

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E
SANEAMENTO

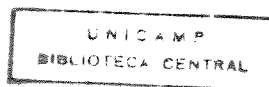
DETERMINAÇÃO DE REGRAS OPERACIONAIS
PARA UM SISTEMA DE RESERVATÓRIOS
DE MÚLTIPLOS USOS

*Declaro que este
é a versão definitiva
da Dissertação
de V. H. Lorini
26/8/93*

Hector C.J. Lorini [Bergmann 454
orientado pelo Prof. Dr. Valter [Hernandez n

Dissertação de Mestrado

AGOSTO , 1993



Titulares

Prof.Dr.Valter Hernandez (Orientador) - **FEC-UNICAMP**

Prof.Dr.Ruben La Laina Porto - **Escola Politécnica da USP**

Prof.Dr.Paulo Sergio Barbosa Franco - **FEC-UNICAMP**

Suplentes

Prof.Dr.Mário Thadeu Leme de Barros - **Escola Politécnica da USP**

Prof.Dr.José Roberto Bonilla - **FEC-UNICAMP**

DETERMINAÇÃO DE REGRAS OPERACIONAIS PARA UM SISTEMA DE RESERVATÓRIOS DE MÚLTIPLOS USOS

Este trabalho consiste no desenvolvimento de um modelo para a determinação de regras de operação, para um sistema de reservatórios com múltiplos usos da água. A metodologia utilizada baseou-se no trabalho de Mohammad Karamouz, a qual esta constituida de três etapas, uma de programação dinâmica, uma de regressão e uma de simulação, que funcionam dentro de um processo cíclico. A metodologia foi aplicada ao sistema Alto-Paraíba. Os usos da água considerados neste estudo foram a geração hidroenergética, as vazões mínimas a jusante do sistema, atendimento a irrigação e a vazão de bombeamento em Paraíba-Piraí. O modelo desenvolvido permitiu a análise do desempenho de diferentes variáveis do sistema, sujeitas às regras determinadas no processo cíclico.

DETERMINATION OF OPERATING RULES FOR MULTIPURPOSE MULTIPLE-RESERVOIR-SYSTEM

This work consist in the development of a model for the determination of operating rules for a multiple-reservoir-system with multiple uses of water. The methodology used was based on the work from Mohammad Karamouz, formed by three steps, dynamic programming, multiple regression and simulation, working in a cyclic procedure. The methodology was used in the Alto-Paraíba system. The water uses considered in this study were hydropower generation, irrigation, minimum flows downstream from the system, and pumping flow in Paraíba-Piraí. The model allowed in the analysis of the performance from different variables of the system, submitted to the rules achieved in the cyclic procedure.

.....

para Tania, Marlis
y Jorge.

Agradecimentos

Muitas pessoas contribuíram para a elaboração deste trabalho. Meus agradecimentos, principalmente, para Valter Hernandez, de quem sempre obtive apoio, confiança e incentivo. O companheirismo de Alexandre e Luiz, que contribuiu muito no desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço também o apoio do CNPq que possibilitou a realização desta dissertação de mestrado.

Conteúdo

1	Planejamento de Recursos Hídricos	1
1.1	Introdução	1
1.2	Objetivo	3
1.3	Justificativa	4
2	Revisão da Literatura	6
2.1	Programação Dinâmica	9
2.2	Simulação	14
2.3	Modelagem de Séries Hidrológicas	17
2.4	Aproveitamentos Hidroenergéticos no Brasil	18
3	Metodologia Adotada	20
3.1	Programa Dinâmico Determinístico	21
3.1.1	Função Objetivo	22
3.1.2	Equação da continuidade e restrições	27
3.2	Obtenção das Regras Operacionais	28
4	Programa Computacional	32
4.1	Etapa de Programação Dinâmica	32
4.2	Etapa de Regressão múltipla	35
4.3	Etapa de Simulação	36
5	Características do Estudo de caso	37
6	Aplicação do Modelo e Resultados	41
6.1	Modelo Simples	42
6.2	Modelo Múltiplo	49
7	Conclusões	66

A Gráficos de Médias, Desvio Padrão e Coeficiente de Correlação de primeira ordem das séries geradas	74
B Vazões Mensais dos Postos Utilizados	98
C Dados de Operação dos Reservatórios de Paraibuna e Jaguarí	109
D Curvas Cota-Area e Cota-Volume dos quatro Reservatórios	115
E Informações retiradas do Decreto N.68324, artigo 8, de 9 de março de 1971	120
F Listagem do Programa	124

Lista de Figuras

3.1	Gráfico de Perdas Utilizado por Karamouz	23
3.2	Algoritmo do Processo Cíclico	30
4.1	Níveis de Volume no tempo t e $t+1$	34
5.1	Representação esquemática do Sistema Alto-Paraíba	38
6.1	Volumes Úteis em Paraibuna-Paraitinga - Exemplo I	45
6.2	Potências em Paraibuna-Paraitinga - Exemplo I	45
6.3	Potências em Paraibuna-Paraitinga - Exemplo II	48
6.4	Volumes Úteis em Paraibuna-Paraitinga - Exemplo II	48
6.5	Potências em Paraibuna-Paraitinga - Exemplo -III	51
6.6	Potências em Santa Branca - Exemplo -III	51
6.7	Potências em Jaguari - Exemplo -III	52
6.8	Potências em Paraibuna-Paraitinga - Exemplo -IV	54
6.9	Potências em Funil - Exemplo -IV	54
6.10	Potências do sistema Alto-Paraíba - Exemplo -III	55
6.11	Volumes em Paraibuna-Paraitinga - Exemplo -III	56
6.12	Volumes em Santa Branca - Exemplo -III	56
6.13	Volumes em Paraibuna-Paraitinga - Exemplo -IV	58
6.14	Volumes em Funil - Exemplo -IV	58
6.15	Vazões a montante de Paraíba-Piraí - Exemplo -III	60
6.16	Potências em Paraibuna-Paraitinga para diferentes áreas de ir- rigação	62
6.17	Vazões Afluentes a montante de Funil para diferentes áreas de irrigação	62
6.18	Gráfico da Função Objetivo	63
A.1	Análise das médias nas séries geradas posto Paraibuna	75
A.2	Análise do desvio padrão nas séries geradas posto Paraibuna	75
A.3	Análise dos coeficientes de correlação nas séries geradas posto Paraibuna	76

A.4	Análise das médias nas séries geradas posto Santa Branca	76
A.5	Análise do desvio padrão nas séries geradas posto Santa Branca	77
A.6	Análise dos coeficientes de correlação nas séries geradas posto Santa Branca	77
A.7	Análise das médias nas séries geradas posto Jaguari	78
A.8	Análise do desvio padrão nas séries geradas posto Jaguari	78
A.9	Análise dos coeficientes de correlação nas séries geradas posto Jaguari	79
A.10	Análise das médias nas séries geradas posto Funil	79
A.11	Análise do desvio padrão nas séries geradas posto Funil	80
A.12	Análise dos coeficientes de correlação nas séries geradas posto Funil	80
A.13	Análise das médias nas séries geradas posto Santa Cecília	81
A.14	Análise do desvio padrão nas séries geradas posto Santa Cecília	81
A.15	Análise dos coeficientes de correlação nas séries geradas posto Santa Cecília	82
A.16	Correlacao cruzada de ordem 0 entre Paraibuna e Sta.Branca . .	83
A.17	Correlacao cruzada de ordem 0 entre Paraibuna e Jaguari	83
A.18	Correlacao cruzada de ordem 0 entre Paraibuna e Funil	84
A.19	Correlacao cruzada de ordem 0 entre Paraibuna e Sta.Cecilia . .	84
A.20	Correlacao cruzada de ordem 0 entre Sta.Branca e Jaguari	85
A.21	Correlacao cruzada de ordem 0 entre Sta.Branca e Funil	85
A.22	Correlacao cruzada de ordem 0 entre Sta.Branca e Sta.Cecilia .	86
A.23	Correlacao cruzada de ordem 0 entre Jaguari e Funil	86
A.24	Correlacao cruzada de ordem 0 entre Jaguari e Sta.Cecilia . . .	87
A.25	Correlacao cruzada de ordem 0 entre Funil e Sta.Cecilia	87
A.26	Correlacao cruzada de ordem 1 entre Paraibuna e Sta.Branca . .	88
A.27	Correlacao cruzada de ordem 1 entre Paraibuna e Jaguari	88
A.28	Correlacao cruzada de ordem 1 entre Paraibuna e Funil	89
A.29	Correlacao cruzada de ordem 1 entre Paraibuna e Sta.Cecilia . .	89
A.30	Correlacao cruzada de ordem 1 entre Sta.Branca e Jaguari	90
A.31	Correlacao cruzada de ordem 1 entre Sta.Branca e Funil	90
A.32	Correlacao cruzada de ordem 1 entre Sta.Branca e Sta.Cecilia .	91
A.33	Correlacao cruzada de ordem 1 entre Jaguari e Funil	91
A.34	Correlacao cruzada de ordem 1 entre Jaguari e Sta.Cecilia . . .	92
A.35	Correlacao cruzada de ordem 1 entre Funil e Sta.Cecilia	92
A.36	Correlacao cruzada de ordem 2 entre Paraibuna e Sta.Branca . .	93
A.37	Correlacao cruzada de ordem 2 entre Paraibuna e Jaguari	93
A.38	Correlacao cruzada de ordem 2 entre Paraibuna e Funil	94
A.39	Correlacao cruzada de ordem 2 entre Paraibuna e Sta.Cecilia . .	94

A.40	Correlacao cruzada de ordem 2 entre Sta.Branca e Jaguari . . .	95
A.41	Correlacao cruzada de ordem 2 entre Sta.Branca e Funil	95
A.42	Correlacao cruzada de ordem 2 entre Sta.Branca e Sta.Cecilia .	96
A.43	Correlacao cruzada de ordem 2 entre Jaguari e Funil	96
A.44	Correlacao cruzada de ordem 2 entre Jaguari e Sta.Cecilia . . .	97
A.45	Correlacao cruzada de ordem 2 entre Funil e Sta.Cecilia	97
D.1	Curva Cota - Área do Reservatório Paraibuna - Paraitinga . . .	116
D.2	Curva Cota - Volume do Reservatório Paraibuna - Paraitinga . .	116
D.3	Curva Cota - Área do Reservatório Santa Branca	117
D.4	Curva Cota - Volume do Reservatório Santa Branca	117
D.5	Curva Cota - Área do Reservatório Jaguari	118
D.6	Curva Cota - Volume do Reservatório Jaguari	118
D.7	Curva Cota - Área do Reservatório Funil	119
D.8	Curva Cota - Volume do Reservatório Funil	119

Lista de Tabelas

5.1	Tabela de dados dos Reservatórios	39
5.2	Tabela de dados dos Polders utilizados	40
6.1	Regras determinadas pelo modelo simples - Exemplo I	43
6.2	Resultados das séries geradas no modelo simples	46
6.3	Faixa de variação do modelo simples	47
6.4	Regras determinadas pelo modelo simples - Exemplo II	47
6.5	Desempenho da Função Objetivo - Exemplo - III	50
6.6	Desempenho da Função Objetivo - Exemplo - IV	53
6.7	Parâmetros de Confiabilidade de Potência - Exemplo III	59
6.8	Simulação do uso da água em irrigação	61
6.9	Coefficientes da regra em Paraibuna-Paraitinga - Exemplo III	64
6.10	Coefficientes da regra de liberação em Funil - Exemplo III	65
B.1	Vazões Mensais Naturais do Posto Paraibuna do período de 1931 até 1960 fornecidas pela ELETROBRÁS	99
B.2	Vazões Mensais Naturais do Posto Paraibuna do período de 1961 até 1990 fornecidas pela ELETROBRÁS	100
B.3	Vazões Mensais Naturais do Posto Santa Branca do período de 1931 até 1960 fornecidas pela ELETROBRÁS	101
B.4	Vazões Mensais Naturais do Posto Santa Branca do período de 1961 até 1990 fornecidas pela ELETROBRÁS	102
B.5	Vazões Mensais Naturais do Posto Jaguari do período de 1931 até 1960 fornecidas pela ELETROBRÁS	103
B.6	Vazões Mensais Naturais do Posto Jaguari do período de 1961 até 1990 fornecidas pela ELETROBRÁS	104
B.7	Vazões Mensais Naturais do Posto de Funil do período de 1931 até 1960 fornecidas pela ELETROBRÁS	105
B.8	Vazões Mensais Naturais do Posto de Funil do período de 1961 até 1990 fornecidas pela ELETROBRÁS	106

B.9	Vazões Mensais Naturais do Posto Santa Cecília do período de 1931 até 1960 fornecidas pela ELETROBRÁS	107
B.10	Vazões Mensais Naturais do Posto Santa Cecília do período de 1961 até 1990 fornecidas pela ELETROBRÁS	108
C.1	Vazões Turbinadas do Reservatório de Paraibuna - Paraitinga fornecidas pela CESP	110
C.2	Vazões Vertidas do Reservatório de Paraibuna - Paraitinga fornecidas pela CESP	111
C.3	Vazões Totais Efluentes do Reservatório de Paraibuna - Paraitinga fornecidas pela CESP	111
C.4	Vazões Turbinadas do Reservatório de Jaguari fornecidas pela CESP	112
C.5	Vazões Vertidas do Reservatório de Jaguari fornecidas pela CESP	113
C.6	Vazões Totais Efluentes do Reservatório de Jaguari fornecidas pela CESP	114
E.1	Curva de operação dos reservatórios (porcentagem do volume útil)	122
E.2	Faixas nos quatro reservatórios	122
E.3	Curva limite para redução da vazão para $190 \text{ m}^3/\text{s}$	123

Simbologia

A é uma constante que depende do custo da água e da extensão dos danos com uma liberação ilimitada de água.

B é uma constante que depende do custo da falta de água.

BN é o retorno obtido da liberação de água no período t . Também pode ser função de armazenamento no caso de produção hidroelétrica.

CV é o conjunto de variáveis de controle. caso de produção hidroelétrica.

E [] é a esperança matemática.

EC_t é o balanço entre a precipitação e a evaporação no reservatório, no período t .

FSM é um suplemento de água fornecido por Feitsui para Shihmen, que é variável.

FWSG é a quantidade liberada para abastecimento de água de Feitsui determinada pelo modelo.

FWST é a quantidade objetivo para abastecimento de água de Feitsui.

HA(t) é a cota média do reservatório durante o período t , vetor de tam. NS.

HA_T é o transposto de um vetor.

I_t é a vazão afluente, no período t .

$I_{p,t}$ é a vazão afluente no reservatório p , no período t .

LIM representa a fração que a liberação pode variar em relação às liberações prévias.

M.H. é a média da série histórica.

M.G. é a média das séries geradas.

M.G.I é a média inferior das séries geradas.

M.G.S é a média superior das séries geradas.

NP é o número de períodos.

NS é o número de reservatórios no sistema.

$P(I_t/I_{t+1})$ é a probabilidade de transição (é a probabilidade de ocorrer I_t dado que ocorreu I_{t+1}).

PEN(NS x NS) é a matriz de custo penalizando os desvios dos valores.

PFG é potência gerada em Feitsui.

PFT é potência objetivo em Feitsui.

PG_t^{max} é a potência máxima que pode ser produzida a cada mês.

PG_t^{min} é a potência mínima, que pode ser produzida a cada mês.

$PG_{p,t}$ é a potência gerada no reservatório p, no período t.

$PG_{p,t}^{max}$ é o potência máxima (conhecida), em Mw.

$PG_{p,t}^{min}$ é o potência mínima (conhecida), em Mw.

PSG é potência gerada em Shihmen.

PST é potência objetivo em Shihmen.

R_t é a vazão liberada pelo reservatório, no período t.

R_t^* é a vazão liberada no período t, determinada no modelo.

R(t) é a potência liberada durante um período, vetor de tam. NS.

$R_{p,t}$ é a vazão liberada no reservatório p, no período t.

R_{jus}^{max} é a vazão máxima a jusante do aproveitamento definida pelo modelo.

R_{jus}^{min} é a vazão mínima a jusante do aproveitamento.

$R_{p,t}^{max}$ é a vazão liberada máxima (conhecida), em m^3/s .

$R_{p,t}^{min}$ é a vazão liberada mínima (conhecida), em m^3/s .

RL_t é o volume liberado no período t, em m^3 .

RV é o conjunto de variáveis aleatórias.

Rinf é um limite inferior do volume liberado, em m^3 .

Rsup é um limite superior do volume liberado, em m^3 .

S_t é o volume no reservatório, no período t .

S_{t+1} é o volume no reservatório, no período t .

$S_{p,t}$ é a volume no reservatório p , no período t .

$S_{p,t}^{max}$ é o volume máximo (conhecido), em m^3/s .

$S_{p,t}^{min}$ é o volume mínimo (conhecido), em m^3/s .

S(NP+1) é o volume no inicio do período NP+1, vetor de tam. NS.

SAGG é a quantidade liberada para irrigação de Shihmen determinada pelo modelo.

SAGT é a quantidade objetivo para irrigação de Shihmen.

SWSG é a quantidade liberada para abastecimento de água de Shihmen.

SWST é a quantidade objetivo para abastecimento de água de Shihmen.

T é o horizonte de tempo.

TARG(NP+1) é o volume esperado no fim do período NP, vetor de tam. NS.

WFP é um coeficiente de potência para Feitsui.

WFS é o coeficiente de abastecimento de água para Feitsui.

WSA é o coeficiente de irrigação para Shihmen.

WSP é um coeficiente de potência para Shihmen.

WSS é o coeficiente de abastecimento de água para Shihmen.

X é o número total de locais.

a_p, b_p, c_p são coeficientes da equação de regressão múltipla do reservatório p .

d é uma variável de decisão.

$f_n(u_n)$ é a relação de recorrência.

$f_t(S_t, I_{t+1})$ é o retorno esperado da operação ótima do sistema.

r_n é a função de benefícios ou perdas.

t é o período de tempo.

$\mathbf{u}$ é uma variável de estado.

$u_{n-1} = r_n(u_n, d_n)$ é uma equação de transformação de estágio a estágio.

Capítulo 1

Planejamento de Recursos Hídricos

1.1 Introdução

Toda comunidade tem aspiração pelo progresso e desenvolvimento do meio que convive. A história mostra que o progresso acelerado leva ao desequilíbrio das áreas envolvidas. Isto pode ser observado em regiões onde existe um desenvolvimento intenso da economia e grandes assentamentos urbanos. O resultado destas ações tem sido em geral um desperdício de recursos, deterioração das condições de vida, esgotamento das fontes e desequilíbrio da natureza.

O desequilíbrio da natureza é devido ao fato de serem evitadas as etapas intermediárias entre uma condição natural e uma condição desenvolvida da bacia. A resposta da natureza a ações do homem, começa a preocupar a comunidade em geral.

Hoje em dia, a comunidade em geral (tanto os intelectuais como os cidadãos comuns) reflete e preocupa-se cada vez mais com a degradação da natureza e o esgotamento de recursos naturais vitais para a sobrevivência do ser humano. Somente é possível atingir um desenvolvimento econômico e social contínuo e uma gestão racional do ambiente fazendo uma redefinição de todos os objetivos e todas as modalidades de ação.

Os problemas de recursos, energia, ambiente, população e desenvolvimento serão corretamente observados quando houver uma análise das relações mútuas. Isto implica um quadro conceitual unificado do planejamento. Os planejadores consideram que o enfoque do aproveitamento e uso de um recurso para vários objetivos é obrigatório. Decisões tomadas no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos não podem ser consideradas independentes sobre outros setores como transporte, agricultura e indústria.

O planejamento da utilização dos recursos hídricos mostra-se como a atitude fundamental para a manutenção e uso das fontes naturais existentes.

É a falta de equilíbrio entre a oferta e a demanda da água, que tem obrigado procurar soluções mais adequadas. O principal problema é que a água não está disponível o tempo todo, em todos os locais e numa mesma qualidade. A medida que a demanda cresce começam a existir conflitos entre os usos. É assim, que surgem questões como :

- Que sistemas devem ser construídos?
- Qual a sua extensão?
- Como estes devem ser operados, quando e como os recursos econômicos estão disponíveis?

Estes problemas complexos devem ser resolvidos no processo de planejamento. Existem diferenças entre os problemas devido ao desenvolvimento e utilização de recursos. Os recursos são a soma do total dos bens, os quais podem ser usados para a manutenção e melhoria das condições de vida.

A análise dos problemas surgidos com o desenvolvimento do uso dos recursos hídricos deve ser discutida em relação aos objetivos que o desenvolvimento deseja atingir. É muito comum que os objetivos não sejam claramente definidos, mas encontram-se implícitos na formulação do problema ou na sua análise.

A análise moderna de sistemas de recursos hídricos começou, entre outros, com o trabalho de Rippl (1883), tendo progredido com o desenvolvimento dos computadores. Este avanço tecnológico serviu também como fator catalisador na evolução de teorias matemáticas e métodos.

Todos estes processos e métodos de análise formam o conjunto chamado Pesquisa Operacional, que se desenvolveu a partir da Segunda Guerra Mundial. Foi assim, que a publicação de Dantzig (1955), (o método simplex para a programação linear) deu o marco definitivo na afirmação da Pesquisa Operacional.

Hoje em dia, no planejamento de recursos hídricos o atendimento de objetivos múltiplos é indispensável. Também não devem ser esquecidas as características espaciais e temporais dos sistemas e a natureza dinâmica. É comum surgir a questão : Qual deve ser a alocação ótima de água, para atingir as metas desejadas? Estas questões são classificadas como problemas de programação. Estes problemas tentam maximizar ou minimizar uma função objetivo, respeitando determinadas restrições.

Os sistemas de recursos hídricos complexos têm como principais elementos os reservatórios. Eles são usados para redistribuição espacial e temporal de

quantidade e qualidade da água, e a potencialidade de geração energética. A principal característica de reservatórios é o fato de permitir o uso múltiplo da água. Entre esses usos múltiplos encontram-se :

- Abastecimento de água para irrigação.
- Abastecimento de água para uso residencial, industrial e público.
- Controle da qualidade da água.
- Controle de enchentes.
- Geração hidroelétrica.
- Navegação.
- Recreação.
- Manutenção da fauna e flora.

Não existe um tipo simples de análise, mas uma multitude de problemas de decisão variando desde o volume útil ótimo até a seleção de regras operacionais. Dessa forma, surgem a simulação, a programação linear e a programação dinâmica como principais ferramentas para a solução destes problemas.

Modelagem oferece um caminho, talvez o principal para prever o comportamento futuro de sistemas existentes ou propostos. O planejamento, gerenciamento e operação de recursos hídricos é muito complexo, não apenas pela dificuldade de produzir algoritmos computacionais, mas também pela falta de compreensão de processos físicos interdependentes, bioquímicos, ecológicos, sociais, políticos e legais que controlam o comportamento do sistema.

1.2 Objetivo

O crescimento das áreas urbanas e os requerimentos das sociedades tem como consequência o aumento de sistemas de recursos hídricos que passam pelas etapas de planejamento, construção e operação. A definição de regras que definam a operação de um sistema tornam-se necessárias.

O objetivo deste trabalho é o estudo de regras operacionais para um sistema de reservatórios, com múltiplos usos da água. A determinação de regras operacionais, utilizou como ferramenta um modelo matemático.

Pelo levantamento bibliográfico escolheu-se como base a metodologia apresentada por Karamouz (1982).

A metodologia adotada pode ser definida como um processo cíclico. Este processo está dividido em três etapas, que funcionam iterativamente. A

primeira etapa é a otimização da operação dos reservatórios para um dado conjunto de vazões, usando a programação dinâmica como ferramenta matemática. A segunda etapa é a determinação de regras operacionais fazendo uso de regressão múltipla. A terceira etapa é a simulação do sistema utilizando as regras operacionais determinadas na segunda etapa, num conjunto diferente de vazões.

Como exemplo de aplicação utilizou-se o sistema de reservatórios do Alto-Paraíba, que compreende os reservatórios de Paraibuna-Paraitinga, Santa Branca, Jaguari e Funil. Conforme Decreto N.68324, de 9 de março de 1971, este sistema de reservatórios de múltiplos usos devesse dar ênfase à geração energética, considerar a necessidade de abastecimento para irrigação e as vazões mínimas dispostas. Considerou-se no estudo também o atendimento à irrigação.

1.3 Justificativa

Nos últimos anos, os conflitos existentes entre os diferentes usos da água tem tornado a operação dos sistemas de recursos hídricos mais complexa. A operação destes sistemas consiste em se tomar uma decisão face ao desconhecimento do futuro, decisão esta que se pretende seja a **"melhor"**. Para superar estes problemas é necessário substituir regras empíricas por regras baseadas em metodologias mais avançadas.

É dessa forma que a modelagem e os métodos para definição de regras operacionais tem sido uma importante área de pesquisa na engenharia de recursos hídricos. Aplicações de modelos a sistemas reais tem melhorado o entendimento sobre tais sistemas e também tem contribuído para a melhoria do planejamento e operação do sistema. Vários fundamentos de planejamento e métodos de operação podem ser encontrados no livro de Loucks (1981). Estes métodos podem ser agrupados segundo o tipo de otimização utilizada (programação linear, programação dinâmica, análise multicriterial, etc.), segundo a caracterização de vazões (sequências determinísticas ou cadeias markovianas), ou pela forma da regra operacional (um sistema de equações ou uma regra de liberação anteriormente definida).

Como foi apontado por Bower (1962) deverá haver uma semelhança muito grande entre o sistema quando é simulado (ou otimizado) na fase de planejamento e na fase de operação. Para sistemas complexos são necessários procedimentos operacionais ótimos. É dessa forma que no presente trabalho faz-se uso de programação dinâmica.

Young (1967) usou programação dinâmica e análise de regressão para determinar regras operacionais ótimas para um reservatório simples. Posteriormente

te, Bhaskar (1980) mostrou que as regras lineares tem um melhor desempenho.

A simulação tem mostrado ser um meio muito útil para o estudo e comparação de sistemas. É uma técnica de modelação usada para reproduzir o comportamento do sistema físico no computador, fornecendo resultados para certa sequência de dados. Ela preve a existência de regras de decisão, de modo que habilita o tomador de decisões no sentido de examinar as consequências de vários cenários para um sistema existente ou novos sistemas.

A programação dinâmica tem como principal vantagem o fato de ter uma boa precisão matemática na otimização estabelecendo regras "ótimas", mas a principal desvantagem é a necessidade de representar o sistema físico de modo simplificado. A simulação apresenta como principal vantagem a possibilidade de representar melhor o sistema físico, mas não faz a otimização matemática, o que é inverso da programação dinâmica.

Dessa forma, a combinação de ambas as técnicas é uma boa opção para superar as deficiências de cada uma. Portanto neste trabalho, utiliza-se um algoritmo que interage entre um programa dinâmico determinístico, uma análise de regressão e um modelo de simulação. O algoritmo converge num número finito de passos (controlado pelo operador) e fornece regras operacionais gerais. O algoritmo implicitamente considera a natureza estocástica das vazões, sendo que no modelo de otimização são usadas as vazões históricas e no modelo de simulação podem ser usadas as vazões sintéticas, ou históricas.

As regras operacionais determinadas no modelo podem ser melhoradas iterativamente, fazendo-se que as vazões liberadas permaneçam entre certas porcentagens especificadas pela regra operacional prévia. Este processo converge iterativamente até determinar a regra ótima. Esta metodologia diferencia-se de outras pelo processo iterativo, gerando regras operacionais "melhores" a cada iteração. A qualidade das regras geradas é medida pelos resultados obtidos da função objetivo, que procura maximizar ou minimizar uma determinada função.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

Tendo em vista estabelecer uma metodologia para definição de regras operacionais necessárias para a operação de um sistema de reservatórios, foi feito um levantamento bibliográfico, o qual resume-se a seguir.

Buras (1966) considera que o principal problema na engenharia de recursos hídricos surge do fato que a água não está disponível o tempo todo, em qualquer local e na mesma qualidade. Além disso, as quantidades requeridas variam segundo a atividade econômica. Ele levanta três questões importantes :

- Que sistemas devem ser construídos?
- Qual a extensão?
- Como devem ser operados?

O avanço tecnológico e de métodos tem causado o uso maior de modelos. Como foi levantado por Loucks (1992), o uso de modelos no estudo de sistemas reais tem contribuído para o entendimento e melhoria do planejamento e gerenciamento. A operação de reservatórios em tempo real tem recebido muita atenção, onde as decisões de liberação são tomadas periodicamente (por exemplo, diariamente) por operadores usando informação presente e futura.

Estudos recentes enfatizam a importância do reconhecimento de incerteza na tomada de decisões operacionais, particularmente em aplicações onde vazões afluentes ou demandas de água e potência são de difícil predição McLaughlin (1990). Ele descreve uma aproximação de controle ótimo em tempo real para a operação de um sistema de grandes reservatórios hidropotenciais, onde o objetivo é produzir potências especificadas, sujeitas a uma variedade de condições físicas. Segundo Mishalani (1988), a precisão da previsão em sistemas de abastecimento melhora os benefícios. Ele conclui que a operação do reservatório deteriora-se marcadamente com a perda de precisão na previsão.

O uso de modelos de geração de vazões é incentivado. Assim, foram desenvolvidos muitos trabalhos de geração, como os de Fiering (1971), Salas (1980), e outros.

Segundo Salas (1980), embora o desenvolvimento de modelação de séries em hidrologia tenha atingido certo grau de sofisticação, desafortunadamente na prática são ainda usados métodos simplificados. Dessa forma ele apresenta um estudo da arte, tentando superar a fenda existente entre a teoria e a prática. Também apresenta os modelos existentes e seu uso.

Os modelos de simulação são uma ferramenta usada nos estudos de planejamento de sistemas de reservatórios simples ou múltiplos. Permitem uma representação mais detalhada do sistema, o que não acontece com os modelos de otimização Loucks (1982), e permitem ainda avaliar a influência de vazões estocásticas, usando sequências geradas sinteticamente Loucks (1981). Os estudos de simulação somente são úteis, se as políticas de operação incorporadas refletem a operação atual ou potencial do sistema. A técnica de simulação ofereceu uma ponte entre as ferramentas analíticas antigas (diagrama de Ripppl, etc.) e ferramentas de otimização mais sofisticadas e complexas Simonovic (1992).

