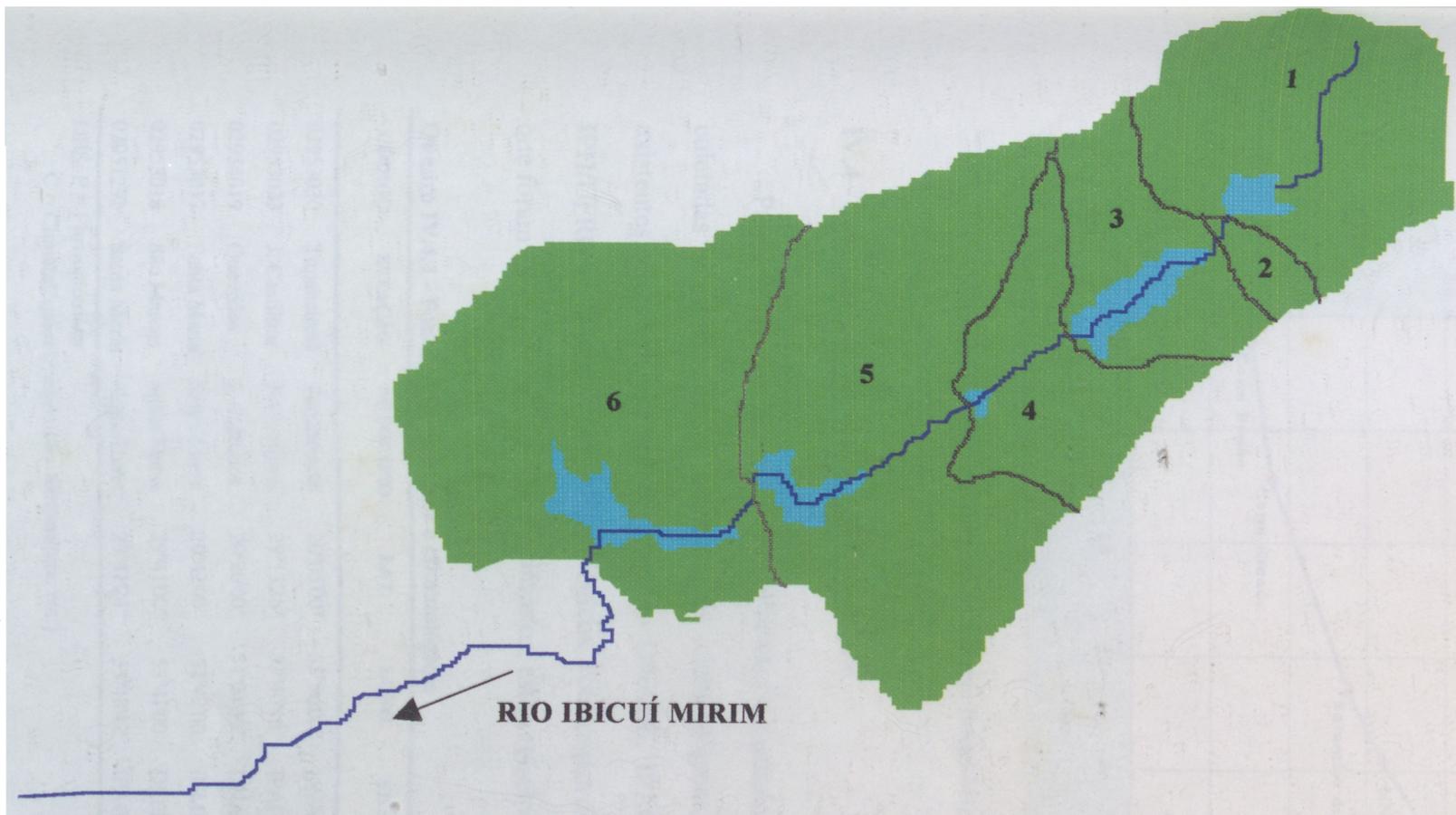
Área = área de drenagem no local de barramento

L = comprimento do curso d'água principal desde o divisor da bacia até a seção considerada

H = diferença de cotas entre o limite superior da bacia e a seção de barramento

J = declividade do curso d'água principal

$t_c$  = tempo de concentração



SEÇÃO	LOCAL	L (m)		ÁREA (km <sup>2</sup> )	
		INCREMENTAL	ACUMULADO	INCREMENTAL	ACUMULADA
1	VAL DE SERRA ATUAL	9,995	9,995	44,903	44,903
2	VAL DE SERRA JUSANTE	0,921	10,916	4,529	49,432
3	INTERMEDIÁRIA	4,401	15,317	13,122	62,554
4	SATURNINO DE BRITO	3,220	18,537	22,053	84,607
5	CERRO GRANDE	9,285	27,822	70,705	155,312
6	CERRO BEPÃO	6,048	33,870	68,623	223,935

Figura IV.3.1: Bacias de interesse

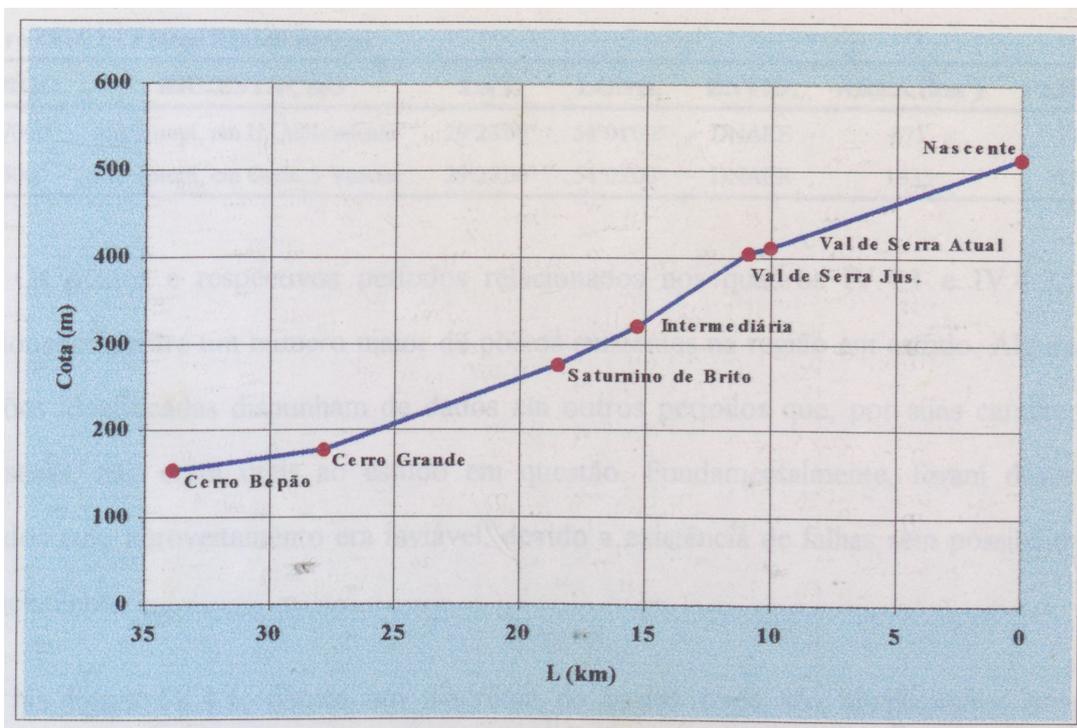


Figura IV.3.2: Perfil longitudinal do rio Ibicuí-Mirim no trecho de interesse

#### IV.4 - Dados hidroclimatológicos disponíveis

Para seleção dos dados a serem utilizados no estudo foram primeiramente identificadas, coletadas e analisadas as informações climatológicas, pluviométricas e fluviométricas existentes, envolvendo entidades como o DNAEE, IPAGRO, INMET, DEPRC, CPRM e IPH/UFRGS. Os postos hidroclimatológicos, com registros disponíveis na região em estudo e que foram selecionados para serem utilizados, estão relacionados nos quadros IV.4.1 e IV.4.2.

##### Quadro IV.4.1 - Postos pluviométricos e climatológicos

CÓDIGO	ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	LAT.	LONG.	ENTID.	ALT.	PERÍODO UTILIZADO	DADOS UTILIZADOS
02953030	Tupanciretã	Tupanciretã	20°05'00"	53°50'00"	DNAEE	469,0	77/83	P
02953033	J. Castilhos	J. Castilhos	29°13'26"	53°40'45"	IPAGRO	-	77/83	P/C
02954019	Quevedos	J. Castilhos	20°20'00"	54°04'00"	DNAEE	408,0	77/83	P
02953017	Santa Maria	Santa Maria	29°42'00"	53°42'00"	INMET	95,0	39/46 e 53/58	P
02953018	São Marcos	Santa Maria	29°41'00"	53°41'00"	DEPRC	153,0	59/62	P
02951292	Santa Maria	Santa Maria	29°41'24"	53°48'42"	IPAGRO	153,0	63/87	P/C

OBS: P = Pluviométricos

C = Climatológicos (evaporação, temperatura, etc.)

**Quadro IV.4.2 - Postos fluviométricos**

<b>CÓDIGO</b>	<b>RIO/ESTAÇÃO</b>	<b>LAT.</b>	<b>LONG.</b>	<b>ENTID.</b>	<b>ÁREA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>PERÍODO</b>
76077000	Rio Toropi, em U.Quebradente	29°23'00"	54°01'00"	DNAEE	871	77/83
76085000	Rio Toropi, em Cach. 5 Veados	29°27'00"	54°05'00"	DNAEE	1635	77/83

Os postos e respectivos períodos relacionados nos quadros IV.4.1 e IV.4.2, foram selecionados dentre um número maior de postos existentes na região em estudo. Algumas das estações identificadas dispunham de dados em outros períodos que, por suas características intrínsecas, não eram úteis ao estudo em questão. Fundamentalmente, foram descartados períodos cujo aproveitamento era inviável, devido a existência de falhas sem possibilidade de preenchimento.

Na figura IV.4.1, consta um diagrama de barras onde são apresentados os postos hidroclimatológicos existentes e os períodos de disponibilidade de dados, quando da efetiva realização do estudo, identificando-se inclusive a forma como se dá a disponibilidade (registros diários, totais mensais, etc.).

A seleção referida fica perfeitamente justificada no item IV.5, adiante, onde se explicita a metodologia utilizada e o aproveitamento que se faz dos dados arrolados. A localização destes postos pode ser observada na figura IV.1.1, apresentada anteriormente. Uma peculiaridade verificada na figura IV.1.1, refere-se à localização dos postos pluviométricos em relação a sub-bacia do Toropi delimitada pela seção em Usina Quebradente. Observa-se que, embora representativos, os três postos (Tupanciretã, J. Castilhos e Quevedos) localizam-se fora da referida bacia.

### **Climatologia**

Com base na classificação de Wladimir Köppen, MORENO (1961) mostrou que o Estado do Rio Grande do Sul se enquadra na zona fundamental "C" ou Temperada Moderada Chuvosa, por ter as isotermas do mês mais frio variando entre 11 e 15 °C (Para Köppen, a zona fundamental "C" é aquela que apresenta a temperatura média do mês mais frio variando entre -3 e 18 °C). O segundo critério para a classificação é baseado nas isotermas do mês mais

quente. Quando este apresenta temperatura média superior a 22 °C, a região é classificada com o índice "a". As demais áreas, com temperatura média do mês mais quente abaixo de 22 °C, recebem o índice "b".

O tipo climático Cfa - clima mesotérmico, subtropical úmido sem estação seca e verão quente - é o clima característico da maior parte do estado do Rio Grande do Sul, enquanto que o tipo climático Cfb - clima mesotérmico, temperado úmido sem estação seca e verão quente - é o característico da parte oriental do planalto e sua encosta, além de algumas áreas meridionais do estado. O índice "f", comum a ambos, indica clima úmido, com ocorrência de chuvas em todos os meses do ano.

A região objeto do estudo está submetida ao tipo climático Cfa, por ter temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C. Para alcançar uma definição mais precisa, MORENO (1961), subdividiu esta classificação em regiões onde a temperatura média anual é inferior a 18 °C (1) e onde a referida temperatura é superior a 18 °C (2), considerando ainda a influência da morfologia regional. De acordo com esta subdivisão, Julio de Castilhos está na área classificada como "Cfa 1a", com temperatura média anual inferior a 18 °C e pertencendo a região denominada planalto basáltico inferior erodido, com altitudes entre 400 m e 800 m. Santa Maria está na área classificada como "Cfa 2b", com temperatura média anual superior a 18 °C e pertencendo a região denominada peneplanície sedimentar periférica, com altitudes inferiores a 400 m.

As médias de diferentes elementos obtidos para os postos climatológicos de Santa Maria e Júlio de Castilhos, válidas respectivamente para a bacia do rio Ibicuí-Mirim e do rio Toropi, são apresentadas nos quadros IV.4.3 e IV.4.4.



Quadro IV.4.3 - Indicadores climáticos - Valores médios e absolutos de Santa Maria

	Período	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Temp. Média das Máx. (°C)	1931/60	31,4	30,8	29,3	25,0	22,3	19,9	19,7	21,4	22,7	24,8	27,8	30,3	25,5
Temp. Média das Mín. (°C)	1931/60	18,7	18,6	17,5	13,9	11,8	10,3	9,3	10,3	11,6	12,9	15,0	17,1	13,9
Temp. Média das Médias (°C)	1931/60	24,7	24,1	22,8	18,9	16,4	13,9	13,8	16,1	16,0	18,7	21,2	23,5	19,2
Umidade relativa (%)	1931/60	75	77	79	81	83	84	82	78	80	79	75	73	79
Evaporação (mm)	1957/84	122,5	98,6	85,8	70,7	63,1	56,9	76,0	77,0	82,4	104,6	111,0	133,8	1082,4
Precipitação (mm)	1931/60	143	141	110	144	163	162	142	123	151	174	133	123	1708
Nº de dias com chuva	1931/60	9	9	9	9	9	11	9	9	11	10	7	8	110
Precipit. máx. média 24 horas (mm)	1931/60	49	46	38	51	55	58	50	42	47	58	46	47	58
Radiação solar (cal cm <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	1957/84	476	431	370	283	238	190	199	234	305	381	447	488	337
Insolação total (horas e décimos)	1957/84	243,9	209,0	205,9	191,3	161,4	126,0	135,3	151,1	163,1	210,4	218,7	253,6	2269,7

Fonte: Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul - IPAGRO (1989)

Quadro IV.4.4 - Indicadores climáticos - Valores médios e absolutos de Júlio de Castilhos

	Período	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Temp. Média das Máx. (°C)	1931/60	29,4	28,7	27,0	23,5	20,6	18,4	18,2	19,8	21,3	24,0	26,0	28,2	23,8
Temp. Média das Mín. (°C)	1931/60	16,3	16,4	15,4	12,4	9,6	8,4	7,3	8,5	9,8	11,7	13,4	15,0	12,0
Temp. Média das Médias (°C)	1931/60	22,9	23,3	21,3	18,3	15,1	12,6	12,2	13,9	15,9	17,6	20,0	22,5	18,0
Umidade relativa (%)	1931/60	71	74	75	76	78	80	79	77	76	73	69	68	75
Evaporação (mm)	1957/84	137,1	111,0	112,5	94,7	78,3	65,6	74,4	85,9	90,0	116,0	134,5	154,3	1254,3
Precipitação (mm)	1931/60	117	117	92	146	170	147	125	130	134	146	116	136	1575
Nº de dias com chuva	1931/60	8	7	7	7	7	9	7	9	8	8	6	7	90
Precipit. máx. média 24 horas (mm)	1931/60	42	41	38	48	50	46	46	42	47	55	39	42	55
Radiação solar (cal cm <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	1957/84	440	425	358	287	219	182	191	228	287	370	440	466	324
Insolação total (horas e décimos)	1957/84	268,6	240,9	235,4	211,8	189,0	156,9	164,5	197,7	187,1	232,3	264,1	280,5	2610,8

Fonte: Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul - IPAGRO (1989)

## **Pluviometria**

Com base nas precipitações diárias nos postos de Quevedos, Tupanciretã e Júlio de Castilhos, foram calculadas as precipitações médias para as bacias do rio Toropi que serviram ao ajuste, nas seções de Usina Quebradente e Cachoeira 5 Veados, do modelo matemático descrito adiante, no item IV.5. Os valores médios de precipitação foram obtidos com base em polígonos de Tiessen.

Por seu turno, os registros de precipitação diária do INMET, IPAGRO e DEPRC em Santa Maria, serviram à montagem da série de precipitações utilizada na geração das vazões para os locais de barramento. Os totais mensais precipitados constam do quadro IV.4.5, adiante.

## **Evapotranspiração**

Os valores de evapotranspiração média diária necessários tanto no ajuste do modelo quanto na geração das séries de vazões, foram obtidos a partir dos registros de temperatura do INMET em Júlio de Castilhos e Santa Maria, usando para tal o método de Thornthwaite.

Em Santa Maria, estão disponíveis dados de evaporação obtidos por evaporímetro Piché, nas estações do INMET e do IPAGRO. Todavia, a grande discrepância verificada entre os valores obtidos em cada posto, conforme pode ser observado adiante no quadro IV.4.8., coloca em dúvida a confiabilidade dos dados referidos.

Quadro IV.4.5: Precipitações mensais em Santa Maria (\*) (mm) - 1939/1946 - 1953/1987

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1939	95,6	116,4	77,4	102,9	188,4	198,9	21,8	189,0	137,8	192,8	162,2	119,1	133,5
1940	313,2	109,6	118,8	229,8	327,4	294,1	257,4	99,4	102,1	174,1	188,2	220,1	202,9
1941	223,9	132,7	105,2	616,3	453,5	224,5	209,2	285,5	85,2	170,8	341,5	108,4	246,4
1942	44,9	124,5	163,2	134,5	308,2	105,2	92,9	218,0	69,3	311,1	44,6	6,1	135,2
1943	106,5	165,3	148,9	25,3	144,5	52,3	200,9	54,8	115,2	39,3	98,2	40,3	99,3
1944	220,2	87,4	50,2	139,7	72,2	331,2	47,0	124,5	83,8	326,1	31,2	57,1	130,9
1945	43,4	36,2	41,1	35,0	46,4	150,3	226,9	123,5	180,0	58,1	157,3	177,1	106,3
1946	146,8	117,3	56,7	27,9	166,7	112,1	75,5	100,8	48,3	335,9	153,1	237,7	131,6
1953	172,4	45,1	34,1	26,5	103,4	132,0	56,6	106,3	235,0	279,5	47,6	70,5	109,1
1954	332,1	373,3	144,8	89,1	81,6	215,3	291,9	124,2	134,5	143,0	5,7	122,7	171,5
1955	126,3	170,6	134,8	182,9	160,6	169,8	105,6	137,7	144,1	174,8	37,4	162,4	142,3
1956	329,2	192,4	103,4	193,4	81,6	33,3	117,4	60,5	65,0	137,4	10,6	87,9	117,7
1957	220,0	25,2	20,7	124,9	145,1	190,1	263,6	59,0	138,6	105,7	131,0	200,0	135,3
1958	127,5	236,8	100,7	103,5	118,3	120,7	104,8	209,5	182,1	228,9	178,7	216,6	160,7
1959	242,2	242,2	126,2	251,4	177,0	224,0	61,0	186,8	159,0	159,4	25,4	117,0	164,3
1960	77,0	60,0	60,4	104,1	22,8	217,6	194,4	170,6	131,4	87,8	54,6	43,8	102,0
1961	94,8	196,8	223,1	179,4	137,6	245,0	68,6	70,8	213,1	239,6	60,6	83,6	151,1
1962	46,6	99,0	189,6	94,4	55,2	23,2	57,2	130,9	95,0	28,8	50,1	48,2	76,5
1963	110,9	91,4	96,6	43,7	107,9	55,9	72,4	108,0	232,2	309,0	224,8	56,7	125,8
1964	80,2	136,7	72,3	212,3	9,5	53,4	81,2	196,3	164,4	162,2	36,2	201,6	117,2
1965	13,0	75,6	46,1	211,3	73,3	117,2	35,0	257,5	226,3	199,4	137,1	0,0	116,0
1966	119,7	204,5	337,0	132,6	8,8	153,8	260,4	134,2	112,5	239,9	125,9	279,9	175,8
1967	122,9	122,3	83,1	33,4	129,0	58,1	97,4	195,8	174,2	196,3	60,5	46,0	109,9
1968	96,2	61,0	206,1	165,0	53,2	54,0	71,0	21,4	131,0	147,7	156,6	109,7	106,1
1969	151,4	267,7	103,9	130,5	164,7	127,8	131,0	47,0	89,8	58,8	143,0	123,1	128,2
1970	109,4	87,9	123,5	113,7	219,8	249,0	121,1	68,1	57,0	199,4	5,4	235,2	132,5
1971	165,2	113,0	197,6	72,4	82,4	192,6	140,3	150,9	53,9	67,7	30,1	93,3	113,3
1972	227,0	91,5	293,7	81,7	137,1	187,4	145,0	349,1	223,0	234,1	120,3	21,0	175,9
1973	169,3	263,5	63,2	230,5	117,9	160,7	205,5	166,5	96,1	99,0	15,3	167,1	146,2
1974	115,7	192,6	109,8	19,8	71,8	136,5	63,2	147,0	81,5	35,7	111,0	73,5	96,5
1975	174,9	87,1	235,9	32,5	117,1	127,0	49,5	235,7	175,0	67,2	70,8	129,3	125,2
1976	212,7	33,3	189,9	140,1	118,2	78,9	169,4	81,8	124,7	118,9	159,9	67,2	124,6
1977	295,0	112,9	114,6	195,8	88,2	53,5	327,1	137,4	81,1	161,8	126,0	152,1	153,8
1978	131,4	64,9	46,9	42,6	56,4	89,7	133,1	49,9	81,9	141,2	291,6	96,4	102,2
1979	10,3	66,6	66,2	144,0	147,0	37,0	150,4	159,9	194,9	262,2	110,0	48,6	116,4
1980	88,6	76,8	214,7	66,1	84,5	122,6	160,4	45,7	33,5	192,3	116,0	83,4	107,1
1981	274,6	93,1	35,6	48,5	31,7	191,8	80,2	29,6	105,2	9,7	104,0	143,6	95,6
1982	138,7	295,5	38,4	26,6	197,0	293,7	248,0	251,1	184,3	312,4	264,6	197,2	204,0
1983	125,3	172,9	165,5	259,1	255,3	169,2	272,3	48,6	38,3	126,1	36,1	81,5	145,9
1984	141,7	97,9	99,5	305,8	437,8	280,5	222,2	80,2	209,4	100,1	178,3	81,7	186,3
1985	84,0	107,8	189,4	259,7	124,7	174,8	231,3	148,8	190,6	57,4	6,0	23,7	133,2
1986	28,0	164,8	326,1	206,2	251,8	152,9	80,5	244,3	166,8	107,7	317,4	41,2	174,0
1987	152,1	120,1	222,1	136,5	125,3	256,3	284,9	184,9	138,8	92,4	93,5	92,3	158,3
Média	146,5	133,3	129,7	138,9	139,6	153,8	146,2	139,3	132,2	160,3	112,1	110,8	136,9
Máxima	332,1	373,3	337,0	616,3	453,5	331,2	327,1	349,1	235,0	335,9	341,5	279,9	246,4
Minima	10,3	25,2	20,7	19,8	8,8	23,2	21,8	21,4	33,5	9,7	5,4	0,0	76,5

(\*) 1939/1946: Santa Maria - INMET  
1953/1958: Santa Maria - INMET  
1959/1962: São Marcos - DEPRC  
1963/1987: Santa Maria - IPAGRO

A expressão de Thornthwaite, com base em CHANG (1968), para o cálculo da evapotranspiração potencial (ETP) é a seguinte:

$$ETP = C.T^a$$

onde:

$ETP$  - evapotranspiração potencial (cm/mês)

$T$  - temperatura média mensal

$$a = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 1.792 \times 10^{-5} I + 0,49239$$

sendo:

$I$  - índice térmico anual, definido como:

$$I = \sum_{i=1}^n \left( \frac{T_i}{5} \right)^{1,514}$$

$$C = 1,5 \cdot \left( \frac{10}{I} \right)^a$$

Esta equação se refere a um mês fictício de 30 dias e duração da insolação de 12 horas por dia, devendo ser corrigida por um fator que depende da latitude e da época do ano, o que equivale a introduzir a duração real do dia.