Hashimoto (1981) definiu **confiabilidade**, **resiliência** e **vulnerabilidade** como parâmetros representativos das medidas de desempenho dos reservatórios. A **confiabilidade** pode ser descrita como a frequência ou probabilidade de um sistema encontrarse num estado satisfatório. A **resiliência** pode ser descrita como o tempo que leva um sistema para superar uma falha. E a **vulnerabilidade** descreve a dimensão da falha. Bayazit (1990) estuda estas medidas e os efeitos de limitações no desempenho de reservatórios através de simulação.

Os modelos de otimização de reservatórios permitem gerar decisões de operação ou planejamento. A maioria dos modelos de otimização tem como base técnicas de programação matemática. Entre estas técnicas tem-se a programação linear (PL), programação dinâmica (PD) e programação não linear (PNL). Cada uma destas técnicas pode ser aplicada no meio determinístico ou estocástico.

A programação linear (PL) tem sido uma das técnicas mais usadas no gerenciamento de recursos hídricos. Resolve um tipo especial de problemas, onde as relações entre as variáveis é linear, tanto nas condições como na função objetivo a ser otimizada Yeh (1985). ReVelle (1969), introduziu o método de programação linear com condições variáveis para obtenção de políticas de liberação ótima do sistema, operando sobre condições probabilísticas.

Esta técnica incorpora o grau de falha do sistema explicitamente, mas somente é tratável matematicamente quando é usada em conjunto com u-

ma política de liberação linear ReVelle (1969); Loucks (1970); Loucks (1975). Bhaskar (1987) determina políticas ótimas de liberação mensal, usando programação linear (PL) com condições variáveis e metodologias de regressão em programação dinâmica, sendo que a metodologia de regressão em programação dinâmica oferece melhores resultados.

A programação dinâmica, formulada por Bellman (1957), é um procedimento de otimização para um processo de decisão com múltiplas etapas. A programação dinâmica é extensivamente usada na otimização de sistemas de recursos hídricos Buras (1966), e não fica restrita a nenhum problema em particular Simonovic (1992).

Esmail-Beik (1984) usou programação dinâmica estocástica para desenvolver políticas ótimas para a operação de um lago com múltiplos propósitos. Segundo Yakowitz (1982), pode-se dizer que problemas de recursos hídricos servem como laboratório do desenvolvimento da programação dinâmica.

A programação não linear não apresenta a mesma popularidade que a programação linear e a dinâmica. Segundo Yeh (1985), isto é devido ao fato que o processo de otimização é usualmente demorado e ocupa muita memória computacional. A matemática é mais complexa e a natureza estocástica não pode ser acomodada com tanta simplicidade como na programação dinâmica.

As técnicas multiobjetivos oferecem a possibilidade de tentar maximizar funções objetivo com vários objetivos. Isto é possível mediante o uso de pesos. Numa técnica de otimização de objetivo simples, os outros objetivos aparecem em forma de restrições. A análise multicriterial tem-se mostrado como uma ferramenta muito eficiente em sistemas multiobjetivos Goicoechea (1982).

Todos os modelos de otimização precisam de uma função objetivo, variáveis de decisão e restrições. A função objetivo representa a forma de medir o nível de desempenho obtido por mudanças específicas na variável de decisão. Uma definição não apropriada da função objetivo pode levar a obtenção de resultados errôneos e/ou não representativos do sistema. Além de otimizar regras de operação de um sistema, é possível otimizar a própria função objetivo e selecionar a função objetivo mais adequada para um determinado caso.

Ginn (1989) propoe a simulação de um processo de tomada de decisão, representando este com um modelo de simulação que usa decisões periódicas. O modelo também incorpora processos de tomada de decisão em operação de sistemas de recursos hídricos mediante a otimização de algumas funções objetivo sujeitas a algumas condições na dinâmica do sistema.

Na literatura existe um grande número de trabalhos, que tem como objetivo a definição de características de reservatórios, utilizando diferentes técnicas de otimização e diferentes funções objetivo. Mas são escassos os trabalhos que visam definir regras operacionais de sistemas em planejamento ou em operação.

A complexidade dos sistemas tem criado a necessidade de usar todas as ferramentas disponíveis. Uma linha de solução interessante faz a ligação entre a programação dinâmica e a simulação através do uso de regressão entre os resultados da otimização e as variáveis de estado, nas quais baseiam-se as regras de operação determinadas. Dessa forma, Bhaskar (1980) usa programação dinâmica para definir políticas de liberação mensal usando diferentes funções de perdas. As regras são obtidas por regressão e avaliadas na simulação. Young (1967) fez uma tentativa semelhante.

Karamouz (1982) propõe um algoritmo que interage entre um programa dinâmico determinístico, uma análise de regressão e um modelo de simulação. Posteriormente, Karamouz (1987) compara um programa dinâmico estocástico e o algoritmo anteriormente descrito, para a obtenção de regras operacionais gerais. O algoritmo apresenta melhores resultados e chega a ser classificado como um esquema de otimização estocástica implícita. Karamouz (1992) propõe uma extensão do esquema para considerar sistemas de múltiplos reservatórios.

O presente trabalho segue esta proposta, e usa este esquema de solução em sistemas de reservatórios com usos múltiplos da água, dando ênfase a geração hidroelétrica.

Também, tenta-se mostrar a importância da criação de sistemas inteligentes que colaborem na tomada de decisão. Johnson (1990) propõe o desenvolvimento destes sistemas inteligentes para identificação da "**melhor**" política operacional. Simonovic (1992) apresenta o sistema REZES, que é um pacote de estudo e análise de reservatórios. Estes sistemas pretendem diminuir a fenda que existe entre a teoria e a prática e facilitar a visualização dos problemas as pessoas que não se encontram profundamente envolvidas na problemática de recursos hídricos.

A seguir serão apresentados conceitos de programação dinâmica, simulação, e geração de vazões multivariada, os quais são necessários para a metodologia utilizada no presente trabalho.

2.1 Programação Dinâmica

Nos últimos anos, um dos avanços mais importantes no campo da engenharia de recursos hídricos é o desenvolvimento de técnicas de otimização e simulação para o planejamento e gerenciamento de sistemas complexos. A análise destes sistemas envolve um grande número de variáveis e restrições, entrando no campo da Pesquisa Operacional onde muitas técnicas foram desenvolvidas para sistemas de recursos hídricos. A literatura em geral mostra a não existência de um algoritmo genérico, para a operação de reservatórios. A escolha dos métodos depende das características do sistema, dos dados dis-

poníveis e dos objetivos e restrições especificadas. Os métodos disponíveis podem ser classificados em 5(cinco) grandes grupos:

1. Programação Linear(**PL**) que inclui PL com restrições variáveis, PL Estocástica e PL Estocástica Recursiva.
2. Programação Dinâmica (**PD**) que inclui PD Incremental (**PDI**), PD Diferencial Discreta (**PDDD**), PD Incremental com Aproximações Sucessivas(**PDIAS**), PD Estocástica (**PDE**) , PD com restrições de confiança, PD Diferencial (**PDD**) e algoritmos de otimização progressiva.
3. Programação Não-Linear.
4. Simulação.
5. Técnicas Multiobjetivos.

Tambem existem combinações dos métodos acima descritos.

Nos sistemas de recursos hídricos complexos precisam ser tomadas decisões de liberação a serem determinadas por modelos de otimização ou simulação. A maioria dos modelos de otimização estão baseados em técnicas de programação matemática. Estes modelos são aplicados tanto para propósitos de planejamento ou projeto, como para operação em tempo real.

Num modelo de otimização os elementos básicos são a função objetivo e as restrições. Os principais objetivos de um sistema de recursos hídricos são o desenvolvimento econômico, uma melhor qualidade de vida e outros efeitos sociais, os quais devem se traduzir em objetivos específicos e se materializar na função objetivo. Restrições típicas em reservatórios incluem equações de conservação de massa (ou de continuidade), volumes máximos e mínimos, vazões liberadas máximas e mínimas, limitações de equipamentos e turbinas, obrigações contratuais, legais e institucionais.

Programação Linear é considerada uma das técnicas mais usadas em recursos hídricos e um dos mais importantes avanços científicos. Mas esta técnica é limitada a resolver problemas lineares, isto é, problemas com funções objetivo e restrições em forma linear. Em contraste com a Programação Linear, a Programação Dinâmica é um tipo geral de metodologia para resolução de problemas. É dessa forma, que no presente trabalho faz-se uso da Programação Dinâmica.

A Programação Dinâmica, um método formulado por Bellman (1957), é um procedimento de otimização para processos de decisão de múltiplas etapas. É usada extensivamente na otimização de sistemas de recursos hídricos Buras (1966). A popularidade e o sucesso desta técnica pode ser atribuída ao fato que características não lineares e estocásticas de um sistema podem ser traduzidas

numa formulação de Programação Dinâmica. Problemas complexos podem ser decompostos em vários problemas que são resolvidos recursivamente. É comum que um problema seja formulado de várias formas, e a Programação Dinâmica parece ser a formulação mais eficiente.

A característica principal da aplicação da Programação Dinâmica, é tal, que usualmente é identificada como malha progressiva ou serial para um problema de planejamento ou gerenciamento Hasting (1973), onde o estágio final é atingido após um número pre-determinado de estágios.

Quando os retornos são independentes e aditivos, uma relação típica é :

$$f_n(u_n) = \max_{d_n}(r_n(u_n, d_n) + f_{n-1}(u_{n-1})) \quad (2.1)$$

onde,

$f_n(u_n)$ é a relação de recorrência;

u é uma variável de estado;

d é uma variável de decisão;

r_n é a função de benefícios ou perdas;

$u_{n-1} = r_n(u_n, d_n)$ é uma equação de transformação de estágio a estágio;

$f_0(u_0)$ é dado para todos os estados.

Para decompor um problema geral em estágios com decisões requeridas a cada estágio, o valor de cada estágio devera satisfazer a condição de separabilidade e a condição monotômica Nemhauser (1966). Embora não exista um motivo especial para a escolha de formulação regressiva ou avante, a regressiva é a mais usada. O procedimento de usar primeiramente a regressiva e posteriormente a avante é conveniente (preferencialmente em problemas que envolvem tempo), como a política ótima na ordem cronológica; em problemas estocásticos a programação regressiva é fundamental, desde que cada estágio depende dos resultados do estágio anterior. A programação avante é vantajosa em problemas determinísticos, que devem ser resolvidos várias vezes para diferentes horizontes de planejamento. Isto deve acontecer quando um plano é revisado periodicamente ou o horizonte de tempo é desconhecido fazendo-se uma análise de sensibilidade.

Condições que restringem o espaço de estados ou de decisões são vantajosas em Programação Dinâmica Discreta, porque reduzem o quantidade de cálculos. Em contraste, a restrição desses espaços pode causar dificuldades de procedimento para outras técnicas de otimização. De qualquer forma, quando

a Programação Dinâmica é aplicada a sistemas de múltiplos reservatórios, o uso da técnica é limitada pela dimensionalidade, a qual é função do número de variáveis de estado. Para uma eficiência computacional, os problemas devem ter poucas variáveis de estado a cada tempo. Todos os métodos de redução de dimensionalidade envolvem a decomposição em vários sistemas e o uso de procedimentos iterativos.

Para sistemas de reservatórios, os estudos podem ser divididos em estudos de planejamento e estudos de operação. Os estudos de operação podem ser divididos em operação a curto prazo e a longo prazo. Nas operações a longo prazo é comum considerar a natureza estocástica das vazões. Isto pode ser feito por considerações probabilísticas ou por simulação usando séries geradas.

Se a Programação Dinâmica é usada na determinação de vazões liberadas de reservatórios, as variáveis de estado podem ser os volumes, situação hidrológica, situação climática, etc. As variáveis de decisão podem ser as vazões efluentes. O estágio é representado pelo período de tempo t .

A transformação de estágio a estágio é caracterizada pela equação de continuidade :

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t - EC_t \quad (2.2)$$

sujeita a $S_{min} < S_{t+1} < S_{max}$ e as restrições em R ,

onde,

S_{t+1} é o volume no reservatório, no período t ;

S_t é o volume no reservatório, no período t ;

I_t é a vazão afluente, no período t ;

R_t é a vazão liberada pelo reservatório, no período t ;

EC_t é o balanço entre a precipitação e a evaporação no reservatório, no período t ;

t é o período de tempo.

Suponha-se que foi escolhida uma função objetivo para maximizar. Esta função objetivo $J(S,R)$, é uma função geral das vazões efluentes e dos volumes. A equação recursiva de Programação Dinâmica avante pode ser escrita assim :

$$f_{t+1}(S_{t+1}) = \max_{R_t}(J(R_t, S_t) + f_t(S_t)), \quad t = 0, 1, 2, \dots, T \quad (2.3)$$

A variável de estado é caracterizada num conjunto de estados possíveis. Varios autores usaram a Programação Dinâmica para a otimização da operação de reservatórios Yeh (1985).

Procurando-se reduzir o problema de dimensionalidade, Larson (1968) foi o primeiro a introduzir o conceito do uso de PD Incremental.

Segundo Nopmongcol (1976) a PD Diferencial Discreta é uma generalização da PD Incremental. A PD Incremental é um procedimento iterativo que tem o seguinte caminho : substituição da sequência inicial de estados por uma nova sequência a cada iteração, quando os estados vizinhos são examinados. Assume-se que a convergência foi alcançada, quando o valor da função objetivo não cresce mais.

Turgeon (1982) demonstrou que a PD Incremental converge a uma solução não ótima se o mesmo incremento é usado a cada estágio. Ele sugere um método para ajustar o tamanho dos incrementos a cada estágio.

Outra forma de diminuir a dimensionalidade é o uso do conceito proposto por Bellman (1957), o qual decompoe um PD variável de múltiplos estágios numa série de subprogramas de uma variável de estado, de tal forma que a solução convirja para a solução do problema original. Esta técnica foi muito usada por Larson (1968), Trott (1971), Yeh (1972) e Giles (1981). Yeh (1972) determinou a vazão efluente firme de um sistema de seis reservatórios. A PD Avante tinha seis variáveis de estado e seis variáveis de decisão, e foi resolvido por aproximações sucessivas.

A vantagem do método de aproximações sucessivas é que a solução de um problema de Programação Dinâmica n-dimensional pode ser desmembrado em n-problemas de Programação Dinâmica de uma dimensão. Neste caso, o incremento das variáveis de estado causa um incremento linear nos cálculos e não exponencial como acontece normalmente. Pode-se mostrar que a convergência monotômica é obtida, mas convergência a um global ótimo não pode ser comprovada e não ocorre em geral. Yakowitz (1983) mostrou que se a discretização do espaço de estado é bastante fina, a técnica de PD Incremental tem convergência linear.

De particular importância é a programação dinâmica estocástica, onde as vazões afluentes a um reservatório podem ser consideradas como parte de um processo markoviano. Howard (1960) introduziu o conceito de retornos, associados a matriz de probabilidade de transição, num processo markoviano. Geralmente, nestes processos o objetivo é maximizar os retornos. A equação de um PD Estocástico tem a seguinte forma :

$$f_t(S_t, I_{t+1}) = \max_{R_t} \left(\sum_0^{I_{t\max}} P(I_t/I_{t+1}) * (BN(R_t) + f_t(S_{t-1}, I_t)) \right) \quad (2.4)$$

sujeita a

$$S_{t-1} = S_t + I_t - R_t - EC_t$$

$$f_1(S_1, I_1) = \max_{R_1}(P(I_1/I_2) * (BN(R_1)))$$

onde,

$f_t(S_t, I_{t+1})$ é o retorno esperado da operação ótima do sistema;

BN é o retorno obtido da liberação de água no período t . Também pode ser função de armazenamento no caso de produção hidroelétrica;

$P(I_t/I_{t+1})$ é a probabilidade de transição (é a probabilidade de ocorrer I_t dado que ocorreu I_{t+1}).

Arunkumar (1973) usou PD Estocástica para maximizar a potência firme de um sistema de reservatórios. Foi usada uma função de penalização, no caso de não alcançar o nível especificado. Ele também propôs um procedimento de decomposição heurística para um sistema de reservatórios múltiplos. Consiste em fixar uma política estacionária para $(m-1)$ reservatórios (por exemplo, 2,...,m) e otimizar em relação ao reservatório 1. A política otimizada do reservatório 1 substitui a política inicial do reservatório 1, e o reservatório 2 é escolhido para a otimização, enquanto que as regras de liberação dos reservatórios 1,3,...,m são fixas. O procedimento continua até que não exista mais melhoras nas políticas.

2.2 Simulação

Simulação é uma ferramenta muito poderosa para o estudo de sistemas complexos, onde outras técnicas são de aplicação mais difícil. Assim, por exemplo, técnicas de otimização gráfica são limitadas pela dificuldade de condensar somente em duas curvas todos os valores importantes. Por outro lado, a otimização analítica é limitada pela dificuldade em condensar equações descrevendo o funcionamento do sistema físico real.

O modelo de simulação pretende representar as características físicas ou lógicas de um sistema real. Os modelos que conservam as características lógicas são chamadas de modelos matemáticos, e se expressam em forma de equações ou relações formando algoritmos computacionais. Os modelos que conservam as características físicas são os modelos físicos, como por exemplo modelos reduzidos de rios, etc. Na simulação não existe uma preocupação com a busca

de soluções matemáticas ótimas explícitas, como acontece na Programação Matemática. Deseja-se avaliar um sistema em diferentes condições.

Hall (1970) apresentou um procedimento geral para o desenvolvimento de um modelo de simulação. Inicialmente deve-se decompor o sistema em seus componentes ou sub-sistemas. Posteriormente deverá haver um desenvolvimento de algoritmos computacionais para cada sub-sistema e os sistemas devem estar interligados. E finalmente deverá existir uma verificação do modelo, usando dados reais de entrada e confrontar os dados de saída com dados reais. Após a verificação do modelo, ele está pronto para ser usado.

Geralmente um modelo de simulação tem três tipos de dados de entrada. Os elementos estruturais, que representam obras existentes ou propostas dentro sistema físico. Os eventos econômicos, que são representados em forma de funções de benefícios ou perdas devido a falhas no sistema. Por último os eventos hidrológicos, que não tem uma magnitude nem uma sequência definida. O uso de séries geradas, com as características da série histórica é uma solução para tratar a incerteza desses eventos.

Na simulação procura-se um modelo cujo algoritmo duplique matematicamente as características essenciais do funcionamento do sistema físico e determine os benefícios econômicos resultantes das decisões operativas. No modelo devem ser incluídas todas as variáveis controladas que podem ser usadas para obter um **"melhor"** sistema. Também deve excluir as variáveis controladas incapazes de incrementar a utilidade do sistema. Deve-se otimizar somente as variáveis sobre as quais pode ser feito um trabalho de controle, e deve estruturar o algoritmo para cumprir com as funções físicas e econômicas do sistema. O modelo deve ser cuidadosamente testado no sistema com eventos históricos antes de ser usado para propósitos de planejamento.

As características e metas de um estudo de simulação devem ser definidas no tempo e no espaço. O estudo deve considerar a influência de todos os fatores significativos, existentes ou prognosticados, para obtenção da produção (benefício) do sistema. A função de cada unidade física no sistema no que diz respeito à sua contribuição para a operação do sistema, e a interrelação física das unidades devem ser adequadamente expressas no modelo de simulação através de equações.

A regra prática, é a análise dos vários fatores através do tempo, para assim obter o conjunto de regras operacionais, as quais, quando seguidas, devem produzir resultados que se aproximam do ótimo econômico.

As regras operacionais devem ser expressas de forma que possam ser aplicadas e compreendidas sem muito esforço, e de forma que possam ser incorporadas no algoritmo de simulação. As regras de operação explicam o que deve ser feito numa situação específica com um estado descrito no sistema. Decisões opera-

tivas devem ser feitas num contexto de incerteza sobre as vazões futuras.

Kusisto (1976) sugere a fixação de alguns elementos para definir a estrutura de um modelo de simulação :

- Variáveis de entrada : existem as variáveis físicas e as exógenas. Nas físicas encontram-se incluídas as vazões, evaporações, etc. E nas exógenas encontram-se as condições obrigatórias e contratuais.
- Variáveis de estado : definem as condições existentes no sistema. Valores iniciais são especificados e a variação destes depende do sistema físico e das rotinas operativas. Uma variável de estado típica é a quantidade de água reservada num reservatório para um determinado uso.
- Variáveis de saída : representam a resposta da simulação do sistema. A vazão liberada de um reservatório num determinado espaço de tempo é uma destas variáveis.
- Parâmetros do modelo : são características do projeto ou do sistema, tais como a capacidade do reservatório ou número de unidades de geração. São constantes em um processamento do modelo, mas podem variar de um processamento para outro.
- Intervalo de tempo : depende das características do sistema, da disponibilidade de dados e precisão requerida, variando geralmente do mês até a hora.

Embora a simulação não produza necessariamente um ótimo matemático, seu processo é o de procurar iterativamente por um aumento na produção do sistema, até o ponto que possa ser chamado de "ótimo". Nesse sentido, o núcleo da otimização por simulação é o procedimento usado para ajustar o objetivo do sistema e maximizar os benefícios. Um modelo deve procurar duplicar as respostas de um sistema real a sequências de eventos hidrológicos e econômicos. Assim, novas sequências devem ser adicionadas para testar o sistema. De qualquer maneira, o valor real da simulação deve servir como uma ferramenta na procura de um "melhor" projeto.

A procura pela solução ótima requer ajustes sistemáticos do sistema até que os máximos benefícios sejam alcançados. A variação de toda entrada controlada deve ser considerada. Variáveis típicas incluindo o tamanho de cada reservatório, a dimensão de cada canal de controle de enchentes, a capacidade instalada de cada planta geradora, a quantidade de água destinada para cada uso e as regras operativas. Geralmente, deve-se otimizar n -variáveis. Cada combinação possível de valores para as n -variáveis tem um benefício, que pode ser plotado numa curva de n -dimensões (superfície de resposta) para a qual

cada variável é um eixo. O método da malha uniforme, baseado em intervalos grandes, pode ser usado quando poucas variáveis estão envolvidas e a evolução dos pontos é simples. A seleção aleatória é usada para muitas variáveis ou dificuldades no computo da superfície de resposta.

O desenvolvimento dos computadores tem contribuído na implementação de sistemas de tomada de decisão em recursos hídricos. Simonovic (1985) apresentou um modelo matemático **RESER**, onde a maior parte do algoritmo serve para a determinação da capacidade de projeto de um reservatório. O modelo de simulação-otimização faz uso de uma técnica de pesquisa direta para determinar a mínima capacidade requerida. Devido ao uso de técnicas de pesquisa direta, os volumes são conhecidos durante todos os períodos de tempo de simulação, dessa forma perdas devido ao volume armazenado podem ser calculadas diretamente e as falhas podem ser monitoradas.

Ele também apresenta um sistema de tomada de decisão inteligente para análise de reservatório (**REZES Intelligent Decision Support System for Reservoir Analysis**).

Os objetivos de desenvolvimento deste sistema inteligente são :

1. Reproduzir o processo geral de análise do reservatório.
2. Integrar uma base inteligente com procedimentos convencionais e modelos matemáticos de análise de reservatórios.
3. Desenvolver uma ferramenta de treinamento para análise de reservatórios.

2.3 Modelagem de Séries Hidrológicas

Para o estudo de um reservatório é necessário o conhecimento dos elementos físicos da bacia, a curva cota-volume, e outros. Do ponto de vista hidrológico, é necessário o conhecimento da natureza das vazões no tempo, assim como das demandas de água requeridas, de forma a se fazer um balanço hídrico e determinar a magnitude dos déficits de água.

Para um estudo abrangente, é necessário adotar um enfoque probabilístico do problema. Como as séries históricas geralmente não são suficientemente longas para uma análise estocástica explícita, adota-se um método alternativo de se gerar séries sintéticas de vazões com um período bastante extenso. Sobre essas séries faz-se uma análise estocástica, que neste caso é denominada de implícita.

Os modelos de geração procuram, de uma forma bastante simplificada, se aproximar dos processos da natureza, mas objetivando apenas garantir na série gerada uma homogeneidade estatística com a série observada, incluindo

fatores aleatórios, que causem desvio dos valores gerados em torno dos valores médios históricos. No caso de múltiplos locais de aproveitamento, é necessária a adoção de modelos com variáveis múltiplas.

Neste modelo, além de ser mantida a correlação temporal entre as variáveis, é necessário também garantir a permanência da correlação espacial cruzada dos valores gerados igual à dos valores observados. Como o número de parâmetros estatísticos é maior no caso de geração em sítios múltiplos, é necessário que a série histórica tenha um período de observação adequado, para garantir a confiabilidade das estimativas desses parâmetros.

Conforme Salas (1980), o procedimento de modelagem das séries hidrológicas periódicas e multivariadas pode ser dividido em 5(cinco) partes:

1. Análise preliminar e identificação do modelo;
2. Determinação dos parâmetros;
3. Teste de aderência do modelo escolhido;
4. Testes de eficiência do modelo escolhido;
5. Teste de confiança dos parâmetros estimados.

Cada uma destas partes esta dividida em passos que podem ser cumpridos ou evitados.

Cada uma destas partes ou etapas foi desenvolvida por uma geração de dados necessários para a presente pesquisa. Foi desenvolvido um programa computacional, utilizando um modelo AR(1) para gerar 50 séries. Estas séries geradas foram submetidas aos testes propostos por Salas (1980). Como a geração de vazões é somente uma ferramenta utilizada no presente trabalho e não o tópico principal desta pesquisa, somente anexamos os gráficos dos testes de media, desvio padrão, coeficiente de correlação de ordem 1 e correlação cruzada entre os postos (ver **Apêndice A**).

2.4 Aproveitamentos Hidroenergéticos no Brasil

Atualmente, a contribuição de energia hidroelétrica ao balanço mundial de produção e consumo de energia é pequeno, somente 6,20 por cento.

Os aproveitamentos no Brasil correspondem a 10,40 por cento da produção mundial. Segundo Bandeira (1992), o desenvolvimento de aproveitamentos hidroelétricos constitue a melhor opção para países que ainda não tenham desenvolvido por completo seus potenciais desta energia. Por outro lado, a energia hidropotencial e nuclear são as fontes de energia menos competitivas

do ponto de vista econômico. Dessa forma, torna-se evidente a necessidade de gerenciar melhor os aproveitamentos existentes.

A potência hidroelétrica no Brasil, foi primeiramente introduzida como um serviço de utilidade pública por Bernardo Mascarenhas com a inauguração em 1889 da usina de Marmelos no rio Paraibuna com 252 KW. Onze anos depois a usina de Parnaíba no rio Tiete com 2000 KW. A barragem de Edgard de Souza foi a primeira com uma altura superior a 15 metros.

O sistema energético interligado brasileiro é um sistema de recursos hídricos de grande porte. O planejamento deste sistema tem como objetivos a racionalização do uso dos recursos disponíveis, através da maximização da produção hidráulica e minimização do consumo de combustíveis fósseis ABRH (1989).

Note-se que no sistema energético brasileiro existe uma predominância das fontes de geração hidroelétrica. Por exemplo, em 1973, hidroeletricidade era responsável por 89,40 por cento de 62700 GWh de energia produzida no Brasil. Em 1987, houve um crescimento da proporção para 95,50 por cento do total de 170000 GWh.

No sistema hidráulico brasileiro existem reservatórios de grande porte. A maioria deles são de capacidade de regularização plurianual, alguns de comportamento sazonal e outros de regularização semanal ou diária.

O sistema é muito complexo, têm usinas de reservatório, com diferentes capacidades de regularização, e a fio da água situadas em cascata e em paralelo, muitas vezes influenciadas por remansos, cujas descargas afetam mutuamente as condições operativas. Esta topologia causa uma complexidade na operação do sistema. Outro problema, é o fato das usinas pertencerem a diferentes concessionárias, as vezes com interesses conflitantes.

O sistema de grandes reservatórios no Brasil foi projetado, na sua quase totalidade, com o objetivo de geração de energia. Ao objetivo primordial foram-se somar controle de cheias, navegação, qualidade da água, abastecimento e irrigação.

O GCOI-Grupo Coordenador para operação interligada foi criado para a operação do sistema elétrico interligado. A ELETROBRÁS exerce o papel de coordenação do GCOI.

A comunidade começa a tomar parte no movimento que questiona o gerenciamento atual do sistema brasileiro de recursos hídricos. É evidente que a falta de recursos econômicos e a deterioração e o esgotamento das fontes de água começam a ser motivo de queixa dos municípios envolvidos. A implantação e construção de novos barramentos tem-se tornado motivo de conflito, levando a participação das comunidades locais. Todas estas manifestações mostram a importância da determinação de regras operacionais para os sistemas que consideram os múltiplos usos da água.

Capítulo 3

Metodologia Adotada

Conforme foi apresentado anteriormente na revisão da literatura, a pesquisa operacional fornece uma infinidade de ferramentas. Dessa forma, o planejamento e gerenciamento de recursos hídricos procuram escolher a metodologia que "**melhor**" se insira no caso a ser avaliado. As características do sistema são elementos fundamentais nesta seleção.

Neste trabalho estuda-se a determinação de regras operacionais gerais para um sistema de reservatórios. A metodologia escolhida pode ser classificada como otimização determinística. O processo utilizado é o mesmo utilizado por Karamouz (1992), que o aplicou a um sistema de apenas dois reservatórios em paralelo. A otimização pretendia minimizar as perdas econômicas devido a liberações de água fora dos limites considerados economicamente viáveis.

Este processo foi inicialmente utilizado na determinação de regras operacionais para um reservatório Karamouz (1982). O processo constitui-se de um algoritmo de programação dinâmica determinística; um algoritmo de determinação da regra de operação utilizando regressão múltipla; e um algoritmo que simula o sistema com as regras determinadas pela regressão.

O algoritmo global (PD.Determinística, regressão múltipla e simulação) opera ciclicamente na procura das "**melhores**" regras. A cada iteração no algoritmo, o intervalo de variação das vazões liberadas é mais restringido, e as regras operacionais são refinadas.