O uso do método de Thornthwaite teve como limitação a deficiência dos registros de temperatura para todo o período de interesse, sendo necessário trabalhar com valores médios mensais. Esse aspecto, apesar de filtrar a variação da evapotranspiração em cada ano ao longo do período, não acarretou maiores problemas no ajuste do modelo.

Os parâmetros e demais dados utilizados no cálculo da ETP de Santa Maria e Júlio de Castilhos constam no quadro IV.4.6. Estes valores foram adotados como válidos para as bacias do Toropi e Ibicuí-Mirim, respectivamente.

Quadro IV.4.6 - Cálculo da evapotranspiração potencial (ETP)

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<b>Júlio de Castilhos</b>		?										
. Temperatura (°C) <sup>(1)</sup>	23,60	3,30	21,70	18,60	16,10	13,60	13,70	14,00	16,00	18,00	21,00	23,00
. Fator correção <sup>(2)</sup>	1,19	1,08	1,06	0,95	0,92	0,86	0,90	0,96	1,00	1,12	1,13	1,10
. ETP (mm/mês)	127,71	107,81	96,51	63,95	46,68	30,01	33,28	37,56	51,98	58,20	96,49	122,88
. ETP (mm/dia)	4,12	3,85	3,11	2,13	1,51	1,00	1,07	1,21	1,73	1,88	3,22	3,96
<b>Santa Maria</b>												
. Temperatura (°C) <sup>(3)</sup>	25,20	24,80	22,70	19,50	17,10	14,30	14,80	15,00	17,40	19,60	21,80	24,40
. Fator correção <sup>(2)</sup>	1,19	1,03	1,06	0,95	0,92	0,86	0,90	0,96	1,00	1,12	1,13	1,20
. ETP (mm/mês)	144,20	120,70	102,90	66,70	48,90	31,50	35,20	38,60	55,10	79,50	100,60	135,80
. ETP (mm/dia)	4,65	4,31	3,32	2,22	1,58	1,05	1,14	1,25	1,84	2,56	3,35	4,38

(1) Júlio de Castilhos/IPAGRO - Temperatura média mensal

Índice térmico anual calculado (I) = 89,32

a = 1,959 c = 0,0219

(2) Para Latitude 29° S

(3) Santa Maria/IPAGRO - Temperatura média mensal

Índice térmico anual calculado (I) = 97,30

a = 2,128 c = 0,0126

Etp Média Anual	
Júlio de Castilhos	873,1 mm
Santa Maria	959,7 mm

## Fluviometria

O exame dos postos fluviométricos, cujos dados serão utilizados em um estudo hidrológico, é de suma importância para que se tenha garantida a confiabilidade dos dados. Por isso cabe examinar, além dos dados propriamente ditos, todas as informações contidas nos registros do órgão que opera o posto, com o objetivo de melhor caracterizá-lo.

### Posto: rio Toropí em Cachoeira Cinco Veados

O rio Toropi é afluente à margem direita do Ibicuí-Mirim, nascendo junto à cidade de Tupanciretã, na coxilha Nhã Grande. Alguns trechos do seu percurso delimitam parte dos municípios de São Vicente do Sul, São Pedro, Mata, Júlio de Castilhos, Santa Maria e Tupanciretã.

O trecho onde está localizado o posto, no distrito de Quevedos, é reto, com margens argilo-rochosas de média inclinação e leito rochoso. A área da bacia delimitada pela seção é de 1635 km<sup>2</sup>.

O período disponível de registros de nível é de novembro de 1976 a fevereiro de 1986. O número de medições de descarga é de 35. A curva de descarga foi determinada pelo DNAEE com dados registrados até 1983, resultando um bom ajuste. Entretanto, quando são graficados os valores medidos após 1983, observa-se que para as cotas menores esses pontos se distanciam significativamente da curva anterior. Esta discrepância pode ser devida a alterações no leito - pouco provável, já que os registros do DNAEE relatam leito rochoso - ou mudança de réguas. Diante disso, a opção foi pela utilização do período de dados até 1983, descartando-se os dados posteriores. Neste caso, tem-se a maior vazão medida para o nível de 2,60 m, com o maior nível medido sendo 7,42 m. A menor vazão medida foi para o nível 0,32 m e o menor nível medido no período é de 0,17 m. Portanto, a extrapolação superior da curva de descarga é significativa, enquanto que a extrapolação inferior é bem pequena.

Posto: rio Toropi em Usina Quebradente

O rio Toropi, no posto Usina Quebradente, delimita uma bacia de 871 km<sup>2</sup>. O trecho onde se localiza o posto é sinuoso, com margens rochosas de média inclinação e leito arenoso.

O período no qual se dispõe de registros é de novembro de 1976 a maio de 1984, quando o posto foi desativado. No período de operação do posto foram efetuadas 29 medições de descarga. O maior nível para o qual se fez medição de descarga foi de 1,29 m, enquanto que o maior nível registrado foi de 7,45 m. Constata-se, com isso, uma grande extrapolação no ramo superior da curva de descarga. Por outro lado, a extrapolação do ramo inferior foi pequena, já que houve medição de vazão para o nível 0,20m, enquanto que o menor nível registrado foi de 0,14 m.

## Balanço hídrico

O balanço hídrico das bacias associadas aos postos fluviométricos de Usina Quebradente e Cachoeira Cinco Veados, que serviram de ajuste ao modelo Precipitação-Vazão, foi realizado com os dados anteriormente relacionados. Os totais anuais de precipitação e vazão em mm, observados em cada bacia são apresentados no quadro IV.4.7. Observa-se coeficientes de escoamento semelhantes, sendo um pouco maior o coeficiente para Usina Quebradente, o que é perfeitamente explicado pelo fato de bacias menores apresentarem, via de regra, vazões específicas maiores.

No quadro IV.4.8 são apresentados os valores de precipitação menos vazão para Usina Quebradente e Cachoeira Cinco Veados, e os totais de evaporação, obtidos pelo Evaporímetro de Piché, nos postos de Santa Maria.

- A determinação das evapotranspirações potenciais pelo uso do método de Thornthwaite, com base nas temperaturas médias mensais de Santa Maria, resulta em uma evapotranspiração potencial média anual de 959,7 mm (Quadro IV.4.6). Considerando ser esperado que a evapotranspiração potencial seja sistematicamente superior à diferença entre precipitação e vazão observadas, o valor obtido dá consistência ao balanço na totalidade do período. Examinando ano a ano, verifica-se que, em Cachoeira 5 Veados, o balanço é levemente inconsistente em 02 (dois) anos, com a evapotranspiração potencial média, calculada com base nas temperaturas médias mensais, sendo menor que a diferença entre precipitação e vazão observadas.

Uma tentativa de correlacionar as diferenças P-Q, com os valores de evaporação obtidas pelo evaporímetro Piché, resultou infrutífera. Caso se verificasse uma forte correlação entre ambos, seria válido utilizar os valores de evaporação Piché como coeficientes ponderadores da evapotranspiração potencial média, obtida por Thornthwaite. Ter-se-ia então valores mensais diferenciados em cada ano. Como uma boa correlação não foi obtida, foram mantidos os valores de evapotranspiração potencial determinados com base em temperaturas médias mensais.

Quadro IV.4.7: Valores médios anuais no período de ajuste do modelo matemático

	USINA QUEBRADENTE			CACHOEIRA 5 VEADOS		
	P(mm)	Q (mm)	C	P(mm)	Q(mm)	C
1977	1.676,35	716,89	0,428	1.670,05	690,51	0,413
1978	1.234,21	332,74	0,270	1.254,39	308,61	0,246
1979	1.722,61	908,79	0,528	1.707,88	840,96	0,492
1980	1.499,93	606,31	0,404	1.505,09	495,70	0,329
1981	1.188,45	353,38	0,297	1.170,27	351,04	0,300
1982	2.198,21	1.466,37	0,667	2.207,21	1.301,94	0,590
1983	1.996,91	1.542,40	0,772	1.958,17	1.110,99	0,567
<b>MÉDIA</b>	1.645,24	846,70	0,480	1.639,01	728,54	0,420

Quadro IV.4.8: Balanço dos valores observados

	P-Q (mm)		EVAPORAÇÃO (mm)	
	USINA QUEBRADENTE	CACHOEIRA CINCO VEADOS	SANTA MARIA (INMET)	SANTA MARIA (SEC.AGRIC.)
1977	959,46	979,54	862,2	1.296,2
1978	901,47	945,78	847,5	1.221,4
1979	813,82	866,92	967,1	1.216,9
1980	893,62	1.009,39	853,9	1.228,5
1981	835,07	819,23	984,3	1.356,2
1982	731,84	905,27	945,1	1.481,1
1983	454,51	847,18	1.032,3	1.368,7
<b>MÉDIA</b>	798,54	910,47	927,49	1.309,86

## IV.5 - Determinação da série de vazões

### Metodologia

A deficiência dos registros históricos de dados hidroclimatológicos em geral é fator limitante na elaboração de quaisquer estudos hidrológicos. Neste estudo, em particular, são necessárias séries de vazões nos locais de aproveitamento para que se possa avaliar os volumes capazes de prover a regularização requerida. Uma vez que não se dispõe de registros históricos de vazões nas seções de interesse, buscou-se uma metodologia que permitisse gerar uma série de vazões com base em registros disponíveis em bacias próximas.

Em síntese, usa-se um modelo hidrológico determinístico de transformação precipitação-vazão, ajustando-o em uma bacia que disponha de registros históricos de precipitações e vazões em um período comum, além de apresentar uma morfologia compatível com a bacia de interesse, e estar sujeita ao mesmo regime hidrológico. Em seguida, os parâmetros obtidos no ajuste são transpostos para a bacia com deficiência de dados, admitindo-os como representativos do comportamento desta.

Nas proximidades da bacia do rio Ibicuí-Mirim, tem-se a bacia do rio Toropi onde, nos postos de Usina Quebradente e Cachoeira 5 Veados, dispõe-se de dados aproveitáveis. Com base nos registros históricos de vazões em Usina Quebradente e Cachoeira 5 Veados e com registros pluviométricos em Tupanciretã, Júlio de Castilhos e Quevedos é possível ajustar o referido modelo. No Anexo A, tem-se uma descrição sumária do MODHAC, o modelo Precipitação-Vazão escolhido para ser utilizado neste estudo.

### **Ajuste e verificação do modelo**

Aspectos fisiográficos e hidroclimáticos semelhantes, com equivalente uso do solo, asseguram um conjunto de similaridades que, aliadas à disponibilidade dos dados necessários, fazem das seções de Usina Quebradente e Cachoeira 5 Veados as mais indicadas para efetuar o ajuste dos parâmetros do MODHAC. Localizadas no rio Toropi, as seções de Usina Quebradente e Cachoeira 5 Veados delimitam áreas de 871 km<sup>2</sup> e 1635 km<sup>2</sup>, respectivamente. — Considerando que as seções nas quais se quer gerar séries de vazões delimitam áreas de até 223 km<sup>2</sup>, optou-se por ajustar o modelo em Usina Quebradente por ser a bacia de menor área.

O ajuste do modelo foi realizado, basicamente, considerando-se 4 (quatro) critérios, quais sejam:

- 1º) Otimização da Função Objetivo incorporada ao modelo, minimizando seu valor pela maior correspondência possível entre vazões observadas e calculadas, decorrentes estas últimas das sucessivas modificações dos parâmetros;
- 2º) Análise visual pela comparação entre as séries gerada e observada ao longo do tempo;

- 3º) Consideração da maior ou menor correspondência entre volumes calculados e observados;
- 4º) Avaliação do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Os procedimentos de calibração foram iniciados com o ajuste de alguns dos parâmetros do MODHAC. Nas primeiras tentativas liberou-se para calibração os parâmetros mais sensíveis, de acordo com o preconizado em LANNA e SCHWARZBACH (1989), mantendo-se fixos os demais. Em seguida foram agregados outros parâmetros à calibração, na busca do melhor conjunto capaz de retratar o comportamento da bacia. De posse dos resultados das várias tentativas de ajuste, foi escolhido o melhor conjunto de parâmetros, de acordo com os critérios enumerados anteriormente. Em seqüência ao ajuste do modelo em Usina Quebradente, efetuou-se uma verificação com os parâmetros obtidos, para a seção de Cachoeira 5 Veados. A verificação permitiu avaliar o acerto do ajuste, resultando em uma boa aderência à série histórica disponível em Cachoeira 5 Veados.

O resultado da calibração mensal é apresentado na figura IV.5.1, sendo que no quadro IV.5.1 tem-se as vazões mensais observadas e calculadas durante a calibração em Usina Quebradente. A figura IV.5.2, apresenta o comparativo entre as curvas de permanência de vazões mensais observadas e calculadas para Usina Quebradente. Na figura IV.5.3 é apresentada uma amostra da calibração em Usina Quebradente para intervalo diário, a qual obedeceu aos mesmos critérios utilizados para a calibração com intervalo mensal. No quadro IV.5.2 e figura IV.5.4 tem-se, com base nas curvas de permanência, um comparativo entre as vazões diárias observadas e calculadas por ocasião da calibração em Usina Quebradente, sendo que assim como para as vazões mensais, efetuou-se a sobreposição das respectivas curvas de permanência para o período 1977/1983.

Quadro IV.5.1: Vazões mensais observadas e calculadas durante a calibração em Usina Quebradente (m<sup>3</sup>/s)

	1977		1978		1979		1980		1981		1982		1983		Média	
	obs.	cal.	obs.	cal.	obs.	cal.										
Jan	24,10	15,75	3,17	4,73	1,02	3,07	2,61	5,29	14,00	8,30	1,35	2,83	5,10	5,06	7,34	6,41
Fev	8,51	10,07	1,74	3,06	1,27	5,11	1,02	1,06	15,50	14,86	4,21	4,02	26,20	26,63	8,35	9,26
Mar	11,13	10,37	0,83	1,61	2,33	4,56	6,90	16,66	3,03	6,32	3,74	3,81	72,50	36,06	14,35	11,34
Abr	19,80	23,43	0,59	1,02	11,20	14,98	11,40	18,80	1,66	1,26	0,96	2,09	39,70	34,67	12,19	13,75
Mai	7,81	8,38	0,76	1,11	35,60	42,98	19,00	25,49	1,55	1,75	16,10	15,44	119,00	85,79	28,55	25,85
Jun	15,60	27,26	1,62	1,99	10,90	8,67	17,70	19,01	10,90	10,86	85,70	99,03	26,60	26,55	24,15	27,61
Jul	48,20	65,72	15,90	27,03	26,80	20,91	20,30	26,47	4,69	6,47	81,00	61,71	93,50	76,62	41,48	40,70
Ago	57,10	52,04	7,79	12,81	37,80	35,97	20,80	16,47	2,24	5,71	81,70	85,65	39,10	24,16	35,22	33,26
Set	17,10	15,75	10,20	14,79	45,30	51,59	7,95	8,70	36,50	40,21	60,20	68,15	12,20	11,35	27,06	30,08
Out	8,28	8,37	4,28	11,16	82,50	80,71	43,70	56,26	10,40	11,07	51,40	49,76	33,80	35,50	33,48	36,12
Nov	15,20	21,95	46,30	56,01	28,30	16,48	38,40	32,92	11,80	17,56	89,60	73,81	41,30	24,71	38,70	34,78
Dez	4,16	8,72	17,10	21,30	17,90	22,45	10,30	8,58	4,83	7,20	9,87	8,10	2,66	5,31	9,55	11,67
Média	19,75	22,32	9,19	13,05	25,08	25,62	16,67	19,64	9,76	10,96	40,49	39,53	42,64	32,70	23,37	23,40

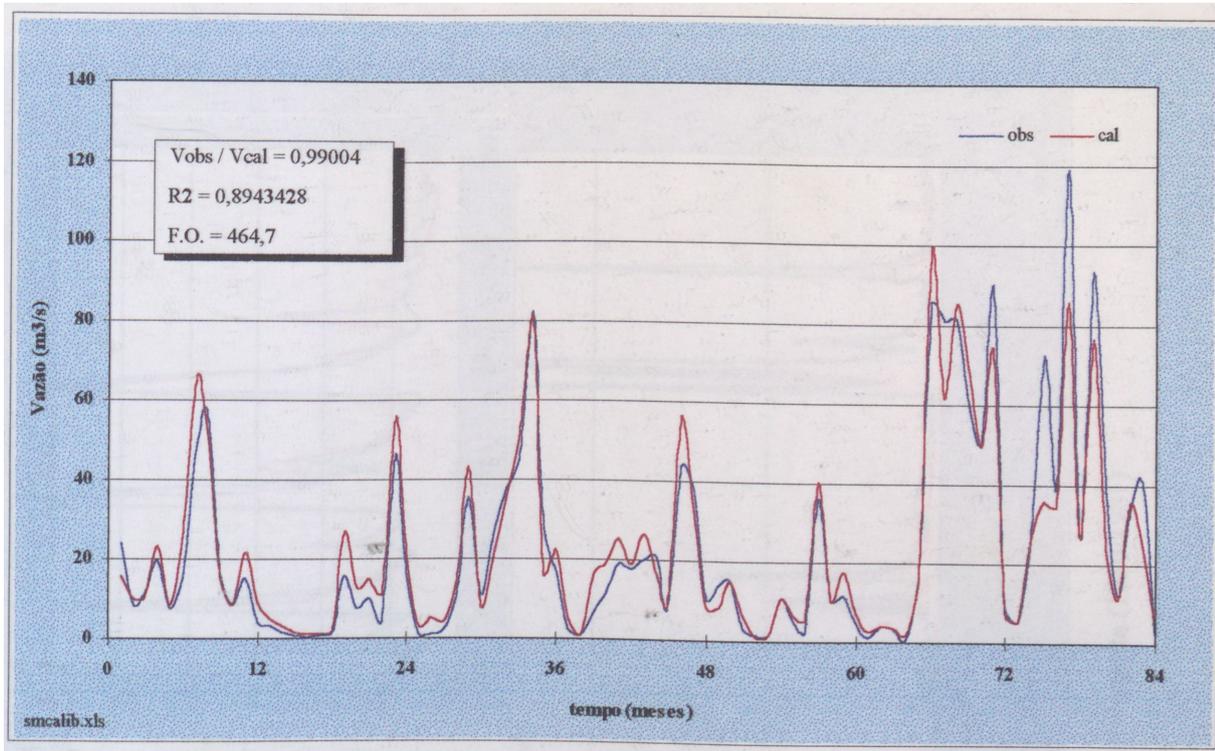


Figura IV.5.1: Calibração mensal em Usina Quebradente

Período: 01.77 / 12.83

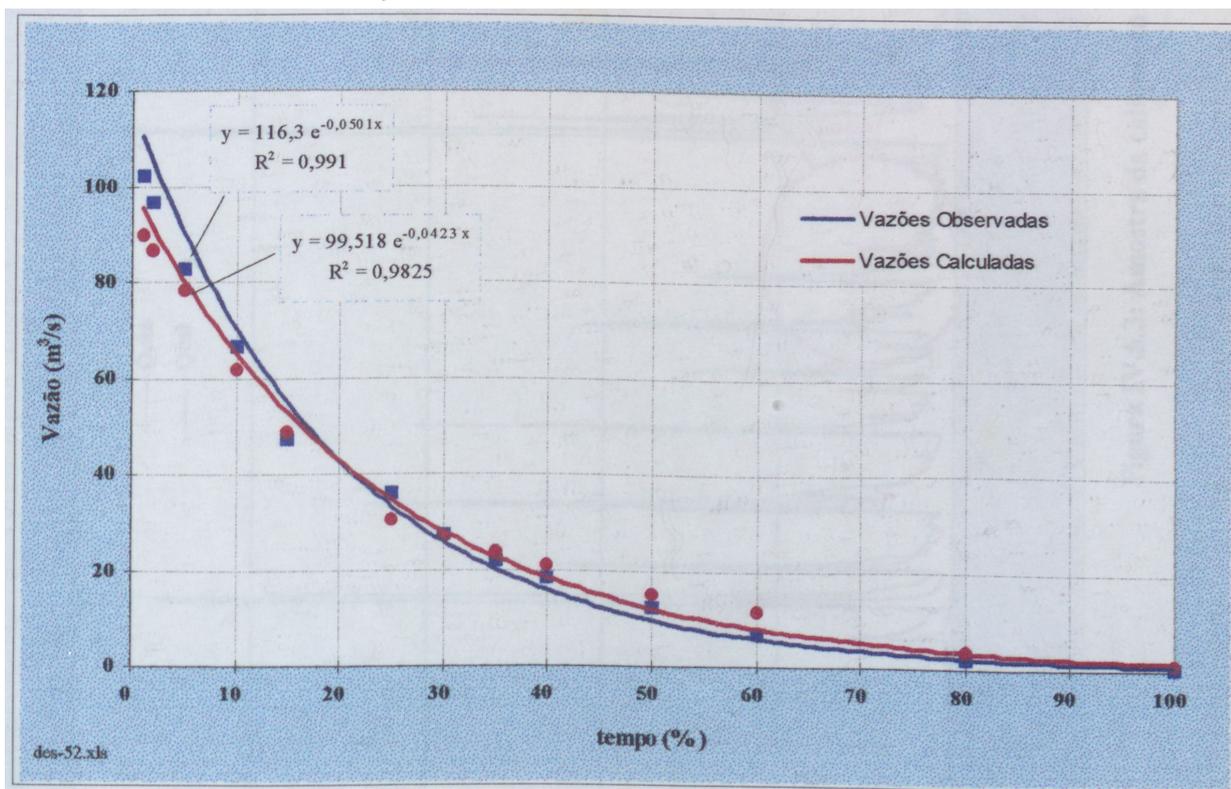


Figura IV.5.2: Curvas de permanência de vazões mensais - Usina Quebradente

Período: 01.77 / 12.83

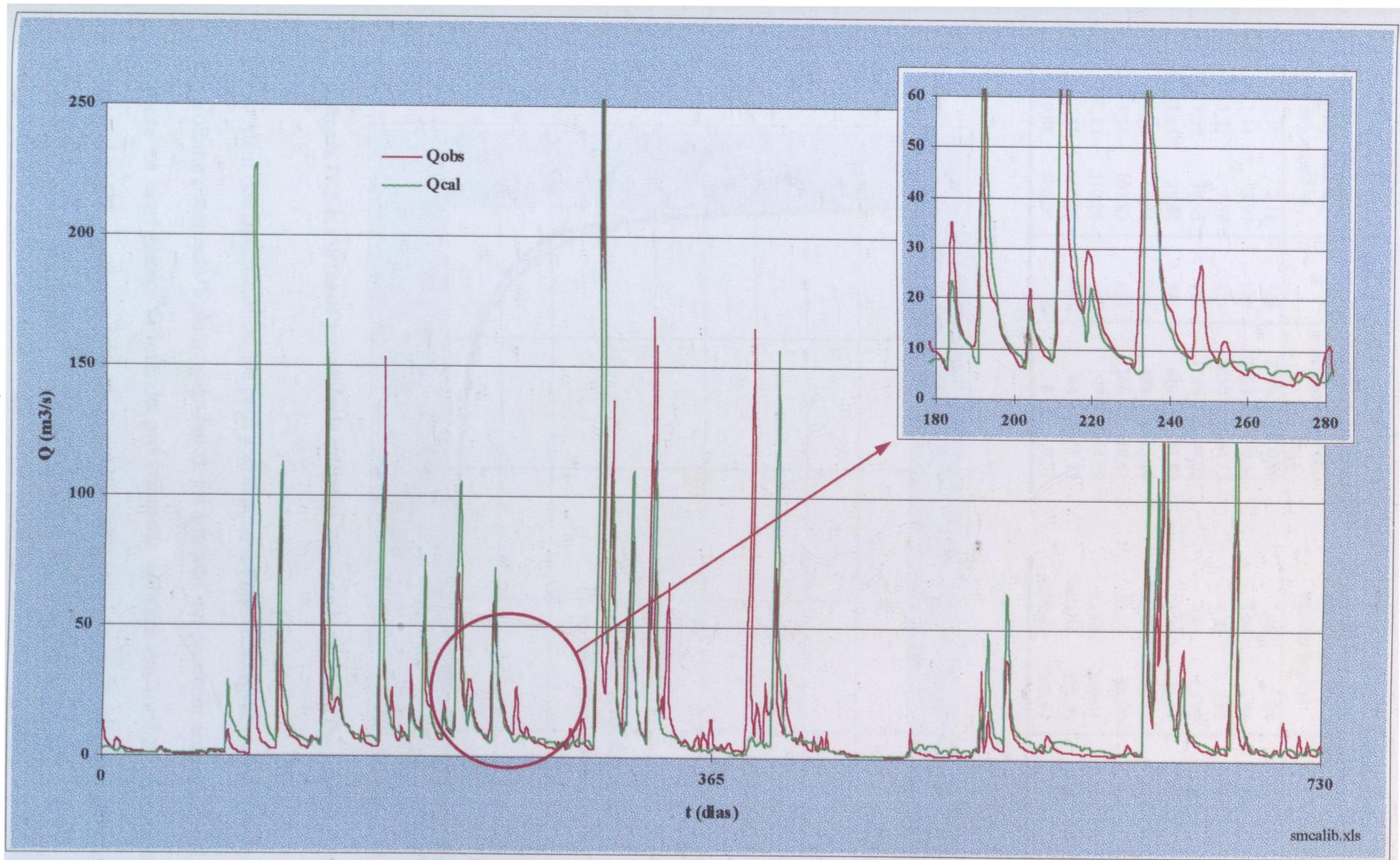


Figura IV.5.3: Amostra da calibração diária em Usina Quebradente (1980/1981)

Quadro IV.5.2: Curvas de permanência de vazões diárias em Usina Quebradente.

Calculada					Observada				
Intervalos de vazões (m <sup>3</sup> /s)	n	n acum.	Prob. (%)		Intervalos de vazões (m <sup>3</sup> /s)	n	n acum.	Prob. (%)	
0,16	2,11	527	2556	100,00	1,16	3,04	534	2556	100,00
2,11	3,97	379	2029	79,38	3,04	4,70	264	2022	79,11
3,97	7,59	421	1650	64,55	4,70	7,83	614	1758	68,78
7,59	14,65	413	1229	48,08	7,83	13,72	406	1144	44,76
14,65	28,44	327	816	31,92	13,72	24,81	199	738	28,87
28,44	55,34	223	489	19,13	24,81	45,69	161	539	21,09
55,34	107,83	159	266	10,41	45,69	85,00	168	378	14,79
107,83	210,25	63	107	4,19	85,00	159,01	141	210	8,22
210,25	410,08	36	44	1,72	159,01	298,35	59	69	2,70
410,08	800,00	8	8	0,31	298,35	560,67	10	10	0,39

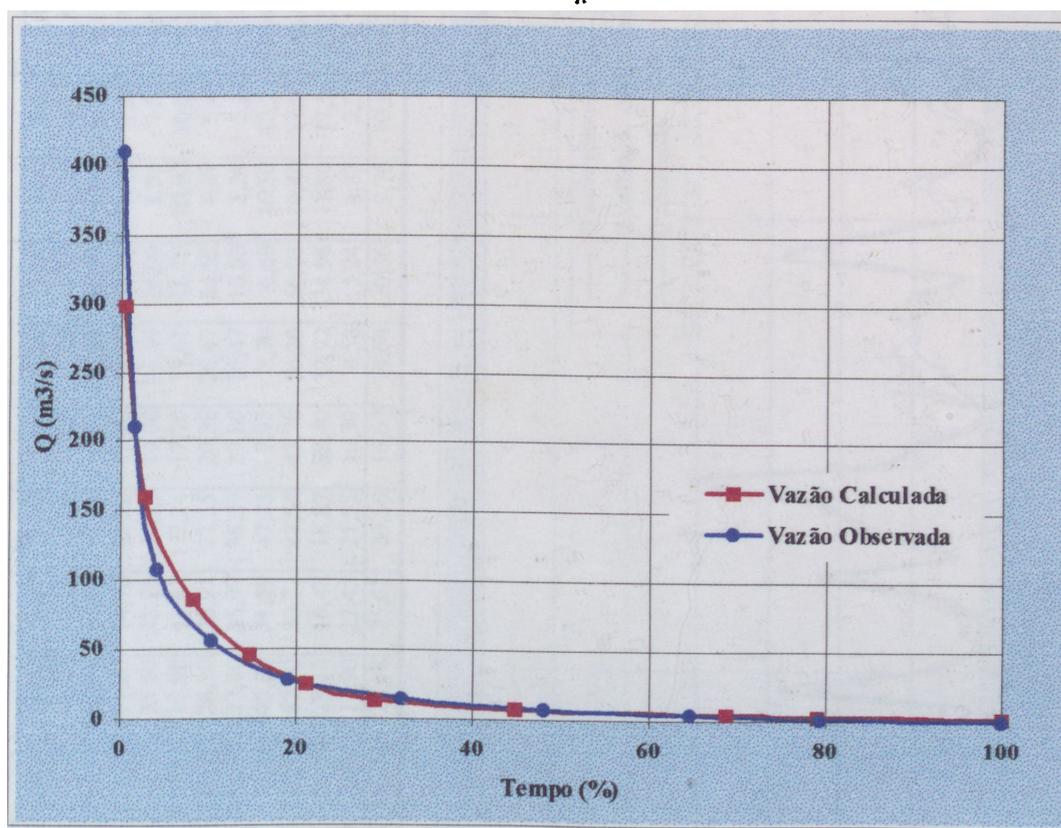
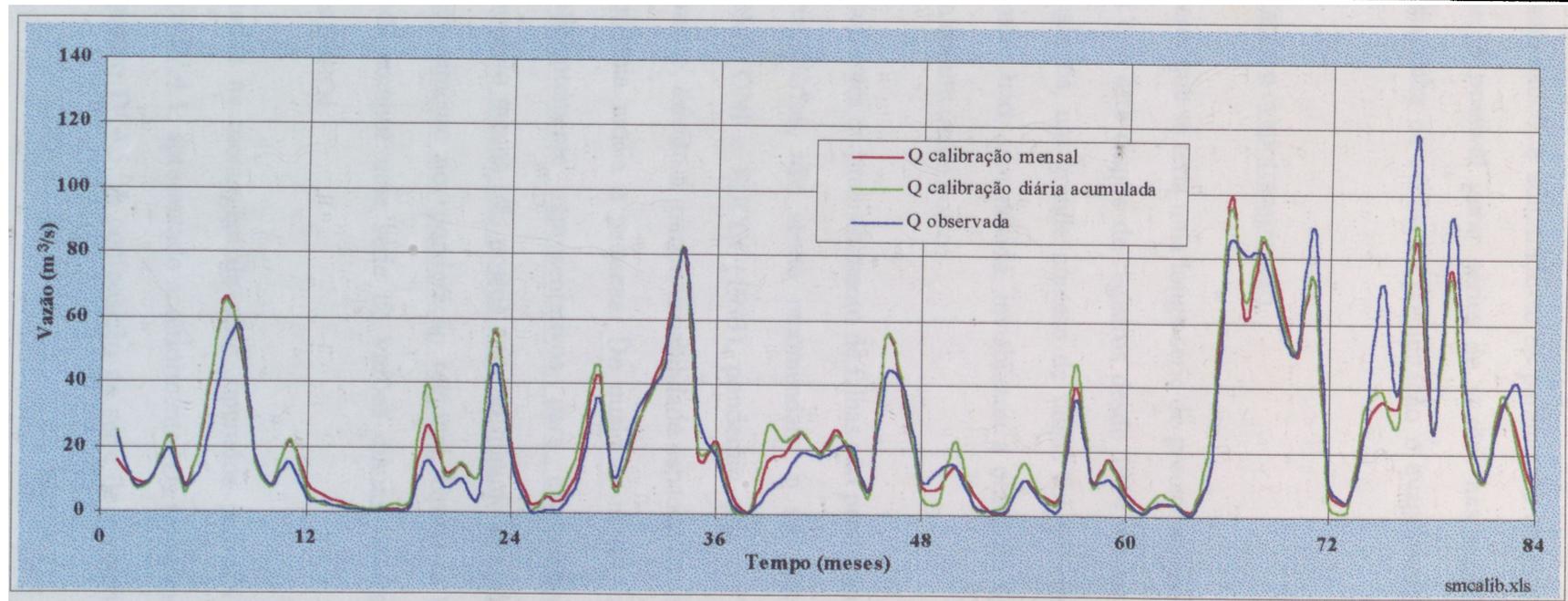


Figura IV.5.4: Curvas de permanência calculada e observada em Usina Quebradente (1977/1983)

Além dos índices utilizados para a avaliação do ajuste ao nível mensal (Função Objetivo,  $R^2$ , Volume observado/Volume calculado), foi adotado um procedimento adicional para avaliar o ajuste ao nível diário. O referido procedimento consiste em totalizar mensalmente a série diária calculada, comparando-a em seguida com a série mensal calculada anteriormente. No quadro IV.5.3 e na figura IV.5.5 tem-se registrado este procedimento.

**Quadro IV.5.3: Vazões observadas e calculadas durante as calibrações em Usina Quebradente (m<sup>3</sup>/s) - 1977/1983**

	1977			1978			1979			1980			1981			1982			1983		
	Q obs	Q cal. mens.	Q cal. diária	Q obs	Q cal. mens.	Q cal. diária	Q obs	Q cal. mens.	Q cal. diária	Q obs	Q cal. mens.	Q cal. diária	Q obs	Q cal. mens.	Q cal. diária	Q obs	Q cal. mens.	Q cal. diária	Q obs	Q cal. mens.	Q cal. diária
Jan	24,10	15,75	25,15	3,17	4,73	2,08	1,02	3,07	1,33	2,61	5,29	1,84	14,00	8,30	3,84	1,35	2,83	1,56	5,10	5,06	2,29
Fev	8,51	10,07	8,46	1,74	3,06	2,35	1,27	5,11	5,94	1,02	1,06	1,50	15,50	14,86	22,80	4,21	4,02	7,32	26,20	26,63	33,87
Mar	11,13	10,37	10,46	0,83	1,61	1,48	2,33	4,56	7,41	6,90	16,66	27,65	3,03	6,32	2,61	3,74	3,81	4,30	72,50	36,06	39,79
Abr	19,80	23,43	23,69	0,59	1,02	1,29	11,20	14,98	22,22	11,40	18,80	22,36	1,66	1,26	1,75	0,96	2,09	1,62	39,70	34,67	28,90
Mai	7,81	8,38	6,20	0,76	1,11	2,77	35,60	42,98	46,29	19,00	25,49	26,00	1,55	1,75	4,39	16,10	15,44	28,26	119,00	85,79	90,48
Jun	15,60	27,26	28,91	1,62	1,99	3,33	10,90	8,67	7,24	17,70	19,01	18,75	10,90	10,86	16,25	85,70	99,03	95,60	26,60	26,55	27,97
Jul	48,20	65,72	64,94	15,90	27,03	39,26	26,80	20,91	22,55	20,30	26,47	24,52	4,69	6,47	6,75	81,00	61,71	67,05	93,50	76,62	74,05
Ago	57,10	52,04	53,57	7,79	12,81	11,65	37,80	35,97	35,39	20,80	16,47	18,80	2,24	5,71	4,59	81,70	85,65	87,37	39,10	24,16	26,56
Set	17,10	15,75	15,58	10,20	14,79	15,10	45,30	51,59	47,33	7,95	8,70	6,69	36,50	40,21	47,40	60,20	68,15	64,35	12,20	11,35	10,83
Out	8,28	8,37	7,73	4,28	11,16	10,76	82,50	80,71	82,54	43,70	56,26	56,03	10,40	11,07	10,08	51,40	49,76	51,48	33,80	35,50	38,66
Nov	15,20	21,95	22,30	46,30	56,01	56,88	28,30	16,48	18,87	38,40	32,92	34,96	11,80	17,56	16,86	89,60	73,81	73,76	41,30	24,71	20,30
Dez	4,16	8,72	6,20	17,10	21,30	18,82	17,90	22,45	21,55	10,30	8,58	5,24	4,83	7,20	4,19	9,87	8,10	3,93	2,66	5,31	1,59
Méd.	19,75	22,32	22,77	9,19	13,05	13,81	25,08	25,62	26,56	16,67	19,64	20,36	9,76	10,96	11,79	40,49	39,53	40,55	42,64	32,70	32,94



**Figura IV.5.5: Comparação entre os resultados das calibrações mensal e diária acumulada**

## Geração das séries de vazões mensais

Uma vez calibrado o modelo matemático, e admitindo-se os parâmetros obtidos como representativos da bacia de interesse, é possível gerar séries de vazões nas seções com deficiência de dados, desde que se disponha de séries de precipitação e evapotranspiração igualmente representativas.

### Montagem das séries de precipitação e evapotranspiração

À primeira vista, tudo levava a crer que se teria uma longa série de precipitações diárias no posto do INMET/Santa Maria, já que este dispõe de registros desde 1914. Ocorre que, após um exame mais acurado dos registros, um grande número de falhas foi detectado ao longo do período de operação do posto. Isto, sem dúvida, inviabilizou a obtenção de uma longa série de valores diários com base em um único posto.

Por seu turno, as metodologias correntes de preenchimento de falhas não produzem bons resultados em se tratando de valores diários, não sendo recomendado o seu uso para preenchimento extensivo de séries. BERTONI e TUCCI (1993), ponderam que, em geral, valores diários são de difícil preenchimento, devido a grande variabilidade espacial e temporal da precipitação para eventos de frequência média e pequena. De qualquer modo, não se dispunha de períodos comuns suficientemente representativos para encaminhar um preenchimento por regressão linear, ou pelo menos três postos com no mínimo dez anos de dados que permitissem efetuar o preenchimento por ponderação regional. Optou-se então, diante das circunstâncias aludidas, por compor uma série de vazões diárias intercalando períodos de diferentes postos próximos entre si.

Os postos de observação utilizados na montagem da série, operados pelo INMET, DEPRC e IPAGRO constam no quadro IV.4.1, apresentado anteriormente. Os totais mensais precipitados foram apresentados no quadro IV.4.5. A composição da série de precipitações diárias foi a seguinte:

1939/1946 - Santa Maria (INMET)

1953/1958 - Santa Maria (INMET)

1959/1962 - São Marcos (DEPRC)

1963/1987 - Santa Maria (IPAGRO)

Embora não usual, a composição aludida foi considerada válida e justificável. Além da proximidade entre os postos utilizados tem-se, da análise dos períodos comuns entre suas séries, fortes indícios de interdependência, conforme demonstram os quadros IV.5.4 e IV.5.5. Na figura IV.5.6 tem-se graficamente o comparativo entre os totais anuais anuais precipitados nos três postos, durante o escasso período comum de disponibilidade de dados.

**Quadro IV.5.4 : Comparativo de precipitações mensais registradas em 3 postos de Santa Maria**

ANO	Posto	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
1965	DEPRC	44,80	60,00	32,40	212,60	59,40	114,70	81,80	256,90	246,80	184,40	130,00	206,60	1630,40
	IPAGRO	13,00	75,60	46,10	211,30	73,30	117,20	116,90	247,50	226,30	199,40	137,10	-	-
	INMET	52,70	73,10	35,00	208,80	58,10	84,90	61,70	164,00	269,60	254,80	127,90	219,60	1610,20
1966	DEPRC	144,40	233,00	300,80	80,80	17,60	185,00	267,60	114,80	192,40	213,00	236,20	262,80	2248,40
	IPAGRO	119,70	204,50	350,50	89,40	8,80	157,80	260,40	134,20	112,50	239,90	125,90	279,90	2083,50
	INMET	146,00	207,30	326,50	69,50	7,20	165,40	210,00	144,40	171,80	181,00	184,90	290,90	2104,90
1969	DEPRC	180,00	325,80	67,40	143,80	117,80	4,00	70,00	106,00	81,60	71,80	153,20	89,40	1410,80
	IPAGRO	151,40	267,70	103,90	127,80	164,70	127,80	131,00	47,00	89,80	58,80	143,00	123,10	1536,00
	INMET	180,70	282,90	88,10	161,80	171,10	139,50	76,90	114,00	78,30	82,30	144,40	115,70	1635,70
1970	DEPRC	137,60	63,40	165,20	53,40	198,80	233,40	140,80	65,80	35,80	136,00	58,80	218,20	1507,20
	IPAGRO	109,40	87,90	123,50	237,20	219,80	249,00	121,10	68,10	57,00	151,40	53,40	235,20	1713,00
	INMET	107,50	63,50	108,10	74,00	188,10	273,80	124,90	69,90	41,90	127,80	46,20	217,00	1442,70
1981	DEPRC	295,00	110,20	33,00	68,40	38,60	220,20	95,00	28,00	198,00	33,00	118,20	143,20	1380,80
	IPAGRO	274,60	93,10	35,60	48,50	31,70	191,80	80,20	29,60	105,20	9,70	104,00	143,60	1147,60
	INMET	284,00	108,30	29,60	57,70	46,50	222,80	84,80	26,80	192,70	24,00	128,50	174,30	1380,00
1982	DEPRC	33,20	242,80	61,00	20,20	128,40	269,20	186,90	216,40	185,00	216,20	260,20	132,60	1952,10
	IPAGRO	138,70	295,50	38,40	26,60	197,00	293,70	248,00	251,10	184,30	312,40	264,50	197,20	2447,40
	INMET	27,80	260,70	53,50	26,90	175,20	351,00	220,80	279,90	181,20	318,60	244,10	174,20	2313,90
1983	DEPRC	80,00	198,80	123,60	221,90	287,30	119,60	-	75,80	47,20	133,80	62,90	69,60	-
	IPAGRO	125,30	172,90	165,50	259,10	255,30	169,20	272,30	48,60	38,30	126,10	35,10	81,50	1749,20
	INMET	93,40	147,70	143,60	208,80	258,60	124,30	262,90	91,60	47,30	109,20	54,60	142,70	1684,70
1984	DEPRC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	IPAGRO	141,70	97,90	99,50	305,80	437,80	280,50	222,20	80,20	209,40	100,10	178,30	81,70	2235,10
	INMET	340,80	105,40	67,70	382,60	471,00	341,10	206,30	88,50	175,20	86,60	121,70	99,00	2485,90
Média	DEPRC	130,71	176,29	111,91	114,44	121,13	163,73	-	123,39	140,97	141,17	145,64	160,34	1688,28 (1)
	IPAGRO	134,23	161,89	120,38	163,21	173,55	198,38	181,51	113,29	127,85	149,73	130,16	-	1844,54 (2)
	INMET	154,11	156,11	106,51	148,76	171,98	212,85	156,04	122,39	144,75	148,04	131,54	179,18	1832,25 (3)

(1): Média de 6 totais anuais disponíveis

(2): Média de 7 totais anuais disponíveis

(3): Média de 8 totais anuais disponíveis

(4): Médias [equivalentes a (1), (2) e (3)] de 5 valores disponíveis, em intervalos comuns aos 3 postos

1699,86 (4)

1785,50 (4)

1775,44 (4)

Quadro IV.5.5: Estatísticas dos postos utilizados, para os períodos comuns disponíveis

Postos	Média Mensal	Mediana	Desvio Padrão	Correlação DEPRC/IPAGRO	Correlação DEPRC/INMET	Correlação IPAGRO/INMET
DEPRC	141,65	136,8	83,12	0,8348	0,9206	0,9022
IPAGRO	148,79	129,4	86,10			
INMET	147,95	144,4	86,27			

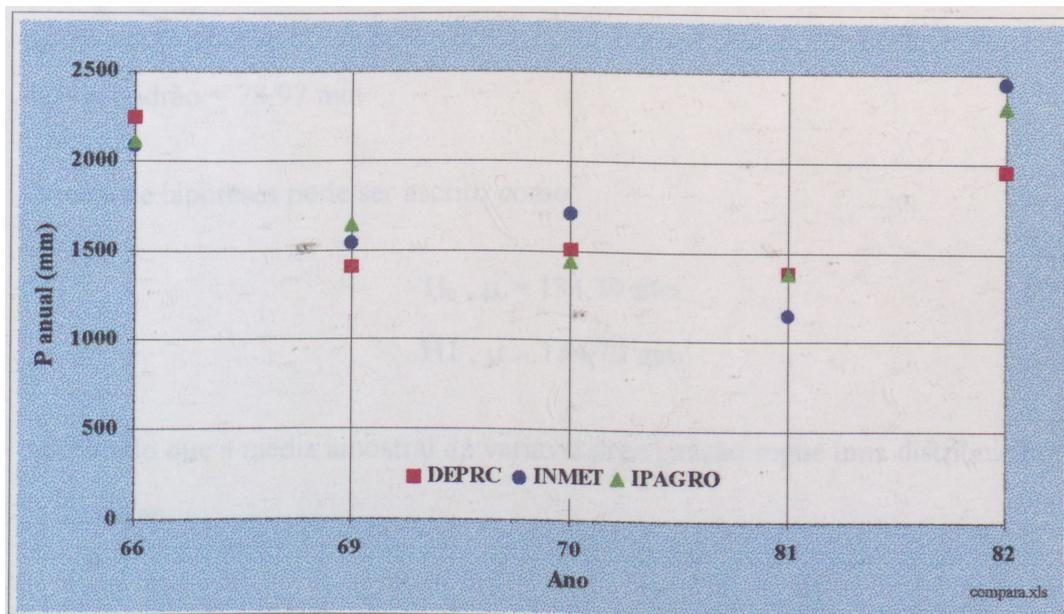


Figura IV.5.6: Comparativo entre os postos pluviométricos utilizados

Tomando cada uma das séries constituídas pelo período comum aos três postos, como amostras da variável aleatória precipitação mensal, é possível estabelecer estimativas de intervalos de confiança para a média da população, a partir de cada uma das amostras. O quadro abaixo sintetiza os resultados obtidos, para 95% de confiança.

Amostra	Intervalo de confiança para a média, com 95%
DEPRC	$P(120,63 \leq \mu \leq 162,69) = 95 \%$
IPAGRO	$P(126,99 \leq \mu \leq 170,59) = 95 \%$
INMET	$P(126,12 \leq \mu \leq 169,78) = 95 \%$

De outra parte, tomando a média e o desvio padrão da série de 25 anos (1963/1987) do IPAGRO, como bons estimadores da média e do desvio padrão da variável precipitação mensal em Santa Maria, é possível testar hipóteses para as médias amostrais dos diferentes

postos. Em síntese, quer-se testar a que nível de significância as amostras podem ser aceitas como possuidoras de média semelhante à população.

Para a série de 25 anos do IPAGRO tem-se:

$n = 300$  valores (série mensal)

média = 134,79 mm

desvio padrão = 78,97 mm

O teste de hipóteses pode ser escrito como:

↵

$$H_0, \mu = 134,79 \text{ mm}$$

$$H_1, \mu > 134,79 \text{ mm}$$

Admitindo que a média amostral da variável precipitação segue uma distribuição Normal, pode-se escrever:

$$z = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma(\bar{x})},$$

onde:

$z$  - variável reduzida da distribuição Normal;

$\bar{x}$  - média amostral;

$\mu_0$  - média da população;

$\sigma$  - desvio padrão da variável de teste  $\bar{x}$ .

Tem-se que  $H_0$  deve ser rejeitada, se:

$$\frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma(\bar{x})} < z_\alpha,$$

onde  $\alpha$  é o *nível de significância* desejado para o teste.