Young (1967) foi o primeiro a propor uma forma de obter regras operacionais usando os resultados de uma otimização determinística. Ele sugeriu a regressão entre as liberações ótimas e uma característica precedente da operação ótima. Por exemplo, a vazão liberada do mês anterior, a vazão afluente e volume disponível no reservatório. Como as liberações ótimas derivaram da consideração de toda a série, a definição de regra desta maneira, faz com que parte da natureza estocástica da operação ótima determinística fique incluída na regra operacional geral.

A regra operacional geral pode ser melhorada, se houver uma correlação com as regras operacionais prévias, o que pode ser feito da seguinte maneira.

Após ter sido determinada uma regra operacional inicial, tenta-se melhorá-la, impondo que a vazão efluente R tenha a possibilidade de variar dentro de certos limites, expressos na seguinte equação :

$$(1 - LIM)R_{p,t} \leq R_{p,t} \leq (1 + LIM)R_{p,t}; \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad p = 1, 2, \dots, X \quad (3.1)$$

onde,

LIM representa a fração que a liberação pode variar em relação às liberações prévias;

$R_{p,t}$ é a vazão liberada no reservatório p , no período t ;

T é o horizonte de tempo;

X é o número total de locais.

Resultando em :

$$R_{p,t}^{min} \leq R_{p,t} \leq R_{p,t}^{max} \quad (3.2)$$

onde,

$$R_{p,t}^{min} = (1 - LIM) * R_{p,t}$$

$$R_{p,t}^{max} = (1 + LIM) * R_{p,t}$$

Com esta variação dentro de certa faixa, procura-se verificar a existência de uma "**melhor**" regra operacional, a qual esta correlacionada com a regra operacional prévia. A resolução deste modelo de otimização pode ser usada para gerar novas regras operacionais gerais, e o processo pode continuar com uma limitação decrescente na faixa de variação de vazões liberadas. Este método foi utilizado no presente trabalho como descrito a seguir.

3.1 Programa Dinâmico Determinístico

As regras operacionais foram determinadas por otimização determinística, aplicada a um sistema de reservatórios de múltiplos usos, considerando a geração energética, as necessidades de abastecimento para irrigação e as vazões mínimas de outros usos dispostas no Decreto N.68324, artigo 8 de 9 de março de 1971.

3.1.1 Função Objetivo

A função objetivo utilizada foi a maximização de potência produzida pelo sistema, sendo que os outros usos foram considerados como restrições. Ressalta-se que no objetivo do trabalho, a função objetivo não é o elemento pesquisado, de forma que ela pode ser substituída por outra pois ela representa apenas um bloco dentro da metodologia usada, e a escolha de uma outra função objetivo não influencia na metodologia. Aqui serão apresentadas três funções objetivo, escolhidas da literatura consultada e a função objetivo utilizada no presente trabalho.

No trabalho de Karamouz (1982), a função objetivo é dada por uma função de perda que considera somente as vazões liberadas. Em geral, funções de benefícios ou perdas devem ser mais complexas e considerar volumes, vazões liberadas, vazões a jusante e outras características do sistema. Os usos do sistema, por exemplo, geração hidroelétrica, recreação, controle de enchentes, abastecimento de água e navegação, devem determinar as funções de perdas ou benefícios que são importantes. A função de perdas, foi por ele representada nas seguintes equações :

$$PERDAS(RL_t) = A(\exp(RL_t/R_{sup}) - \exp(1)); \quad RL_t \geq R_{sup} \quad (3.3)$$

$$PERDAS(RL_t) = 0; \quad R_{inf} \leq RL_t \leq R_{sup} \quad (3.4)$$

$$PERDAS(RL_t) = B(\exp(-RL_t/R_{inf}) - \exp(-1)); \quad RL_t \leq R_{inf} \quad (3.5)$$

onde,

A é uma constante que depende do custo da água e da extensão dos danos com uma liberação ilimitada de água;

B é uma constante que depende do custo da falta de água;

RL_t é o volume liberado no período t, em m^3 ;

R_{sup} é um limite superior do volume liberado, em m^3 ;

R_{inf} é um limite inferior do volume liberado, em m^3 .

Na **Figura 3.1** os coeficientes **A**, **B**, **R_{sup}** e **R_{inf}** apresentam os seguintes valores :

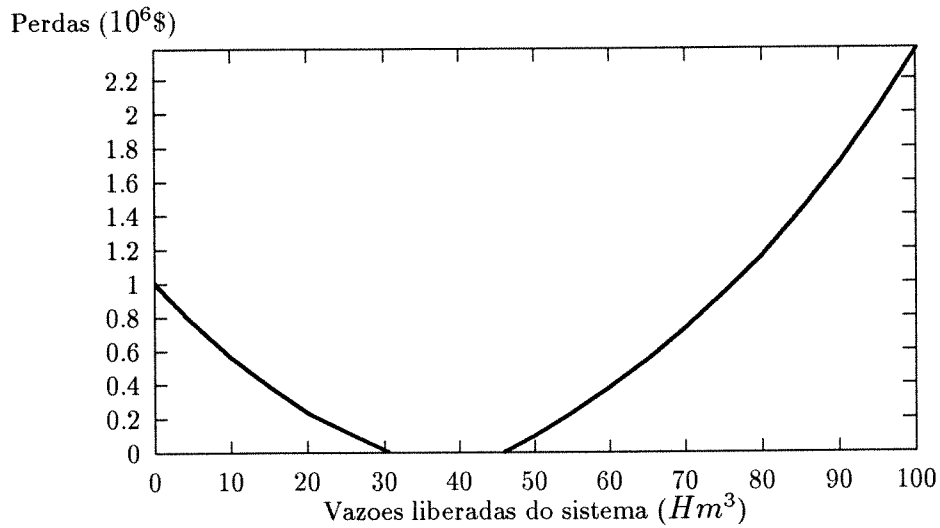
$$A = 3.88 * 10^5$$

$$B = 1.58 * 10^6$$

$$R_{sup} = 45.84 * 10^6$$

$$R_{inf} = 30.56 * 10^6$$

Figura 3.1: Gráfico de Perdas Utilizado por Karamouz



O problema em consideração é como operar o sistema de reservatórios para T períodos de tempo (meses) para minimizar as perdas totais ou danos resultantes da operação.

$$\text{minimizar } Z = \sum_{t=1}^T \text{perdas} \left(\sum_{p=1}^X RL \right) \quad (3.6)$$

Trezos (1987) apresentou um trabalho que enfoca três objetivos. O incremento da produção energética, solução do problema de dimensionalidade na

programação dinâmica e o uso de tomada de decisões. Os quais foram englobados num programa de otimização. Ele usa o princípio de decomposição da programação dinâmica sem discretizar as variáveis de estado ou controle, é assim que o modelo pode ser usado em sistemas de grande escala.

A função objetivo para um sistema de reservatórios tem como objetivo a maximização da energia produzida.

$$\max_{CVRV} E\left[\sum_{t=1}^{NP} (C + D - 2 * F + G)\right] \quad (3.7)$$

$$C = HA^T(t) * R(t)$$

$$D = S^T(NP + 1) * PEN * S(NP + 1)$$

$$F = TARG^T(NP + 1) * PEN * S(NP + 1)$$

$$G = TARG^T(NP + 1) * PEN * TARG(NP + 1)$$

onde,

CV é o conjunto de variáveis de controle;

RV é o conjunto de variáveis aleatórias;

NP é o número de períodos;

NS é o número de reservatórios no sistema;

E [] é a esperança matemática;

HA_T é o transposto de um vetor;

R(t) é a potência liberada durante um período, vetor de tam. NS;

HA(t) é a cota media do reservatório durante o período t, vetor de tam. NS;

S(NP+1) é o volume no inicio do período NP+1, vetor de tam. NS;

TARG(NP+1) é o volume esperado no fim do período NP, vetor de tam. NS;

PEN(NS x NS) é a matriz de custo penalizando os desvios dos valores.

Nesta função objetivo também é possível incluir demanda em horas pico e fora de pico.

Kuo (1990) apresentou um pacote de modelagem para a operação em tempo real dos reservatórios de Feitsui e Shihmen na bacia do rio Tanshui, em Taiwan. O pacote desenvolvido está composto de um modelo de previsão de vazões de 10 dias (o período de operação tradicional em Taiwan), um modelo de simulação baseado na regra operacional e um modelo de otimização. Com a sequência de vazões previstas para todo o ano, o modelo de simulação é usado para determinar as falhas severas. Usando os resultados da simulação, e uma função objetivo apropriada (a qual é diferente para períodos com e sem falha), é usado um modelo de otimização para determinar uma regra melhorada. Este pacote também utiliza um processo iterativo. A função objetivo considera o modelo de otimização para períodos normais e para períodos anormais.

O período é chamado normal, se não houver falhas na simulação. E anormal, se houver falhas. Nestas funções objetivo são incluídos coeficientes de peso de cada reservatório, potências desejadas e geradas.

• **Modelo de otimização para períodos normais**

$$\min Z = \sum_{i=1}^{NP} [M + O] \quad (3.8)$$

$$M = WSP_i * (PST_i - PSG_i)$$

$$O = WFP_i * (PFT_i - PFG_i)$$

onde,

WSP é um coeficiente de potência para Shihmen;

WFP é um coeficiente de potência para Feitsui;

PST é potência objetivo em Shihmen;

PSG é potência gerada em Shihmen;

PFT é potência objetivo em Feitsui;

PFG é potência gerada em Feitsui.

• **Modelo de otimização para períodos anormais**

$$\min Z = \sum_{i=1}^{NP} [H + J + K + L] \quad (3.9)$$

$$H = WSS_i * (SWST_i - (SWSG_i + FSM_i))^2$$

$$J = WSA_i * (SAGT_i - SAGG_i)^2$$

$$K = WFS_i * (FWST_i - FWSG_i)^2$$

$$L = WFP_i * (PFT_i - PFG_i)^2$$

onde,

WSS é o coeficiente de abastecimento de água para Shihmen;

WSA é o coeficiente de irrigação para Shihmen;

WFS é o coeficiente de abastecimento de água para Feitsui;

SWST é a quantidade objetivo para abastecimento de água de Shihmen;

SAGT é a quantidade objetivo para irrigação de Shihmen;

SWSG é a quantidade liberada para abastecimento de água de Shihmen;

SAGG é a quantidade liberada para irrigação de Shihmen determinada pelo modelo;

FWST é a quantidade objetivo para abastecimento de água de Feitsui;

FWSG é a quantidade liberada para abastecimento de água de Feitsui determinada pelo modelo;

FSM é um suplemento de água fornecido por Feitsui para Shihmen, que é variável.

No presente trabalho foi utilizada a seguinte função objetivo :

$$\max Z = \sum_{t=NP}^1 potencia \left(\sum_{p=1}^X PG_{p,t} \right) \quad (3.10)$$

onde,

$PG_{p,t}$ é a potência gerada no reservatório p , no período t .

3.1.2 Equação da continuidade e restrições

A equação de continuidade ou balanço de massa do conteúdo do reservatório do começo de um período de tempo até o próximo em todos os locais, pode ser expressa da seguinte forma :

$$S_{p,t+1} = S_{p,t} + I_{p,t} - R_{p,t} - EC_{p,t}; \quad p = 1, 2, \dots, X; \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (3.11)$$

onde,

$R_{p,t}$ é a vazão liberada durante o período t no local p , em m^3/s ;

$I_{p,t}$ é a vazão afluyente durante o período t no local p , em m^3/s ;

$S_{p,t}$ é o volume armazenado no início do período t no local p , em m^3/s ;

$EC_{p,t}$ é o balanço entre a precipitação e a evaporação na área exposta do reservatório, em m^3/s .

Para manter continuidade dentro do modelo de operação, é necessário assegurar que os volumes e vazões liberadas respeitem outras restrições físicas. Por exemplo, é impossível liberar uma quantidade negativa de água ou ter um volume negativo. Também não é possível manter mais volume do que a capacidade de armazenamento.

Estas condições são apresentadas como :

$$R_{p,t}^{max} \geq R_{p,t} \geq R_{p,t}^{min}; \quad p = 1, 2, \dots, X \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (3.12)$$

$$S_{p,t}^{max} \geq S_{p,t} \geq S_{p,t}^{min}; \quad p = 1, 2, \dots, X \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (3.13)$$

$$PG_{p,t}^{max} \geq PG_{p,t} \geq PG_{p,t}^{min}; \quad p = 1, 2, \dots, X \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (3.14)$$

onde,

$R_{p,t}^{min}$ é a vazão liberada mínima (conhecida), em m^3/s ;

$R_{p,t}^{max}$ é a vazão liberada máxima (conhecida), em m^3/s ;

$S_{p,t}^{min}$ é o volume mínimo (conhecido), em m^3/s ;

$S_{p,t}^{max}$ é o volume máximo (conhecido), em m^3/s ;

$PG_{p,t}^{min}$ é o potência mínima (conhecida), em Mw;

$PG_{p,t}^{max}$ é o potência máxima (conhecida), em Mw.

As equações acima constituem um programa matemático que pode ser separado e resolvido por programação dinâmica. A relação recursiva pode ser escrita assim :

$$f_{t+1}(S_{1,t+1}, \dots, S_{X,t+1}) = \max(pot(\sum_{s=1}^X R_{p,t}) + f_t(S_{1,t}, \dots, S_{X,t})) \quad (3.15)$$

$$S_{1,t} \in \Omega_{1,t}, \dots, S_{X,t} \in \Omega_{X,t}$$

As condições iniciais são :

$$f_1(S_{1,1}, \dots, S_{X,1}) = 0 \quad S_{1,1} \in \Omega_{1,1}, \dots, S_{X,1} \in \Omega_{X,1}$$

onde $f_t(S_{1,t}, \dots, S_{X,t})$ é a mínima perda total ou o máximo benefício total da operação do início do período 1 ao início do período t, onde o volume no início do período t é $S_{1,t}$ no local 1, $S_{2,t}$ no local 2, ..., $S_{X,t}$ no local X. $\Omega_{p,t}$ é o conjunto de volumes discretos que devem ser considerados no começo do período t no local S.

A solução deste problema é um programa dinâmico que resolve a equação recursiva para $t=1$ e cada valor de $S_{p,2}$ e $\Omega_{p,2}$, obtendo os valores de $f_2(S_{p,2})$ para cada valor de $S_{p,2}$. A equação recursiva pode ser resolvida para $t=2$ até $t=T$ e $f_{T+1}(S_{p,T+1})$ é determinado. Neste ponto o problema é resolvido, o armazenamento ótimo $S_{p,T+1}^*$ produz o máximo $f_{T+1}(S_{p,T+1})$. O armazenamento ótimo previo $S_{p,t}^*$ e a liberação ótima $R_{p,t}$ para $t=1, 2, \dots, T$ e $p=1, 2, \dots, X$ são conhecidos.

3.2 Obtenção das Regras Operacionais

Uma forma de obter as regras operacionais gerais da política de operação ótima é fazer regressões entre $R_{p,t}^*$ e $S_{p,t}^*$, $S_{p,t-1}^*$, $I_{p,t}$, $I_{p,t-1}$, $I_{p,t-2}$, $R_{p,t-1}^*$, $R_{p,t-2}^*$ e outras características da operação. Bhaskar (1980) testou formas lineares e não lineares complexas e concluiu que as regras operacionais lineares simples

são melhores que as regras mais complexas em muitos casos. Dessa forma, a liberação ótima, volume ótimo e vazões afluentes de cada local podem ser regredidas para estimar a regra operacional geral numa forma simples :

$$R_{p,t} = a_p + b_p I_{p,t} + c_p S_{p,t}; \quad p = 1, 2, \dots, X \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (3.16)$$

onde,

a_p, b_p, c_p são coeficientes da equação de regressão múltipla do reservatório p.

Procurando melhorar as regras operacionais Karamouz (1982) incluiu a simulação e um funcionamento cíclico na metodologia proposta por Young (1967).

Deve-se lembrar que o processo iterativo passa por uma otimização num programa dinâmico, uma regressão das liberações obtidas na otimização e a simulação da regra operacional obtida para determinar benefícios ou perdas. Este resultado é comparado com outro anteriormente definido, o que na verdade significa que a regra operacional obtida é comparada com a regra prévia. A regra obtida é utilizada no processo iterativo, o qual fornecerá uma nova regra operacional. Disso decorre uma forte relação entre a regra prévia e a atual. Na **Figura 3.2** apresenta-se o algoritmo desse processo.

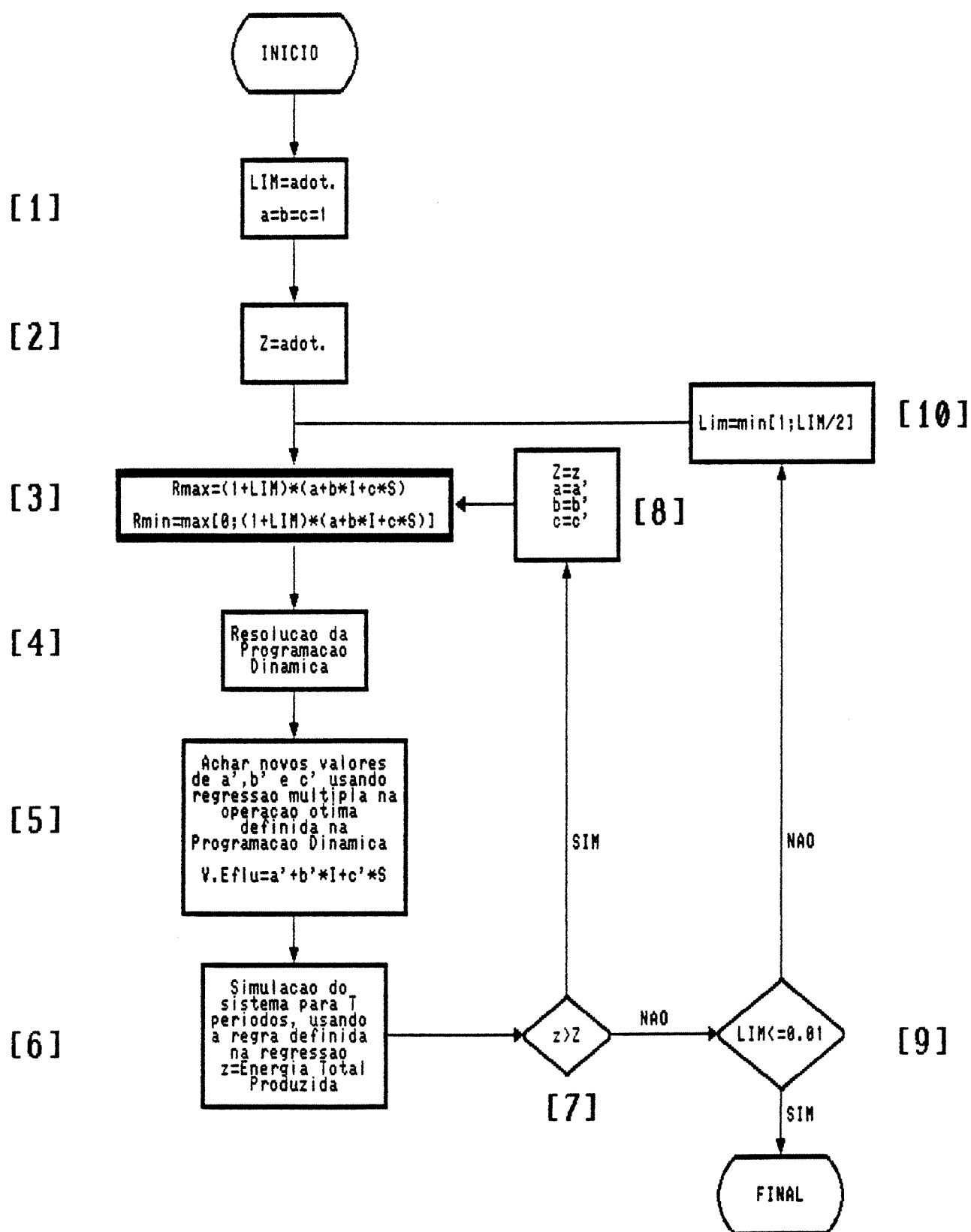
Lembrando que para obter uma correlação maior entre a regra operacional ótima e as regras prévias, utiliza-se iterativamente a equação 3.1, conforme a **Figura 3.2** verifica-se que as liberações atuais correlacionam-se com as liberações prévias.

No início do processo iterativo, deve-se escolher um valor de **LIM**, o qual deve ser de preferência grande. Dessa maneira, não existirá limite superior na liberação e o limite inferior da liberação será zero. Deve-se adotar um valor conhecido para os benefícios (z). Também deve-se escolher os coeficientes da regra operacional linear, que inicialmente poderão ser $a_p = b_p = c_p = 1$. Sabe-se que estes coeficientes não são iguais e também não tem o valor de 1.

Dessa forma, o valor de Z a ser comparado com z (z é o resultado de benefícios na simulação) deve ser menor, para que uma nova regra operacional seja definida com os valores de a'_p, b'_p, c'_p , encontrados na regressão múltipla da primeira iteração. Sendo assim, nos **blocos 1 e 2** do algoritmo são definidos os valores de **LIM**, a_p, b_p, c_p e Z (o valor inicial fixado para os benefícios).

Com a definição desses valores, obtêm-se os valores de $R_{p,t}^{min}$ e $R_{p,t}^{max}$, que devem ser usados nas restrições para a programação dinâmica (**bloco 3**). Deve-se lembrar que na primeira iteração não existe restrição superior para a liberação e a restrição inferior é igual a zero, devido ao valor inicial de **LIM**.

Figura 3.2: Algoritmo do Processo Cíclico



Conhecendo as restrições, a equação de continuidade, as condições iniciais e a equação recursiva é possível resolver a programação dinâmica, obtendo as liberações ótimas (**bloco 4**).

Com as liberações ótimas definidas pela otimização, é possível determinar a regra operacional linear usando regressão múltipla, onde os valores de a'_p , b'_p e c'_p são determinados (**bloco 5**).

Havendo obtido a regra operacional linear, esta deve ser testada. A simulação faz este teste, onde a regra definida é usada para um determinado horizonte de tempo. Na simulação é possível calcular o valor dos benefícios (z) (**bloco 6**).

Aconselha-se que o valor adotado de Z , represente a regra operacional atual (regra histórica) do sistema, se esta existir. O motivo é que possivelmente a regra histórica não tenha sofrido nenhum processo de otimização e seja uma regra empírica.

Assim, será provável que na primeira iteração do processo seja possível obter uma regra operacional "**melhor**" (quando simulada, produzira um valor de z maior do que Z). No bloco 7 é feita uma comparação do valor calculado de z e do valor adotado de Z . Após a comparação, os valores dos coeficientes $a_p = b_p = c_p = 1$ são substituídos pelos coeficientes calculados de a'_p , b'_p e c'_p (**bloco 8**).

Dessa maneira, é possível determinar novas restrições superiores e inferiores de liberação mais coerentes. Devido ao fato que os valores de $a_p = a'_p$, $b_p = b'_p$ e $c_p = c'_p$ sofreram um processo de regressão, após a primeira iteração é possível determinar as restrições com base numa regra prévia, o que não acontece na primeira iteração. Conhecendo as novas restrições, a Programação Dinâmica é novamente utilizada para a obtenção de liberações ótimas. Daí há um novo processo de regressão múltipla, para a determinação das regras operacionais e os novos valores de a'_p , b'_p e c'_p . Posteriormente, as regras operacionais são usadas na simulação para determinar o valor de z , o qual deve ser comparado com Z . O processo cíclico continua pelos **blocos 8, 3, 4, 5, 6, 7** até que o "**melhor**" valor de z para um determinado LIM seja determinado.

Quando o "**melhor**" valor de z para um determinado LIM for alcançado, deve-se verificar a grandeza do LIM. Adotou-se o valor de 0.01 para o menor valor do LIM. Até que esse mínimo não tenha sido atingido o processo iterativo continuará procurando a regra operacional ótima (**bloco 9**). Quando o valor de LIM for maior do que 0.01, o novo valor de LIM será o mínimo entre $LIM/2$ e 1.0 (**bloco 10**).

Este processo iterativo assegura a determinação de uma regra "**melhor**" do que a regra prévia.

Capítulo 4

Programa Computacional

Para poder aplicar a metodologia foi necessário o desenvolvimento de um algoritmo computacional, devido a dois motivos. Em primeiro lugar, não foi possível obter o programa desenvolvido por Karamouz (1992), e em segundo lugar, o uso de programação dinâmica torna difícil a criação de um programa genérico que resolva sistemas de diferentes características.

O algoritmo contém as três etapas da metodologia adotada. Estas três etapas ou processos são a programação dinâmica, a regressão múltipla e a simulação. As etapas de programação dinâmica e simulação devem reproduzir as características da área de estudo. Como o desenvolvimento de um programa genérico encontra barreiras nestas duas etapas, e também não é objetivo deste trabalho, ele foi desenvolvido para o sistema Alto-Paraíba, no Estado de São Paulo e Rio de Janeiro.

As características e os dados disponíveis encontram-se descritos no capítulo do estudo de caso.

A seguir apresenta-se cada uma das etapas do algoritmo desenvolvido.

4.1 Etapa de Programação Dinâmica

Como se mostra no capítulo das características do estudo de caso, a bacia utilizada apresenta um sistema com a "**configuração típica**" de Trezos (1987). A configuração é muito importante na programação dinâmica, pois é quem define a interdependência entre as equações de continuidade de cada reservatório.

Na metodologia utilizada a influência da configuração também encontra-se presente na equação da regra de liberação. Esta influência é devida à vazão afluente, a qual depende da liberação de reservatórios a montante.

Estas interdependências são responsáveis diretas do crescimento no número

de combinações. **O que é uma combinação?** Uma combinação é um conjunto de valores das variáveis de estado do sistema no período t . Lembrando que a variável de estado utilizada é o volume do reservatório, e no sistema analisado existem quatro reservatórios, há quatro variáveis de estado. Cada uma destas variáveis têm n níveis possíveis. Estes níveis são os que definem o número de combinações.

Na programação dinâmica procura-se o "**melhor**" caminho de valores das variáveis de estado ao longo do tempo. Este caminho depende diretamente da função objetivo. Neste trabalho a função objetivo utilizada foi a potência gerada. A escolha desta função é devido ao fato que o presente trabalho tem como objetivo o melhor conhecimento da metodologia proposta por Karamouz (1992) e o comportamento da mesma no sistema escolhido. Em próximas etapas de desenvolvimento da metodologia será interessante a aplicação de outras funções objetivo, utilizando um conjunto maior de informações sobre o sistema real.

Na metodologia proposta por Karamouz (1982) a equação da continuidade tem a seguinte forma :

$$R_t = S_t + I_t - S_{t+1} \quad (4.1)$$

A aplicação desta equação leva a conclusão de que o volume S_t e o volume S_{t+1} são conhecidos. Este tipo de equação de continuidade foi proposto por Yeh (1985). Ele fazia uso dessa equação como uma forma de evitar interpolações.

Karamouz (1982) aplica a seguinte equação de liberação :

$$R_{p,t} = a_p + b_p * I_{p,t} + c_p * S_{p,t} \quad (4.2)$$

onde,

$R_{p,t}$ a vazão liberada esta sujeita a seguinte restrição :

$$(1 - LIM) * R_{p,t} \leq R_{p,t} \leq (1 + LIM) * R_{p,t} \quad (4.3)$$

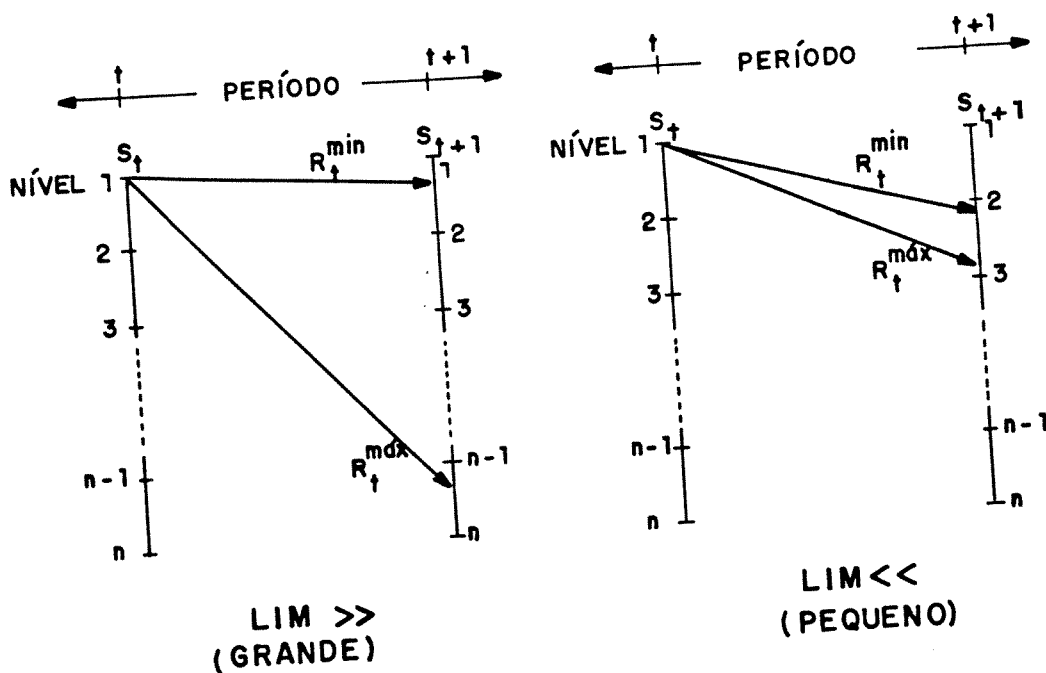
Também a vazão liberada esta sujeita a vazão mínima determinada no Decreto.

O volume esta sujeito a seguinte restrição :

$$S_p^{min} \leq S_{p,t} \leq S_p^{max}$$

Graficamente pode ser feita a seguinte representação :

Figura 4.1: Níveis de Volume no tempo t e $t+1$



Da 4.3 é possível determinar a vazão liberada máxima e mínima resultando em :

$$R_t^{max} = (1 + LIM) * (a_p + b_p * I_{p,t} + c_p * S_{p,t}) \quad (4.4)$$

$$R_t^{min} = (1 - LIM) * (a_p + b_p * I_{p,t} + c_p * S_{p,t}) \quad (4.5)$$

Aplicando ambas equações na equação da continuidade é possível determinar S_{t+1}^{max} e S_{t+1}^{min} .

Considerando conhecido S_{t+1} , como foi definido na 4.1, evita-se a interpolação. E determina-se o melhor S_{t+1} dentro da faixa de S_{t+1}^{max} e S_{t+1}^{min} (observe a representação gráfica).

No desenvolvimento do algoritmo verificou-se que quando o valor de LIM atingia valores abaixo de 0.30 era necessário um aumento no número de níveis possíveis para a variável de estado, ou seja o volume do reservatório. A faixa de S_{t+1}^{max} e S_{t+1}^{min} fica reduzida a tal ponto que não é possível encontrar um nível de

S_{t+1} dentro dela. Dessa maneira torna-se impossível a obtenção de um caminho crítico. Para o desenvolvimento do algoritmo do sistema de reservatórios iniciou-se com um algoritmo para um reservatório. Nesse algoritmo de um reservatório foram necessários 200 níveis de volume para atingir LIM=0.08, enquanto que Karamouz (1992) usa 5 ou 7 níveis de volume e atinge o valor do LIM=0.01. Talvez tenha sido usado algum procedimento não apresentado em Karamouz (1982), Karamouz (1987), Karamouz (1992). Note-se entretanto que no presente caso, os reservatórios apresentam dimensões maiores.

Dessa forma pesquisou-se uma nova solução, concluindo-se por alterar o conceito de considerar conhecidos os níveis do reservatório no tempo t e $t+1$. Assim sendo, deixou-se de usar a equação 4.1. A solução obtida foi a de utilizar a equação da continuidade da seguinte forma :

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t \quad (4.6)$$

Neste caso o valor de S_{t+1} depende da vazão liberada R_t , a qual necessariamente deve respeitar a **equação 4.3**. A **equação 4.3** determina um leque de valores de R_t que devem ser testados na procura do "melhor" valor para o "melhor" cenário das variáveis de estado no tempo t do caminho crítico. Este leque de valores de R_t deve ser dividido em níveis, da mesma forma que as variáveis de estado. O aumento de níveis leva a um aumento de combinações. Cabe resaltar que na **equação 4.6** foram incluídas as perdas e a variável p que representa os diferentes locais, ficando esta equação igual a **equação 3.11**. A diferença desta consideração e da consideração de Karamouz (1982), é o fato que a faixa de S_{t+1}^{max} e S_{t+1}^{min} é dividida procurando a "melhor" liberação.

Este aumento de combinações tem influência direta sobre o tempo de resolução do algoritmo, o que o torna mais demorado. O algoritmo utilizado no presente trabalho foi desenvolvido e aplicado numa estação gráfica. Ainda não foi desenvolvida uma versão para PCs.

4.2 Etapa de Regressão múltipla

Para a determinação dos coeficientes da equação de liberação existem vários métodos de regressão múltipla. Neste caso foi utilizado o método dos mínimos quadrados. Relembrando que a equação de liberação tem seguinte forma :

$$R_{p,t} = a_p + b_p * I_{p,t} + c * S_{p,t} \quad (4.7)$$

Nesta equação de liberação não leva-se em conta a sazonalidade. Isto quer dizer que o coeficiente é o mesmo tanto para períodos secos como para períodos úmidos.

O conjunto de equações e mínimos quadrados utilizadas é o seguinte :

$$\sum_{t=1}^{NP} R_p = a_p * N + b_p * \sum_{t=1}^{NP} I_p + c_p * \sum_{t=1}^{NP} S_p$$

$$\sum_{t=1}^{NP} R_p * I_p = a_p * \sum_{t=1}^{NP} I_p + b_p * \left(\sum_{t=1}^{NP} I_p \right)^2 + c_p * \sum_{t=1}^{NP} S_p * \sum_{t=1}^{NP} I_p$$

$$\sum_{t=1}^{NP} R_p * S_p = a_p * \sum_{t=1}^{NP} S_p + b_p * \sum_{t=1}^{NP} S_p * \sum_{t=1}^{NP} I_p + c_p * \left(\sum_{t=1}^{NP} S_p \right)^2$$

A sazonalidade pode ser facilmente incluída numa próxima etapa do trabalho. Neste caso seria necessário determinar coeficientes do tipo $a_{p,m}$, $b_{p,m}$ e $c_{p,m}$ onde m varia segundo a divisão entre meses ou estações secas e úmidas. Esta possibilidade fica em aberto.

4.3 Etapa de Simulação

A etapa de simulação deve representar todas as relações físicas do sistema. No presente estudo foram incluídas todas as informações obtidas da área de estudo. Também deve ficar claro, que a informação utilizada não está completa. Como se apresenta no capítulo das características do estudo de caso, a representação física na simulação limitou-se pela falta de informação da operação dos reservatórios de Santa Branca (Light) e Funil (Furnas), e de melhores dados sobre a água retirada para irrigação e sobre a operação em Santa Cecília. Existindo toda esta informação é possível uma verificação mais detalhada da etapa de simulação. Nessa etapa também considera-se as restrições utilizadas na programação dinâmica como S_p^{max} , S_p^{min} , Pot_p^{max} , Pot_p^{min} , Rj_p^{min} , Rj_p^{max} a vazão bombeada em Santa Cecília.

No algoritmo de simulação foram incluídos os parâmetros de **confiabilidade e vulnerabilidade**. Estes parâmetros avaliaram a potência e a vazão liberada. O programa computacional fornece tabelas com resultados mês a mês, médias anuais e totais do período analisado.

A linguagem utilizada foi **FORTRAN-77**. Inicialmente pretendia-se o uso de PCs, mas o grande número de iterações e a memória ocupada obrigaram o uso de Workstation. Inclui-se no trabalho a listagem do programa, o qual contém vários comentários que facilitam a sua compreensão, ver **Apêndice F**.

Capítulo 5

Características do Estudo de caso

A bacia do Alto-Paraíba é uma bacia em estágio de desenvolvimento avançado. O vale do Paraíba abriga o corredor Rio-São Paulo, que pode ser considerado o de maior movimento no continente. O vale também abriga cidades de porte considerável como Jacareí, Taubaté, São José dos Campos e Guaratingueta. Estas cidades encontram-se as margens da **BR-116** e do rio Paraíba. O vale do Paraíba também mostra um alto desenvolvimento industrial e agrícola.

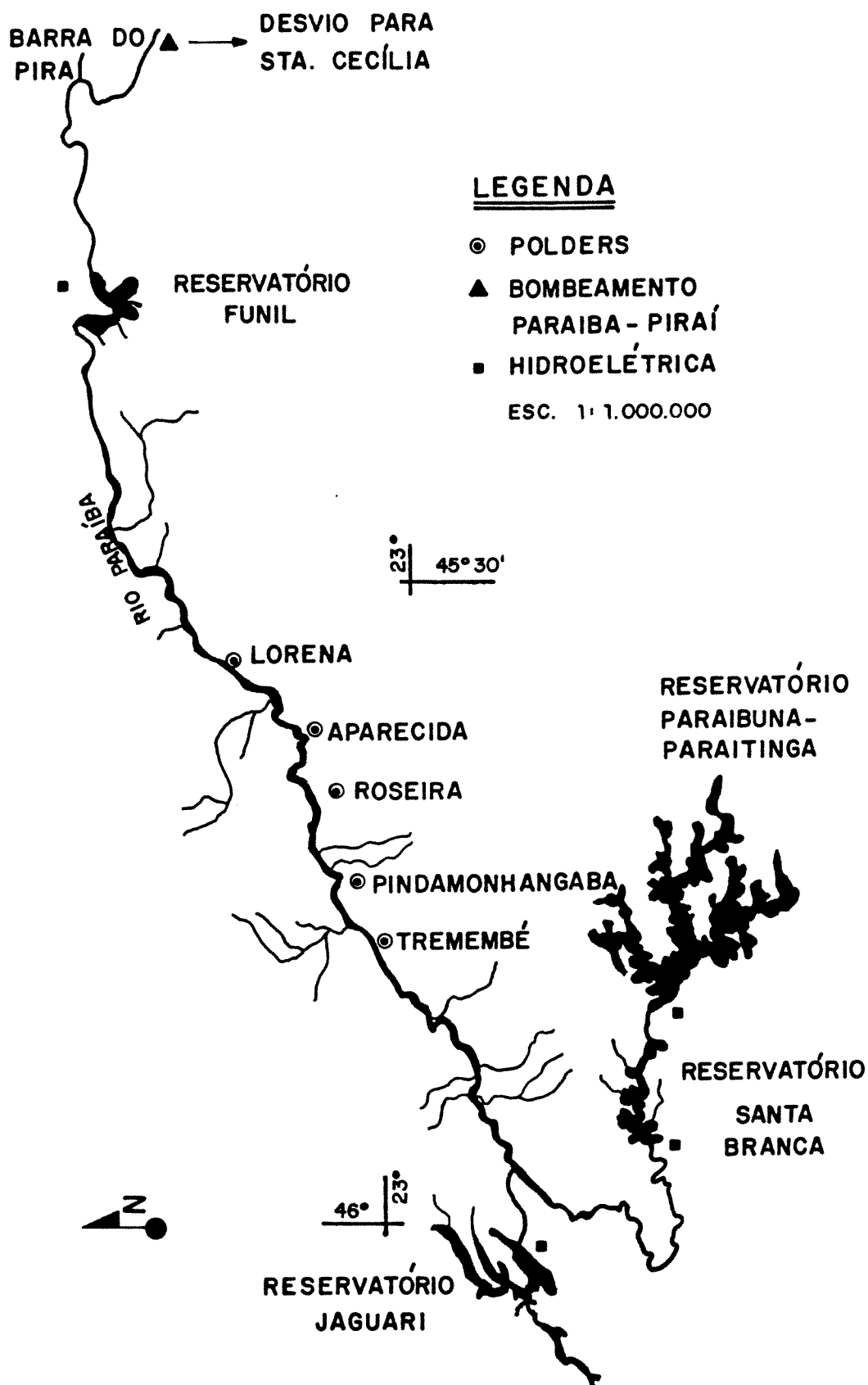
Nesta bacia encontram-se os reservatórios de Paraibuna-Paraitinga, Santa Branca, Jaguari e Funil. Os reservatórios tem como um dos principais objetivos a geração energética (as turbinas de Santa Branca ainda não entraram em funcionamento).

A bacia tem áreas com diferentes usos do solo. Segundo IGC (1980), acima de 60,00 por cento da bacia esta coberta por pastagens e/ou campos antrópicos. A área de florestas é muito pequena, na bacia encontra-se o Parque Nacional da Bocaina. As áreas de silvicultura encontram-se espalhadas pela bacia, sempre aproveitando os reservatórios existentes (exceto Funil) e o próprio rio Paraíba. As áreas de culturas anuais encontram-se concentradas nas margens do rio Paraíba, desde Jacareí até Cachoeira Paulista.

As margens do rio Paraíba oferecem terras cultiváveis. O resto da bacia tem terras impróprias para culturas anuais, mas boas para pastagens e silvicultura. Todas estas características mostram a necessidade de se usar o solo e os recursos hídricos de uma forma apropriada e organizada.

A seguir apresenta-se uma representação esquemática do sistema Alto-Paraíba.

Figura 5.1: Representação esquemática do Sistema Alto-Paraíba



Esta bacia tem as características adequadas para a aplicação da metodologia adotada. O sistema de reservatórios tem como um dos principais objetivos a geração energética. Existe o fornecimento de água para irrigação: Pelos dados levantados, o sistema opera segundo regras dispostas no Decreto N.68324, artigo 8 de 9 de março de 1971. Deve ficar esclarecido, que o conjunto de informações utilizadas encontra-se incompleto. A **CESP** forneceu os dados necessários para Paraibuna-Paraitinga e Jaguari (ver **Apêndice C, D**).

Tabela 5.1: Tabela de dados dos Reservatórios

Dados Técnicos	Paraibuna	Sta.Branca	Jaguari	Funil
Área de drenagem (Km^2)	4150.00	5030.00	1300.00	13530.00
Área inundada (Km^2)	177.00	27.00	56.00	39.51
Volume Residual (Hm^3)	461.00	28.60	443.00	222.00
Volume Util (Hm^3)	2636.00	405.40	793.00	666.00
Nível Montante Max Maximorum (m)	716.50	—	625.80	466.50
Nível Montante Máximo (m)	714.00	622.00	623.00	466.00
Nível Montante Mínimo (m)	694.60	600.30	603.20	444.00
Nível Jusante Maximorum (m)	627.60	—	562.40	—
Nível Jusante Máximo (m)	626.40	—	557.90	—
Nível Jusante Mínimo (m)	625.00	—	555.80	—
Altura de Queda (m)	89.00	44.50	67.00	70.50
Produtibilidade ($MW/M^3/s$)	0.62	—	0.52	—
Potência Instalada (MW)	85.00	49.00	27.60	220.00
Engolimento das Turbinas (m^3/s)	120.00	—	50.00	—
Capacidade de Vertimento (m^3/s)	777.00	—	435.00	—

A **ELETRONBRAS** forneceu dados das vazões nos postos fluviométricos da bacia (ver **Apêndice B**). Também forneceu alguns dados de Santa Branca e Funil (ver **Tabela 5.1**). Na tabela abaixo é possível observar a falta de alguns

dados que não foram obtidos.

A **Tabela 5.1** mostra a diferença nos volumes úteis entre os reservatórios. O volume útil de Paraibuna-Paraitinga é seis vezes maior que o de Santa Branca, três vezes o de Jaguari e quatro vezes o de Funil. Os outros reservatórios apresentam diferenças menores.

O **DAEE** de TAUBATE forneceu informações sobre a vazão de irrigação, que é retirada do rio Paraíba. Para o presente estudo foram considerados seis polders operados pelo **DAEE** no rio. A tabela abaixo apresenta os dados coletados.

Tabela 5.2: Tabela de dados dos Polders utilizados

Nome Polder	Vazão (l/s)	Área (ha)
Lorena-I	300.00	90.00
Aparecida-I	1200.00	350.00
Pinda-I	600.00	180.00
Pinda-IV	2400.00	1950.00
Tremembre-I	900.00	700.00
Roseira-II	1800.00	300.00

É possível observar que a área irrigada não representa a área irrigada em toda a bacia.

Para a continuidade do presente trabalho é necessário um levantamento de informações complementares e representativa de toda a bacia.

De particular interesse são informações operacionais das usinas que permitam inclusive uma definição da função objetivo de conformidade com os fatores que determinam a política operacional do sistema.

Capítulo 6

Aplicação do Modelo e Resultados

A metodologia adotada foi inicialmente desenvolvida para um reservatório (modelo simples), e posteriormente foi estendida para o sistema de reservatórios (modelo múltiplo).

O modelo simples foi utilizado nos reservatórios de Paraibuna-Paraitinga e Jaguari. Estes resultados foram ilustrativos, permitindo uma melhor compreensão da metodologia adotada. Foi possível observar o comportamento dos volumes, vazões efluentes, potências geradas ao longo do tempo, segundo a regra aplicada pelo modelo.

É viável o desenvolvimento de um programa computacional genérico para o modelo simples. No caso do modelo múltiplo a situação é mais complexa, devido às diferentes configurações dos sistemas e as interrelações entre os reservatórios. Dessa forma, neste trabalho, o programa computacional para o modelo múltiplo foi desenvolvido especificamente para o estudo de caso utilizado.

A proposta do presente trabalho é a utilização de um modelo matemático para a determinação de regras operacionais, para um sistema de reservatórios. Sua aplicação no estudo de caso baseou-se no dados disponíveis, de modo que a comparação feita com dados de operação real do sistema é apenas ilustrativa.

Utilizou-se também o Decreto N.68324, artigo 8, do 9 de março de 1971, que define valores de descarga mínima a jusante dos aproveitamentos, normas de operação para a **"configuração futura"** (ver **Apêndice E**).

A metodologia adotada permite a determinação de regras num processo iterativo. O modelo não precisa de uma regra inicial, pois ele determina uma primeira regra com o conjunto de informações existentes. Esta primeira regra é refinada iterativamente, procurando maximizar ou minimizar a função objetivo escolhida. O modelo suspende o processo de determinação de regras, quando

a condição de parada for satisfeita.

$$(1 - LIM) * R_t^* \leq R_t^* \leq (1 + LIM) * R_t^* \quad (6.1)$$

onde,

R_t^* é a vazão liberada no período t , determinada pelo modelo.

A condição de parada é o valor de **LIM**. O modelo determina regras até o valor de **LIM** ser igual ou menor a um valor definido pelo usuário, [25] considerou **LIM=0.01**. Aplicando este valor na equação 6.1, o modelo determina regras até existir uma folga de 1,00 por cento entre a regra "ótima" e seus limites inferior e superior.

O modelo inicia a pesquisa com um valor de **LIM** elevado. Esse valor é reduzido, quando a regra R_t^* fornece um valor melhor da função objetivo. O novo valor é **LIM=LIM/2**, com esse valor o modelo novamente procura uma regra R_t^* que melhore mais ainda a função objetivo.

6.1 Modelo Simples

A não disponibilidade de maiores informações sobre a aplicação da metodologia adotada pelo autor, e testes já realizados, abria espaço a diversas dúvidas sobre o comportamento dos volumes, vazões efluentes, potências produzidas, coeficientes da regra, nas diferentes regras determinadas pelo modelo. Estas dúvidas foram esclarecidas nos testes realizados no modelo simples.

O modelo simples foi aplicado aos reservatórios de Paraibuna-Paraitinga e Jaguari, situados na parte de montante da bacia do Alto-Paraíba. Esta situação possibilitou considerar os reservatórios isoladamente. Os resultados em ambos reservatórios apresentam características semelhantes. Dessa forma, escolheu-se o reservatório de Paraibuna-Paraitinga para apresentar essas características.

A série de vazões afluentes tem 60 anos. Os primeiros 30 anos foram utilizados no bloco de programação dinâmica, os restantes no bloco de simulação. Também foram utilizadas séries geradas no bloco de simulação.

A função objetivo considerada foi a maximização da potência gerada no período analisado. As restrições utilizadas foram as seguintes :

- R_{jus}^{min} é a vazão mínima a jusante do aproveitamento, definida no Decreto.
- R_{jus}^{max} é a vazão máxima a jusante do aproveitamento definida pelo modelo. Aqui caso se deseje pode ser considerado o controle de enchentes, para o que entretanto é necessário um estudo paralelo de enchentes ao longo da bacia.

- PG_t^{min} é a potência mínima, que pode ser produzida a cada mês. Nestes exemplos foi considerada 25,00 por cento da potência instalada.
- PG_t^{max} é a potência máxima que pode ser produzida a cada mês. Foram consideradas duas situações 100,00 e 60,00 por cento da potência instalada.

Esta hipótese de máxima potência utilizável igual a 60,00 por cento da potência instalada se justifica pelo fato de a operação ser a nível mensal. Admite-se que na operação horária, nas horas de pico se utilizaria toda a potência instalada.

A seguir apresenta-se uma tabela com as regras determinadas iterativamente, no modelo. Nesta tabela a função objetivo é apresentada em forma percentual, sendo a razão da potência gerada pela máxima potência que pode ser gerada. No primeiro exemplo PG_t^{max} foi considerada 100,00 por cento da potência instalada.

Tabela 6.1: Regras determinadas pelo modelo simples - Exemplo I

Int.	LIM	F.Obj. %	a	b	c	r^2	Conf.PG %	Conf.QE %
1	1.20	53.80	122.152	1.012	-0.101	0.857	96.10	100.00
2	1.20	55.31	117.692	0.274	-0.059	0.511	96.10	100.00
4	0.60	55.15	117.347	0.313	-0.061	0.552	96.10	100.00
13	0.30	57.17	87.253	0.618	-0.053	0.869	96.70	100.00
17	0.15	64.78	53.402	0.891	-0.038	0.977	100.00	100.00
19	0.08	63.37	45.255	0.966	-0.035	0.993	100.00	100.00
20	0.04	60.02	5.358	0.968	0.002	0.979	100.00	100.00
21	0.02	58.00	3.506	0.976	0.005	0.979	99.40	100.00
22	0.01	56.92	1.413	1.003	0.006	0.981	99.40	100.00

Na **Tabela 6.1** encontram-se as regras determinadas pela regressão múltipla da operação "ótima" no bloco de programação dinâmica. Estas regras foram testadas no modelo, obtendo o valor da função objetivo, a confiabilidade da potência e da vazão. A função objetivo representa a energia total gerada no período simulado. A confiabilidade apresenta o atendimento das potências mínimas e das vazões mínimas, definidas como restrições no bloco da programação dinâmica. Todos estes resultados provem do processo iterativo do modelo.

O modelo inicia o processo sem uma regra definida. A equação de liberação é definida como :

$$R_t = a + b * I_t + c * S_t \quad (6.2)$$

onde,

a, b e c são coeficientes que devem ser definidos inicialmente.

O não conhecimento de uma regra, permite adotar **a=b=c=1**, como valores iniciais. Na **Tabela 6.1**, os coeficientes **a, b, c** apresentados na primeira iteração, foram obtidos da primeira passagem no bloco de regressão múltipla. Na tabela é possível observar que a "**melhor**" regra não garante o melhor coeficiente de correlação r^2 . Nas últimas iterações o coeficiente de correlação tende a 0.98. Somente as primeiras regras determinadas pelo modelo apresentam um coeficiente de correlação baixo.

Na tabela não foram apresentadas todas as iterações, somente as de melhor desempenho. Conforme visto na Figura 4.2, a metodologia adotada tem um processo cíclico, ela procura a "**melhor**" regra para um determinado valor de **LIM**. Quando a regra obtida fornecer um valor de função objetivo menor que o anterior, o valor de **LIM** é reduzido pela metade até alcançar **LIM=0.01**.

É evidente que a condição de escolha do novo valor de **LIM** pode ser alterada, aumentando ou diminuindo o número de regras a serem testadas. Pode-se assim observar o melhor comportamento da função objetivo para diferentes valores de **LIM**.

Na **Figura 6.1** é possível observar a diferença entre as regras. Esta diferença também é observada na função objetivo. Na "**melhor**" regra definida pelo modelo, o reservatório permanece cheio 65,00 por cento do tempo, enquanto que na primeira regra a situação é totalmente contrária, onde 90,00 por cento do tempo o reservatório encontra-se vazio.

A última regra apresenta uma situação intermediária. O modelo apresenta uma característica interessante. O comportamento dos volumes na regra inicial é ruim, ele melhora até atingir o máximo valor da função objetivo, mas posteriormente decresce. Este comportamento pode ser verificado utilizando outras funções objetivo.

Na potência produzida, ver **Figura 6.2**, é possível observar um melhor desempenho da "**melhor**" regra, onde novamente a última regra apresenta uma situação intermediária.

Nas figuras de potência e volume é possível observar uma qualidade do modelo. Ele garante uma potência produzida e mantém o reservatório cheio a maioria do tempo.

Figura 6.1: Volumes Úteis em Paraibuna-Paraitinga - Exemplo I

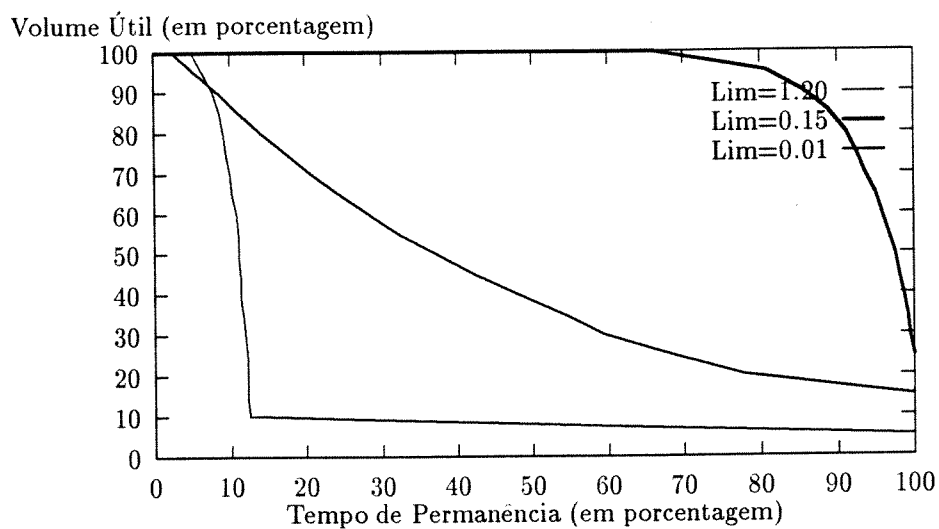
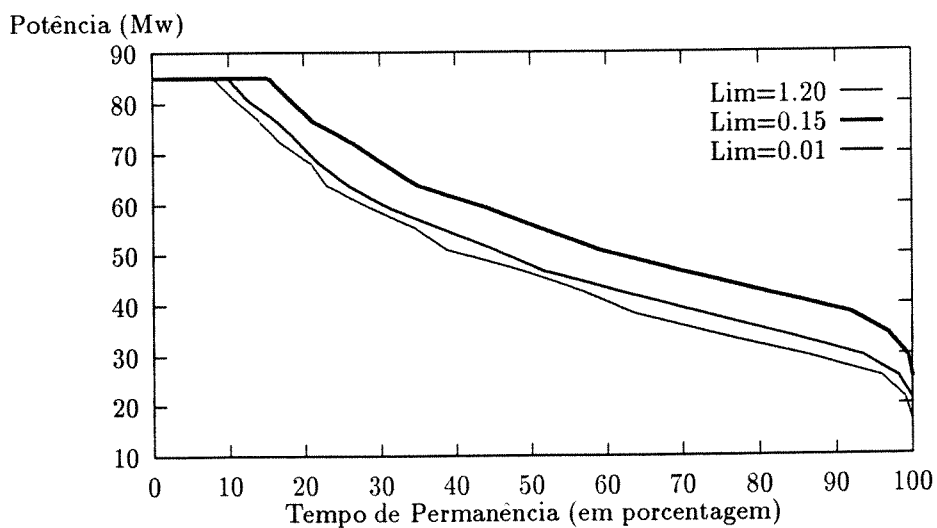


Figura 6.2: Potências em Paraibuna-Paraitinga - Exemplo I



Os coeficientes **a**, **b**, **c** apresentam padrões regulares de variação. O coeficiente **a** começa com valores elevados e decresce tendendo a zero. O coeficiente **b** inicia com 1, tem uma queda mas tende a 1. O coeficiente **c** inicia com valores negativos e acaba positivo.

Note-se a variação existente nos coeficientes **a** e **c** entre a "**melhor**" regra e a última regra. Esta variação altera o desempenho dos volumes e das potências geradas. O modelo apresenta uma diferença de 8,00 por cento na função objetivo, entre a "**melhor**" regra e a última regra. Dessa forma parece mais conveniente adotar os coeficientes da "**melhor**" regra, no caso, a iteração 17.

Para melhor análise do processo, utilizou-se as séries geradas no bloco de simulação, obtendo assim um conjunto de informações sobre a variação dos coeficientes e da função objetivo. Foram utilizadas 50 séries geradas, fornecendo as informações apresentadas na **Tabela 6.2**. Mediante as séries utilizadas foi possível separar as "**melhores**" regras em faixas do valor de **LIM**, da função objetivo, dos coeficientes. A última coluna da tabela mostra o número de séries em cada faixa.

Tabela 6.2: Resultados das séries geradas no modelo simples

LIM	<i>F.Obj.</i> %	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>Ocorrências</i>
0.30	63.73	92.346	0.622	-0.058	1
0.15	63.38	65.966	0.819	-0.045	7
	a 57.78	a 51.431	a 0.891	a -0.036	
0.08	62.75	49.204	0.912	-0.036	18
	a 57.62	a 43.136	a 0.962	a -0.033	
0.04	61.07	24.630	0.989	-0.019	21
	a 58.12	a 20.218	a 0.963	a -0.014	
0.02	59.30	20.091	0.979	-0.014	1
0.01	60.44	17.925	0.966	-0.012	2
	a 60.64	a 15.056	a 0.969	a -0.009	

A maioria das séries forneceram a seguinte faixa de variação para os coeficientes e para a função objetivo :

Tabela 6.3: Faixa de variação do modelo simples

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>F.Obj.</i>
20.00	0.990	-0.014	57.00
50.00	0.910	-0.036	63.00

Estes resultados confirmam o observado na iteração 17, da **Tabela 6.1**. Utilizando a série histórica o modelo consegue determinar uma regra operacional "ótima", a qual é verificada pela obtenção de outras regras usando séries geradas, que apresentam desempenhos semelhantes.

Tabela 6.4: Regras determinadas pelo modelo simples - Exemplo II

<i>Int.</i>	LIM	<i>F.Obj.</i> %	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	r^2	<i>Conf.PG</i> %	<i>Conf.QE</i> %
1	1.20	77.93	115.759	1.013	-0.096	0.855	96.10	100.00
3	1.20	96.60	71.514	0.142	-0.013	0.522	100.00	100.00
5	0.60	96.53	73.271	0.134	-0.014	0.545	100.00	100.00
6	0.30	96.30	71.259	0.155	-0.014	0.575	100.00	100.00
7	0.15	96.29	69.844	0.175	-0.013	0.610	100.00	100.00
8	0.08	96.38	60.615	0.238	-0.008	0.665	100.00	100.00
9	0.04	96.74	57.766	0.222	-0.004	0.734	100.00	100.00
11	0.02	97.14	49.904	0.271	0.002	0.860	100.00	100.00
13	0.01	97.05	44.409	0.309	0.007	0.913	100.00	100.00

No segundo exemplo do modelo simples, a restrição de potência máxima gerada foi reduzida para 60,00 por cento da potência instalada.

A diferença entre a "melhor" regra e a última regra não é a mesma do primeiro exemplo. A potência gerada neste exemplo foi de 17840 Mw, no primeiro exemplo foi de 19820 Mw o que se deve, é claro, à redução da potência máxima.

Neste exemplo é possível observar como a mudança de restrições tem influência sobre os coeficientes.