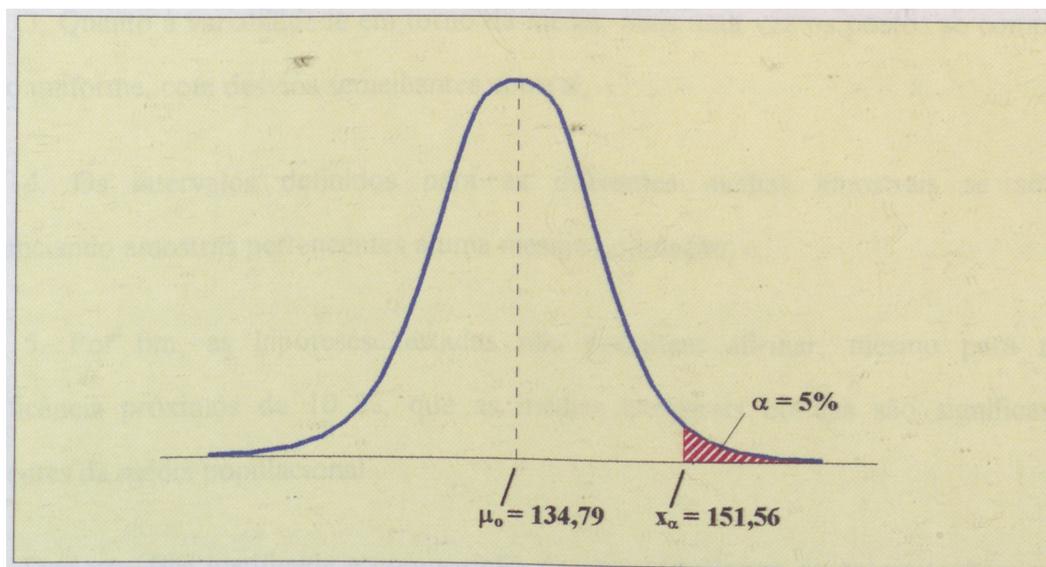
Para o presente estudo, estipulando-se um nível de significância de 5 % resulta:

$$\bar{x}_{5\%} = \mu_o + z_{5\%} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\bar{x}_{5\%} = 134,79 + 1,645 \frac{78,97}{\sqrt{60}}$$

$$\bar{x}_{5\%} = 151,56mm$$

Na figura IV.5.7, tem-se graficamente a distribuição de probabilidades para a média amostral  $\bar{x}$ , se  $\mu = 134,79$  :



**Figura IV.5.7: Distribuição de probabilidades da média amostral  $\bar{x}$**

Portanto, conclui-se que, para um nível de 5 % de significância, não há evidências que permitam rejeitar  $H_o$ , para qualquer uma das três amostras - DEPRC, IPAGRO e INMET - com médias amostrais de 141,66 mm, 148,79 mm e 147,95 mm, respectivamente.

Na verdade,  $H_o$  só poderia ser rejeitada para níveis de significância em torno de 10 % para as médias amostrais oriundas dos dados do IPAGRO e INMET, e em torno de 25 % para a média amostral do posto do DEPRC.

Com base nos elementos examinados com vistas a caracterização dos três postos pluviométricos selecionados para compor a série de precipitações a ser utilizada, é possível listar os seguintes aspectos:

1. A correlação entre os postos ficou plenamente caracterizada, fato que já era esperado por pertencerem os três postos a mesma área de influência, estando muito próximos uns dos outros;

2. As medidas de tendência central, média e mediana, apresentam valores próximos para os três postos pesquisados, ressaltando-se apenas a pouca representatividade da amostra. A moda, embora afetada pela escolha dos intervalos de classe, apresenta comportamento semelhante para todos os casos;

3. Quanto à variabilidade em torno da média, mais uma vez os postos se comportam de modo uniforme, com desvios semelhantes entre si;

4. Os intervalos definidos para as diferentes médias amostrais se sobrepõem, evidenciando amostras pertencentes a uma mesma população; e

5. Por fim, as hipóteses testadas não permitem afirmar, mesmo para níveis de significância próximos de 10 %, que as médias amostrais obtidas são significativamente diferentes da média populacional.

Destarte, fica justificada a composição de uma série longa de precipitações, a partir de dados oriundos de três postos diferentes.

O posto Barragem do Ibicuí/DNAEE foi desconsiderado pelo fato dos três anos passíveis de utilização para incrementar a série pluviométrica apresentarem muitas falhas diárias, sem possibilidade de serem preenchidas. Mesmo utilizando aquele posto, entretanto, ainda existiria uma interrupção de três anos, entre 1947 e 1949, já que nenhuma estação apresenta uma série completa de valores diários para este período. Com isso, o período 1947/1952 não foi preenchido por não se dispor de séries diárias de precipitação em nenhum posto representativo.

Conforme já referido, a série de evapotranspirações a ser utilizada pelo MODHAC foi obtida pelo método de Thornthwaite, com base nas temperaturas médias mensais registradas

em Santa Maria. A evapotranspiração diária, para uso do modelo, foi considerada constante ao longo do mês.

#### Adequação dos parâmetros às bacias objeto do estudo

É sabido que a transposição dos parâmetros de uma bacia para outra se constitui numa tarefa a ser executada com especial cuidado. Neste caso em particular, tal idéia é reforçada pela total inexistência de registros na área de interesse. Este aspecto desfavorável faz com que seja necessário lançar mão de quaisquer informações que, sendo úteis a uma caracterização mais confiável das bacias, permitem minimizar as incertezas oriundas da deficiência dos dados.

Embora se considere a bacia definida em Usina Quebradente como representativa da região em estudo e, conseqüentemente, apropriada ao ajuste do modelo, há que fazer alguns reparos aos parâmetros obtidos na medida que se queira aplicá-los a cada uma das seções de interesse.

No estudo em questão, é importante retratar fielmente os períodos de recessão do hidrograma, ou seja, as vazões mínimas. Estas vazões são asseguradas pelo escoamento de base, isto é, a parcela da infiltração que abastece o lençol freático e que, posteriormente, chega ao rio garantindo sua perenidade nas estiagens. Nas bacias delimitadas pelas seções de interesse, a contribuição do freático, representada pelo reservatório subterrâneo do MODHAC, não apresenta a mesma significância verificada em Usina Quebradente.

Em Val de Serra, por exemplo, embora não se disponha de quaisquer registros formais de níveis ou vazões, dispõe-se de informações obtidas com base em depoimentos de funcionários da CORSAN/Santa Maria, dando conta de que, na estiagem, praticamente não se verifica escoamento no leito do rio. Isto denota a pequena contribuição do freático. Sendo assim, há que se modificar o parâmetro do modelo responsável pelo escoamento da base de forma a compatibilizar a série gerada com as informações obtidas. No caso, foram empreendidas diversas tentativas de modificação no valor atribuído pela calibração automática

ao parâmetro referido, até que se verificassem escoamentos gerados que fossem compatíveis com aqueles reportados pelo pessoal da CORSAN, para determinados eventos.

Via de regra, para todas as seções nas quais foram geradas séries, buscou-se aproveitar informações que, combinadas, permitissem adequar a representatividade dos parâmetros do modelo. No quadro IV.5.6, a seguir, são apresentados os parâmetros do MODHAC com os valores originais da calibração mensal e as modificações introduzidas no parâmetro RSBX, para cada bacia de interesse. No Anexo B, quadros B.1 a B.6, são apresentadas as séries mensais geradas para cada seção de interesse, quais sejam:

- Val de Serra
- Val de Serra de Jusante
- Intermediária
- Saturnino de Brito
- Cerro do Bepão
- Cerro Grande

**Quadro IV.5.6: Parâmetros do MODHAC para intervalo mensal**

Parâmetro	VALOR		VAL				
	ORIGINAL DA CALIBR.	VAL DE SERRA	DE SERRA JUSANTE	INTERME DIÁRIA	SATURNINO DE BRITO	CERRO GRANDE	CERRO BEPÃO
RSPX	58,77	58,77	58,77	58,77	58,77	58,77	58,77
RSSX	67,92	67,92	67,92	67,92	67,92	67,92	67,92
RSBX	109,70	20,00	20,00	50,00	50,00	60,00	70,00
RSBF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
IMAX	60,10	60,10	60,10	60,10	60,10	60,10	60,10
IMIN	5,4570	5,4570	5,4570	5,4570	5,4570	5,4570	5,457
IDEC	0,6462	0,6462	0,6462	0,6462	0,6462	0,6462	0,646
ASP	0,0098	0,0098	0,0098	0,0098	0,0098	0,0098	0,0098
ASS	0,0128	0,0128	0,0128	0,0128	0,0128	0,0128	0,012
ASB	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
PRED	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0
CEVA	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000

### Geração das séries de vazões diárias

Além de subsidiar a simulação mais refinada da alternativa selecionada, as vazões diárias são necessárias para a avaliação das vazões mínimas de diversas durações com diferentes tempos de recorrência. Os procedimentos relativos a montagem das séries de precipitação e evaporação são rigorosamente os mesmos adotados ao nível mensal. A adequação dos

parâmetros originais resultantes da calibração às bacias objeto do estudo também foi realizada de maneira similar à geração mensal.

No quadro IV.5.7, são apresentados os parâmetros do modelo matemático com os valores originais da calibração diária e as modificações introduzidas para cada bacia de interesse.

**Quadro IV.5.7: Parâmetros do MODHAC para intervalo diário**

Parâmetro	VALOR ORIGINAL DA CALIBRAÇÃO	VAL DE SERRA	VAL DE SERRA DE SERRA JUSANTE	INTER-MEDIÁRIA	SATURNINO DE BRITO	CERRO GRANDE	CERRO BEPÃO
RSPX	78,30	78,30	78,30	78,30	78,30	78,30	78,30
RSSX	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00
RSBX	130,20	25,00	27,50	50,00	55,00	65,00	80,00
RSBF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
IMAX	65,29	65,29	65,29	65,29	65,29	65,29	65,29
IMIN	6,639	6,639	6,639	6,639	6,639	6,639	6,639
IDEC	0,069	0,069	0,069	0,069	0,069	0,069	0,069
ASP	0,0107	0,0107	0,0107	0,0107	0,0107	0,0107	0,0107
ASS	0,4466	0,4466	0,4466	0,4466	0,4466	0,4466	0,4466
ASB	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
PRED	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0
CEVA	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000

### Análise dos resultados

A flexibilidade e a adaptabilidade do MODHAC, já referenciadas, foram confirmadas pela boa qualidade dos resultados. O ajuste (calibração) obtido, em se tratando de simulação mensal, superou as expectativas.

Embora a prioridade fosse o ajuste das vazões mínimas, de um modo geral o modelo também retratou convenientemente o comportamento da bacia para as vazões médias e máximas. Isto assegurou a concordância entre totais observados e calculados durante a calibração. Somando-se à adequada representação das vazões mínimas, tem-se a garantia de um ajuste apropriado e séries geradas consistentes.

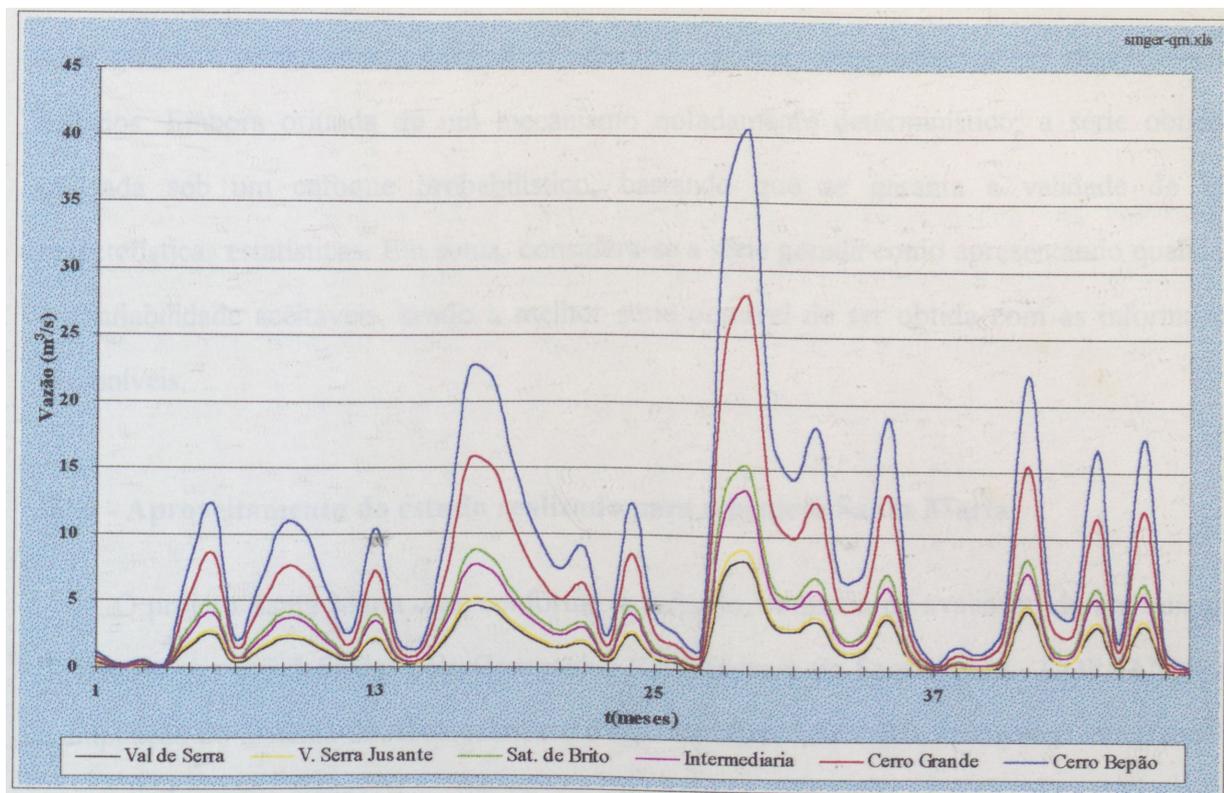
Como já era esperado, a obtenção de séries diárias de vazão com o auxílio de um modelo matemático confirmou ser uma tarefa complexa. Neste caso, em particular, o intervalo diário é

o limite mínimo admissível, já que as precipitações só estão disponíveis para intervalos de 1 (um) dia.

Os aspectos relativos a propagação dos escoamentos pelo modelo, que ao nível mensal podem ser relegadas a um plano secundário, mereceram maior atenção ao nível diário, pois a adoção de tempos de propagação muito distantes da realidade provocaria o deslocamento temporal da série gerada, prejudicando os procedimentos automáticos de ajuste. Outro fator complicador foi a deficiência dos dados de evapotranspiração potencial, com valores constantes ao longo de cada mês, para todos os anos, já que isso coloca-os num nível inferior de qualidade e confiabilidade, se comparados com os dados de precipitação.

Mesmo diante das peculiaridades referidas, a geração das séries de vazões diárias através do MODHAC seguiu basicamente os mesmos procedimentos adotados para a obtenção das séries de vazões mensais. As diferenças ficaram restritas a ajustes nos arquivos de entrada de dados e a forma de tratar alguns parâmetros do modelo, quando da calibração. Na figura IV.5.8 tem-se uma amostra do comportamento conjunto das seções estudadas, para intervalo mensal.

Um aspecto importante a ser abordado refere-se a magnitude das vazões mínimas, principalmente em Val de Serra. As informações fornecidas pela CORSAN/Santa Maria dão conta da inexistência de escoamento no leito do rio a montante do reservatório nos períodos mais críticos. Ocorre que as vazões geradas para Val de Serra são atribuídas à bacia delimitada pela seção do barramento, preferindo-se então admitir aí um escoamento superficial mínimo da ordem de 10 l/s, que pode ser atribuído a pequenas contribuições difusas afluentes às margens ou mesmo à afluência oriunda do escoamento hipodérmico ao fundo do reservatório. Isto é razoável mesmo quando não se verifica escoamento no leito do rio, a montante do reservatório.



**Figura IV.5.8: Amostra do comportamento conjunto das seções estudadas**

Outra peculiaridade detectada ao se examinar os resultados e que merece ser referida é a aparente discrepância da série gerada em alguns eventos isolados, quando comparada com informações fornecidas pela equipe da CORSAN em Santa Maria. As referidas informações dão conta de que na cheia ocorrida em 1984, por exemplo, verificou-se escoamento sobre a crista da barragem de Val de Serra, enquanto o exame da série de vazões gerada não revela um valor extremo. Ocorre que o exame da série de precipitações também não permite identificar um valor extremo no mesmo dia, o que leva a concluir que, naquele dia os postos pluviométricos de Santa Maria não registraram convenientemente a precipitação ocorrida nas cabeceiras do Ibicuí-Mirim. Mesmo os postos de Júlio de Castilhos não abonam o evento extremo verificado em Val de Serra, creditando-se o mesmo a uma provável precipitação orográfica localizada.

É importante ressaltar que esse fato, embora revele deficiências nos dados disponíveis, não inviabiliza o estudo nem mesmo invalida a série gerada. Discrepâncias como esta, decorrentes da baixa densidade de pluviômetros, são normais e, para o fim ao qual se destina a série gerada é perfeitamente admissível prescindir da sua verosimilhança em alguns eventos

série gerada é perfeitamente admissível prescindir da sua verosimilhança em alguns eventos isolados. Embora oriunda de um mecanismo notadamente determinístico, a série obtida é utilizada sob um enfoque probabilístico, bastando que se garanta a validade de suas características estatísticas. Em suma, considera-se a série gerada como apresentando qualidade e confiabilidade aceitáveis, sendo a melhor série possível de ser obtida com as informações disponíveis.

#### **IV.6 - Aproveitamento do estudo realizado para o projeto Santa Maria**

O projeto Santa Maria que, conforme já referido, consistiu na avaliação de um conjunto de alternativas pré-definidas pela Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN, para a ampliação do Sistema de Abastecimento d'água de Santa Maria-RS, aproveitou integralmente os resultados deste estudo.

A avaliação de cada uma das alternativas previamente selecionadas, além da inclusão de novas alternativas, passou necessariamente por estudos de regularização, situação em que as séries de vazões geradas configuram um subsídio indispensável.

Antes de alimentar o modelo de simulação da operação de reservatórios, as séries geradas serviram à determinação de curvas de permanência de vazões para cada seção de interesse. Embora com limitações, a curva de permanência de vazões permite que se faça uma estimativa preliminar dos volumes de armazenamento necessários para que sejam regularizadas as vazões requeridas. No Anexo C, apresenta-se a determinação das curvas de permanência de vazões para as seções estudadas.

Ainda, as séries de vazões geradas serviram à determinação de vazões mínimas com diferentes durações e tempos de retorno, para as sub-bacias estudadas, com especial atenção para as vazões mínimas com duração de 07 (sete) dias e recorrência de 10 (dez) anos -  $Q_{7,10}$ . A vazão mínima  $Q_{7,10}$ , caracterizada com base na série histórica de vazões naturais com extensão de pelo menos 10 anos, é adotada pela FEPAM como paradigma da vazão mínima

remanescente a ser mantida a jusante dos aproveitamentos, em atendimento a aspectos de natureza ambiental.

Com efeito, o Projeto Santa Maria na íntegra caracterizou-se por uma abordagem multidisciplinar, onde outros aspectos além dos hidrológicos foram considerados. Todavia, as informações relacionadas com a disponibilidade hídrica do manancial eleito para aproveitamento foram produzidas primeiro, orientando em seguida as demais ações empreendidas.

## V - DISCUSSÃO DO DESEMPENHO DAS FERRAMENTAS UTILIZADAS

Ao longo de cada uma das etapas de desenvolvimento do Projeto Santa Maria, foi utilizado um conjunto de ferramentas computacionais destinadas a viabilizar a abordagem dos diferentes problemas enfrentados. Agora, quer-se examinar a maneira pela qual algumas destas ferramentas se comportaram, sua potencialidade como ferramenta de SAD, as adaptações necessárias à sua utilização e as alternativas a cada uma delas.

Além dos procedimentos envolvidos no estudo apresentado no Capítulo IV, os aspectos aqui discutidos envolverão também alguns procedimentos desenvolvidos em etapa posterior, dentro do Projeto Santa Maria.

Os principais *softwares* utilizados ao longo dos trabalhos, e que serão examinados, foram:

- Novell® NetWare® 3.12 - 25 usuários
- Microsoft® DOS 6.x
- Quattro Pro® 4.0 (Borland)
- Microsoft® Windows® 3.x
- Microsoft® Excel® 4.0 e 5.0
- Microsoft® Word® 2.0 e 6.0
- FORTRAN IV
- Microsoft® QuickBASIC 6.0
- AutoCAD® R.12 (Autodesk)
- MODHAC - Modelo Hidrológico Auto-calibrável (IPH-UFRGS)
- HEC-5 R.7.2 (*Hydrologic Engineering Center-HEC, EUA*)

A rede local Novell® NetWare® utilizada, suporta até 25 usuários simultâneos e contava, à época do desenvolvimento dos trabalhos, com um servidor de rede com a seguinte configuração básica: Processador 486 DX 40 MHz, memória RAM de 08 Mb e dois discos rígidos de 540 Mb. Neste trabalho, não cabe nenhum reparo a rede local, pois as ferramentas

que foram utilizadas não tiveram em nenhum momento seu desempenho afetado pelo fato de serem utilizados em ambiente de rede. O uso da rede local apenas propiciou facilidades de acesso a arquivos de dados e aplicativos de uso comum na organização, a partir de qualquer estação de trabalho, além de uso compartilhado de diversos periféricos, tais como impressoras, plotadores e *scanners*.

Antes de avançar na discussão do desempenho das ferramentas utilizadas, é importante destacar as características principais dos equipamentos que suportaram os diferentes aplicativos. A estação preferencial para o desenvolvimento dos trabalhos contava com a seguinte configuração básica: PC 486 DX2 50 MHz, 8 Mb de Memória RAM, disco rígido de 340 Mb e monitor colorido SVGA 15 polegadas. Eventualmente, eram utilizadas simultaneamente outras estações com configuração semelhante. Igualmente, não cabe reparos à configuração disponível, a qual apresentou desempenho satisfatório frente às solicitações impostas. Contudo, cabe ressaltar que as considerações relativas às configurações do equipamento computacional utilizado, devem ser sempre reportadas à época do desenvolvimento do projeto (1992/1993). É óbvio que o constante desenvolvimento e aperfeiçoamento dos *softwares*, com exigências sempre crescentes para com os equipamentos pode, a qualquer tempo, comprometer um desempenho tido originalmente como satisfatório.

Todos os aplicativos foram suportados por sistema operacional DOS, sendo que alguns requerem adicionalmente o ambiente Windows para serem acessados.

### **V.1. Avaliação, sob a ótica dos SAD<sup>S</sup>, do conjunto de procedimentos adotados**

Uma vez estabelecida a metodologia, os estudos hidrológicos foram iniciados pela coleta de dados e pela escolha dos modelos mais adequados aos propósitos estabelecidos. Estas duas tarefas foram realizadas simultaneamente, uma vez que a seleção dos modelos foi decorrência direta das informações disponíveis *a priori* e daquelas que deveriam ser produzidas.

No que se refere aos modelos, a necessidade de selecionar um modelo de transformação Precipitação-Vazão foi decorrente das características da bacia estudada. A inexistência de

séries de vazões observadas para abastecer o modelo de simulação, fez necessário obtê-las com base em informações disponíveis em uma bacia próxima, com características semelhantes. O MODHAC foi então escolhido para, após calibrado e verificado em bacias vizinhas com disponibilidade de dados de precipitação e vazão, ser aplicado à bacia de interesse e produzir a série de vazões requeridas.

Para a continuidade dos estudos, após a obtenção das séries de vazão, era evidente a necessidade de um modelo para realizar a simulação da operação dos reservatórios, visando dimensionar as diferentes alternativas. Para tal foi escolhido o *software* HEC5. Embora a utilização deste modelo tenha se verificado em uma etapa posterior do estudo, cujo desenvolvimento não é apresentado neste trabalho, a referência ao mesmo tem por fim permitir a discussão das questões relacionadas com sua utilização, frente aos conceitos de SAD.