Figura 6.3: Potências em Paraibuna-Paraitinga - Exemplo II

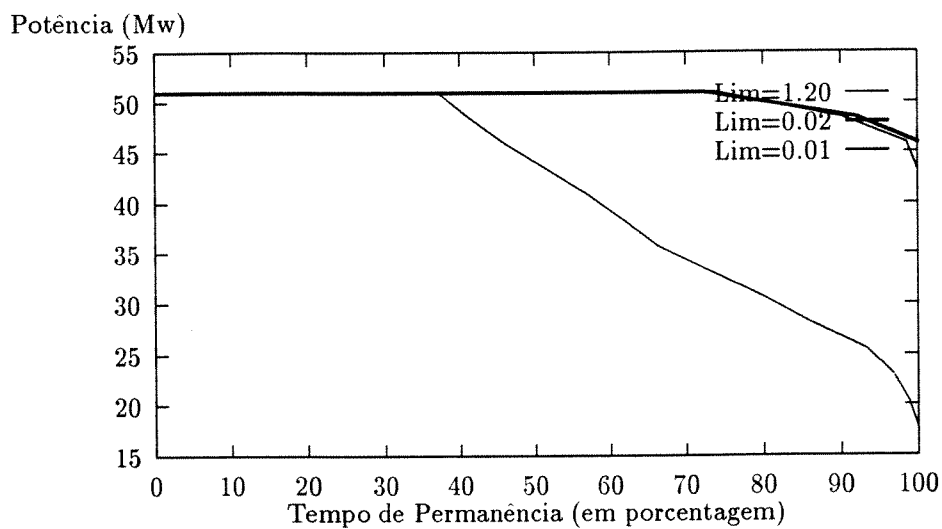
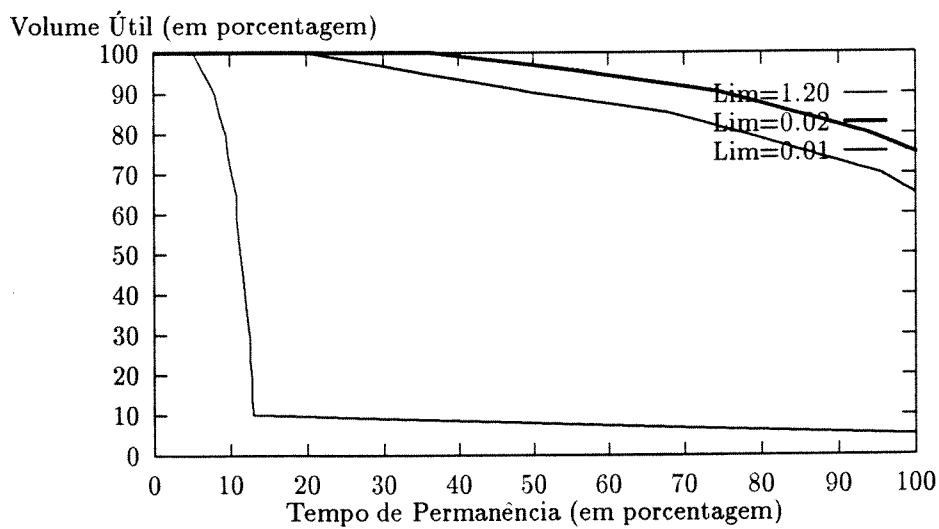


Figura 6.4: Volumes Úteis em Paraibuna-Paraitinga - Exemplo II



Embora o padrão de comportamento seja o mesmo, o modelo fornece valores diferentes. Assim, neste caso, o coeficiente **b** não cresce tanto quanto no outro caso. Na Figura 6.3 de permanência de potências pode-se observar características diferentes do primeiro teste, o que são consequência da alteração da potência máxima. A primeira regra e a "**melhor**" regra apresentam desempenhos diferentes, mas o modelo apresenta uma convergência de desempenhos entre a "**melhor**" regra e a última regra. O mesmo pode ser observado no caso dos volumes.

O modelo mostra ser uma ferramenta muito útil, sendo sensível à variação de parâmetros. Assim ele apresenta diferentes coeficientes e seus desempenhos, e neste reservatório é possível determinar regras operacionais aplicáveis. É evidente que as restrições, assim como, a função objetivo utilizadas são ilustrativas. Na aplicação real é necessário utilizar a função objetivo adotada pelo órgão responsável do aproveitamento. Também as restrições no modelo devem respeitar as consideradas na operação atual.

6.2 Modelo Múltiplo

O modelo múltiplo tem como objetivo a determinação de regras operacionais para os quatro reservatórios da bacia Alto-Paraíba. O modelo deve gerar regras para atender os múltiplos usos da água. É um sistema complexo dada a variedade de usos e restrições, assim como as diferenças nas dimensões dos reservatórios. Assim, no estudo de caso utilizado, tem-se a geração hidroenergética, o atendimento de vazões mínimas a jusante dos aproveitamentos, a vazão de irrigação retirada pelos seis polders considerados no rio Paraíba e a vazão de bombeamento em Paraíba-Piraí.

A função objetivo do modelo considera somente a geração hidroenergética. O atendimento dos outros usos encontra-se definido em forma de restrições a serem satisfeitas. Como foi colocado anteriormente, a função objetivo representa um bloco do modelo que pode ser modificado sem alterar a metodologia adotada, permitindo o uso de diferentes funções objetivo.

O modelo tem três blocos, o de programação dinâmica, o de regressão múltipla e o de simulação. O bloco de programação dinâmica considera os diferentes usos da água, como restrições. Na simulação a regra determinada é aplicada, a simulação considera o atendimento dos diferentes usos da água sempre que possível. Se a regra não cobre a vazão de bombeamento de Paraíba-Piraí, os reservatórios com volume disponível liberam a vazão complementar. O Decreto foi utilizado como marco de referência para a construção do modelo, definindo a operação da bacia Alto-Paraíba.

Na simulação é possível introduzir os parâmetros propostos por Hashimoto

(1981), a confiabilidade anual, a confiabilidade no período analisado, a vulnerabilidade mensal e anual. Estes parâmetros avaliam o atendimento das vazões mínimas e das potências mínimas geradas.

O modelo opera ciclicamente, segundo a **Figura 4.2**. É possível observar o desempenho dos reservatórios submetidos a diferentes regras, as quais tem por objetivo maximizar a função objetivo escolhida.

A **Tabela 6.5** apresenta o desempenho da função objetivo nos quatro reservatórios e na bacia. Os valores na tabela representam a razão entre a potência gerada no período utilizado e a máxima potência que poderia ser gerada. No terceiro exemplo foi considerada 100,00 por cento da potência instalada. Os períodos de vazão afluente utilizados são os mesmos utilizados no modelo simples.

Tabela 6.5: Desempenho da Função Objetivo - Exemplo - III

LIM	<i>Paraibuna</i>	<i>Sta.Branca</i>	<i>Jaguari</i>	<i>Funil</i>	<i>Bacia</i>
1.20	54.31	64.24	57.03	57.44	57.59
0.60	56.36	47.76	47.07	55.68	54.19
0.30	55.79	49.68	54.36	55.64	54.82
0.15	54.71	56.12	53.71	53.34	54.03
0.08	61.28	39.56	56.49	53.30	53.54
0.04	61.26	49.18	55.05	58.30	57.55
0.02	62.72	62.17	54.12	56.68	58.55
0.01	61.30	49.61	55.20	57.17	56.98

Segundo a **Tabela 6.5**, as regras de melhor desempenho na bacia não representam as "**melhores**" regras para os reservatórios individualmente. Em Jaguari e Funil existem melhores desempenhos na função objetivo. Deve ficar claro que maximizar a bacia não corresponde a maximização de cada um dos reservatórios.

Observe-se que em termos do sistema o modelo evolue de uma primeira regra para outras até obter uma regra que permite uma melhor produção energética.

Observando a geração de potência no reservatório de Paraibuna-Paraitinga, o modelo gera regras com diferentes características. Na **Figura 6.5** é possível observar o desempenho da primeira regra, a "**melhor**" regra e a última regra, determinadas pelo modelo.

Figura 6.5: Potências em Paraibuna-Paraitinga - Exemplo -III

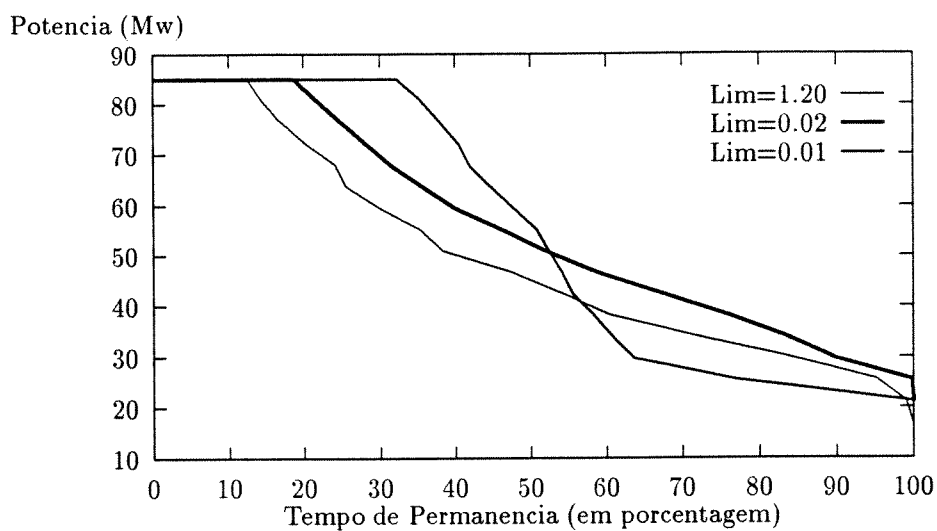
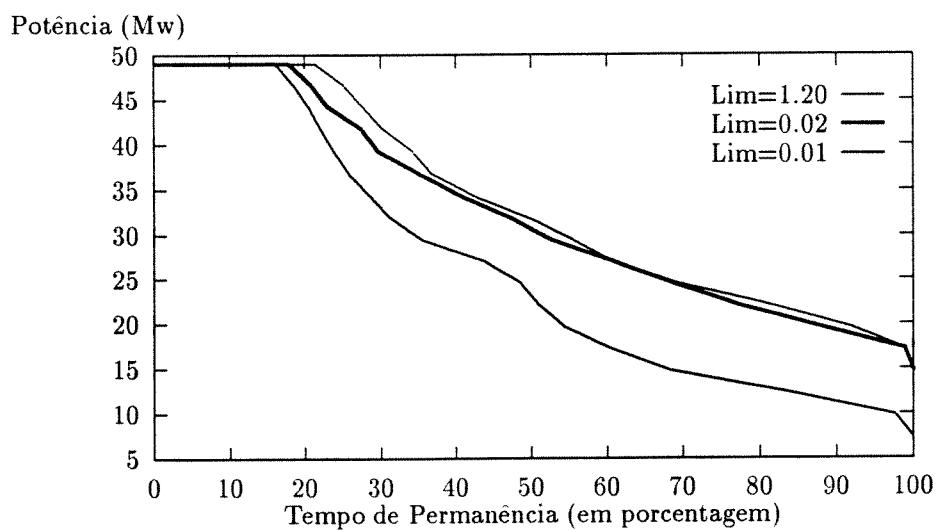


Figura 6.6: Potências em Santa Branca - Exemplo -III

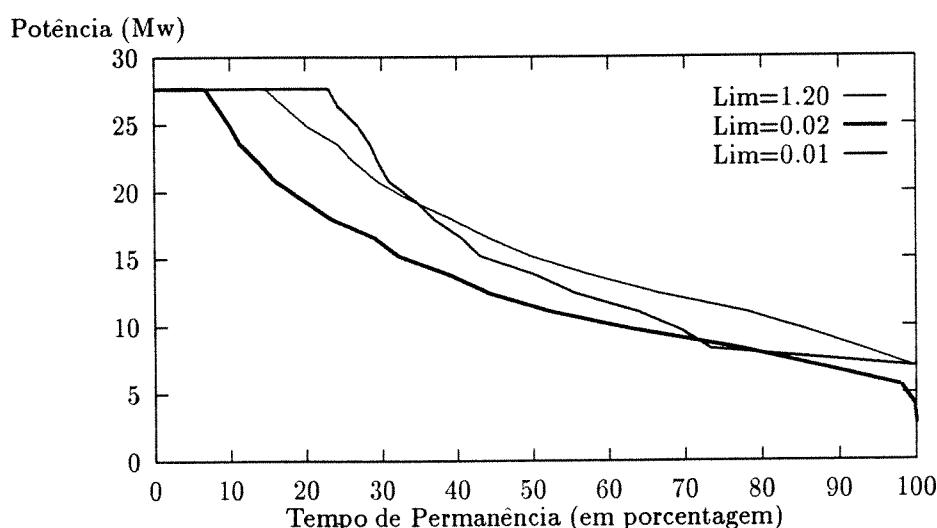


A "melhor" regra tem uma diferença percentual de 1,40 em relação a última regra, na função objetivo. Na **Figura 6.5** a última regra gera potências maiores que a "melhor" regra durante 50,00 por cento do tempo, o restante do tempo as potências são menores e determinam a diferença percentual. A primeira regra apresenta um desempenho inferior em relação as outras duas. Estas mesmas características foram observadas no modelo simples.

No reservatório de Santa Branca, as regras apresentam desempenhos muito diferentes, ver **Tabela 6.5**. Mas a primeira regra e a "melhor" regra apresentam desempenhos semelhantes. A última regra apresenta uma queda na geração de potência.

A necessidade de maximizar o sistema, sacrifica o aproveitamento individualmente. Na **Tabela 6.5** é possível observar como o bom desempenho de Santa Branca, representa um baixo desempenho em Jaguari, e viceversa. No caso de Paraibuna-Paraitinga e Funil, existe pouca variação.

Figura 6.7: Potências em Jaguari - Exemplo -III



A tendência em ambos reservatórios é a convergência a um valor da função objetivo. Aparentemente esse desempenho pode ser motivado pela diferença que existe nas potências instaladas em cada aproveitamento (ver **Tabela 5.1**). Essa situação também pode ser motivada pela restrição da vazão de bombeamento em Paraiba-Piraí.

Na **Tabela 6.5** é possível observar mudanças bruscas na função objetivo de

uma regra para outra, analisando os reservatórios individualmente. Também no caso do sistema analisou-se o caso da máxima potência gerável igual a 60,00 por cento da potência instalada, exemplo IV.

A redução na restrição de potência, apresentou um desempenho contínuo da função objetivo nos reservatórios de Santa Branca e Jaguari. A função objetivo tende a 95,00 por cento em Santa Branca, e a 80,00 por cento em Jaguari, apresentando características diferentes as do exemplo anterior.

Tabela 6.6: Desempenho da Função Objetivo - Exemplo - IV

LIM	<i>Paraibuna</i>	<i>Sta.Branca</i>	<i>Jaguari</i>	<i>Funil</i>	<i>Bacia</i>
1.20	99.97	94.74	79.18	77.57	84.88
0.60	96.44	82.67	79.74	75.81	81.57
0.30	96.85	81.74	78.80	77.19	82.27
0.15	89.11	84.17	80.26	77.19	80.96
0.08	99.96	97.61	79.18	79.08	86.12
0.04	99.97	95.00	79.22	77.76	85.03
0.02	99.97	94.94	79.19	77.67	84.96
0.01	99.97	94.96	79.19	77.61	84.93

Em Paraibuna-Paraitinga a função objetivo apresentou uma pequena queda nas primeiras iterações, mas converge para 100,00 por cento. No reservatório de Funil a função se mantém nos 77,00 por cento.

Observando a função objetivo do sistema, ela apresenta as mesmas características do exemplo anterior. A nova potência máxima consegue reduzir a variabilidade da função objetivo individualmente, mas não muda o desempenho da função objetivo global.

O reservatório de Paraibuna-Paraitinga apresentou uma situação muito interessante. Na figura de permanência de potências é possível observar as três regras apresentadas, como iguais. Esta mesma característica pode ser observada no reservatório de Jaguari, as curvas de permanência se reproduzem.

No reservatório de Santa Branca e Funil, as regras apresentam diferenças. Em ambos reservatórios a primeira e a última regra apresentam características semelhantes, a "melhor" regra supera ambas.

Figura 6.8: Potências em Paraibuna-Paraitinga - Exemplo -IV

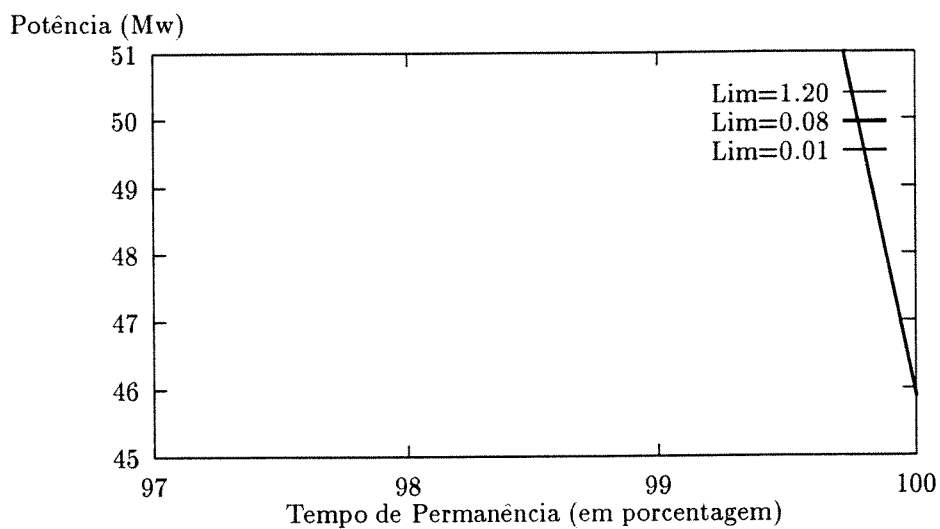
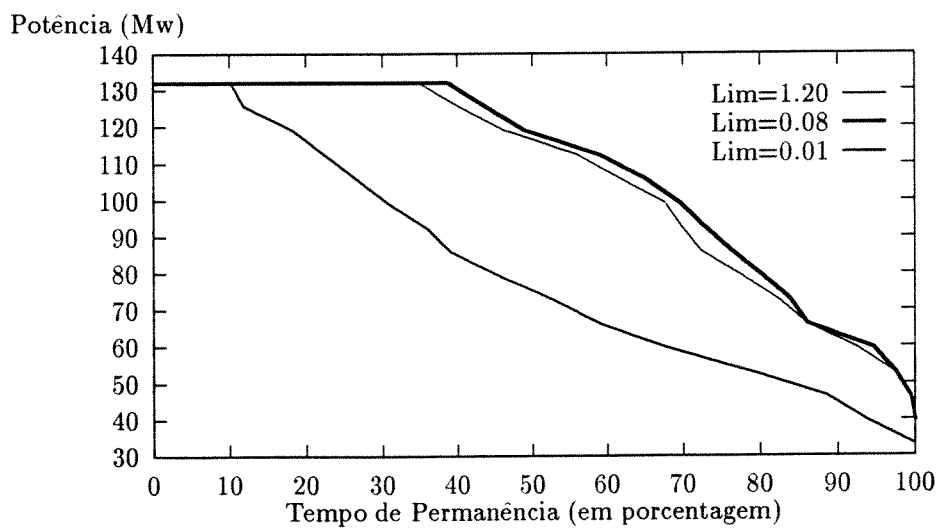
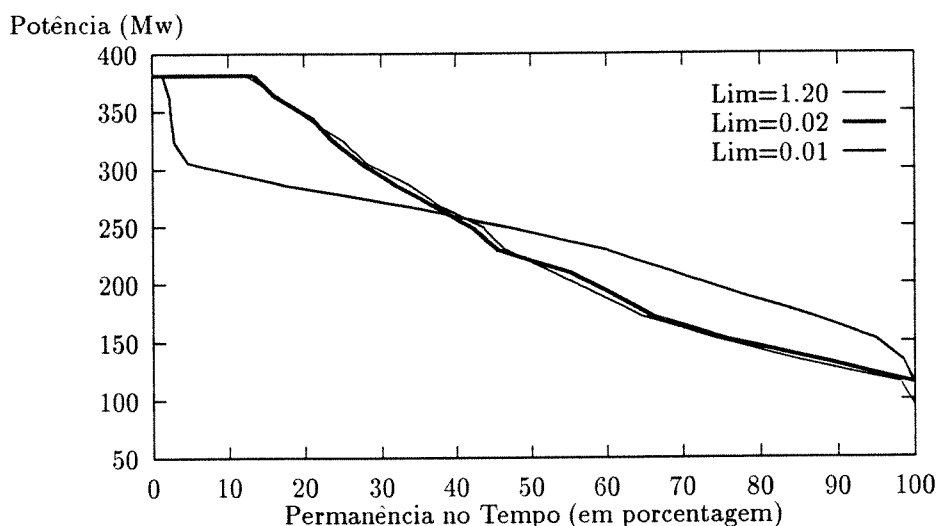


Figura 6.9: Potências em Funil - Exemplo -IV



Analisando a função objetivo do sistema (ver **Figura 6.10**) e nas **Tabelas 6.5** e **6.6** é possível observar que o modelo apresenta uma queda após a primeira regra no valor da função objetivo, e a seguir consegue determinar as "**melhores**" regras com o valor da função objetivo maior do que na primeira iteração da metodologia adotada. Posteriormente a função objetivo apresenta um decaimento até o modelo finalizar a pesquisa. O desempenho das últimas regras é semelhante ao das primeiras regras, considerando o valor da função objetivo. Esta característica da função objetivo já tinha sido observada no modelo simples.

Figura 6.10: Potências do sistema Alto-Paraíba - Exemplo -III



No terceiro exemplo, quanto ao desempenho dos volumes ao longo do tempo e nas diferentes regras, ver **Figura 6.11**, o reservatório de Paraibuna-Paraitinga apresenta as mesmas características observadas no modelo simples. A primeira regra mantém o reservatório vazio a maioria do tempo, a "**melhor**" regra garante 100,00 por cento do volume útil durante 95,00 por cento do tempo. A última regra garante uma situação intermediária.

Esta característica do modelo simples é diferente nos outros reservatórios, em Jaguari a "**melhor**" regra apresenta outras características. A primeira regra consegue manter o reservatório cheio a maioria do tempo, nas outras regras o reservatório apresenta desempenhos inferiores, os quais se refletem na geração de energia, ver a **Tabela 6.5**.

Figura 6.11: Volumes em Paraibuna-Paraitinga - Exemplo -III

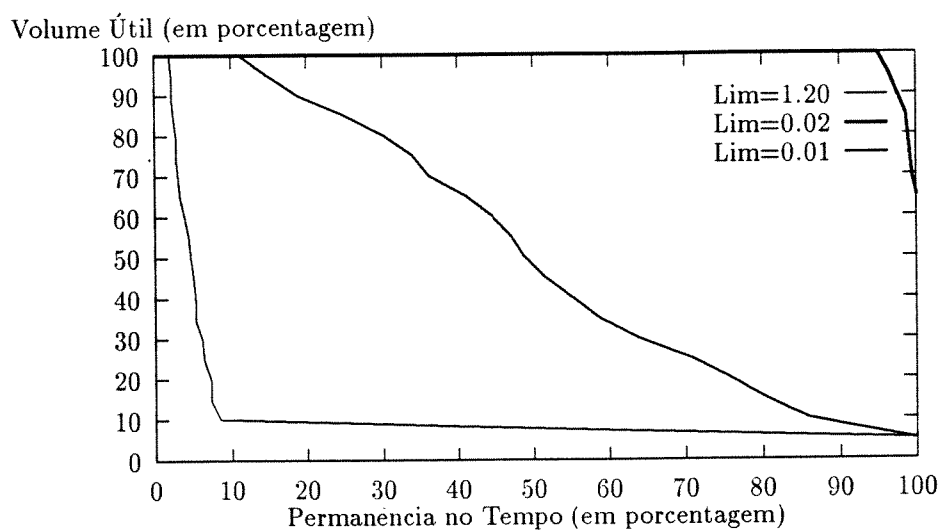
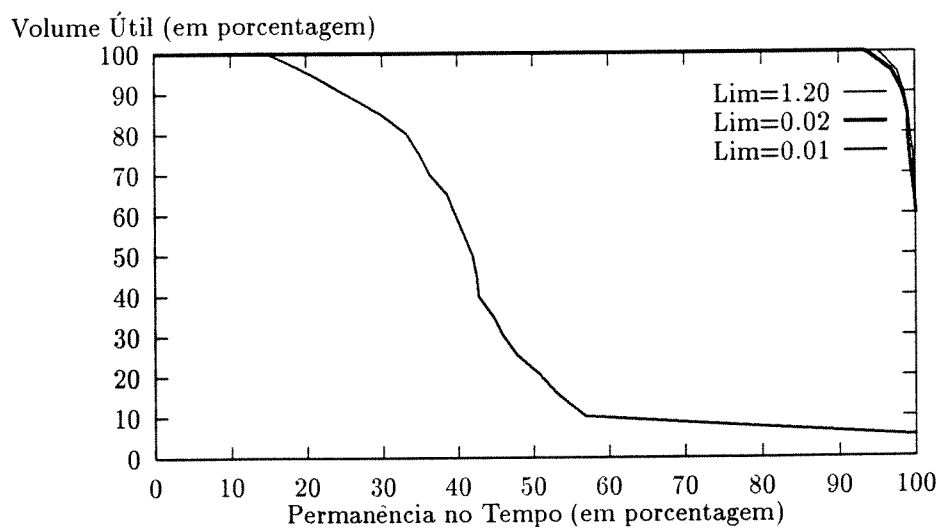


Figura 6.12: Volumes em Santa Branca - Exemplo -III



No reservatório de Santa Branca, ver **Figura 6.12**, o desempenho da primeira regra e da "**melhor**" regra são semelhantes. A última regra mantém o reservatório vazio a maioria do tempo.

O reservatório recebe a contribuição de Paraibuna-Paraitinga, que apresenta desempenhos diferentes nas regras analisadas. Também deve se lembrar a diferença de volumes úteis entre este reservatório e o reservatório de Santa Branca (seis vezes).

Em Funil a primeira regra apresenta um melhor comportamento dos volumes em relação as outras duas regras. Na primeira regra o reservatório mantém os volumes úteis entre 40,00 e 100,00 por cento.

Neste reservatório é possível observar, que o melhor desempenho dos volumes úteis entre as regras, não garante o melhor desempenho da função objetivo, como foi observada nos outros três reservatórios. O reservatório de Funil encontra-se localizado a jusante da bacia e recebe a contribuição dos outros três reservatórios.

O volume do reservatório é pequeno em relação as vazões afluentes, dessa forma, o volume útil fica num segundo plano na contribuição da geração de potência. Nos reservatórios de Paraibuna-Paraitinga e Jaguari a situação é inversa. Os volumes tem um papel muito importante na geração hidroenergética.

No quarto exemplo observou-se uma situação muito interessante, como fora observado na potência gerada, o desempenho das três regras foi o mesmo na permanência de volumes, nos reservatórios de Paraibuna-Paraitinga e Jaguari.

O reservatório de Paraibuna-Paraitinga, ver **Figura 6.13**, não atinge o volume útil zero, ele flutua entre 55,00 e 100,00 por cento do volume útil, 90,00 por cento do tempo a variação fica restrita entre 70,00 e 100,00 por cento do volume. As três regras apresentam desempenhos idênticos.

O reservatório de Jaguari permanece o tempo todo entre 95,00 e 100,00 por cento do volume útil. Esta situação repete-se nas três regras observadas, confirmando os valores da função objetivo na **Tabela 6.6**, referente a esse reservatório. As outras regras apresentam pequenas diferenças.

Em Santa Branca observaram-se as mesmas características do modelo simples. O desempenho dos volumes úteis cresce até a "**melhor**" regra e depois apresenta uma queda. Neste caso a primeira e a última regra apresentaram desempenhos semelhantes.

No reservatório de Funil, ver **Figura 6.14**, a última regra apresenta um melhor desempenho em relação as outras regras, confirmando o observado no terceiro exemplo. O volume do reservatório não é peça chave na geração hidroenergética.

Figura 6.13: Volumes em Paraibuna-Paraitinga - Exemplo -IV

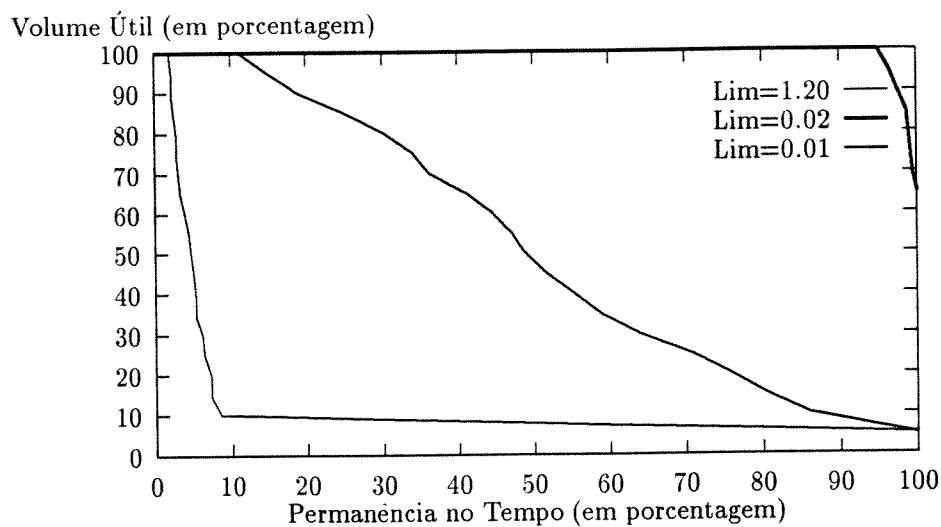
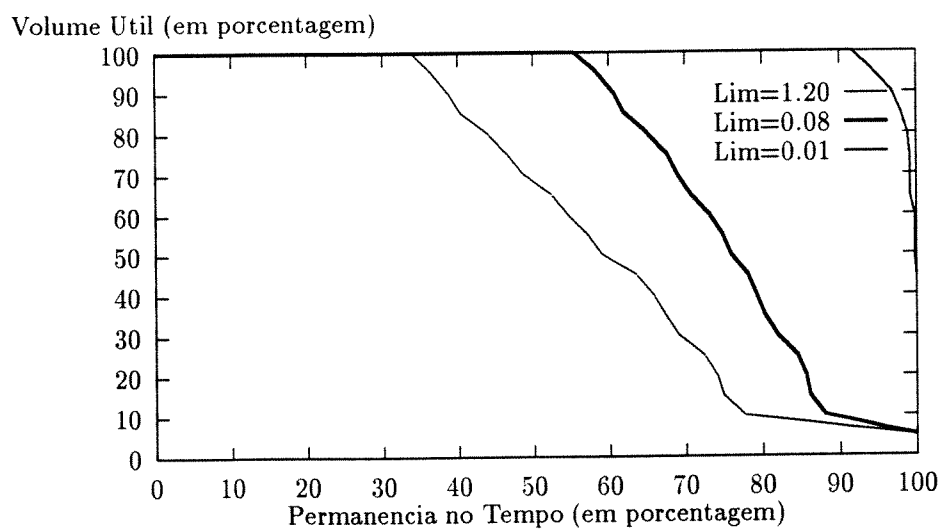


Figura 6.14: Volumes em Funil - Exemplo -IV



No bloco de simulação foram introduzidos os parâmetros propostos por [18]. Eles medem desde o atendimento mensal até o atendimento no período simulado.

O modelo deve atender os múltiplos usos da água, assim, foram considerados dois parâmetros, a confiabilidade da potência mínima e a confiabilidade da vazão mínima liberada a jusante. Em cada regra aplicada no bloco de simulação é possível observar estes parâmetros.

No terceiro exemplo, observou-se que a confiabilidade da potência na "melhor" regra teve um bom desempenho em Paraibuna-Paraitinga, Santa Branca e Funil. Nos primeiros dois reservatórios não houve falhas, no terceiro reservatório a confiabilidade foi de 99,70 por cento.

O reservatório de Jaguari apresentou somente 96.90 por cento de confiabilidade. Esta situação já tinha sido observada nas potências geradas e nos volumes. A aplicação de outras regras garantem melhores desempenhos para Jaguari, apresentando 100,00 por cento de confiabilidade.

No caso da confiabilidade da vazão, Jaguari apresenta 98.60 por cento de confiabilidade, nos outros reservatórios a confiabilidade é de 100,00 por cento.

Tabela 6.7: Parâmetros de Confiabilidade de Potência - Exemplo III

LIM	<i>Paraibuna</i>	<i>Sta.Branca</i>	<i>Jaguari</i>	<i>Funil</i>
1.20	95.30	100.00	100.00	100.00
0.60	96.40	96.40	95.60	98.60
0.30	95.80	98.30	98.30	99.70
0.15	95.80	100.00	96.30	98.10
0.08	100.00	77.20	100.00	99.40
0.04	99.70	81.40	100.00	100.00
0.02	100.00	100.00	96.30	99.70
0.01	99.70	81.40	100.00	100.00

No quarto exemplo a situação é diferente, pois após o modelo determinar a "melhor" regra, não existem falhas no atendimento dos usos múltiplos, e eles apresentam 100,00 por cento de confiabilidade. Os reservatórios conseguem armazenar mais água, devido à restrição de potência máxima. Atendendo a potência máxima e a vazão mínima de jusante consideradas no modelo, os reservatórios somente liberam água para cobrir as falhas no bombeamento de Paraíba-Piraí. No quarto exemplo, a potência máxima representa 60,00 por cento da potência instalada.

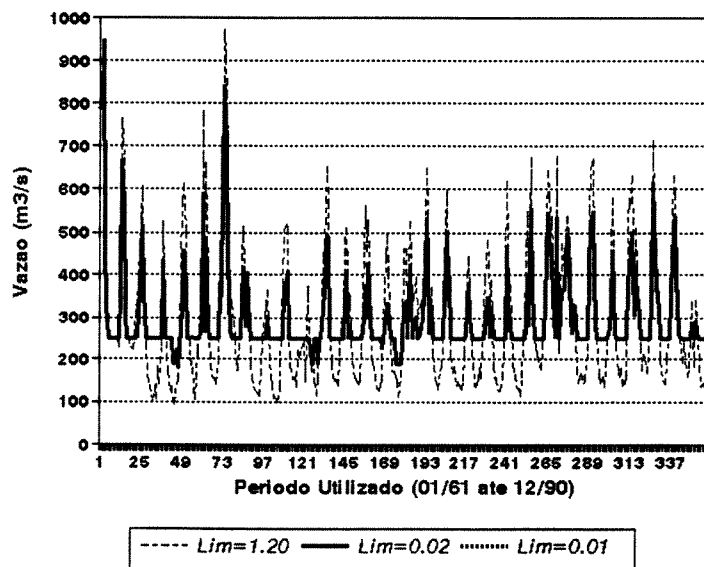
Outro uso da água nesta bacia é a vazão de bombeamento em Paraíba-

Piraí. Segundo o Decreto, esta vazão deve ser de $160 \text{ m}^3/\text{s}$, e em determinadas situações pode ser reduzida para $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver **Apêndice E**). Neste trabalho analisa-se o ponto a montante deste bombeamento, onde a vazão mínima deve ser a vazão de bombeamento mais a vazão mínima a jusante de Santa Cecília, definida no Decreto.

O modelo permite observar o efeito das diferentes regras sobre a vazão disponível neste ponto. No bloco de simulação o atendimento desta vazão é uma prioridade. Se a regra definida pelo modelo não garantir a vazão necessária, os reservatórios com volume disponível liberam a vazão complementar para atender o Decreto. No terceiro exemplo a "melhor" regra também obriga a esta situação, mas apresenta um melhor desempenho.

É possível observar como o modelo garante o atendimento dessa vazão na "melhor" regra. A primeira regra apresenta falhas, onde os reservatórios apresentam-se vazios. Na última regra o desempenho é semelhante ao da "melhor" regra. Esta situação ocorre devido a semelhança de desempenhos em Funil, ver **Tabela 6.5**.

Figura 6.15: Vazões a montante de Paraíba-Piraí - Exemplo -III



Na **Figura 6.15** observa-se a existência de vazões elevadas neste ponto. No modelo não foi incluída nenhuma restrição de vazão máxima nos aproveitamentos e em Paraíba-Piraí. A inclusão desta restrição deve alterar o desempenho observado nos exemplos apresentados, e deve auxiliar no controle de enchentes. O modelo tem versatilidade para receber este e outros objetivos, que podem

ser incluídos em próximas etapas.

Como foi observado no capítulo de estudo de caso, a bacia do Alto-Paraíba apresenta um alto nível de desenvolvimento. Uma fonte de renda muito importante é a agricultura, culturas anuais ocupam as margens do rio Paraíba e outros rios afluentes. Nas margens dos reservatórios é possível encontrar áreas de silvicultura. Dessa forma, a irrigação é outro uso da água muito importante na bacia.

No modelo matemático também foi considerado este uso da água. O conjunto de informações levantadas sobre irrigação considera apenas seis polders localizados no rio Paraíba e operados pelo **DAEE**. Deve ser comentado que a área irrigada por esses polders, 26.2 Km^2 , não representa a área que provavelmente é irrigada hoje pelo rio Paraíba. Para um estudo mais detalhado dos usos múltiplos da água nesta bacia, torna-se necessário a disponibilidade de um conjunto maior de informações.

Nos exemplos apresentados a vazão de irrigação pode ser atendida 100,00 por cento do tempo. Devido a essa situação, optou-se por uma extrapolação da área irrigada desses seis polders, para poder observar mudanças nos desempenhos dos reservatórios e nas vazões afluentes de Funil. A análise das vazões afluentes de Funil foram consideradas, devido a localização dos polders, ver **Figura 5.1**.

Utilizando as "melhores" regras definidas pelo modelo no terceiro e quarto exemplo e as áreas extrapoladas, observou-se uma queda na função objetivo (em porcentagem), ver **Tabela 6.8**.

Tabela 6.8: Simulação do uso da água em irrigação

Área Km^2	Paraibuna %	Sta.Branca %	Jaguari %	Funil %	Bacia %
26.20	62.72	62.17	54.12	56.68	58.55
100.00	58.85	59.07	51.77	50.37	53.48

Na **Tabela 6.8** é possível observar como o aumento da área irrigada altera o valor da função objetivo. O aumento dessa área em 3.8 vezes representa numa queda de 5,00 por cento da função objetivo.

No quarto exemplo, verificou-se o desempenho das potências em Paraibuna-Paraitinga. O aumento da área irrigada apresentam uma variação de 12,00 por cento, maior a observada na **Tabela 6.8**, e ver **Figura 6.16**. Considerando a área de 26.2 Km^2 , o volume útil no reservatório flutuava entre 55,00 e 100,00 por cento. Extrapolando a área o reservatório chega a esvaziar.

Figura 6.16: Potências em Paraibuna-Paraitinga para diferentes áreas de irrigação

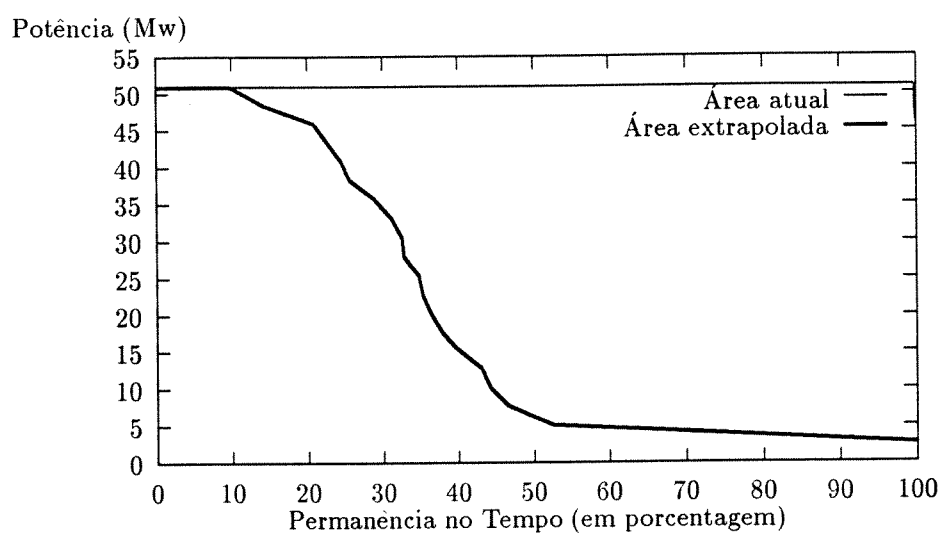
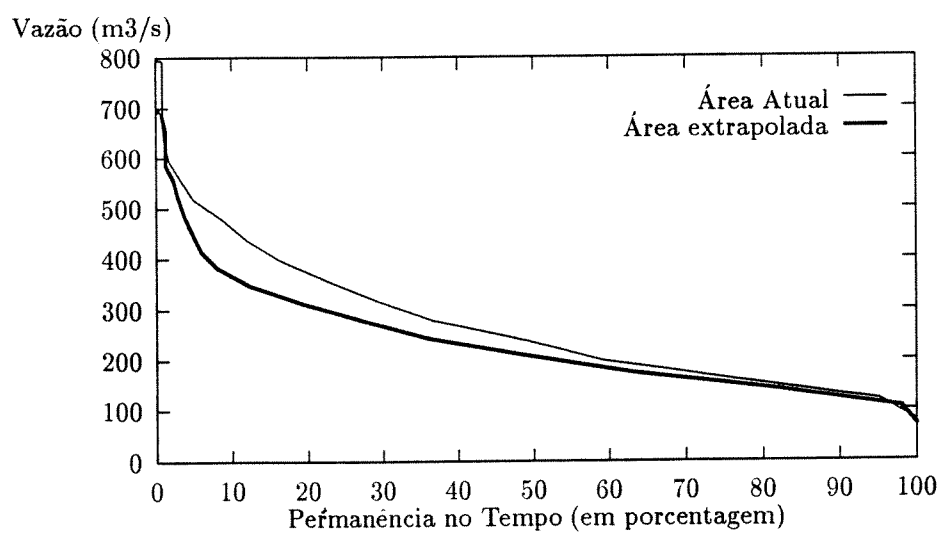


Figura 6.17: Vazões Afluentes a montante de Funil para diferentes áreas de irrigação

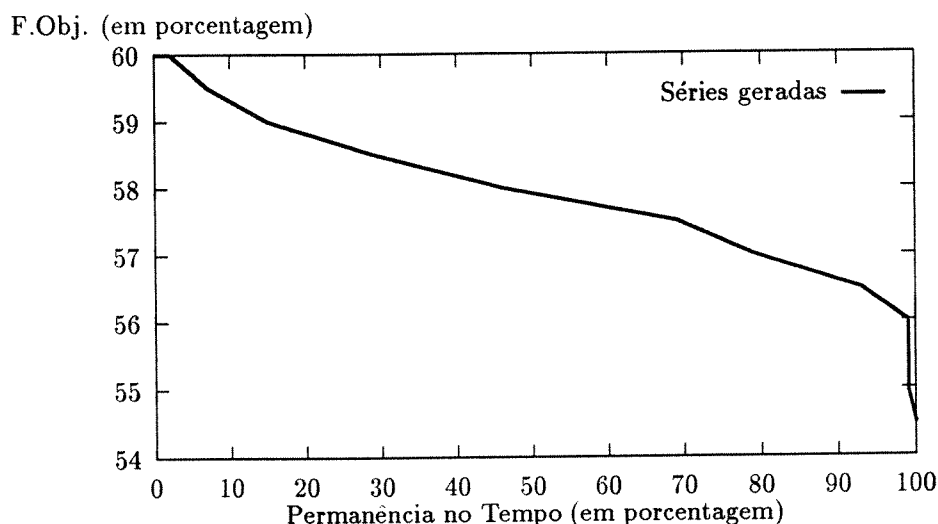


No reservatório de Funil, ver **Figura 6.17** o aumento da área irrigada altera as características das vazões afluentes. O crescimento desse uso da água reflete na geração de potência desse reservatório. Utilizando as regras do terceiro exemplo a queda foi de 6,00 por cento na função objetivo, ver **Tabela 6.8**, e no quarto exemplo a queda foi de 2,00 por cento. É evidente que a restrição de potência é responsável pela diferença nos desempenhos.

O modelo mostra ser uma ferramenta de avaliação muito interessante. A aplicação de diferentes restrições e diferentes situações mostram onde os efeitos são maiores ou menores.

Da mesma forma que as regras determinadas pelo modelo foram aplicadas a diferentes condições de vazão de irrigação, o modelo permite a aplicação das regras a conjunto de vazões afluentes geradas sinteticamente. É possível inserir a condição estocástica ao modelo implicitamente.

Figura 6.18: Gráfico da Função Objetivo



Utilizando as "**melhores**" regras determinadas pelo modelo no terceiro exemplo, foi possível obter o desempenho da função objetivo para 100 séries simuladas.

Até agora observou-se o efeito produzido pela aplicação de regras, na geração de potências, volumes reservados, vazões mínimas a jusante, vazões de irrigação e de bombeamento.

Quanto aos coeficientes da regressão no modelo simples foi possível obser-

var um padrão próprio de comportamento. Já no modelo múltiplo, como ele considera o sistema de forma global, o comportamento dos coeficientes de cada reservatório é naturalmente diferente do comportamento que apresenta no modelo simples, quando o reservatório opera de forma isolada.

Na **Tabela 6.9** é possível observar o equilíbrio entre o coeficiente **a** e o coeficiente **c**, quando o reservatório está cheio a maioria do tempo, isto somente acontece na **"melhor"** regra, nas outras regras o reservatório apresenta uma maior variação de volumes.

Analizando os coeficientes em Funil é possível verificar a semelhança deles na primeira, na **"melhor"** e na última regra. O coeficiente **a** apresenta valores negativos elevados, o coeficiente **b** permanece em 1, como nos outros reservatórios.

Tabela 6.9: Coeficientes da regra em Paraibuna-Paraitinga - Exemplo III

LIM	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	r^2
1.20	307.693	1.052	-0.307	0.998
0.60	33.844	0.345	0.064	0.642
0.30	26.840	0.509	0.042	0.662
0.15	8.943	0.914	0.001	0.830
0.08	-347.316	1.082	0.343	0.986
0.04	-858.026	1.070	0.850	0.995
0.02	-7700.452	1.047	7.646	0.915
0.01	-1321.702	1.061	1.311	0.995

No terceiro exemplo observou-se que as **"melhores"** regras definidas pelo modelo mantém o valor do coeficiente **a** sempre negativo, o coeficiente **b** varia entre 0.999 e 1.060, o coeficiente **c** apresentou desempenhos semelhantes em Santa Branca e Funil.

No quarto exemplo observou-se uma situação interessante no desempenho de volumes e potências geradas nos reservatórios de Paraibuna-Paraitinga e Jaguarí. Tanto os volumes como as potências geradas tem o mesmo desempenho nas três regras observadas. Os coeficientes apresentaram valores semelhantes com pequenas variações. Esta situação é interessante, porque o modelo após algumas iterações volta a determinar regras com as mesmas características.

Tabela 6.10: Coeficientes da regra de liberação em Funil - Exemplo III

LIM	a	b	c	r^2
1.20	-103.680	1.002	0.410	0.999
0.60	-19.258	0.896	0.222	0.928
0.30	-34.826	0.957	0.203	0.966
0.15	-12.521	0.905	0.183	0.946
0.08	-23.264	0.981	0.123	0.984
0.04	-117.267	1.002	0.464	0.999
0.02	-106.130	1.002	0.420	0.999
0.01	-109.856	1.002	0.435	0.999

Capítulo 7

Conclusões

A metodologia adotada mostrou ser uma ferramenta que gera informações na determinação das regras de operação. O processo cíclico na procura da **"melhor"** regra segundo a função objetivo escolhida, apresenta diferentes desempenhos das variáveis analisadas.

No caso do modelo simples, a aplicação da maximização da potência como função objetivo mostrou uma melhora nas regras determinadas a medida que aumenta o número de iterações e o valor de **LIM** é reduzido. Após a **"melhor"** regra, a função objetivo apresenta uma queda.

Os coeficientes da regra de liberação apresentaram no modelo simples um determinado padrão de comportamento ao longo das iterações no modelo. A utilização de séries geradas permitiu analisar este fator, e também ofereceu a possibilidade de determinar faixas de variação dos coeficientes da regra de liberação.

A variação de restrições como por exemplo, aquela referente à máxima potência a ser gerada, mostrou mudanças no desempenho das variáveis, tais como volumes, e alterações nas faixas de variação dos coeficientes da regra de liberação. O padrão dos coeficientes apresenta-se como um campo de estudo do modelo. É necessário verificar o desempenho de variáveis características, o qual depende das restrições do modelo e da função objetivo adotada.

Servindo de gerador de informações sobre a metodologia adotada e sobre o próprio reservatório estudado, o modelo computacional deixa de representar somente uma caixa de passagem, e começa a evoluir como instrumento de diálogo. A aplicação do modelo simples a outras bacias deverá possibilitar o desenvolvimento de um pacote genérico de determinação de regras operacionais para um reservatório.

Devido à falta de um conjunto maior de informações sobre a metodologia original, o desenvolvimento do modelo simples foi um estágio inicial do modelo múltiplo, superando problemas de não convergência aos limites propostos por

Karamouz (1982).

No caso do modelo múltiplo, a metodologia adotada forneceu informações e conhecimentos sobre os múltiplos usos da água e a operação de um conjunto de reservatórios na mesma bacia.

Devido ao fato que o modelo múltiplo deve atender um conjunto maior de restrições, em diferentes pontos da bacia, e para diferentes usos da água, criando conflitos entre os usos, seus resultados apresentaram características diferentes, daquelas do modelo simples.

A função objetivo considerou a maximização da potência produzida pelos quatro reservatórios. A maximização de um conjunto não implica no máximo desempenho simultâneo de todos os elementos do conjunto. Esta situação também mostra diferença do modelo simples, onde a função objetivo não apresenta conflitos com outros usos da vazão mínima liberada a jusante.

Também foi possível observar como a restrição de máxima potência altera o desempenho das regras. Aplicando esta restrição, a função objetivo nos quatro aproveitamentos apresentou um comportamento contínuo, o que não acontecia na condição de máxima potência instalada. Esta situação releva a importância da função objetivo em sistemas como o do Alto-Paraíba, onde as potências instaladas dos quatro reservatórios tem diferenças representativas entre eles. A inserção de coeficientes de peso na função objetivo poderia conduzir a uma melhora na produção energética.

O modelo múltiplo consegue mostrar as variações nos desempenhos das variáveis características, como os volumes úteis, em decorrência da aplicação de diferentes regras. Dessa forma é possível verificar como o uso de diferentes regras pode produzir um esvaziamento do reservatório, ou pode criar uma variabilidade de níveis prejudicial para alguns usos como o de recreação (o qual não foi considerado neste estudo).

Outra situação interessante apresentada pelo modelo foi o fato de determinar regras com desempenhos semelhantes em diferentes iterações e para diferentes valores de **LIM**.

O modelo mostrou o comportamento da vazão de bombeamento submetida a diferentes regras, sendo que ele consegue atender esse uso dentro do Decreto nas "**melhores**" regras definidas na metodologia. O modelo também mostrou a importância de uma pesquisa de informações sobre esse uso. Pode-se também observar a grande variabilidade de vazões a montante de Paraíba-Piraí, a qual pode ser reduzida com a inclusão de uma restrição de vazão máxima neste ponto.

Dessa forma o modelo tornou-se uma janela de conhecimentos sobre a metodologia e a bacia estudada, sendo uma ferramenta informativa para a operação de sistemas de recursos hídricos.

O domínio de uma arte é atingida com muita prática, aperfeiçoamento e maior conhecimento dos instrumentos utilizados. A presente pesquisa permitiu o conhecimento de uma metodologia para a determinação de regras operacionais para um sistema de reservatórios. Os diferentes usos da água e as diferentes restrições as quais se encontram submetidos, mostram os conflitos existentes entre estes usos. A função objetivo adotada mostrou que maximizar um sistema, pode representar sacrificar ou limitar o desempenho de um elemento. A diferença dimensional dos reservatórios também mostrou ser uma condição importante na determinação de regras operacionais no modelo.

A utilização de outras funções objetivo, com a inclusão de outros usos da água, e a aplicação a outras bacias deverá trazer um melhor conhecimento e aperfeiçoamento no estudo de regras operacionais.

Assim sendo, como recomendação para o prosseguimento da pesquisa, sugere-se o seguinte :

1. Recopilação de informações complementares, sobre a metodologia adotada (relatórios e tese desenvolvidas pelo Prof.Dr.Karamouz).
2. Complementar informações sobre o estudo de caso, com um levantamento sobre outros usos da água.
3. Incluir a sazonalidade dos coeficientes da regra de liberação (ver seção da regressão múltipla no capítulo do programa computacional).
4. Aplicar outras funções objetivo.
5. Analisar o desenvolvimento da análise multicriterial, dentro desta metodologia.
6. Aplicação da metodologia em outras bacias.

Bibliografia

- [1] ABRH, *Boletim Informativo* 37., maio-junho, 1989.
- [2] Alouze Cris M., *The Optimality of Capacity Sharing in Stochastic Dynamic Programming Problems of Shared Reservoir Operation.*, Water Resources Bulletin, Vol.27, No.3, June 1991.
- [3] Arunkumar S. and W.W-G.Yeh, *Probabilistic models in the design and operation of a multi-purpose reservoir system*, Contrib.144, Calif. Water Resource Center, Univ. of Calif., Davis, December 1973.
- [4] Bandeira de Mello J.A., *Energy and the environment*, Water Power Dam construction, October 1992.
- [5] Bayazit M. and N.E.Unal, *Effects of Hedging on Reservoir Performance*, Water Resources Research, Vol.26, No.4, April 1990.
- [6] Bellman R.E., *Dynamic Programming*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1957.
- [7] Bhaskar Nageshwar R. and Elbert E. Whitlatch, *Derivation of Monthly Reservoir Release Policies*, Water Resources Research, Vol.16, No.6, December 1980.
- [8] Bhaskar Nageshwar R. and Elbert E. Whitlatch, *Comparison of Reservoir Linear Operating Rules using Linear and Dynamic Programming*, Water Resources Bulletin, Vol.23, No.6, December 1987.
- [9] Bower T.A., M.M. Hufschmidt and W.W. Reedy, *Operating procedures : Their role in design of the water resources system in simulation analysis*, in *Design of Water Resources Systems*, edited by A.Mass., Harvard University Press, Cambridge Mass, 1962.
- [10] Buras Nathan, *Dynamic Programming in Water Development*, Advances in Hydrosience, Ven Te Chow, ed., Vol.3, 1966.
- [11] Dantzig G.B., *Linear programming under uncertainty*, Asmae. Sci., 1(3/4), 1955.

- [12] Esmail-Beik Siavash and Yun-Sheng Yu, *Optimal Operation of Multipurpose Pool of Elk City Lake*, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.110, No.1, January 1984.
- [13] Fiering M.B. and B.B.Jackson, *Synthetic Streamflows*, Water Resources Monograph, 1971.
- [14] Giles J.E. and W.O. Wunderlick, *Weekly multipurpose planning model for TVA reservoir system*, Journal of The Water Resources Planning and Management, Vol.107, No.2, March-April, 1981.
- [15] Ginn T.R. and Mark H.Houck, *Calibration of an Objective Function for the Optimization Of Real-Time Reservoir Operations*, Water Resources Research, Vol.25, No.4, April 1989.
- [16] Goicoechea A, D.R.Hansen and L.Duckstein, *Multiobjective Decision Analysis With Engineering and Business Applications*, John Wiley, New York, 1982.
- [17] Hall and Dracup, *Water Resources Systems Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1970.
- [18] Hashimoto T., J.R. Stedinger and D.P. Loucks, *Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria For Water Resource System Performance Evaluation*, Water Resources Research, Vol.18, No.1, February 1982.
- [19] Hasting N.A.J., *Dynamic Programming with Management Applications*, Crane Russal Company, New York, 1973.
- [20] Howard R.A., *Dynamic Programming and Markov Processes*, MIT Press, Cambridge, Mass, 1960.
- [21] Instituto Geográfico e Cartográfico, *Plano Cartográfico do Estado de São Paulo*, 1980.
- [22] James L.D. and R.R. Lee, *Economics of Water Resources Planning*, McGraw-Hill, New York, 1971.
- [23] Johnson Lynn E., *Computer-Aided Planning for Multiple-Purpose Reservoir Operating Policies*, Water Resources Bulletin, Vol.26, No.2, April 1990.
- [24] Johnson Sharon A. et al., *Heuristic Operating Policies for Reservoir System Simulation*, Water Resources Research, Vol.27, No.5, May 1991.
- [25] Karamouz Mohammad and Mark H.houck, *Annual and Monthly Reservoir Operating Rules Generated by Deterministic Optimization*, Water Resources Research, Vol.18, No.5, October 1982.

- [26] Karamouz Mohammad and Mark H.Houck, *Comparison of Stochastic and Deterministic Dynamic Programming for Reservoir Operation Rule Generation*, Water Resources Bulletin, Vol. 23, No.1, February 1987.
- [27] Karamouz Mohammad et al., *Optimization and Simulation of Multiple Reservoir Systems*, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.118, No.1, January 1992.
- [28] Kuiper, *Water Resources Development*, McGraw-Hill, New York, 1965.
- [29] Kuo Jan-Tai et al., *Real-Time Operation of Tanshai River Reservoirs*, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.116, No.3, May 1990.
- [30] Kusisto E.E., *A review and evaluation of the operation and hydrological modeling of a multi-reservoir system*, M.S.thesis, Sch. of Eng. and Appl.Sci. Univ. of Calif., Los Angeles, 1976.
- [31] Larson R.E., *State Incremental Dynamic Programming*, Elsevier, New York, 1968.
- [32] Larson R.E. and J.L.Casti, *Principles of Dynamic Programming*, Control and Systems Theory, 1978.
- [33] Loucks D.P., *Some comments on linear decision rules and chance constraints*, Water Resources Research, Vol.6, No.2, February 1970.
- [34] Loucks D.P. and P.Dorfman, *An evaluation of some linear decision rules in chance constrained models for reservoir planning and operation*, Water Resources Research, Vol.11, No.6, July 1975.
- [35] Loucks D.P, J.R.Stedinger and D.A. Haith, *Water Resource Systems Planning and Analysis*, Prentice-Hall, New Jersey, 1981
- [36] Loucks D.P. and O.T.Sigvaldason, *Multiple-reservoir operation in North America*, in *Operation of Multiple Reservoir Systems*, edited by Z.Kaczmarck and J.Kindler, International Institute for Applied Systems Analysis, Luxemburg, Austria, 1982.
- [37] Loucks Daniel P., *Water Resorce Systems Models : Their Role in Planning*, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.118, No.3, May 1992.
- [38] McLaughlin Dennis and Horacio L.Velasco, *Real-Time Control of Large Hydropower Reservoirs*, Water Resources Research, Vol.26, No.4, April 1990.