O conjunto de procedimentos a serem empreendidos para concluir a tarefa proposta não se resumiu unicamente à aplicação pura e simples dos modelos referidos. Cada um dos modelos utilizados requer uma formatação particular para a entrada de dados, produzindo igualmente resultados de acordo com a concepção própria de cada um e não necessariamente adequados às necessidades do estudo. A adequação destas características inerentes a cada modelo mostrou-se inviável ou não recomendável, quer seja por se tratar de um pacote fechado do qual não se dispunha do código fonte, quer seja por não haver tempo hábil para procedê-la. Além disso, os dados coletados se apresentavam em diferentes formatos, dificultando sobremaneira quaisquer tentativas de adaptar os modelos, habilitando-os ao aproveitamento dos dados no formato nativo.

Observando-se sob a ótica dos sistemas de apoio à decisão, dispunha-se de um subsistema de modelos desconexo do subsistema de dados, inviabilizando seu aproveitamento. Há que se destacar neste ponto, o fato de se estar presumindo a existência dos subsistemas de dados e modelos, o que não é necessariamente verdadeiro. Este aspecto será discutido mais adiante.

Não houve, por parte dos elementos da equipe encarregada dos estudos, a predisposição formal de providenciar ferramentas passíveis de enquadramento na condição de geradores de SAD. Caso houvesse esta predisposição, e estivesse a equipe adequadamente habilitada para tal, certamente o caminho percorrido até completar os trabalhos seria menos sinuoso. De qualquer maneira, os elementos que foram sendo paulatinamente agregados ao conjunto de dispositivos destinados a viabilizar cada uma das atividades, constituíram, em sua maioria, ferramentas cuja utilização permite atender às exigências que se faz de um sistema considerado como sendo de apoio à decisão. Sem dúvida, a utilização seria ótima, caso os decisores estivessem plenamente habilitados para lidar com as ferramentas disponíveis.

Os procedimentos destinados a prover a uniformização dos formatos dos dados coletados e sua conversão para os formatos exigidos pelos modelos utilizados, foram viabilizados pela elaboração de rotinas *ad hoc*, geralmente em QuickBasic. O QuickBasic foi escolhido, por contar com um ambiente próprio de programação e permitir a execução diretamente a partir do código fonte, sem necessidade imediata de compilação. Isto representava um ganho de tempo significativo, principalmente em situações onde a rotina elaborada era usada uma única vez. Este procedimento, foi o primeiro a ser identificado como uso de ferramenta de SAD ou de conceitos de SAD, na criação de ferramentas facilitadoras da abordagem. O que se fez, embora de forma inconclusa, nada mais foi do que o recomendado por WATSON e SPRAGUE (1991). Sub-rotinas ou blocos de programas foram utilizados para que modelos e dados pudessem se inter-relacionar. Para completar o processo, dever-se-ia ordenar estes blocos ou rotinas em um banco de modelos, com pelo menos alguns dos recursos desejados por WATSON e SPRAGUE (1991), para um subsistema de modelos.

Uma vez mais encontra-se a discussão recaindo sobre a questão do subsistema de modelos. Anteriormente, já se havia dito que a suposição da existência de um subsistema de modelos não era necessariamente verdadeira, estendendo-se a constatação ao subsistema de dados. Em realidade, não se dispunha de um subsistema de modelos propriamente dito, tampouco de um subsistema de dados. Contou-se apenas com um conjunto de modelos, selecionados para atender as exigências do estudo, e de um conjunto heterogêneo de arquivos

contendo as informações coletadas. Sem dúvida, o ideal seria contar com um subsistema de modelos, a partir do qual seriam selecionados aqueles destinados a utilização em cada trabalho, com facilidades para integrar novas rotinas ou blocos de programas. Do mesmo modo, o ideal seria contar com um banco ou subsistema de dados, abastecido com todos os dados regionais direta ou indiretamente relacionados ao caso em estudo e com funções de gerenciamento capazes de combinar diferentes fontes de dados. De qualquer forma, às deficiências identificadas na maneira de tratar dados e modelos, se examinada rigorosamente sob a ótica dos SADs, não se atribuiu responsabilidade maior por qualquer comprometimento dos resultados obtidos. As eventuais dificuldades enfrentadas no tratamento com dados e modelos, geraram unicamente problemas de desempenho.

Em um primeiro momento tem-se, do exame dos aspectos relacionados com a forma adotada para tratar dados e modelos, muito mais a constatação de deficiências dos dispositivos empregados do que propriamente contribuições resultantes de iniciativas inovadoras. Contudo, o uso de rotinas adicionais desenvolvidas *ad hoc*, para prover a conversão dos dados ao formato requerido pelos modelos, representou um avanço. Eliminar a necessidade de invadir um sistema concebido *a priori*, tendo que adaptá-lo para atender a questões essencialmente operacionais, alheias ao algoritmo, é um aspecto relevante. Como decorrência direta da adoção deste processo, tem-se a manutenção integral da confiança depositada nos modelos utilizados, por vezes consagrados. Além disso, evita-se a necessidade de reprocessar manualmente grandes volumes de dados, para adequá-los aos formatos requeridos pelos modelos. Benefícios adicionais são obtidos com as rotinas elaboradas para cada caso passando a compor um banco de modelos, estando disponíveis para aplicações futuras.

Com relação as ferramentas utilizadas para prover um subsistema de diálogo, as contribuições introduzidas se mostraram mais significativas. Ainda na fase de exame dos dados coletados, com vistas a verificação de consistência dos mesmos, foi proveitoso dispor de um *software* de planilha para facilitar o tratamento das informações coletadas. Além de capacidades de cálculo, dispondo de um conjunto potente de funções matemáticas, estatísticas, de busca e referência, entre outras, o *software* de planilha selecionado proveu uma interface

confortável e eficiente para que se procedesse o exame dos dados arrolados. As capacidades de compor e modificar tabelas e elaborar gráficos rapidamente, permitem um conhecimento mais efetivo e o aproveitamento máximo das informações disponíveis. Além disso, o Excel pode operar integrado com bancos de dados, processadores de texto e linguagens de programação de alto nível, como o Visual BASIC®.

Após a consistência dos dados selecionados e sua utilização pelos modelos, os resultados destes também receberam tratamento via Excel. Tanto o MODHAC, quanto o HEC5 não incluem rotinas de apresentação dos resultados, e o apoio de um *software* que permitisse selecionar os resultados utilizáveis e realizar avaliações complementares, inclusive com suporte gráfico, foi decisivo para dinamizar os trabalhos.

A quase totalidade dos resultados alcançados foram materializados via editor de texto, planilha eletrônica e ferramenta de CAD. Algumas atividades foram efetivadas, em caráter experimental, integrando-se estas três ferramentas. A integração destas ferramentas permite ao usuário participar das diversas etapas de obtenção do resultado, com ganhos de confiança significativos pela eliminação de intermediários. Esta é justamente uma das habilidades referidas por JONHSON (1986), e que devem ser esperadas de ferramentas destinadas a providenciar uma interface amigável entre o usuário e o sistema.

Um único inconveniente foi identificado na tentativa de integração de diferentes ferramentas, usando-as simultaneamente. Trata-se da redução dos índices de desempenho do equipamento utilizado, pelo aumento substancial das exigências de memória e necessidade de maior capacidade de processamento.

Foram discutidas neste trabalho, questões diretamente relacionadas com o caso em estudo; um aproveitamento de recursos hídricos onde apenas aspectos quantitativos e padrões temporais de disponibilidade estavam em jogo. Entretanto, as conclusões alcançadas, indicativas da conveniência de se utilizar conceitos de sistemas de apoio à decisão para tratar com problemas de recursos hídricos, podem ser estendidas a quaisquer casos. De um modo geral, quanto maior for o grau de complexidade do aproveitamento avaliado, mais justificados

serão os esforços destinados a criação ou adaptação de ferramentas facilitadoras da abordagem.

## **V.2. Ganhos de qualidade e confiança produzidos pelo uso de ferramentas de SAD**

Um fator decisivo na garantia de obtenção de resultados com qualidade e confiança adequadas foi, sem dúvida, o uso intensivo dos *softwares* de planilha. A exemplo das iniciativas de Jonhson e Ford, as planilhas foram utilizadas no tratamento e consolidação das informações recolhidas, na adequação dos dados de entrada dos modelos e na melhora da apresentação dos resultados decorrentes da aplicação dos mesmos modelos.

O uso de ferramentas de CAD, proporcionou um conjunto importante de benefícios ao estudo empreendido. Capacidades quase ilimitadas de produção e edição de mapas e desenhos reduziram significativamente o tempo gasto na produção dos elementos gráficos do projeto. Adicionalmente, a obtenção dos valores de diversos parâmetros, tais como, áreas, declividades, comprimentos característicos, relações cota-área-volume, entre outros, pode ser efetuada rapidamente com precisão e confiança. A avaliação do alcance e da magnitude das interferências e a determinação da necessidade de relocações da infra-estrutura existente nas áreas atingidas pelos reservatórios, são mais alguns exemplos de atividades desenvolvidas com o apoio integral de ferramentas de CAD.

Mais do que propriamente o volume de dados utilizados, o excessivo número de arquivos produzidos e utilizados ao longo dos trabalhos, foi o aspecto que representou o maior risco potencial à segurança e à confiabilidade dos resultados. Esta situação ressaltou a importância de se contar neste casos, com um banco de dados e um subsistema específico para executar seu gerenciamento. Uma solução simples, porém eficaz, foi produzida pela manutenção de listas atualizadas de todos os arquivos utilizados, com descrições sucintas do conteúdo, origem e finalidades de cada um.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo dos princípios definidores dos sistemas de apoio à decisão e o exame das possibilidades de utilização destes princípios no desenvolvimento de ferramentas destinadas a tratar com recursos hídricos, levou as seguintes conclusões principais:

1. Os sistemas computacionais utilizados ordinariamente em recursos hídricos deixam a desejar em pelo menos um dos recursos componentes dos sistemas caracterizados como SAD<sup>S</sup>, enquanto que muitos são deficientes em todos os recursos básicos característicos de um sistema de apoio à decisão. As dificuldades identificadas com maior frequência foram aquelas relacionadas com a inexistência de interfaces adequadas entre o usuário e os sistemas. Este aspecto provoca, além da perda de confiança do usuário no sistema, o mau aproveitamento dos recursos disponíveis. Não raro, os resultados são mal aproveitados, devido à deficiências na sua apresentação.

2. As iniciativas para o desenvolvimento de sistemas computacionais para tratar com recursos hídricos, sob a ótica dos SAD<sup>S</sup>, não estão limitadas por deficiências tecnológicas, de *hardware* ou *software* disponíveis. Com a constante evolução da microinformática, e a conseqüente redução de custos, a maioria dos profissionais que tratam com recursos hídricos tem acesso a equipamento e *software* adequados. Isto é uma realidade tanto no meio acadêmico, quanto na iniciativa privada.

3. A limitação principal a ser superada é o despreparo dos profissionais na utilização dos recursos disponíveis. Para superá-la, faz-se necessário o estabelecimento de uma metodologia racional de abordagem, tanto no desenvolvimento quanto na aplicação de ferramentas computacionais. A metodologia referida deve ser específica, adequada às peculiaridades das aplicações em recursos hídricos, já que a maioria da bibliografia sobre SADs disponível é geral e, em alguns aspectos, não aplicável quando se trata com recursos hídricos.

4. Equipes de profissionais envolvidos em projetos de aproveitamento dos recursos hídricos, que pretendam fazer uso de um SAD como elemento facilitador da abordagem, devem estar familiarizadas com o uso de ferramentas computacionais. Grupos demasiado heterogêneos encontrarão dificuldades de comunicação entre seus membros, com conseqüente redução da eficiência. Quando da formação de equipes multidisciplinares, é conveniente que se ofereça, em um primeiro momento, treinamento adequado que permita homogeneizar a linguagem e habilitar cada elemento para lidar com as ferramentas selecionadas.

5. O uso conveniente dos princípios dos sistemas de apoio à decisão, aplicados a recursos hídricos, proporcionará avanços e facilidades significativas, tais como: desenvolvimento de sistemas mais eficientes com a participação conjunta de gerentes, especialistas da área, analistas e programadores; possibilidade de treinamento efetivo de novos profissionais; e possibilidade de incorporação aos sistemas, dos conhecimentos e da vivência dos profissionais mais experientes da área.

É razoável e lícito afirmar ter-se cumprido, ao final deste trabalho, o principal objetivo que foi o de identificar as diretrizes básicas para o desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão e transpô-los convenientemente para o domínio dos recursos hídricos. Ficou claro que as iniciativas fundamentadas com base no paradigma dados, modelos e diálogo, consagradas em diferentes áreas de aplicação, são igualmente válidas em se tratando de recursos hídricos. Conclui-se pela relevância deste enfoque, principalmente por evitar a ênfase excessiva somente no algoritmo, característica principal identificada na modelagem matemática tradicional.

Com relação ao caso estudado, é importante ressaltar que o mesmo configurou mais uma constatação das inúmeras deficiências e dificuldades enfrentadas na compatibilização das diferentes ferramentas utilizadas, do que propriamente a criação de um SAD efetivo. Todavia, mesmo que de modo pouco formal, estabeleceu-se um conjunto de procedimentos compatíveis e baseados na estrutura recomendada para que se componha um SAD. Os procedimentos foram orientados de maneira a assegurar um mínimo de integração, já que ficaram evidentes as dificuldades encontradas ao longo dos estudos, devidas à inexistência de integração entre as

diferentes ferramentas computacionais utilizadas. Em suma, à medida que se ia deparando com as dificuldades, buscava-se um mecanismo capaz de proporcionar mais conforto e segurança na utilização dos dados e modelos. Sem dúvida, o ambiente ideal seria aquele onde os elementos envolvidos estivessem familiarizados com os conceitos de SAD e habilitados a utilizar ferramentas adequadas para desenvolvê-los.

Recomenda-se, para o futuro, empreendimentos que encaminhem a discussão mais profunda dos conceitos e permitam o estabelecimento de metodologias mais eficientes de abordagem dos problemas de recursos hídricos, com ferramentas desenvolvidas a luz dos sistemas de apoio à decisão. Estes empreendimentos podem ser materializados no desenvolvimento de protótipos, aplicados na solução de problemas, em paralelo com metodologias tradicionais. Desta forma, não se produzirão temores ou restrições experimentais decorrentes da necessidade de se obter resultados confiáveis e imediatos. Como vantagem adicional desta abordagem, ter-se-á a oportunidade de comparar o desempenho de diferentes métodos. Outra alternativa é a de simples acompanhamento de trabalhos em desenvolvimento, cujas ferramentas utilizadas já sejam passíveis de enquadramento na condição de SAD, com o objetivo de identificar novas necessidades e peculiaridades de sistemas de apoio à decisão destinados especialmente ao domínio dos recursos hídricos.

## VII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAUERMANN, A. A. 1994. **Apoio à Decisão em Recursos Hídricos**: integração de planilha eletrônica com modelo de simulação de qualidade da água. Porto Alegre: UFRGS - Curso de pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 116 f. Dissertação Mestrado Engenharia Civil.
- BERTONI, Juan C. e TUCCI, Carlos E. M. 1993. **Precipitação**. In: Hidrologia - Ciência e Aplicação. Carlos E. M. TUCCI (org.). Porto Alegre. Ed. da Universidade / ABRH / EDUSP, 1993. p. 177-241.
- BLANNING, Robert W. 1991. **Sistemas para Gerenciamento de Modelos**. In: Ralph H. Spague Jr. e Hugh Watson (org.). Sistemas de Apoio à Decisão. Tradução de Anna Beatriz Gonçalves Rodrigues Silva - Rio de Janeiro. Ed. Campus, 1991. p. 187-203.
- CÂMARA, et al. 1990. **Decision Support System for Estuarine Water-Quality Management**. Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 116, n. 3, May/June, 1990. ASCE. p. 417-432.
- CHANG, J. H. 1968. **Climate and Agriculture: an ecological survey**. Chicago: Aldine. 304 p.
- CORSAN. 1993. **Estudo de Alternativas de Barramento, Captação e Adução para a Ampliação do Sistema de Abastecimento d'água de Santa Maria - RS**. Volume 2 - Relatório dos Estudos Hidrológicos. Companhia Riograndense de Saneamento / Magna Engenharia. Porto Alegre. 1993. 221 f.
- CUNNINGHAM, Alfred B. e AMEND, Jonh R. 1986. **Interactive Simulation of Water Resource Systems**. Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 112, n. 3, July, 1986. ASCE. p. 326-338.

- DAVIS, et al. 1991. **Prototype Decision Support System for Analyzing Impact of Catchment Policies**. Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 117, n. 4, July/August, 1991. ASCE. p. 399-414.
- FEDOROWICZ, J. 1991. **Tecnologia para DSS Baseados em Documentos**. In: Ralph H. Spague Jr. e Hugh Watson (org.). Sistemas de Apoio à Decisão. Tradução de Anna Beatriz Gonçalves Rodrigues Silva - Rio de Janeiro. Ed. Campus, 1991. p. 173-186.
- FORD, David T. 1990. **Reservoir Storage Reallocation Analysis Whit PC**. Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 116, n. 3, May/June, 1990. ASCE. p. 102-115.
- HOGUE, Jack T. 1987. **Uma Estrutura para Análise do Envolvimento da Gerência em Sistemas de Apoio à Decisão**. In: Ralph H. Spague Jr. e Hugh Watson (org.). Sistemas de Apoio à Decisão. Tradução de Anna Beatriz Gonçalves Rodrigues Silva - Rio de Janeiro. Ed. Campus, 1991. p. 57-75.
- IPAGRO. 1989. **Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Instituto de Pesquisas Agronômicas - Seção de Ecologia Agrícola. Porto Alegre. Ed. Palloti, 1989. 3 vol. 326 p.
- JOHNSON, Lynn E. 1986. **Water Resource Management Decision Support Systems**. Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 112, n. 3, July, 1986. ASCE. p. 308-325.
- LABADIE, John e SULLIVAN, Charles H. 1986. **Computerized Decision Support Systems for Water Managers**. Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 112, n. 3, July, 1986. ASCE. p. 297-307.

- LANNA, A. E. 1993. **Gestão dos Recursos Hídricos**. In: Hidrologia - Ciência e Aplicação. Carlos E. M. TUCCI (org.). Porto Alegre. Ed. da Universidade / ABRH / EDUSP, 1993. p. 725-768.
- LANNA, A.E., CHAVES, E.M. 1993. **SAGBAH - Sistema de apoio ao gerenciamento de bacias hidrográficas: apresentação**. In: X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais. Gramado, 1993. vol. 1, p. 413-421.
- LANNA, A.E., SCHWARZBACH, M. 1989. **MODHAC - Modelo Hidrológico Auto-calibrável**. Publicação nº 21. Recursos Hídricos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre. 55 p.
- LOUCKS, Daniel P., TAYLOR, Marshall R. e FRECH, Peter N. 1985. **Interactive Data Management for Resource Planning and Analysis**. Water Resources Research, Vol. 21, n. 2, February, 1985. p. 131-142.
- MANN et. al. 1986. **Incorporação do Estilo Cognitivo do Usuário Através de Hardware e Software para DSS**. In: Ralph H. Spague Jr. e Hugh Watson (org.). Sistemas de Apoio à Decisão. Tradução de Anna Beatriz Gonçalves Rodrigues Silva - Rio de Janeiro. Ed. Campus, 1991. p. 141-155.
- MEADOR, C. L. e MEZGER, R. A. 1984. **Seleção de uma Linguagem de Programação para o Usuário Final para o Desenvolvimento de DSS**. In: Ralph H. Spague Jr. e Hugh Watson (org.). Sistemas de Apoio à Decisão. Tradução de Anna Beatriz Gonçalves Rodrigues Silva - Rio de Janeiro. Ed. Campus, 1991. p. 278-299.
- MORENO, J. A. 1961. **Clima do Rio Grande do Sul**. Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul. Diretoria de Terras e Colonização. Secção de Geografia. Porto Alegre. 42 p.

- ORLOB, G. T. 1992. **Water-Quality Modeling for Decision Making**. Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 118, n. 3, May/June, 1992. ASCE. p. 295-307.
- PINGRI, D., SHAFTEL, T. e BOLES, K. 1991. **Role for Decision-Support Systems in Water-Delivery Design**. Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 117, n. 6, November/December, 1991. ASCE. p. 629-644.
- SANCHEZ, J. E. 1987. **Fundamentos de Hidrologia**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS. Porto Alegre. 355 f.
- SCHWARZBACK, M. 1988. **Estudo Comparativo do Comportamento Hidrológico de Bacias Situadas na Região Sul e no Cristalino Semi-árido do Brasil, Através do Desenvolvimento do Modelo MODHAC: Modelo Hidrológico Auto-Calibrável**. Porto Alegre: UFRGS - Curso de pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 238 f. Dissertação Mestrado Engenharia Civil.
- SPRAGUE Jr., Ralph H. 1980. **Estrutura para o Desenvolvimento de Sistemas de Apoio à Decisão**. In: Ralph H. Spague Jr. e Hugh Watson (org.). Sistemas de Apoio à Decisão. Tradução de Anna Beatriz Gonçalves Rodrigues Silva - Rio de Janeiro. Ed. Campus, 1991. p. 9-42.
- SPRAGUE Jr., Ralph H. 1987. **DSS em Contexto**. In: Ralph H. Spague Jr. e Hugh Watson (org.). Sistemas de Apoio à Decisão. Tradução de Anna Beatriz Gonçalves Rodrigues Silva - Rio de Janeiro. Ed. Campus, 1991. p. 43-54.
- SPRAGUE Jr., Ralph H. e WATSON, Hugh J. 1991. **Sistemas de Apoio à Decisão**. Tradução de Anna Beatriz Gonçalves Rodrigues Silva - Rio de Janeiro. Ed. Campus, 1991. 498 p.
- TUCCI, C. E. M. 1986. **Modelos Matemáticos em Hidrologia e Hidráulica**. Revista Brasileira de Engenharia - RBE. Rio de Janeiro. 3 vol.

- TUCCI, C. E. M. 1993. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre. Ed. da Universidade / ABRH / EDUSP, 1993. 943 p.
- VILLENEUVE, J et al. 1975. **Méthodologie d'Aménagement de la Resource Eau**. Institut National de la Recherche Scientifique - INRS-EAU. Ministère des Richeses Naturelles - Direction de l'Aménagement. 149 p.
- WALSH, M. R. 1993. **Toward Spatial Decision Support Systems in Water Resources**. Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 119, n. 2, March/April, 1993. ASCE. p. 158-169.
- WATSON, Hugh J. e SPRAGUE Jr., Ralph H. 1991. **Os Componentes de uma Arquitetura para DSS**. In: Ralph H. Spague Jr. e Hugh Watson (org.). Sistemas de Apoio à Decisão. Tradução de Anna Beatriz Gonçalves Rodrigues Silva - Rio de Janeiro. Ed. Campus, 1991. p. 127-140.