- [39] Mishalani Nabeel R. and Richard N.Palmer, *Forecast Uncertainty in Water Supply Reservoir Operation*, Water Resouces Bulletin, Vol.24, No.6, December 1988.
- [40] Nemhauser G.L., *Introduction to Dynamic Programming*, John Wiley, New York, 1966.
- [41] Nopmongcol P. and A.Askew, *Multilevel incremental dynamic programming*, Water Resources Research, Vol12, No.6, July 1976.
- [42] ReVelle C., E.Joeres and W.Kirby, *The linear decision rule in reservoir management and design, 1, Development of a stochastic model*, Water Resources Research, Vol.5, No.4, April 1969.
- [43] Rippl W., *The Capacity of storage reservoirs for water supply*, Minutes of Proc.Inst.Civil Engrs. (London)71, 1883.
- [44] Salas J.D. et al., *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*, Water Resources Publications, 1980.
- [45] Simonovic Slobadan P., *Sizing the reservoirs in Kolubara River basin*, Technical Report, Energoproject Engrg Co., Belgrade, Yugoslavia (in Serbian), 1985.
- [46] Simonovic Slobadan P., *Reservoir Systems Analysis : Closing Gap Between Theory and Prattice*, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.118, No.3, May 1992.
- [47] Su Ming-Daw et al., *Heuristic Operating Policies for Reservoir System Simulation*, Water Resources Research, Vol.27, No.7, July 1991.
- [48] Tauxe G.W., R.R.Inman and D.M.Mades, *Multiobjective dynamic with application to a reservoir*, Water Resources Research, Vol.15, No.6, July 1979.
- [49] Trezos Thanos and William W-G.Yeh, *Use of Stochastic Dynamic Programming for Reservoir Management*, Water Resources Research, Vol.23, No.6, June 1987.
- [50] Turgeon A., *Increment dynamic programming may yield nonoptimal solutions*, Water Resources Research, Vol.18, No.6, July 1982.
- [51] Trott W.M. and W.W-G.Yeh, *Multi-level optimization of a reservoir system*, paper presented at the Annual and National Environmental Engineering Meeting, Am, Soc.Civ.Eng., St.Louis, Mo., Oct.18-21, 1971.
- [52] Yakowitz S.J., *Dynamic programming applications in water resources*, Water Resources Research, Vol.18, No.4, April 1982.

- [53] Yakowitz S.J., *Convergence rate analysis of the state increment dynamic programming methods*, Automatica, Vol.19, No.1, 1983.
- [54] Yeh W.W-G. and W.J.Trott, *Optimization of water resources development : Optimization of capacity specification for components of regional, complex, integrated, multi-purpose water resources systems*, UCLA Eng.Rep.UCLA-ENG-7245, Univ. of Calif., Los Angeles, June 1972.
- [55] Yeh W.W-G., *Reservoir management and operations models : A state of the art review*, Water Resources Research, Vol.21, No.12, December 1985.
- [56] Young G.K., *Finding reservoir operation rules*, J.Hydraul.Div.Am.Soc.Civ.Eng., 93(HY6), 1967.

Apêndice A

Gráficos de Médias, Desvio Padrão e Coeficiente de Correlação de primeira ordem das séries geradas

Figura A.1: Análise das médias nas séries geradas posto Paraibuna

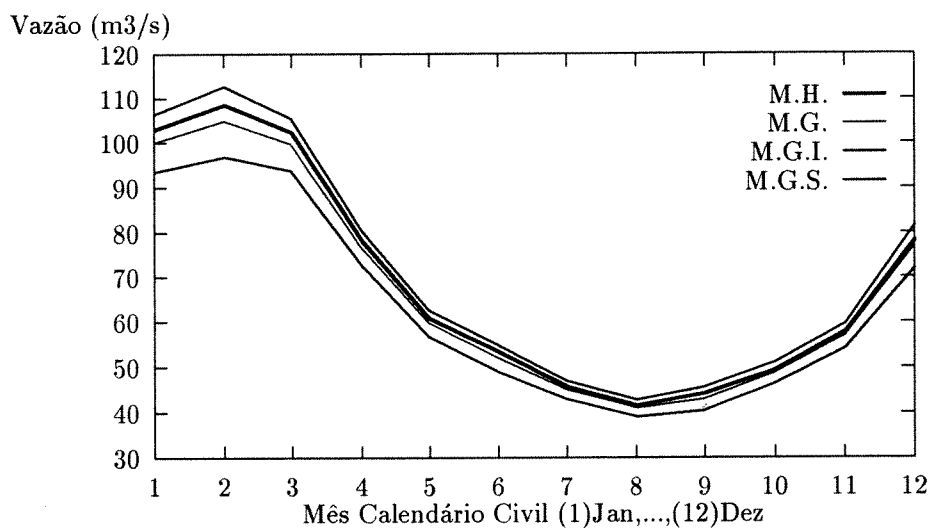


Figura A.2: Análise do desvio padrão nas séries geradas posto Paraibuna

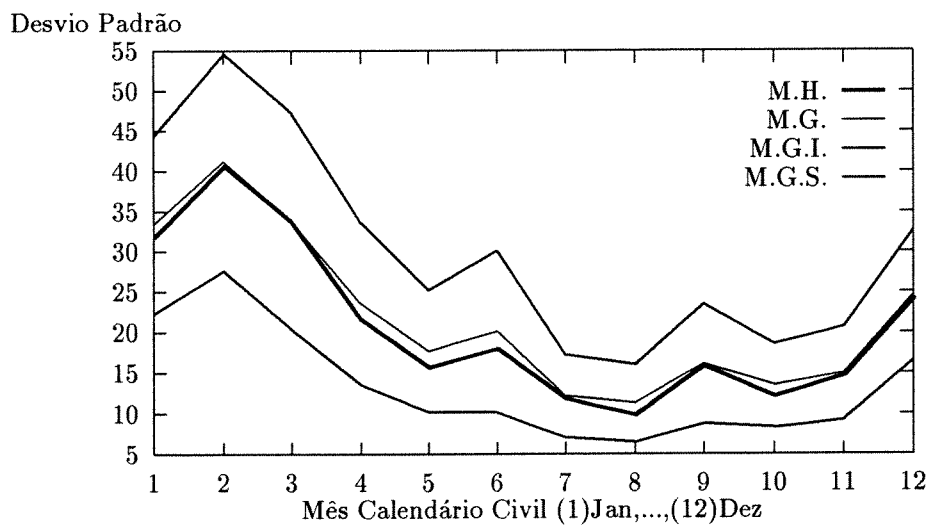


Figura A.3: Análise dos coeficientes de correlação nas séries geradas posto Paraibuna

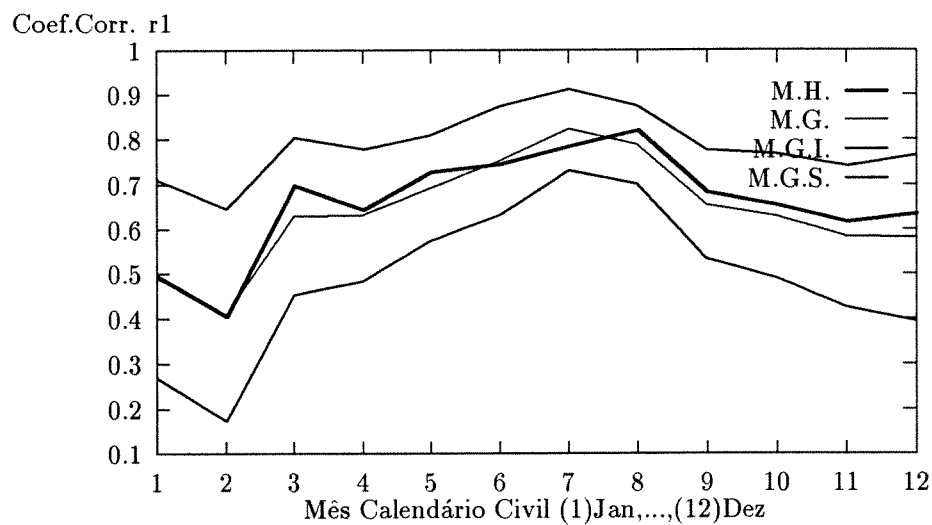


Figura A.4: Análise das médias nas séries geradas posto Santa Branca

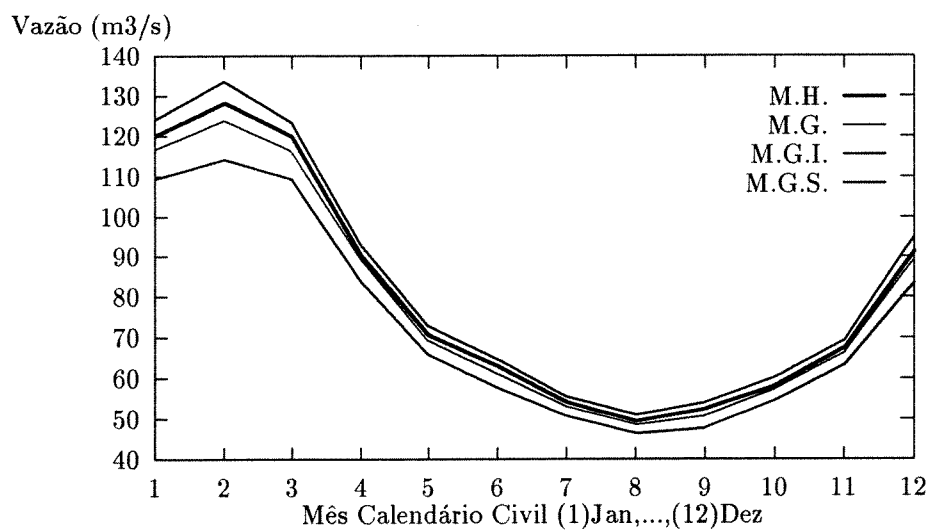


Figura A.5: Análise do desvio padrão nas séries geradas posto Santa Branca

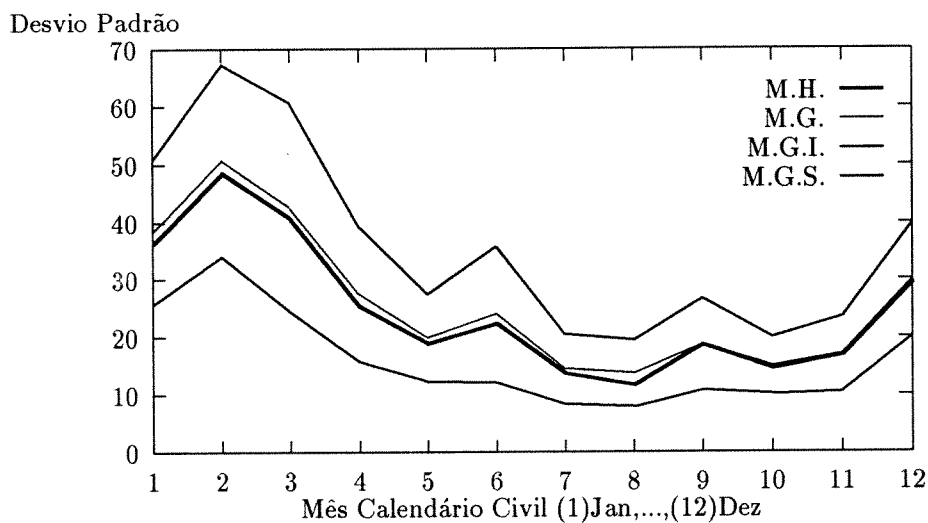


Figura A.6: Análise dos coeficientes de correlação nas séries geradas posto Santa Branca

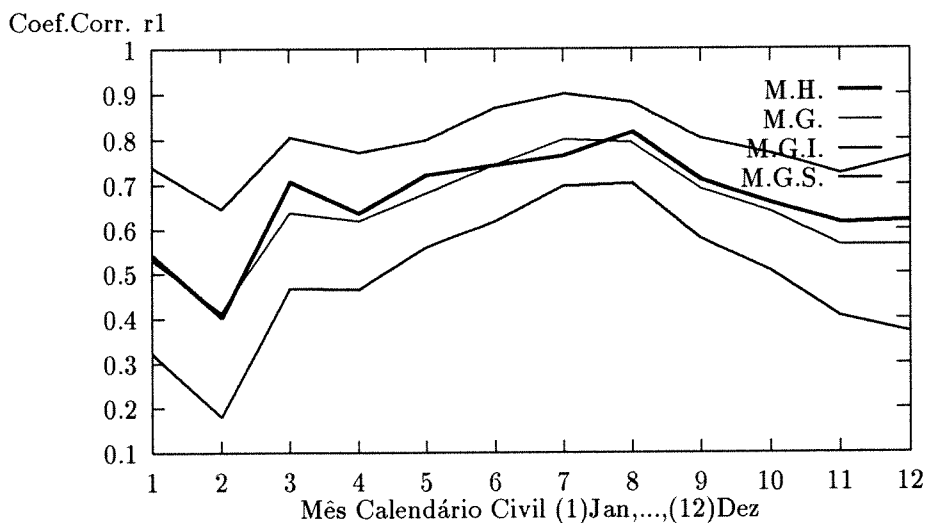


Figura A.7: Análise das médias nas séries geradas posto Jaguari

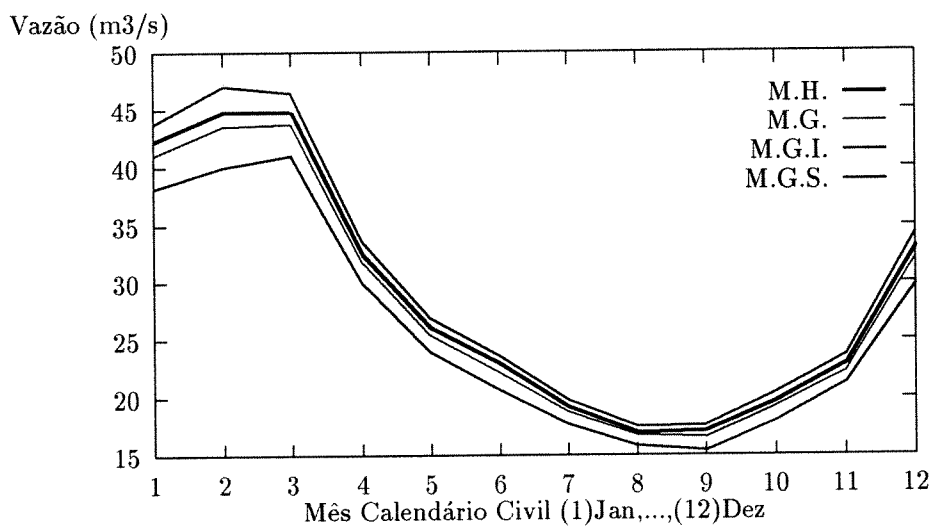


Figura A.8: Análise do desvio padrão nas séries geradas posto Jaguari

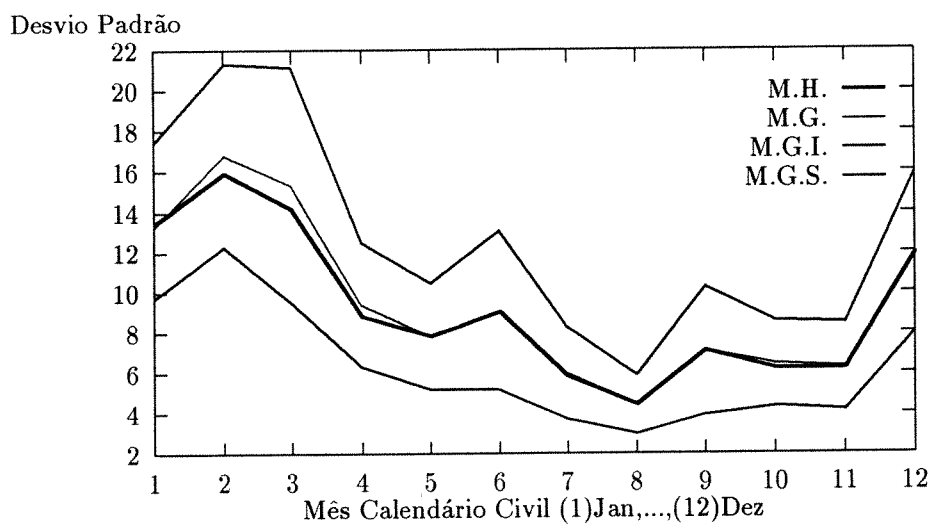


Figura A.9: Análise dos coeficientes de correlação nas séries geradas posto Jaguari

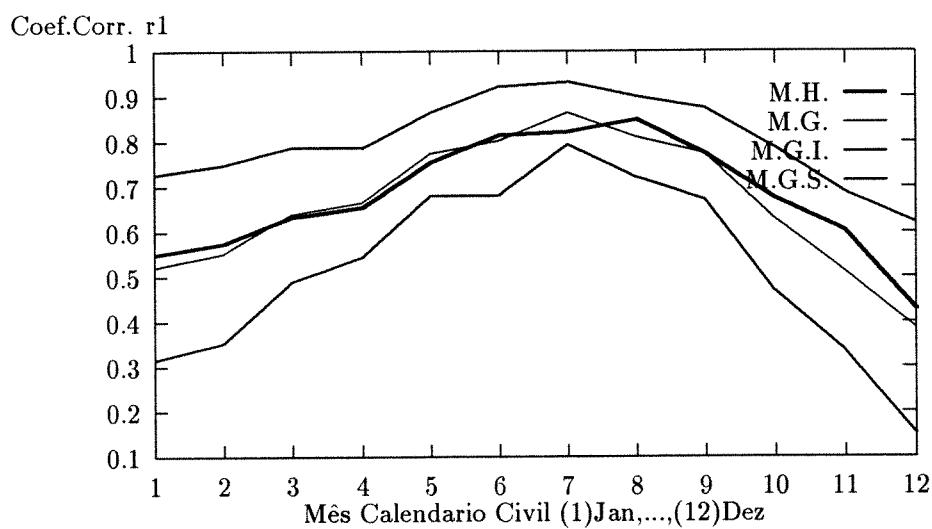


Figura A.10: Análise das médias nas séries geradas posto Funil

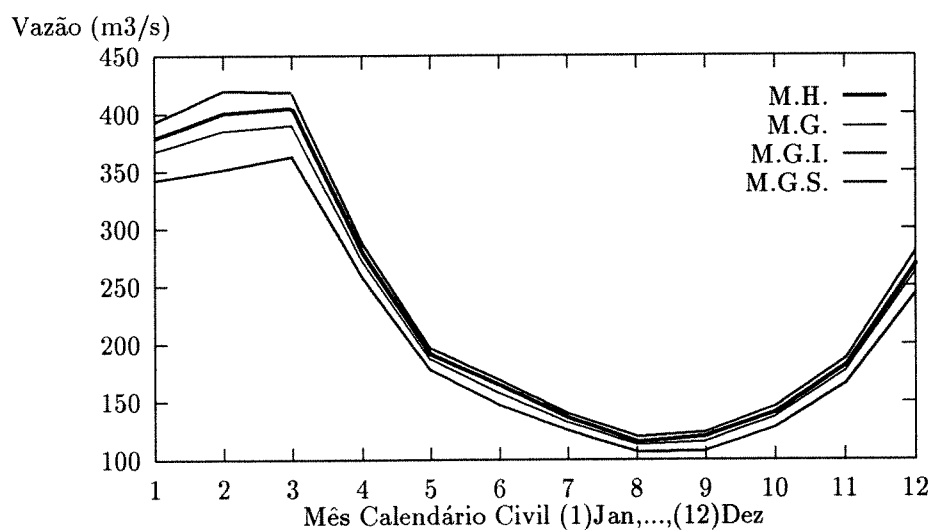


Figura A.11: Análise do desvio padrão nas séries geradas posto Funil

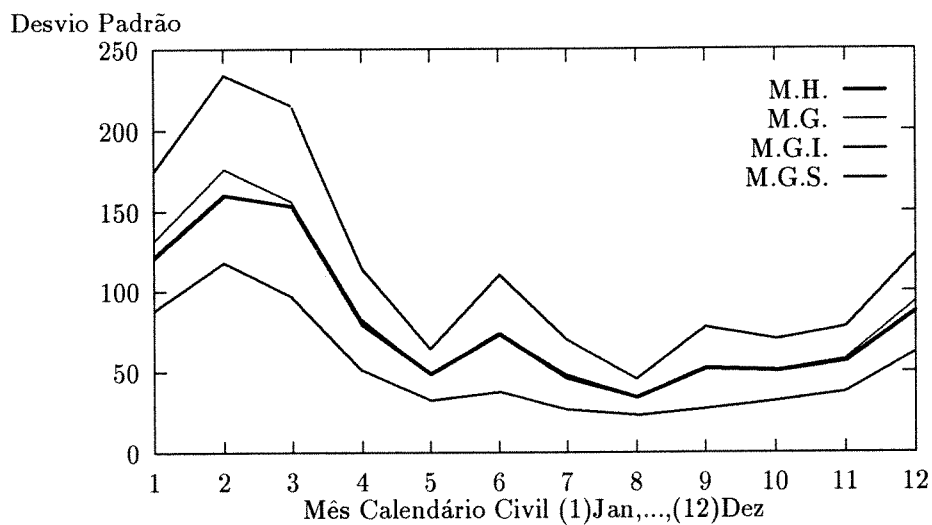


Figura A.12: Análise dos coeficientes de correlação nas séries geradas posto Funil

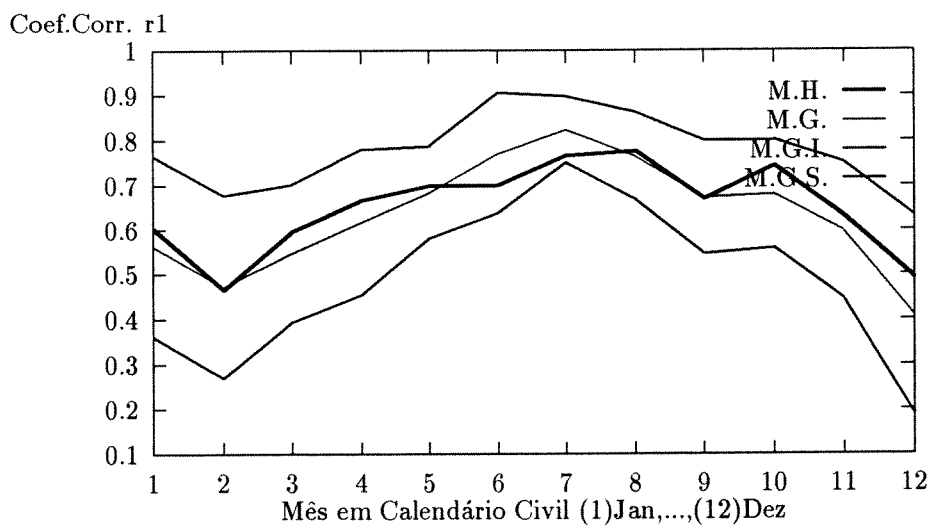


Figura A.13: Análise das médias nas séries geradas posto Santa Cecilia

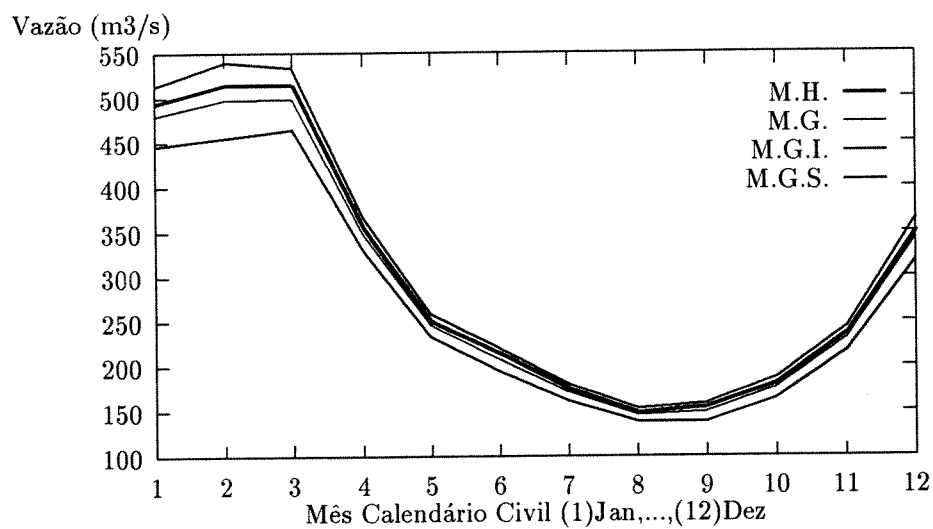


Figura A.14: Análise do desvio padrão nas séries geradas posto Santa Cecilia

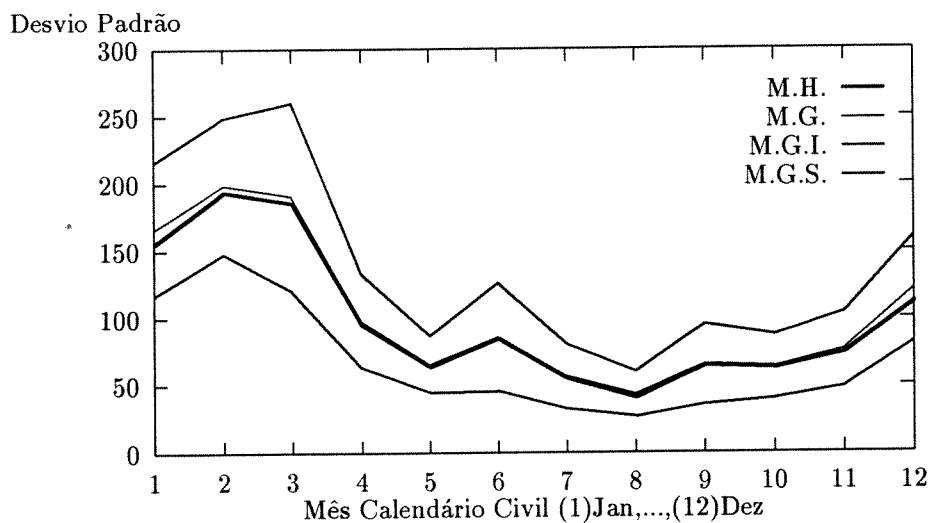


Figura A.15: Análise dos coeficientes de correlação nas séries geradas posto Santa Cecília