**ANEXOS**

## ANEXO A

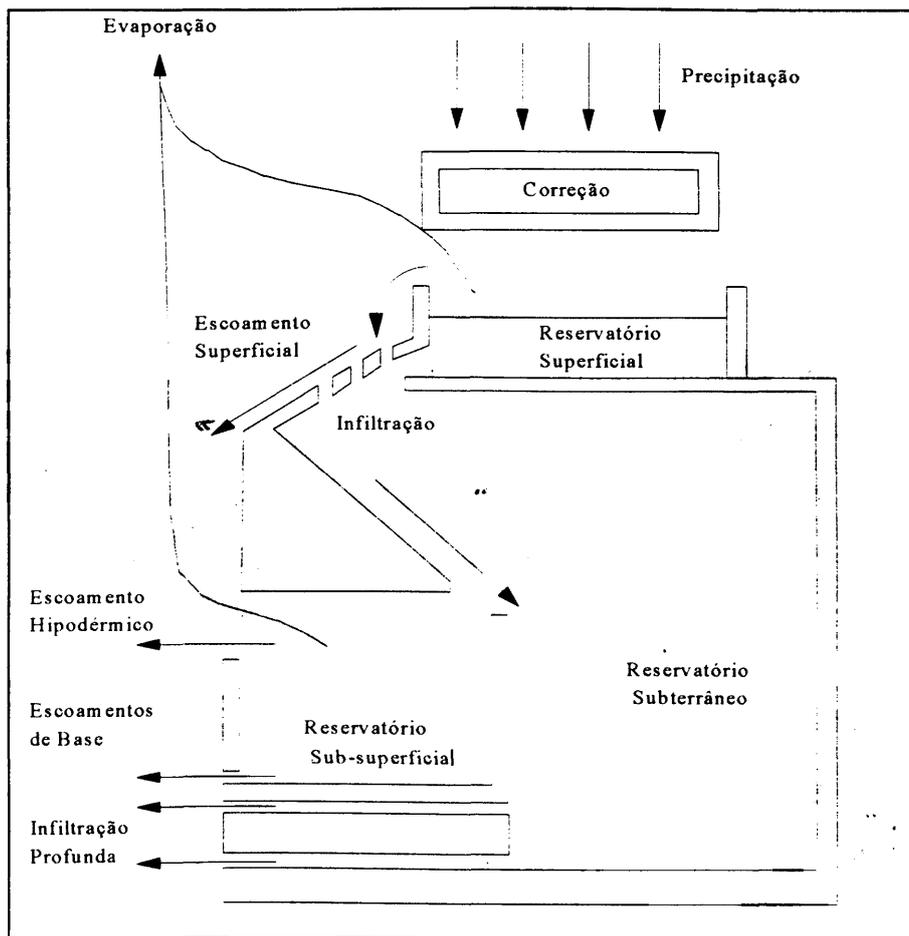
### MODELO DE TRANSFORMAÇÃO PRECIPITAÇÃO-VAZÃO

O MODHAC (Modelo Hidrológico Auto-Calibrável), desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul por LANNA e SCHWARZBACK (1989), foi o modelo escolhido para esse estudo. De acordo com os autores, esse modelo é um aperfeiçoamento do MOHTSAR - Modelo Hidrológico para o Trópico Semi-Árido, apresentado por Marwell e Lanna para as bacias hidrográficas do semi-árido do Nordeste do Brasil. O MODHAC, entretanto, foi desenvolvido para bacias do semi-árido nordestino e também para o clima temperado úmido do Sul do Brasil. Por isso ele pode ser ajustado a uma gama bastante ampla de bacias, não importando os aspectos climáticos, pedológicos, topográficos, geológicos e de cobertura vegetal existentes. É portanto, um dos raros modelos que foram desenvolvidos tendo em consideração as condições climáticas e fisiográficas de bacias hidrográficas brasileiras. Isto contribuiu, por exemplo, para que fosse selecionado entre vários outros para utilização nos estudos hidrológicos que foram realizados para o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará.

O MODHAC, no jargão hidrológico, trata-se do que é chamado de "modelo globalizado", tendo como mais notável característica a possibilidade de ter seus parâmetros calibrados automaticamente de forma a aprimorar um índice de aderência entre as vazões observadas e calculadas. O modelo MODHAC é esquematicamente apresentado no desenho adiante.

A chuva precipitada passa inicialmente por um filtro de ajuste, que tem por função a correção de erros de observação originados na baixa densidade de pluviômetros na bacia. O volume corrigido de chuva alimenta inicialmente a evapotranspiração potencial, até ser anulado ou saciá-la. No caso da chuva ser anulada pela evaporação, a bacia se encontra no estágio de ressecamento. Na outra situação o estágio é de umedecimento.

## Esquema do MODHAC



No estágio de ressecamento, a água restante no reservatório superficial é inicialmente usada para suprir a evapotranspiração potencial remanescente. Em seguida é executada a percolação da água do reservatório superficial para o subsuperficial. Caso a evapotranspiração potencial não estiver inteiramente suprida, a água armazenada no reservatório subsuperficial passará a ser apropriada para tal.

Em seqüência, haverá a percolação da água armazenada nos reservatórios subsuperficial e subterrâneo para a superfície, dando origem ao escoamento subterrâneo ou de base. Por último, haverá a fuga de água por infiltração profunda a partir do reservatório subterrâneo.

No estágio de umedecimento, a chuva remanescente, após a evapotranspiração potencial ter sido totalmente suprida, é interceptada pelo reservatório superficial, até enchê-lo. O

extravazamento desse reservatório passa então por um processo superficial de separação, que o dividirá entre uma parcela que formará o escoamento superficial direto e outra que será infiltrada.

A água infiltrada soma-se à percolação do reservatório superficial. O volume resultante passa por um processo de separação subsuperficial que o distribuirá entre o reservatório subsuperficial e o subterrâneo. Na eventualidade do reservatório subsuperficial encher, seu extravazamento dará lugar à "recusa à infiltração" que formará o escoamento hipodérmico suplementando o escoamento superficial direto. Como na fase de ressecamento, a seqüência final será a percolação dos reservatórios subsuperficial e subterrâneo, formando o escoamento subterrâneo (ou de base) e a infiltração profunda.

Basicamente, dois aspectos distinguem o MODHAC da maioria dos modelos matemáticos de transformação precipitação-vazão. O primeiro aspecto é a calibração automática dos parâmetros, através de uma função objetivo que retrata a maior ou menor correlação entre vazões observadas e calculadas. O segundo aspecto é a forma pela qual o modelo é discretizado, com a adoção de dois intervalos distintos, ditos de computação e de simulação, respectivamente. Exemplificando: os escoamentos computados diariamente são acumulados em intervalos mensais de simulação, servindo estes escoamentos mensais calculados à otimização da função objetivo, pela comparação com os escoamentos mensais observados.

O primeiro aspecto enunciado permite um ganho considerável de tempo, já que a calibração automática dispensa o exaustivo processo de modificação do valor dos parâmetros por tentativas.

O segundo aspecto permite considerar satisfatoriamente a distribuição temporal da precipitação, computando as respostas da bacia a pequenos intervalos (diário), ao passo que propicia a simplificação da propagação dos escoamentos na bacia, já que a avaliação do ajuste é consubstanciada nos intervalos de simulação, em geral mais largos.

Esta flexibilidade, apresentada pelo MODHAC, é relevante no presente estudo. A disponibilidade de precipitações e vazões diárias para calibração e precipitações diárias para geração, permite a obtenção de vazões para quaisquer intervalos, de acordo com as necessidades do projeto.

Diante do exposto, justifica-se o uso do MODHAC por sua adaptabilidade às diferentes situações de projeto, tanto no que se refere ao melhor aproveitamento dos dados disponíveis quanto com relação a confiabilidade dos resultados obtidos.

A descrição detalhada de cada um dos algoritmos que compõem o MODHAC pode ser encontrada em SCHWARZBACK (1988), ou em LANNA e SCHWARZBACK (1989).

**ANEXO B****QUADROS DO ITEM IV.5 - GERAÇÃO DAS SÉRIES DE VAZÕES**

Quadro B.1: Série de vazões médias mensais em Val de Serra (m<sup>3</sup>/s)A = 44,9 Km<sup>2</sup>

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1939	0,23	0,02	0,11	0,10	1,59	2,47	0,42	1,29	2,17	2,02	1,09	0,50	1,00
1940	2,11	0,41	0,33	2,03	4,49	4,34	3,03	1,97	1,45	1,81	0,50	2,47	2,08
1941	0,81	0,54	0,30	7,24	8,08	3,47	2,86	3,62	1,38	1,49	3,82	0,80	2,87
1942	0,10	0,34	0,27	0,65	4,53	1,05	0,82	3,34	0,42	3,54	0,34	0,07	1,29
1943	0,01	0,52	0,17	0,25	0,60	0,41	2,46	0,55	1,19	0,38	0,22	0,04	0,57
1944	0,44	0,13	0,04	0,37	0,29	4,43	0,57	1,31	0,82	3,63	0,45	0,06	1,04
1945	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,76	2,42	1,76	2,25	0,41	0,35	1,55	0,80
1946	0,24	0,22	0,13	0,01	0,51	0,86	0,94	0,88	0,41	3,98	0,74	2,46	0,95
1953	0,26	0,22	0,01	0,01	0,03	0,50	0,70	0,83	3,23	3,38	0,38	0,08	0,80
1954	1,34	4,69	1,49	0,36	0,32	2,67	4,78	1,48	1,21	1,48	0,27	0,02	1,68
1955	0,25	0,13	0,21	1,26	2,02	2,19	1,39	1,56	1,25	2,57	0,28	0,11	1,10
1956	2,23	2,15	0,19	1,79	0,38	0,32	0,46	0,74	0,42	0,76	0,31	0,04	0,82
1957	0,26	0,17	0,01	0,02	0,90	2,35	3,79	0,46	1,80	0,40	0,94	0,50	0,97
1958	1,73	1,19	0,80	0,53	0,74	1,08	0,89	3,25	1,84	3,85	0,46	2,20	1,55
1959	0,73	2,66	0,55	2,99	2,48	2,86	0,91	1,90	1,97	1,39	0,35	0,11	1,57
1960	0,01	0,01	0,01	0,04	0,08	1,42	1,98	2,05	2,24	0,42	0,45	0,04	0,73
1961	0,01	0,08	1,61	2,08	1,51	1,99	2,04	0,44	2,58	2,97	0,39	0,15	1,32
1962	0,01	0,04	0,39	0,69	0,33	0,25	0,19	0,63	0,78	0,37	0,08	0,01	0,31
1963	0,09	0,09	0,04	0,07	0,17	0,19	0,28	0,82	2,97	3,33	2,49	0,39	0,91
1964	0,06	0,08	0,09	0,99	0,32	0,24	0,23	1,64	2,32	1,44	0,38	0,50	0,69
1965	0,17	0,01	0,01	0,98	0,47	0,90	0,55	3,22	3,20	1,94	1,06	0,18	1,06
1966	0,01	0,23	3,57	1,40	0,39	0,78	3,78	1,12	1,92	2,54	1,28	2,40	1,62
1967	0,32	0,22	0,70	0,06	0,34	0,22	0,78	2,29	2,62	1,63	1,00	0,09	0,86
1968	0,01	0,03	0,61	1,13	0,42	0,42	0,72	0,36	0,49	0,89	2,04	0,16	0,61
1969	0,53	1,12	0,35	0,71	1,76	2,06	0,88	0,96	0,47	0,35	0,66	0,16	0,83
1970	0,08	0,10	0,06	0,51	1,59	3,70	1,55	0,78	0,38	1,22	0,47	0,38	0,90
1971	0,36	0,45	1,64	0,32	0,26	1,92	1,72	2,39	0,38	0,27	0,08	0,01	0,82
1972	0,31	0,32	2,07	0,80	0,78	2,62	2,19	4,93	3,04	2,15	1,08	0,24	1,71
1973	0,05	1,40	0,49	1,29	1,90	0,73	3,65	2,24	0,73	0,41	0,31	0,03	1,10
1974	0,28	0,44	0,34	0,19	0,03	0,73	0,56	1,44	0,67	0,40	0,18	0,07	0,44
1975	0,06	0,06	0,55	0,38	0,32	1,50	0,53	2,88	2,14	0,37	0,26	0,39	0,79
1976	0,24	0,16	0,69	0,73	0,55	0,89	2,37	1,14	0,74	0,54	1,22	0,33	0,80
1977	1,06	0,42	0,34	2,22	0,41	0,35	4,47	1,97	0,58	0,39	1,25	0,73	1,18
1978	0,26	0,18	0,01	0,01	0,02	0,07	0,87	0,44	0,88	0,45	3,51	0,46	0,60
1979	0,08	0,01	0,02	0,28	1,01	0,40	1,57	1,65	2,55	3,20	0,43	0,32	0,96
1980	0,05	0,01	0,63	0,31	0,55	0,60	2,32	0,44	0,36	0,95	0,58	0,36	0,60
1981	0,91	0,43	0,25	0,01	0,01	0,83	0,74	0,39	0,34	0,35	0,15	0,09	0,38
1982	0,48	2,38	0,52	0,15	1,06	4,05	3,64	3,49	2,35	4,19	3,09	0,55	2,16
1983	0,34	0,50	1,71	2,48	3,54	2,42	3,68	0,77	0,36	0,39	0,26	0,03	1,37
1984	0,03	0,05	0,01	3,32	6,22	4,31	3,32	0,78	2,44	0,63	0,93	0,36	1,87
1985	0,06	0,04	0,18	3,01	1,18	1,96	3,63	2,23	2,07	0,41	0,19	0,01	1,25
1986	0,01	0,31	2,54	3,13	2,66	1,59	1,42	3,52	1,92	0,59	3,53	0,31	1,79
1987	0,27	0,04	0,11	2,14	1,23	2,57	5,10	2,49	1,01	1,07	0,47	0,20	1,39
Média	0,39	0,53	0,56	1,09	1,30	1,62	1,89	1,68	1,50	1,51	0,89	0,46	1,12
Máx.	2,23	4,69	3,57	7,24	8,08	4,43	5,10	4,93	3,23	4,19	3,82	2,47	4,50
Min.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,07	0,19	0,36	0,34	0,27	0,08	0,01	0,11

**Quadro B.2: Série de vazões médias mensais em Val de Serra Jusante (m<sup>3</sup>/s) A = 49,4 Km<sup>2</sup>**

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1939	0,25	0,02	0,13	0,11	1,75	2,72	0,46	1,42	2,38	2,22	1,20	0,55	1,10
1940	2,32	0,45	0,36	2,23	4,94	4,78	3,33	2,16	1,59	1,99	0,55	2,72	2,28
1941	0,89	0,60	0,33	7,96	8,89	3,82	3,15	3,99	1,52	1,64	4,21	0,88	3,16
1942	0,11	0,38	0,29	0,72	4,98	1,16	0,90	3,68	0,46	3,90	0,37	0,07	1,42
1943	0,01	0,57	0,19	0,28	0,67	0,45	2,70	0,60	1,31	0,42	0,25	0,05	0,63
1944	0,49	0,15	0,04	0,40	0,32	4,87	0,62	1,45	0,91	3,99	0,49	0,06	1,15
1945	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,84	2,66	1,93	2,48	0,45	0,38	1,71	0,88
1946	0,26	0,24	0,14	0,02	0,56	0,95	1,03	0,96	0,45	4,38	0,81	2,71	1,04
1953	0,29	0,24	0,01	0,01	0,03	0,55	0,77	0,91	3,55	3,72	0,41	0,08	0,88
1954	1,48	5,16	1,64	0,40	0,35	2,93	5,26	1,63	1,33	1,63	0,30	0,02	1,84
1955	0,28	0,15	0,23	1,39	2,23	2,41	1,52	1,72	1,38	2,82	0,31	0,12	1,21
1956	2,45	2,37	0,21	1,97	0,42	0,35	0,50	0,82	0,46	0,83	0,35	0,04	0,90
1957	0,28	0,19	0,01	0,02	0,98	2,59	4,16	0,51	1,98	0,44	1,04	0,55	1,06
1958	1,91	1,31	0,88	0,58	0,81	1,19	0,98	3,58	2,02	4,23	0,51	2,42	1,70
1959	0,81	2,93	0,60	3,29	2,73	3,14	1,00	2,09	2,17	1,53	0,39	0,12	1,73
1960	0,01	0,01	0,01	0,04	0,09	1,56	2,18	2,26	2,47	0,46	0,50	0,05	0,80
1961	0,01	0,09	1,77	2,29	1,66	2,19	2,24	0,49	2,84	3,27	0,43	0,17	1,45
1962	0,01	0,04	0,43	0,76	0,36	0,27	0,21	0,70	0,86	0,40	0,09	0,01	0,35
1963	0,09	0,10	0,04	0,07	0,18	0,21	0,31	0,90	3,27	3,66	2,74	0,43	1,00
1964	0,06	0,09	0,10	1,09	0,35	0,26	0,25	1,81	2,55	1,58	0,42	0,55	0,76
1965	0,19	0,01	0,01	1,08	0,52	0,99	0,60	3,54	3,52	2,13	1,17	0,20	1,16
1966	0,01	0,25	3,93	1,55	0,43	0,86	4,16	1,24	2,11	2,79	1,41	2,64	1,78
1967	0,35	0,24	0,77	0,07	0,38	0,24	0,85	2,52	2,89	1,80	1,10	0,10	0,94
1968	0,01	0,03	0,67	1,24	0,46	0,46	0,79	0,40	0,54	0,98	2,25	0,17	0,67
1969	0,58	1,23	0,39	0,78	1,94	2,27	0,97	1,06	0,51	0,38	0,72	0,17	0,92
1970	0,09	0,11	0,06	0,57	1,75	4,08	1,70	0,86	0,42	1,34	0,51	0,42	0,99
1971	0,40	0,49	1,81	0,35	0,28	2,11	1,89	2,63	0,42	0,29	0,09	0,01	0,90
1972	0,34	0,35	2,27	0,88	0,86	2,89	2,41	5,43	3,35	2,37	1,19	0,26	1,88
1973	0,06	1,54	0,53	1,42	2,10	0,81	4,02	2,47	0,80	0,45	0,34	0,04	1,22
1974	0,30	0,49	0,37	0,21	0,03	0,80	0,61	1,59	0,74	0,44	0,20	0,07	0,49
1975	0,06	0,07	0,61	0,42	0,35	1,65	0,59	3,17	2,35	0,41	0,29	0,43	0,87
1976	0,27	0,18	0,76	0,80	0,60	0,98	2,61	1,26	0,81	0,59	1,34	0,36	0,88
1977	1,16	0,46	0,37	2,44	0,45	0,39	4,92	2,17	0,64	0,42	1,38	0,81	1,30
1978	0,28	0,20	0,02	0,01	0,03	0,08	0,96	0,48	0,96	0,50	3,86	0,51	0,66
1979	0,09	0,01	0,02	0,31	1,11	0,44	1,73	1,81	2,81	3,52	0,47	0,36	1,06
1980	0,05	0,01	0,69	0,35	0,61	0,65	2,55	0,48	0,39	1,05	0,64	0,40	0,66
1981	1,00	0,47	0,28	0,01	0,02	0,91	0,82	0,43	0,38	0,39	0,16	0,10	0,41
1982	0,53	2,62	0,57	0,17	1,17	4,45	4,00	3,84	2,59	4,61	3,40	0,60	2,38
1983	0,38	0,55	1,88	2,72	3,90	2,66	4,05	0,85	0,39	0,43	0,28	0,03	1,51
1984	0,03	0,05	0,01	3,66	6,84	4,74	3,65	0,85	2,69	0,70	1,02	0,39	2,05
1985	0,06	0,04	0,20	3,31	1,30	2,16	3,99	2,46	2,28	0,45	0,21	0,01	1,37
1986	0,01	0,34	2,80	3,44	2,93	1,75	1,56	3,87	2,12	0,65	3,89	0,34	1,97
1987	0,30	0,04	0,12	2,35	1,36	2,83	5,61	2,74	1,12	1,18	0,51	0,22	1,53
Média	0,43	0,58	0,62	1,20	1,44	1,78	2,08	1,85	1,65	1,66	0,98	0,51	1,23
Máx.	2,45	5,16	3,93	7,96	8,89	4,87	5,61	5,43	3,55	4,61	4,21	2,72	4,95
Mín.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,08	0,21	0,40	0,38	0,29	0,09	0,01	0,13

Quadro B.3: Série de vazões médias mensais em Intermediária (m<sup>3</sup>/s)A = 62,55 Km<sup>2</sup>

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1939	0,33	0,05	0,17	0,14	2,18	3,44	0,60	1,78	3,02	2,81	1,52	0,72	1,40
1940	2,92	0,59	0,47	2,79	6,26	6,06	4,21	2,74	2,03	2,53	0,68	3,46	2,90
1941	1,13	0,75	0,43	10,06	11,26	4,84	3,98	5,05	1,93	2,08	5,32	1,11	4,00
1942	0,15	0,49	0,38	0,91	6,26	1,47	1,14	4,66	0,60	4,92	0,49	0,11	1,80
1943	0,04	0,74	0,24	0,35	0,85	0,57	3,38	0,75	1,66	0,55	0,33	0,08	0,80
1944	0,63	0,20	0,07	0,52	0,41	6,12	0,80	1,82	1,16	5,04	0,64	0,10	1,46
1945	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	1,05	3,26	2,45	3,13	0,59	0,50	2,14	1,11
1946	0,35	0,31	0,19	0,04	0,73	1,14	1,31	1,21	0,59	5,54	1,02	3,44	1,32
1953	0,38	0,32	0,04	0,03	0,06	0,70	0,91	1,13	4,50	4,71	0,54	0,13	1,12
1954	1,84	6,52	2,09	0,52	0,46	3,67	6,67	2,06	1,68	2,07	0,40	0,04	2,34
1955	0,36	0,19	0,30	1,70	2,83	3,05	1,93	2,17	1,76	3,57	0,41	0,16	1,54
1956	3,07	3,00	0,29	2,47	0,55	0,45	0,61	1,03	0,60	1,04	0,46	0,08	1,14
1957	0,37	0,24	0,04	0,04	1,25	3,21	5,28	0,65	2,49	0,57	1,30	0,71	1,35
1958	2,40	1,64	1,13	0,75	1,00	1,50	1,24	4,53	2,56	5,37	0,66	3,04	2,15
1959	1,04	3,68	0,77	4,15	3,46	3,97	1,28	2,64	2,75	1,94	0,51	0,17	2,20
1960	0,04	0,04	0,04	0,06	0,11	1,88	2,76	2,86	3,13	0,60	0,64	0,08	1,02
1961	0,04	0,12	2,18	2,91	2,09	2,77	2,84	0,62	3,60	4,14	0,57	0,23	1,84
1962	0,04	0,07	0,57	0,97	0,46	0,35	0,27	0,89	1,01	0,53	0,13	0,04	0,44
1963	0,14	0,13	0,06	0,10	0,24	0,27	0,39	1,09	4,14	4,63	3,48	0,57	1,27
1964	0,10	0,13	0,14	1,39	0,45	0,35	0,32	2,23	3,23	2,01	0,55	0,72	0,97
1965	0,25	0,03	0,04	1,38	0,65	1,20	0,77	4,47	4,46	2,70	1,49	0,27	1,48
1966	0,04	0,32	4,92	1,96	0,57	1,06	5,27	1,57	2,68	3,53	1,80	3,34	2,26
1967	0,46	0,32	0,99	0,10	0,49	0,31	1,03	3,19	3,66	2,27	1,40	0,14	1,20
1968	0,04	0,05	0,86	1,50	0,60	0,60	0,98	0,52	0,69	1,20	2,86	0,24	0,84
1969	0,75	1,57	0,50	1,00	2,40	2,88	1,23	1,34	0,64	0,50	0,93	0,23	1,16
1970	0,12	0,15	0,10	0,73	2,17	5,16	2,17	1,08	0,55	1,67	0,66	0,54	1,26
1971	0,51	0,62	2,26	0,47	0,38	2,63	2,39	3,35	0,55	0,39	0,13	0,04	1,14
1972	0,43	0,44	2,82	1,13	1,08	3,65	3,06	6,87	4,24	3,00	1,52	0,35	2,38
1973	0,09	1,91	0,69	1,78	2,67	1,01	5,09	3,12	1,01	0,58	0,45	0,06	1,54
1974	0,39	0,63	0,48	0,27	0,06	1,02	0,73	2,00	0,94	0,57	0,27	0,11	0,62
1975	0,09	0,09	0,74	0,55	0,45	2,05	0,75	4,00	2,99	0,54	0,38	0,55	1,10
1976	0,35	0,23	0,98	0,99	0,75	1,24	3,31	1,60	1,03	0,74	1,72	0,47	1,12
1977	1,45	0,60	0,48	3,06	0,59	0,50	6,19	2,75	0,81	0,56	1,72	1,04	1,65
1978	0,37	0,27	0,04	0,03	0,05	0,11	1,12	0,63	1,21	0,65	4,87	0,66	0,83
1979	0,13	0,03	0,05	0,40	1,36	0,57	2,16	2,30	3,54	4,46	0,62	0,46	1,34
1980	0,08	0,04	0,88	0,44	0,77	0,78	3,23	0,63	0,51	1,29	0,82	0,52	0,83
1981	1,28	0,60	0,36	0,04	0,04	1,16	0,98	0,56	0,49	0,50	0,22	0,13	0,53
1982	0,69	3,28	0,73	0,23	1,45	5,63	5,07	4,85	3,28	5,84	4,30	0,75	3,01
1983	0,50	0,72	2,36	3,44	4,94	3,38	5,13	1,09	0,51	0,55	0,37	0,06	1,92
1984	0,06	0,08	0,04	4,57	8,66	6,01	4,63	1,09	3,39	0,90	1,30	0,51	2,60
1985	0,10	0,07	0,26	4,16	1,64	2,73	5,05	3,12	2,88	0,59	0,29	0,03	1,74
1986	0,03	0,45	3,46	4,37	3,70	2,22	1,98	4,90	2,68	0,83	4,91	0,45	2,50
1987	0,39	0,07	0,16	2,94	1,72	3,59	7,10	3,47	1,41	1,50	0,67	0,30	1,94
Média	0,56	0,74	0,79	1,52	1,82	2,24	2,62	2,35	2,09	2,11	1,25	0,66	1,56
Máx.	3,07	6,52	4,92	10,06	11,26	6,12	7,10	6,87	4,50	5,84	5,32	3,46	6,25
Min.	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,11	0,27	0,52	0,49	0,39	0,13	0,03	0,17

**Quadro B.4: Série de vazões médias mensais em Saturnino de Brito (m<sup>3</sup>/s) A = 84,6 Km<sup>2</sup>**

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1939	0,45	0,06	0,23	0,19	2,95	4,65	0,82	2,41	4,08	3,80	2,05	0,97	1,89
1940	3,95	0,79	0,64	3,78	8,46	8,19	5,70	3,71	2,74	3,42	0,92	4,67	3,91
1941	1,53	1,01	0,59	13,60	15,23	6,55	5,39	6,82	2,62	2,82	7,20	1,51	5,41
1942	0,21	0,67	0,51	1,23	8,46	1,99	1,54	6,30	0,82	6,66	0,67	0,15	2,43
1943	0,05	1,00	0,32	0,47	1,14	0,77	4,57	1,02	2,25	0,74	0,44	0,11	1,07
1944	0,85	0,27	0,09	0,70	0,56	8,27	1,08	2,46	1,56	6,82	0,86	0,13	1,97
1945	0,05	0,05	0,05	0,04	0,08	1,42	4,40	3,32	4,24	0,79	0,68	2,89	1,50
1946	0,47	0,42	0,26	0,06	0,98	1,54	1,78	1,64	0,80	7,49	1,39	4,66	1,79
1953	0,51	0,44	0,05	0,05	0,08	0,94	1,23	1,53	6,08	6,38	0,74	0,17	1,52
1954	2,49	8,82	2,83	0,70	0,62	4,97	9,02	2,79	2,27	2,80	0,54	0,06	3,16
1955	0,49	0,26	0,40	2,30	3,82	4,13	2,61	2,94	2,38	4,83	0,55	0,22	2,08
1956	4,15	4,06	0,39	3,34	0,74	0,61	0,82	1,39	0,81	1,40	0,62	0,10	1,54
1957	0,50	0,33	0,05	0,06	1,70	4,34	7,14	0,88	3,37	0,78	1,76	0,96	1,82
1958	3,25	2,21	1,52	1,02	1,35	2,03	1,68	6,13	3,46	7,26	0,90	4,12	2,91
1959	1,41	4,98	1,04	5,62	4,68	5,38	1,73	3,57	3,72	2,63	0,69	0,23	2,97
1960	0,05	0,05	0,05	0,08	0,15	2,55	3,73	3,86	4,23	0,81	0,87	0,11	1,38
1961	0,05	0,17	2,95	3,94	2,83	3,75	3,84	0,84	4,86	5,60	0,77	0,32	2,49
1962	0,05	0,09	0,77	1,31	0,62	0,47	0,37	1,20	1,37	0,72	0,18	0,05	0,60
1963	0,19	0,17	0,09	0,13	0,32	0,37	0,53	1,47	5,59	6,27	4,70	0,77	1,72
1964	0,13	0,17	0,19	1,88	0,61	0,47	0,43	3,01	4,37	2,71	0,74	0,97	1,31
1965	0,34	0,05	0,05	1,86	0,89	1,63	1,04	6,04	6,04	3,65	2,02	0,37	2,00
1966	0,05	0,43	6,65	2,65	0,77	1,44	7,12	2,12	3,62	4,77	2,43	4,52	3,05
1967	0,62	0,43	1,34	0,14	0,67	0,42	1,39	4,31	4,95	3,08	1,89	0,19	1,62
1968	0,05	0,07	1,16	2,02	0,82	0,81	1,32	0,71	0,94	1,62	3,87	0,33	1,14
1969	1,01	2,13	0,68	1,35	3,25	3,89	1,67	1,82	0,87	0,68	1,26	0,31	1,58
1970	0,17	0,21	0,13	0,98	2,93	6,98	2,93	1,47	0,74	2,26	0,90	0,73	1,70
1971	0,69	0,84	3,06	0,63	0,51	3,56	3,23	4,52	0,74	0,53	0,18	0,05	1,55
1972	0,58	0,60	3,82	1,52	1,46	4,94	4,13	9,29	5,74	4,05	2,05	0,47	3,22
1973	0,12	2,59	0,94	2,40	3,61	1,36	6,89	4,22	1,37	0,79	0,60	0,09	2,08
1974	0,53	0,85	0,65	0,37	0,08	1,38	0,98	2,71	1,27	0,78	0,36	0,15	0,84
1975	0,12	0,12	1,00	0,74	0,61	2,77	1,01	5,42	4,04	0,73	0,51	0,75	1,49
1976	0,47	0,32	1,33	1,34	1,01	1,68	4,48	2,16	1,39	1,00	2,33	0,64	1,51
1977	1,96	0,81	0,65	4,14	0,80	0,68	8,37	3,71	1,10	0,75	2,33	1,40	2,22
1978	0,50	0,36	0,05	0,05	0,07	0,15	1,51	0,85	1,63	0,87	6,58	0,89	1,13
1979	0,18	0,05	0,07	0,54	1,84	0,77	2,91	3,11	4,79	6,04	0,84	0,63	1,81
1980	0,11	0,05	1,20	0,60	1,04	1,06	4,36	0,85	0,70	1,75	1,11	0,71	1,13
1981	1,73	0,81	0,49	0,05	0,05	1,57	1,32	0,76	0,66	0,68	0,29	0,18	0,72
1982	0,93	4,43	0,99	0,32	1,96	7,62	6,86	6,56	4,44	7,89	5,82	1,02	4,07
1983	0,67	0,97	3,19	4,66	6,68	4,57	6,94	1,47	0,70	0,75	0,50	0,08	2,60
1984	0,07	0,11	0,05	6,19	11,72	8,13	6,26	1,48	4,58	1,21	1,76	0,70	3,52
1985	0,13	0,09	0,36	5,62	2,22	3,69	6,83	4,22	3,90	0,80	0,39	0,05	2,36
1986	0,04	0,60	4,68	5,91	5,01	3,00	2,68	6,62	3,62	1,13	6,64	0,61	3,38
1987	0,53	0,09	0,22	3,98	2,32	4,85	9,60	4,69	1,91	2,03	0,90	0,41	2,63
Média	0,75	1,00	1,06	2,06	2,46	3,03	3,54	3,17	2,82	2,85	1,69	0,89	2,11
Máx.	4,15	8,82	6,65	13,60	15,23	8,27	9,60	9,29	6,08	7,89	7,20	4,67	8,45
Mín.	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,15	0,37	0,71	0,66	0,53	0,18	0,05	0,24

Quadro B.5: Série de vazões médias mensais em Cerro Grande (m<sup>3</sup>/s)A = 155,3 Km<sup>2</sup>

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1939	0,84	0,14	0,43	0,36	5,38	8,52	1,52	4,40	7,50	6,98	3,77	1,79	3,47
1940	7,24	1,47	1,18	6,90	15,53	15,05	10,46	6,80	5,04	6,27	1,68	8,59	7,18
1941	2,81	1,86	1,09	24,95	27,96	12,02	9,89	12,53	4,81	5,18	13,21	2,77	9,92
1942	0,40	1,23	0,95	2,27	15,49	3,65	2,82	11,57	1,51	12,21	1,24	0,30	4,47
1943	0,11	1,84	0,60	0,86	2,10	1,41	8,34	1,87	4,13	1,38	0,82	0,22	1,97
1944	1,56	0,49	0,18	1,30	1,03	15,14	2,00	4,51	2,87	12,50	1,60	0,26	3,62
1945	0,10	0,10	0,10	0,09	0,16	2,61	7,98	6,09	7,77	1,47	1,26	5,30	2,75
1946	0,88	0,79	0,49	0,12	1,82	2,76	3,27	3,00	1,49	13,74	2,54	8,56	3,29
1953	0,96	0,81	0,11	0,10	0,16	1,74	2,19	2,80	11,16	11,71	1,37	0,33	2,79
1954	4,54	16,19	5,20	1,30	1,15	9,08	16,56	5,12	4,17	5,14	1,02	0,13	5,80
1955	0,90	0,48	0,75	4,18	7,02	7,58	4,79	5,39	4,38	8,87	1,03	0,41	3,81
1956	7,59	7,47	0,74	6,12	1,38	1,13	1,52	2,52	1,50	2,56	1,15	0,21	2,82
1957	0,93	0,60	0,10	0,12	3,12	7,91	13,11	1,63	6,18	1,44	3,23	1,77	3,34
1958	5,95	4,04	2,81	1,88	2,47	3,72	3,08	11,26	6,36	13,33	1,66	7,54	5,34
1959	2,60	9,12	1,92	10,30	8,60	9,86	3,19	6,53	6,83	4,82	1,29	0,44	5,46
1960	0,11	0,11	0,11	0,16	0,29	4,59	6,85	7,09	7,76	1,50	1,61	0,22	2,53
1961	0,11	0,32	5,36	7,23	5,20	6,88	7,06	1,53	8,92	10,28	1,42	0,60	4,58
1962	0,10	0,18	1,42	2,39	1,14	0,88	0,69	2,20	2,43	1,34	0,35	0,10	1,10
1963	0,36	0,32	0,17	0,26	0,59	0,67	0,97	2,65	10,27	11,50	8,63	1,42	3,15
1964	0,26	0,32	0,35	3,47	1,13	0,87	0,80	5,48	8,03	4,98	1,38	1,80	2,41
1965	0,63	0,10	0,11	3,43	1,62	2,94	1,91	11,07	11,08	6,70	3,71	0,69	3,67
1966	0,11	0,80	12,16	4,87	1,43	2,62	13,08	3,89	6,66	8,75	4,47	8,29	5,59
1967	1,16	0,81	2,47	0,26	1,24	0,78	2,51	7,92	9,10	5,65	3,49	0,37	2,98
1968	0,10	0,15	2,15	3,64	1,52	1,49	2,41	1,31	1,73	2,94	7,11	0,61	2,10
1969	1,86	3,91	1,25	2,49	5,91	7,16	3,06	3,33	1,59	1,27	2,32	0,58	2,89
1970	0,32	0,39	0,25	1,81	5,34	12,82	5,40	2,69	1,38	4,13	1,66	1,36	3,13
1971	1,28	1,55	5,58	1,18	0,95	6,49	5,93	8,32	1,37	0,98	0,34	0,11	2,84
1972	1,06	1,10	6,96	2,81	2,67	9,07	7,59	17,05	10,53	7,44	3,78	0,87	5,91
1973	0,24	4,72	1,73	4,39	6,65	2,48	12,64	7,75	2,52	1,46	1,12	0,17	3,82
1974	0,98	1,56	1,19	0,68	0,16	2,54	1,76	4,97	2,34	1,44	0,68	0,28	1,55
1975	0,22	0,23	1,83	1,36	1,12	5,03	1,86	9,93	7,43	1,36	0,95	1,38	2,77
1976	0,87	0,58	2,45	2,45	1,84	3,08	8,24	3,97	2,55	1,82	4,29	1,19	2,77
1977	3,57	1,50	1,21	7,59	1,49	1,26	15,33	6,82	2,02	1,39	4,25	2,59	4,09
1978	0,93	0,68	0,11	0,10	0,14	0,30	2,69	1,58	2,99	1,62	12,06	1,64	2,07
1979	0,34	0,10	0,14	1,01	3,37	1,40	5,30	5,71	8,79	11,08	1,55	1,17	3,33
1980	0,22	0,10	2,20	1,11	1,92	1,94	7,96	1,57	1,29	3,19	2,04	1,31	2,07
1981	3,18	1,50	0,91	0,11	0,11	2,88	2,37	1,41	1,23	1,25	0,55	0,34	1,32
1982	1,72	8,09	1,84	0,60	3,58	13,97	12,59	12,05	8,14	14,50	10,68	1,86	7,47
1983	1,25	1,79	5,83	8,54	12,27	8,38	12,73	2,71	1,29	1,39	0,92	0,17	4,77
1984	0,15	0,21	0,11	11,29	21,51	14,92	11,50	2,72	8,40	2,24	3,23	1,29	6,46
1985	0,25	0,18	0,66	10,28	4,07	6,76	12,55	7,75	7,16	1,49	0,73	0,10	4,33
1986	0,10	1,12	8,51	10,86	9,18	5,51	4,93	12,16	6,64	2,07	12,17	1,14	6,20
1987	0,99	0,18	0,42	7,28	4,26	8,91	17,61	8,61	3,51	3,74	1,67	0,76	4,83
Média	1,39	1,84	1,96	3,78	4,51	5,55	6,49	5,82	5,18	5,23	3,12	1,65	3,88
Máx.	7,59	16,19	12,16	24,95	27,96	15,14	17,61	17,05	11,16	14,50	13,21	8,59	15,51
Mín.	0,10	0,10	0,10	0,09	0,11	0,30	0,69	1,31	1,23	0,98	0,34	0,10	0,45

Quadro B.6: Série de vazões médias mensais em Cerro Bepão (m<sup>3</sup>/s)A = 223,9 Km<sup>2</sup>

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1939	1,24	0,22	0,63	0,53	7,70	12,28	2,21	6,31	10,81	10,06	5,44	2,60	5,00
1940	10,42	2,14	1,72	9,91	22,39	21,70	15,07	9,81	7,28	9,05	2,41	12,39	10,36
1941	4,05	2,67	1,60	35,94	40,31	17,34	14,26	18,06	6,94	7,48	19,03	3,99	14,31
1942	0,60	1,80	1,38	3,27	22,28	5,27	4,05	16,69	2,20	17,58	1,81	0,46	6,45
1943	0,18	2,67	0,86	1,23	3,04	2,02	11,96	2,68	5,96	2,01	1,21	0,33	2,85
1944	2,26	0,72	0,28	1,89	1,49	21,76	2,90	6,50	4,15	18,01	2,33	0,40	5,22
1945	0,17	0,17	0,17	0,16	0,25	3,75	11,36	8,79	11,20	2,15	1,83	7,61	3,97
1946	1,29	1,15	0,72	0,19	2,64	3,90	4,72	4,32	2,18	19,79	3,65	12,35	4,74
1953	1,40	1,19	0,18	0,17	0,25	2,52	3,11	3,98	16,09	16,88	2,00	0,50	4,02
1954	6,51	23,33	7,52	1,90	1,68	13,03	23,88	7,39	6,01	7,41	1,49	0,21	8,36
1955	1,31	0,69	1,08	5,96	10,13	10,93	6,90	7,77	6,32	12,78	1,52	0,61	5,50
1956	10,89	10,77	1,09	8,80	2,01	1,65	2,19	3,57	2,19	3,67	1,69	0,32	4,07
1957	1,36	0,87	0,17	0,19	4,52	11,32	18,91	2,37	8,89	2,10	4,65	2,57	4,83
1958	8,56	5,81	4,07	2,73	3,53	5,36	4,45	16,23	9,17	19,23	2,42	10,85	7,70
1959	3,76	13,11	2,78	14,84	12,41	14,21	4,62	9,40	9,84	6,96	1,88	0,65	7,87
1960	0,18	0,18	0,18	0,26	0,43	6,52	9,84	10,21	11,19	2,19	2,33	0,34	3,65
1961	0,18	0,47	7,65	10,43	7,49	9,92	10,17	2,23	12,84	14,83	2,08	0,88	6,60
1962	0,17	0,28	2,07	3,44	1,64	1,27	1,01	3,19	3,40	1,95	0,52	0,17	1,59
1963	0,54	0,48	0,26	0,39	0,85	0,96	1,40	3,73	14,80	16,58	12,44	2,08	4,54
1964	0,40	0,48	0,52	5,01	1,64	1,27	1,17	7,81	11,57	7,18	2,01	2,62	3,47
1965	0,92	0,17	0,18	4,95	2,34	4,18	2,75	15,95	15,98	9,66	5,37	1,02	5,29
1966	0,18	1,16	17,45	7,02	2,09	3,79	18,81	5,61	9,62	12,60	6,45	11,96	8,06
1967	1,70	1,19	3,57	0,39	1,81	1,12	3,56	11,41	13,13	8,15	5,04	0,56	4,30
1968	0,17	0,24	3,11	5,14	2,21	2,16	3,46	1,92	2,52	4,18	10,27	0,91	3,0
1969	2,70	5,66	1,81	3,60	8,46	10,34	4,42	4,80	2,29	1,85	3,36	0,86	4,18
1970	0,48	0,58	0,38	2,62	7,65	18,48	7,80	3,88	2,01	5,92	2,41	1,98	4,52
1971	1,85	2,23	8,00	1,72	1,39	9,31	8,55	12,00	2,00	1,43	0,51	0,17	4,10
1972	1,52	1,58	9,97	4,05	3,84	13,07	10,95	24,57	15,18	10,72	5,46	1,28	8,52
1973	0,36	6,75	2,52	6,31	9,61	3,56	18,23	11,18	3,64	2,13	1,63	0,27	5,52
1974	1,42	2,25	1,72	0,99	0,24	3,67	2,48	7,15	3,38	2,10	1,01	0,43	2,24
1975	0,34	0,34	2,63	1,96	1,62	7,18	2,68	14,31	10,72	1,98	1,39	2,00	3,93
1976	1,26	0,85	3,55	3,54	2,60	4,45	11,88	5,73	3,67	2,60	6,20	1,73	4,00
1977	5,11	2,18	1,77	10,91	2,16	1,84	22,05	9,84	2,91	2,03	6,09	3,75	5,89
1978	1,36	1,00	0,19	0,17	0,23	0,45	3,76	2,30	4,30	2,35	17,36	2,37	2,99
1979	0,52	0,17	0,22	1,46	4,86	2,02	7,56	8,25	12,66	15,98	2,26	1,70	4,80
1980	0,34	0,18	3,18	1,60	2,77	2,81	11,41	2,28	1,88	4,55	2,96	1,91	2,99
1981	4,60	2,17	1,32	0,18	0,19	4,15	3,34	2,06	1,79	1,81	0,80	0,50	1,91
1982	2,50	11,58	2,66	0,89	5,17	20,09	18,15	17,36	11,74	20,90	15,41	2,68	10,76
1983	1,83	2,59	8,38	12,30	17,68	12,09	18,35	3,92	1,89	2,02	1,34	0,26	6,89
1984	0,24	0,32	0,18	16,16	31,00	21,51	16,59	3,93	12,09	3,24	4,65	1,88	9,32
1985	0,39	0,28	0,97	14,75	5,87	9,74	18,09	11,18	10,32	2,17	1,08	0,17	6,25
1986	0,16	1,62	12,16	15,68	13,22	7,94	7,12	17,52	9,58	3,00	17,54	1,67	8,93
1987	1,44	0,28	0,61	10,45	6,14	12,86	25,37	12,41	5,06	5,41	2,43	1,12	6,97
Média	2,02	2,66	2,82	5,44	6,51	8,00	9,34	8,39	7,47	7,55	4,51	2,40	5,59
Máx.	10,89	23,33	17,45	35,94	40,31	21,76	25,37	24,57	16,09	20,90	19,03	12,39	22,34
Mín.	0,16	0,17	0,17	0,16	0,19	0,45	1,01	1,92	1,79	1,43	0,51	0,17	0,68

## ANEXO C

## CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES

A curva de permanência relata a relação entre a vazão do rio e a porcentagem do tempo em que a referida vazão é maior ou igual ao valor especificado. Embora com limitações, a curva de permanência pode servir à estimativa preliminar dos volumes de reservação necessários para regularizar uma determinada vazão.

Para construir a curva de permanência, agrupam-se os dados em intervalos de classe que, em geral, devem apresentar amplitude variável, já que o padrão de variabilidade das vazões não permite estabelecer intervalos de classe constantes. Neste estudo, em particular, optou-se por calcular em escala logarítmica, com intervalos constantes, retornando-se em seguida à escala original.

A amplitude de cada intervalo pode ser determinada por:

$$d = [\ln(Q_{max}) - \ln(Q_{min})]/n ,$$

onde:

$Q_{max}$  - vazão máxima da série;

$Q_{min}$  - vazão mínima da série;

$n$  - número de intervalos de classe adotados.

Os limites inferiores dos intervalos podem ser calculados por:

$$Q_i = EXP[\ln(Q_{min}) + (i - 1)d] ,$$

onde  $Q_i$  é o limite inferior do intervalo  $i$ .

Nos quadros C.1 a C.6, são apresentados os resultados do cálculo da curva de permanência de vazões diárias para cada seção de interesse. A graficação das curvas de permanência encontra-se nas figuras C.1 a C.6.

Quadro C.1: Determinação da curva de permanência de vazões diárias em Val de Serra

Intervalos de vazões (m <sup>3</sup> /s)		n	n acum.	Prob (%)
0.010	0.016	1958	15705	100.00
0.016	0.024	177	13747	87.53
0.024	0.038	134	13570	86.41
0.038	0.059	329	13436	85.55
0.059	0.092	639	13107	83.46
0.092	0.144	876	12468	79.39
0.144	0.224	1391	11592	73.81
0.224	0.349	3067	10201	64.95
0.349	0.544	2261	7134	45.43
0.544	0.848	1040	4873	31.03
0.848	1.322	875	3833	24.41
1.322	2.060	757	2958	18.83
2.060	3.212	693	2201	14.01
3.212	5.007	554	1508	9.60
5.007	7.805	455	954	6.07
7.805	12.167	294	499	3.18
12.167	18.968	163	205	1.31
18.968	29.569	25	42	0.27
29.569	46.096	11	17	0.11
46.096	71.860	6	6	0.04

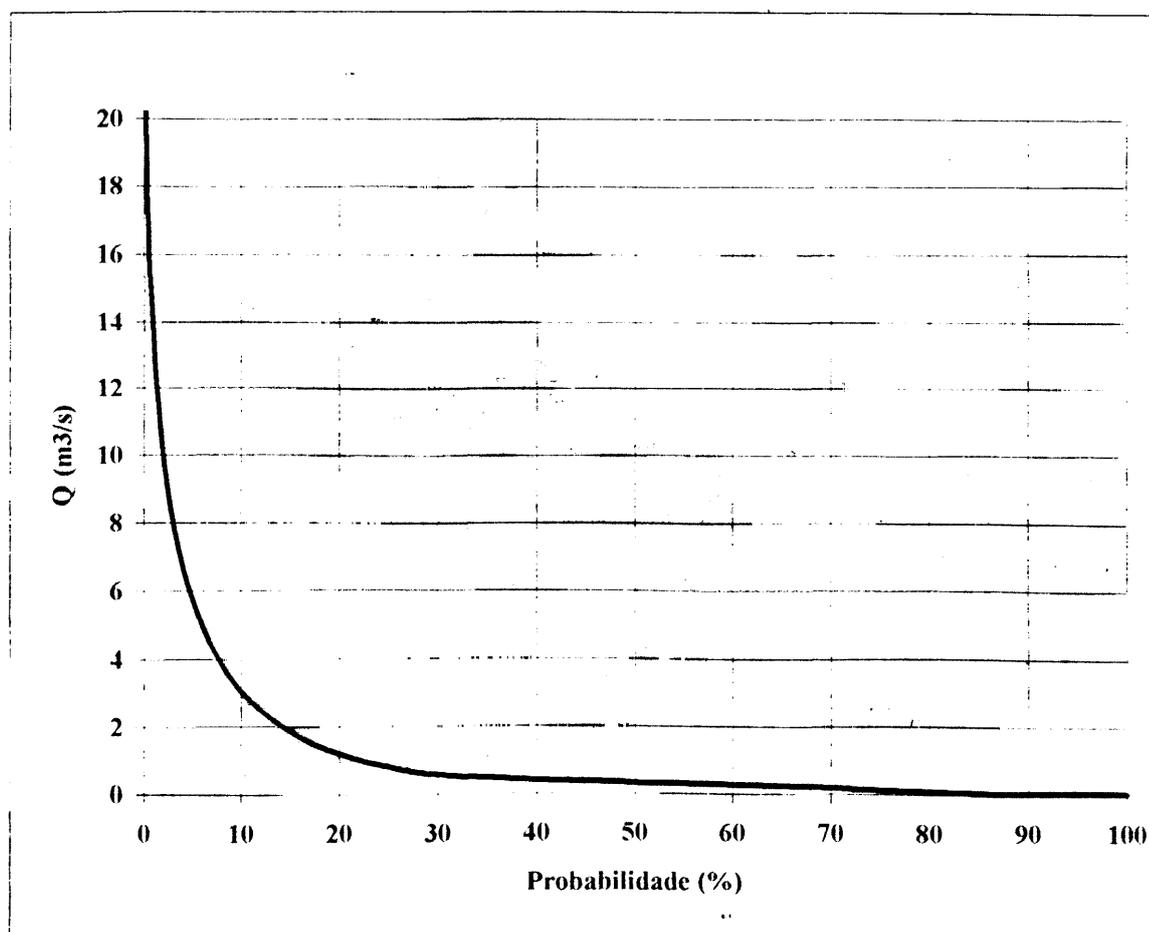


Figura C.1: Curva de permanência de vazões diárias em Val de Serra

Quadro C.2: Determinação da curva de permanência de vazões diárias em Val Serra Jusante

Intervalos de vazões (m <sup>3</sup> /s)		n	n acum.	Prob. (%)
0,010	0,016	359	15705	100,00
0,016	0,025	1721	15346	97,71
0,025	0,038	137	13625	86,76
0,038	0,060	443	13488	85,88
0,060	0,094	441	13045	83,06
0,094	0,148	772	12604	80,25
0,148	0,231	1404	11832	75,34
0,231	0,362	2931	10428	66,40
0,362	0,568	2488	7497	47,74
0,568	0,889	1071	5009	31,89
0,889	1,393	899	3938	25,07
1,393	2,182	774	3039	19,35
2,182	3,417	693	2265	14,42
3,417	5,353	570	1572	10,01
5,353	8,384	490	1002	6,38
8,384	13,133	300	512	3,26
13,133	20,571	166	212	1,35
20,571	32,223	29	46	0,29
32,223	50,473	11	17	0,11
50,473	79,060	6	6	0,04

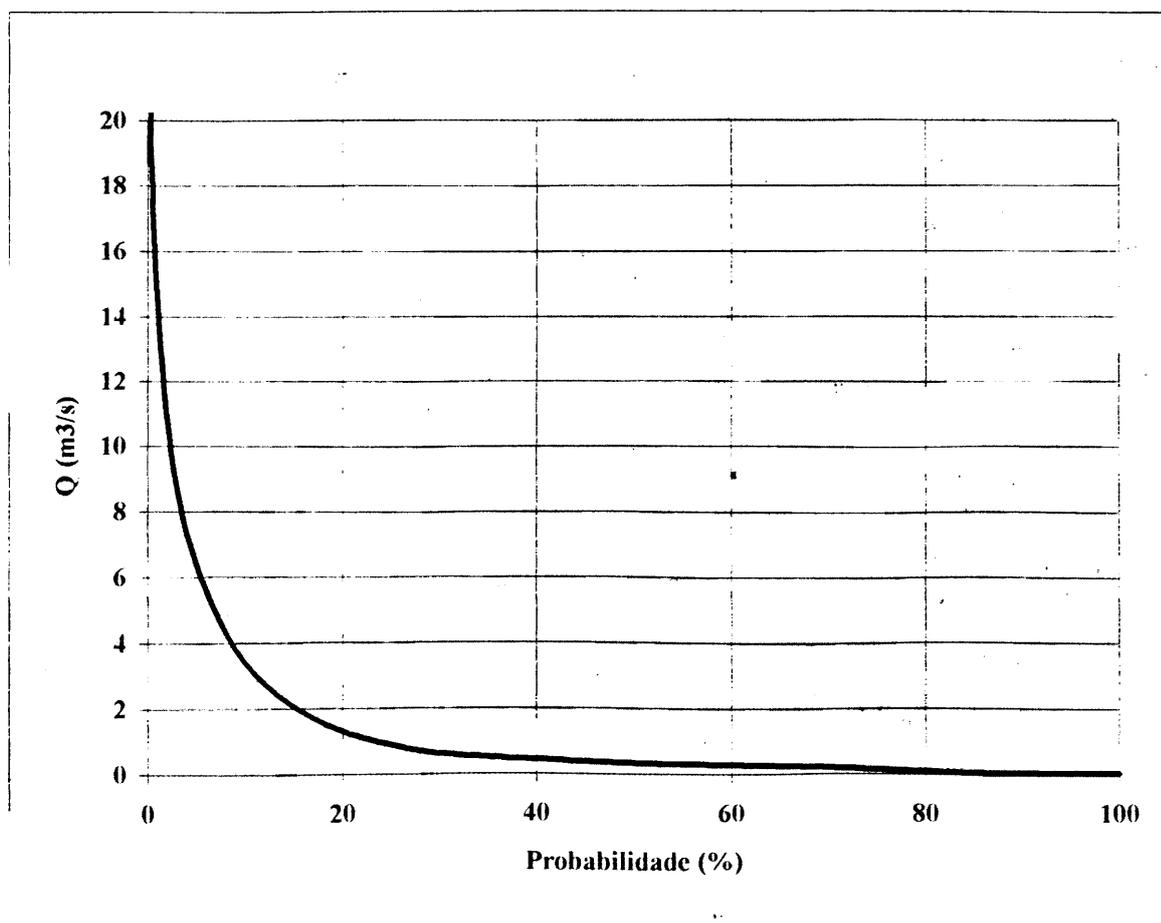


Figura C.2: Curva de permanência de vazões diárias em Val de Serra Jusante

Quadro C.3: Determinação da curva de permanência de vazões diárias em Intermediária

Intervalos de vazões (m <sup>3</sup> /s)		n	n acum.	Prob(%)
0,030	0,045	2107	15705	100,00
0,045	0,068	212	13598	86,58
0,068	0,101	495	13386	85,23
0,101	0,152	618	12891	82,08
0,152	0,228	929	12273	78,15
0,228	0,342	1628	11344	72,23
0,342	0,513	3053	9716	61,87
0,513	0,770	1796	6663	42,43
0,770	1,155	991	4867	30,99
1,155	1,733	821	3876	24,68
1,733	2,600	681	3055	19,45
2,600	3,900	668	2374	15,12
3,900	5,852	553	1706	10,86
5,852	8,779	475	1153	7,34
8,779	13,171	318	678	4,32
13,171	19,759	250	360	2,29
19,759	29,644	80	110	0,70
29,644	44,474	18	30	0,19
44,474	66,722	7	12	0,08
66,722	100,100	5	5	0,03

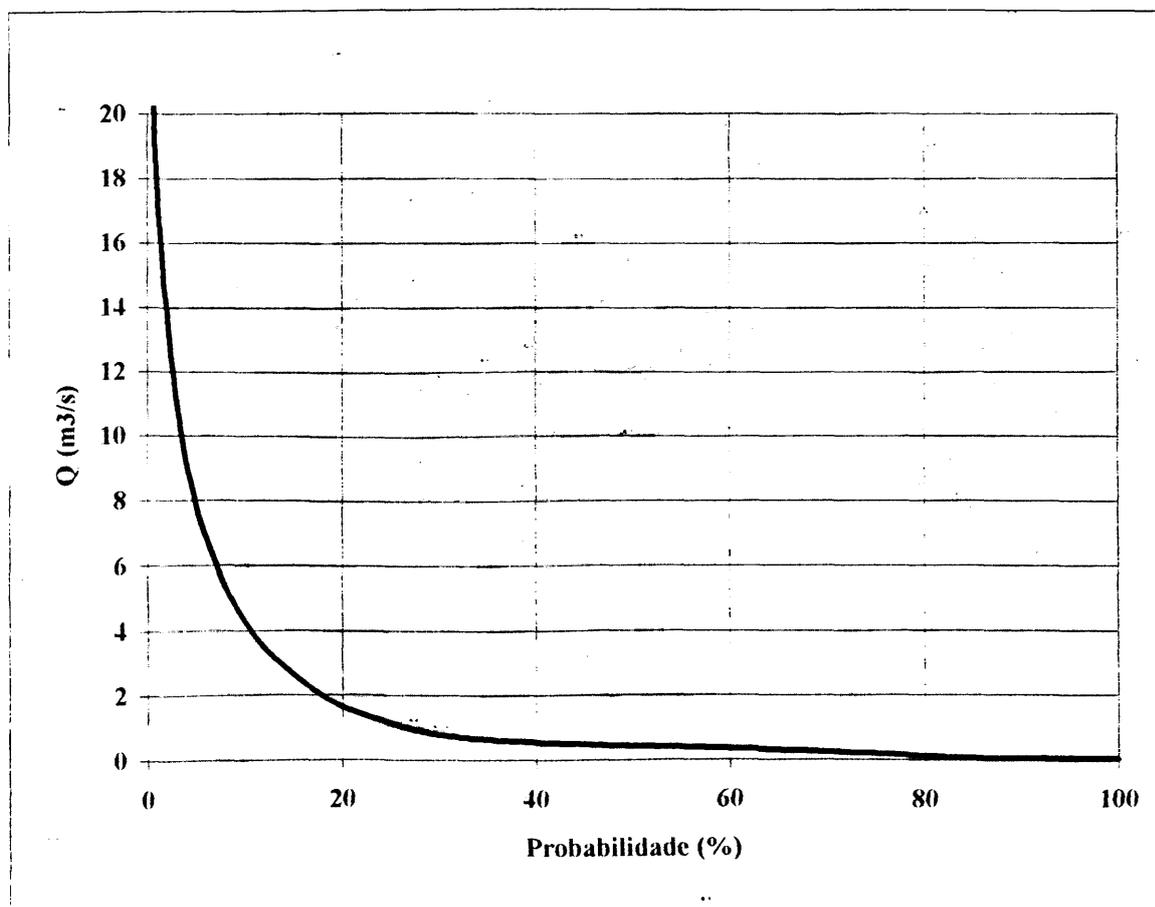


Figura C.3: Curva de permanência de vazões diárias em Intermediária

Quadro C.4: Determinação da curva de permanência de vazões diárias em Saturnino de Brito

Intervalos de vazões (m <sup>3</sup> /s)		n	n acum.	Prob (%)
0,040	0,060	2149	15705	100.00
0,060	0,090	238	13556	86.32
0,090	0,135	366	13318	84.80
0,135	0,203	641	12952	82.47
0,203	0,305	972	12311	78.39
0,305	0,458	1482	11339	72.20
0,458	0,688	3053	9857	62.76
0,688	1,032	1938	6804	43.32
1,032	1,550	984	4866	30.98
1,550	2,327	810	3882	24.72
2,327	3,494	692	3072	19.56
3,494	5,245	661	2380	15.15
5,245	7,874	560	1719	10.95
7,874	11,822	478	1159	7.38
11,822	17,748	319	681	4.34
17,748	26,646	251	362	2.30
26,646	40,004	81	111	0.71
40,004	60,059	18	30	0.19
60,059	90,167	6	12	0.08
90,167	135,370	6	6	0.04

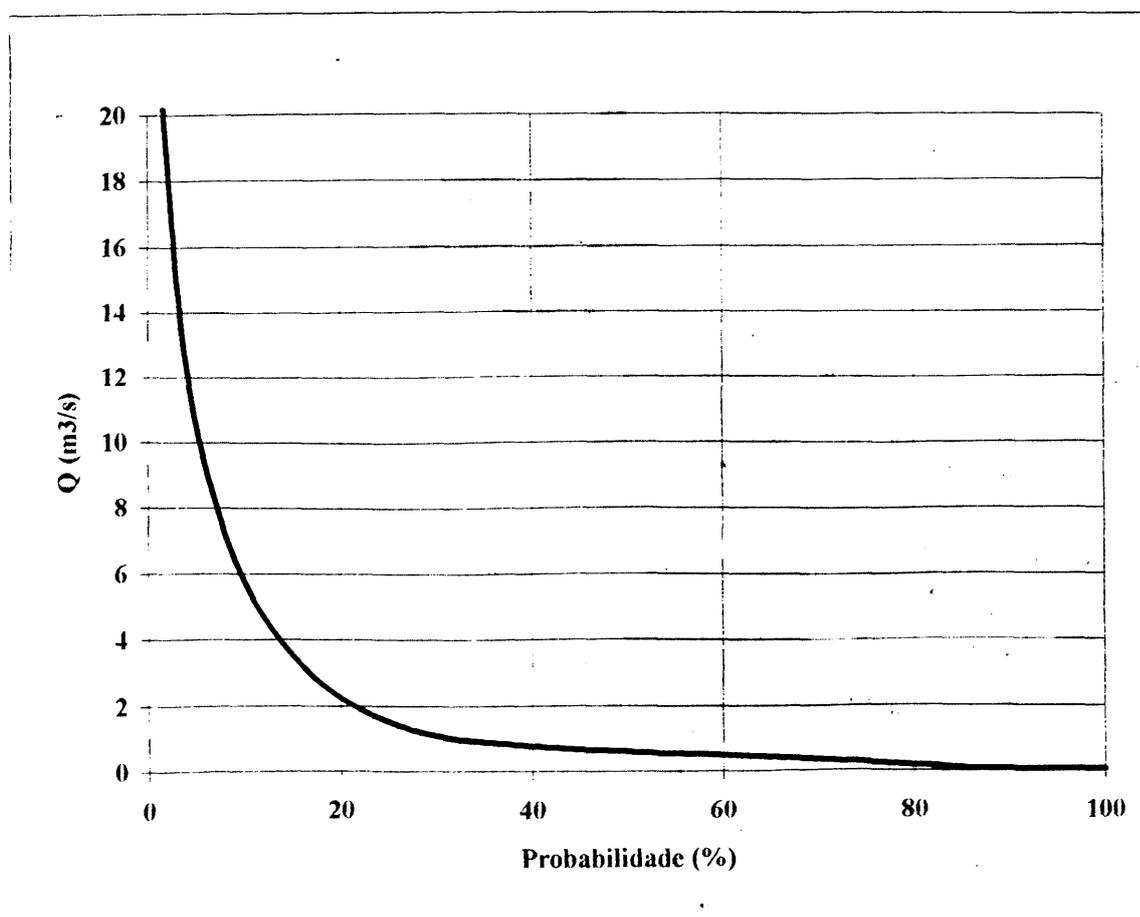


Figura C.4: Curva de permanência de vazões diárias em Sat. de Brito

Quadro C.5: Determinação da curva de permanência de vazões diárias em Cerro Grande

Intervalos de vazões (m <sup>3</sup> /s)		n	n acum.	Prob (%)
0,080	0,120	2036	15705	100,00
0,120	0,179	289	13669	87,04
0,179	0,267	456	13380	85,20
0,267	0,400	644	12924	82,29
0,400	0,597	1088	12280	78,19
0,597	0,893	1723	11192	71,26
0,893	1,335	3091	9469	60,29
1,335	1,995	1657	6378	40,61
1,995	2,983	940	4721	30,06
2,983	4,459	776	3781	24,08
4,459	6,665	696	3005	19,13
6,665	9,963	650	2309	14,70
9,963	14,894	540	1659	10,56
14,894	22,265	460	1119	7,13
22,265	33,284	307	659	4,20
33,284	49,757	247	352	2,24
49,757	74,381	75	105	0,67
74,381	111,191	18	30	0,19
111,191	166,219	7	12	0,08
166,219	248,480	5	5	0,03

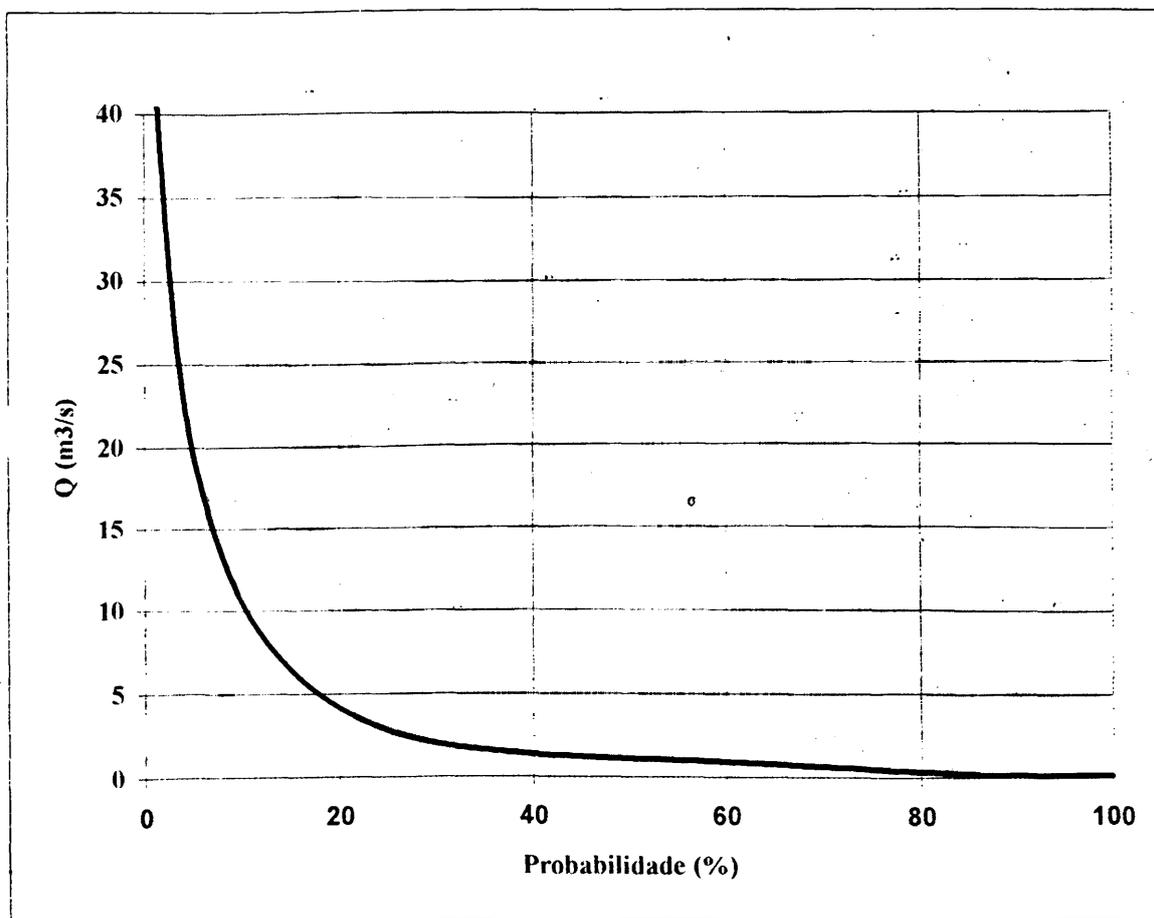


Figura C.5: Curva de permanência de vazões diárias em Cerro Grande.

Quadro C.6: Determinação da curva de permanência de vazões diárias em Cerro Bepão

Intervalos de vazões (m <sup>3</sup> /s)		n	n acum.	Prob(%)
0.150	0.221	2181	15705	100,00
0.221	0.327	290	13524	86,11
0.327	0.482	594	13234	84,27
0.482	0.711	828	12640	80,48
0.711	1.049	1244	11812	75,21
1.049	1.547	2345	10568	67,29
1.547	2.282	2753	8223	52,36
2.282	3.367	1135	5470	34,83
3.367	4.968	848	4335	27,60
4.968	7.330	743	3487	22,20
7.330	10.814	651	2744	17,47
10.814	15.955	591	2093	13,33
15.955	23.540	475	1502	9,56
23.540	34.730	438	1027	6,54
34.730	51.240	293	589	3,75
51.240	75.598	213	296	1,88
75.598	111.535	55	83	0,53
111.535	164.555	16	28	0,18
164.555	242.780	7	12	0,08
242.780	358.190	5	5	0,03

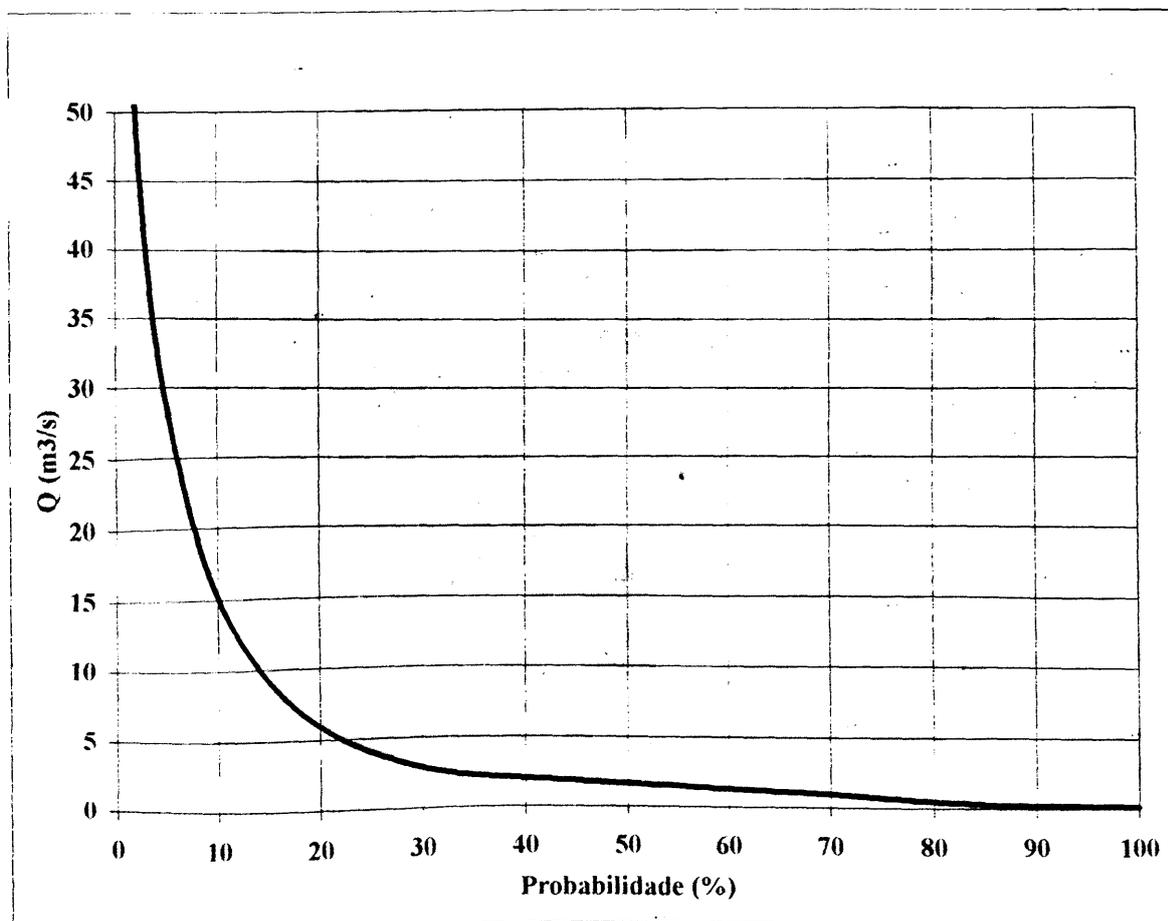


Figura C.6: Curva de permanência de vazões diárias em Cerro Bepão.