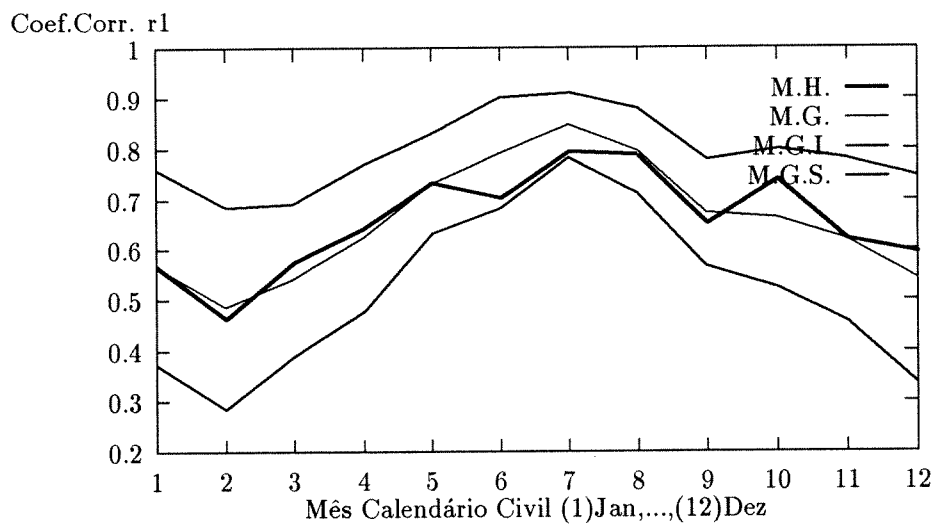


Figura A.16: Correlacao cruzada de ordem 0 entre Paraibuna e Sta.Branca

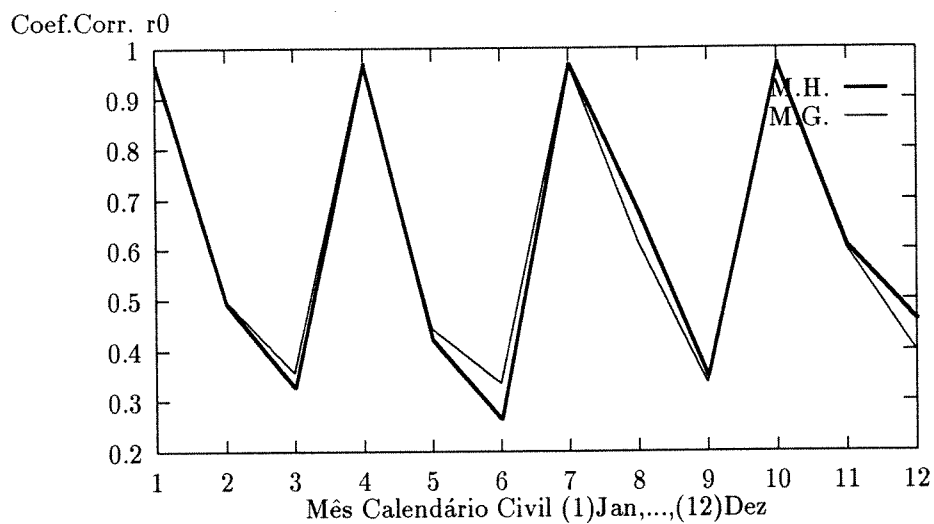


Figura A.17: Correlacao cruzada de ordem 0 entre Paraibuna e Jaguarí

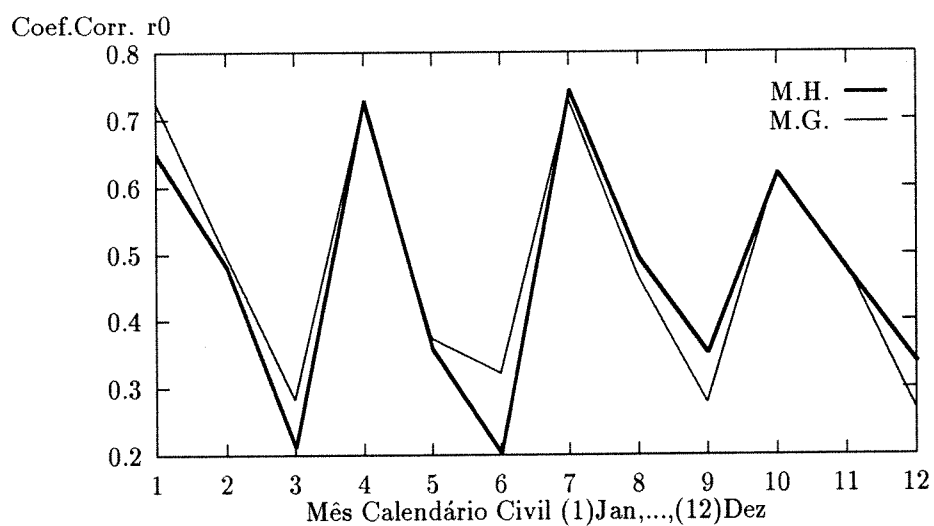


Figura A.18: Correlacao cruzada de ordem 0 entre Paraibuna e Funil

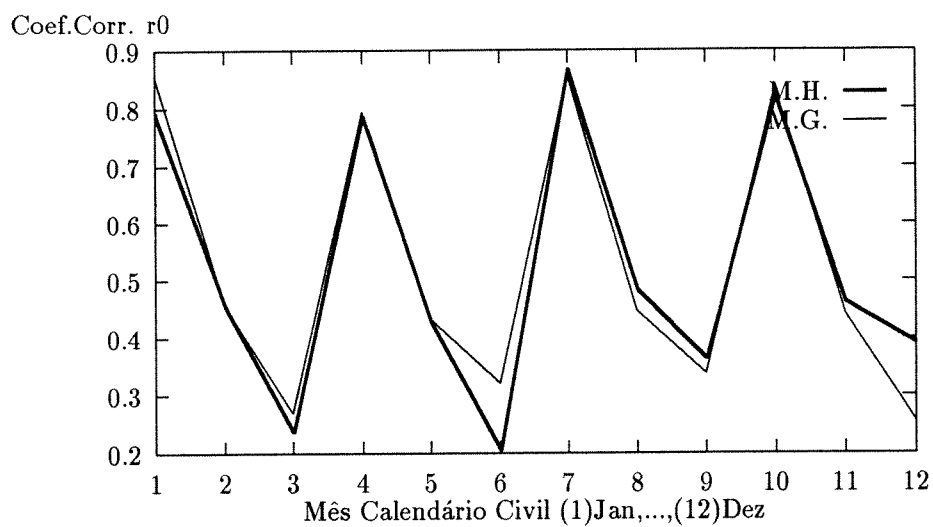


Figura A.19: Correlacao cruzada de ordem 0 entre Paraibuna e Sta.Cecilia

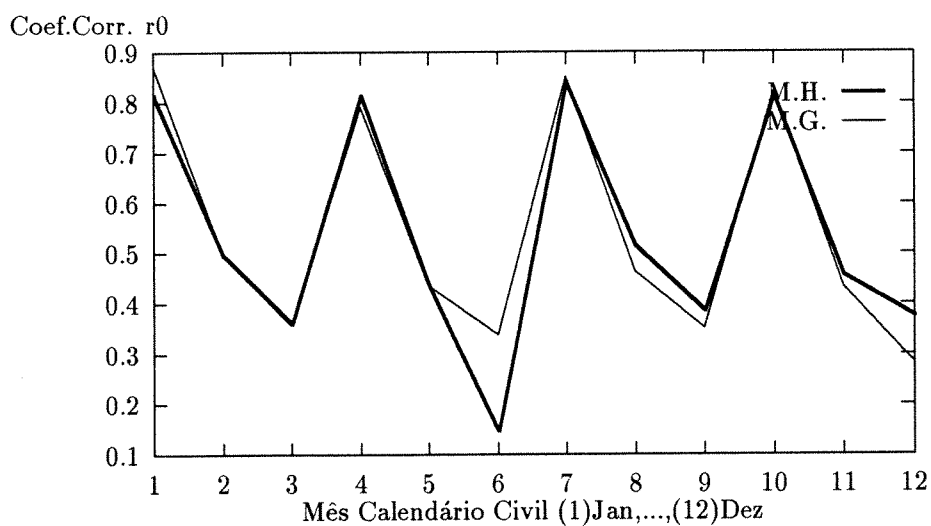


Figura A.20: Correlacao cruzada de ordem 0 entre Sta.Branca e Jaguari

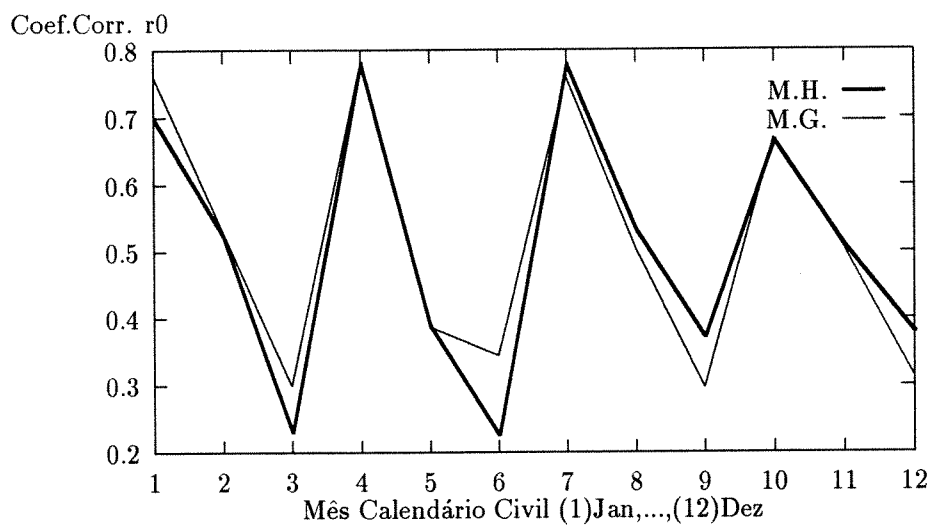


Figura A.21: Correlacao cruzada de ordem 0 entre Sta.Branca e Funil

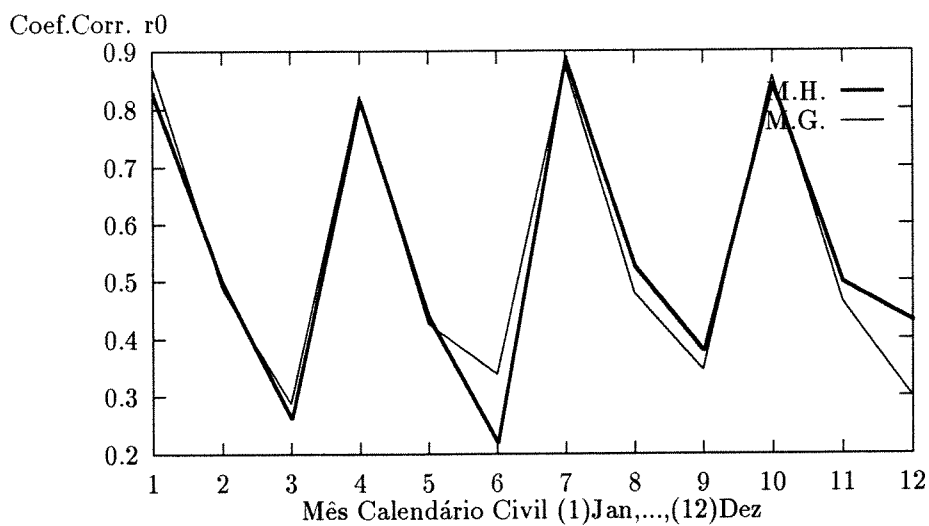


Figura A.22: Correlacao cruzada de ordem 0 entre Sta.Branca e Sta.Cecilia

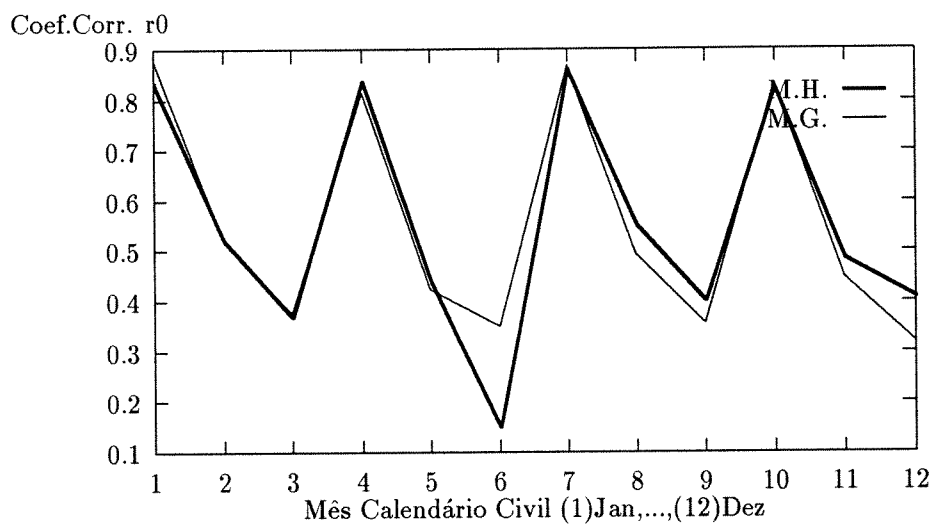


Figura A.23: Correlacao cruzada de ordem 0 entre Jaguari e Funil

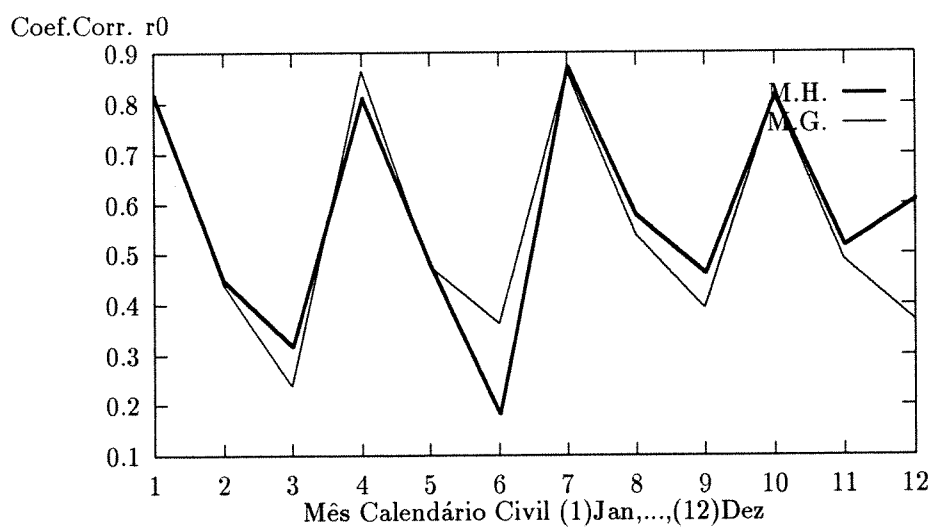


Figura A.24: Correlacao cruzada de ordem 0 entre Jaguari e Sta.Cecilia

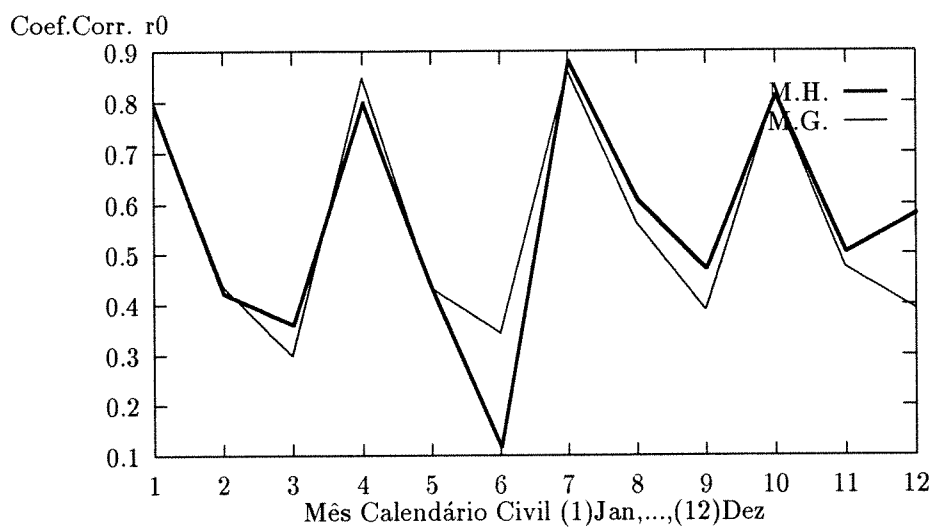


Figura A.25: Correlacao cruzada de ordem 0 entre Funil e Sta.Cecilia

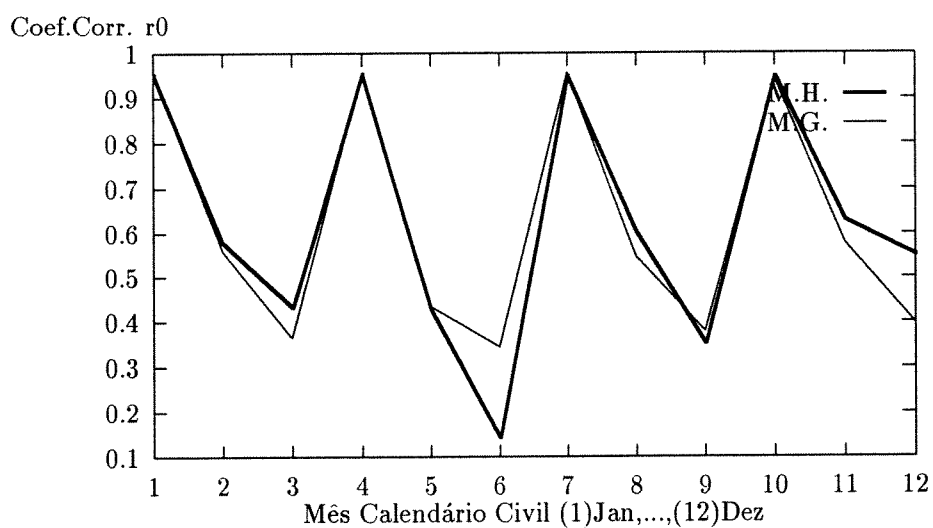


Figura A.26: Correlacao cruzada de ordem 1 entre Paraibuna e Sta.Branca

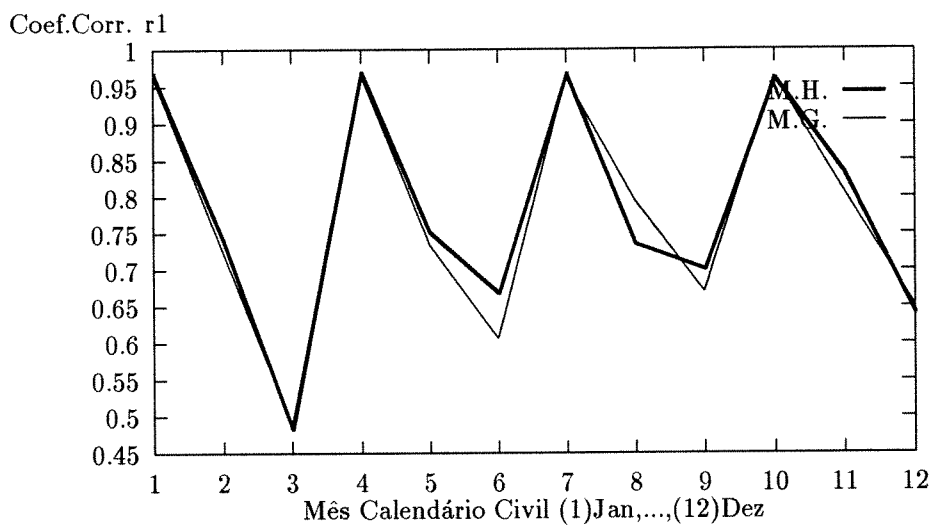


Figura A.27: Correlacao cruzada de ordem 1 entre Paraibuna e Jaguarí

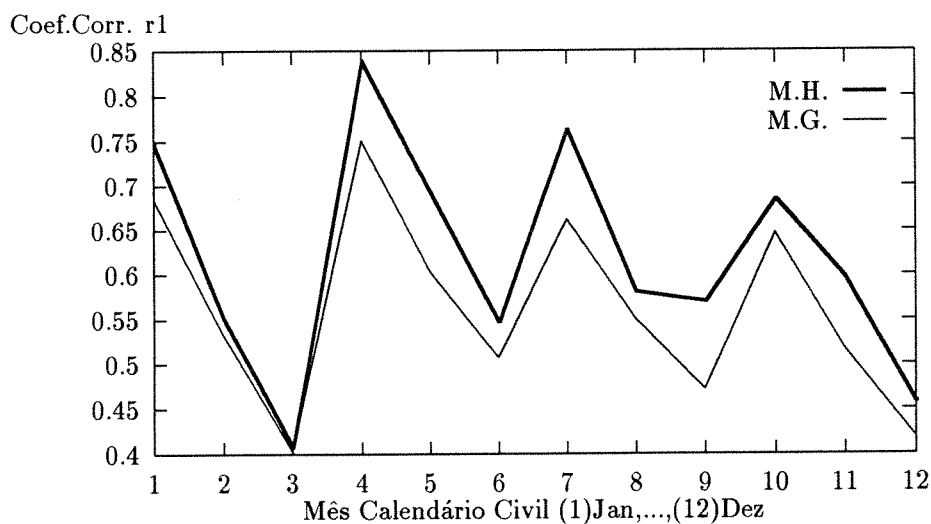


Figura A.28: Correlacao cruzada de ordem 1 entre Paraibuna e Funil

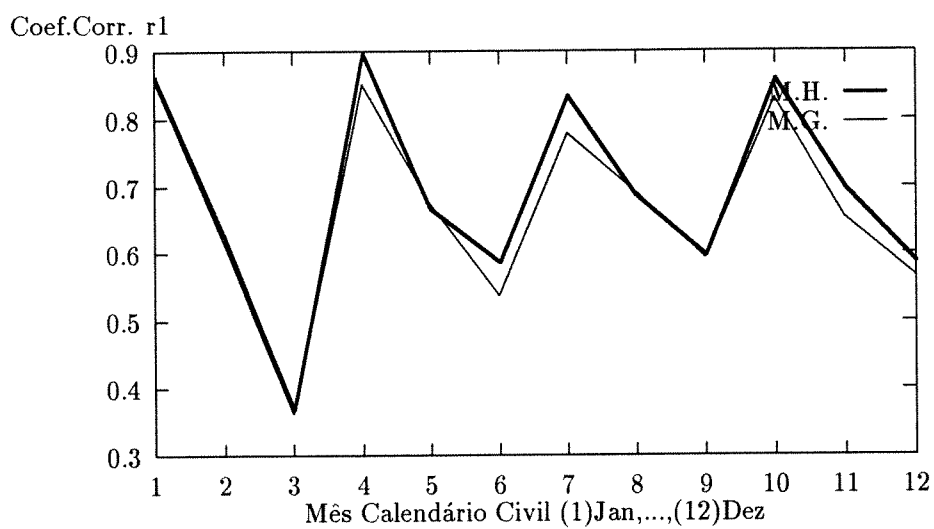


Figura A.29: Correlacao cruzada de ordem 1 entre Paraibuna e Sta.Cecilia

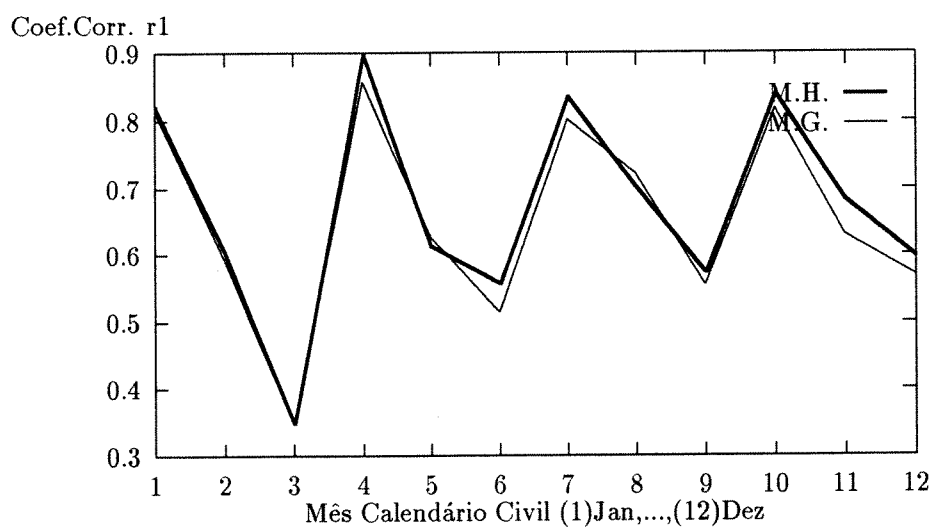


Figura A.30: Correlacao cruzada de ordem 1 entre Sta.Branca e Jaguari

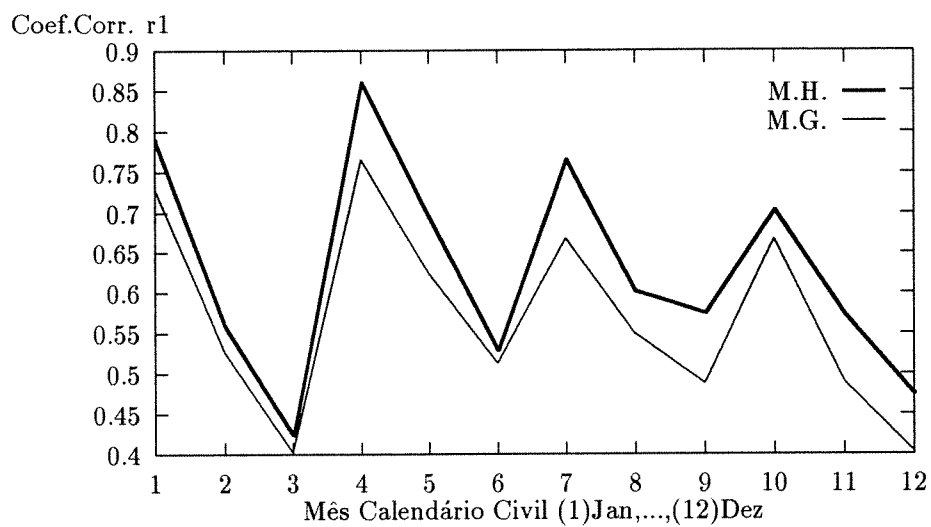


Figura A.31: Correlacao cruzada de ordem 1 entre Sta.Branca e Funil

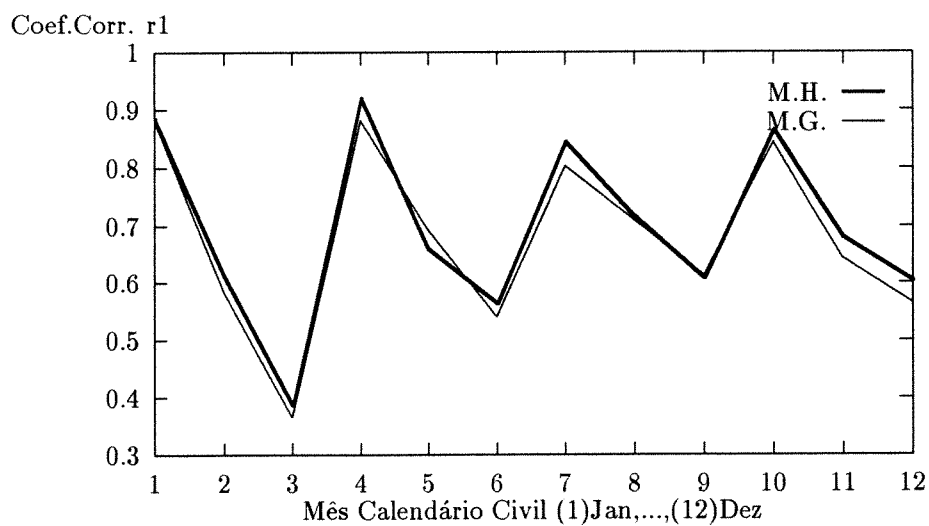


Figura A.32: Correlacao cruzada de ordem 1 entre Sta.Branca e Sta.Cecilia

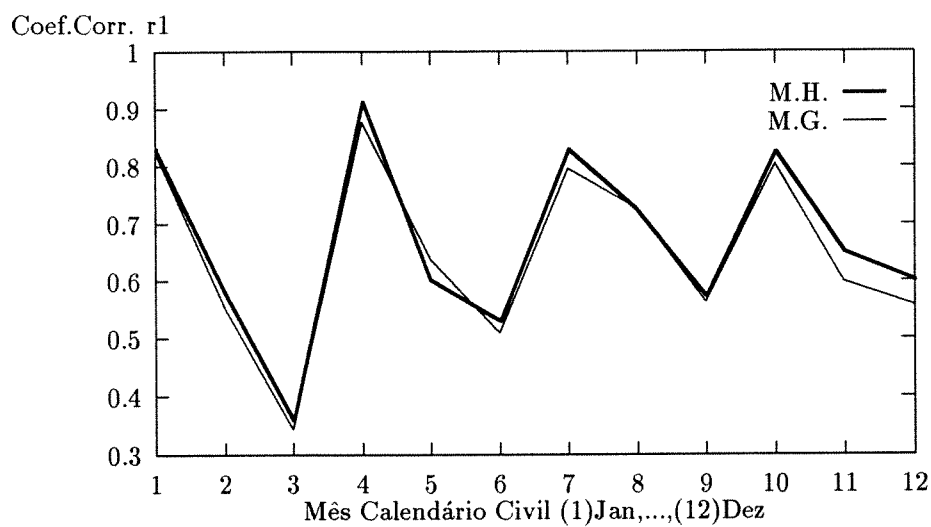


Figura A.33: Correlacao cruzada de ordem 1 entre Jaguari e Funil

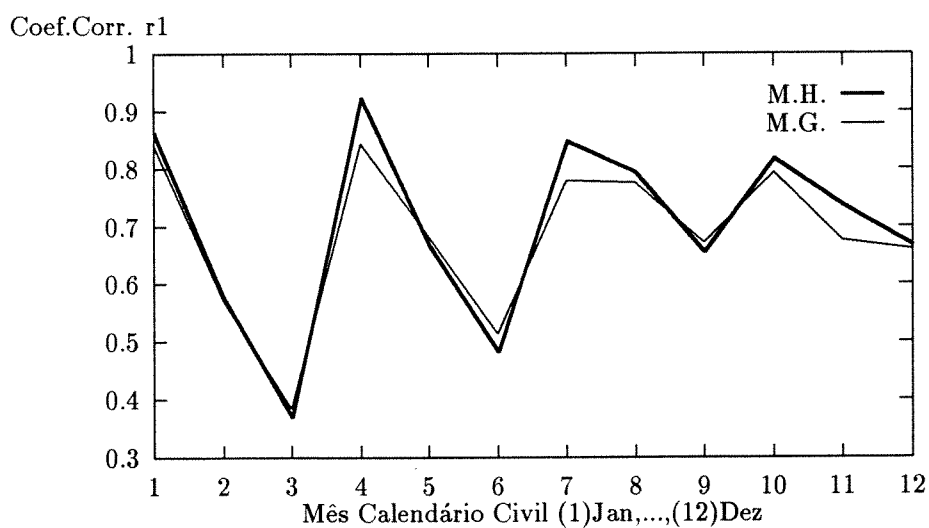


Figura A.34: Correlacao cruzada de ordem 1 entre Jaguari e Sta.Cecilia

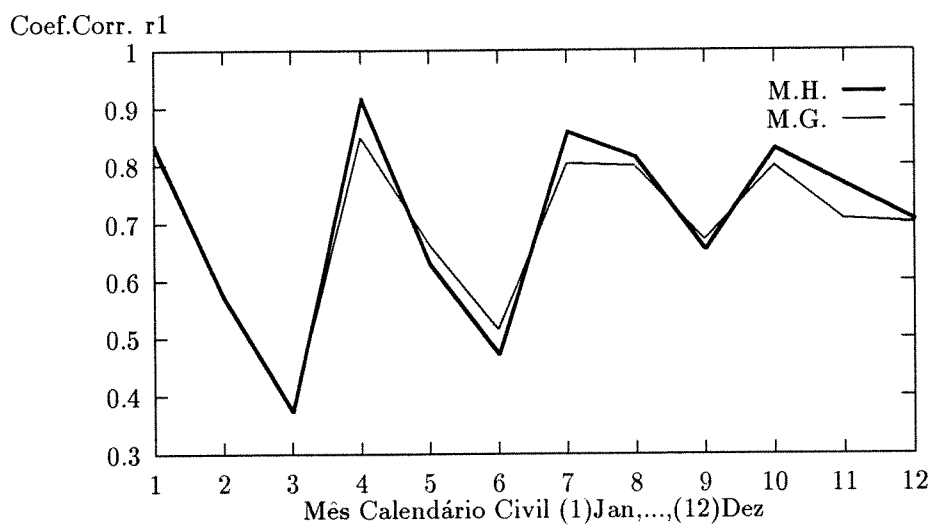


Figura A.35: Correlacao cruzada de ordem 1 entre Funil e Sta.Cecilia

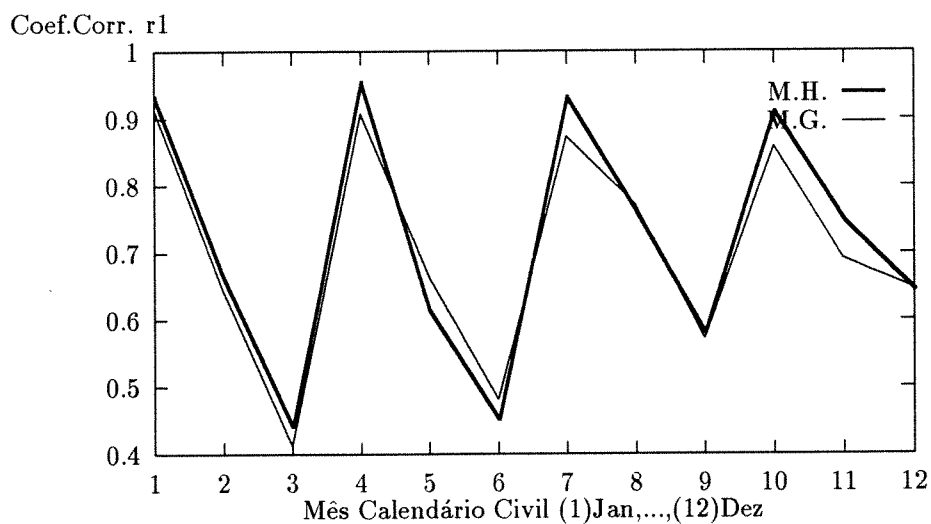


Figura A.36: Correlacao cruzada de ordem 2 entre Paraibuna e Sta.Branca

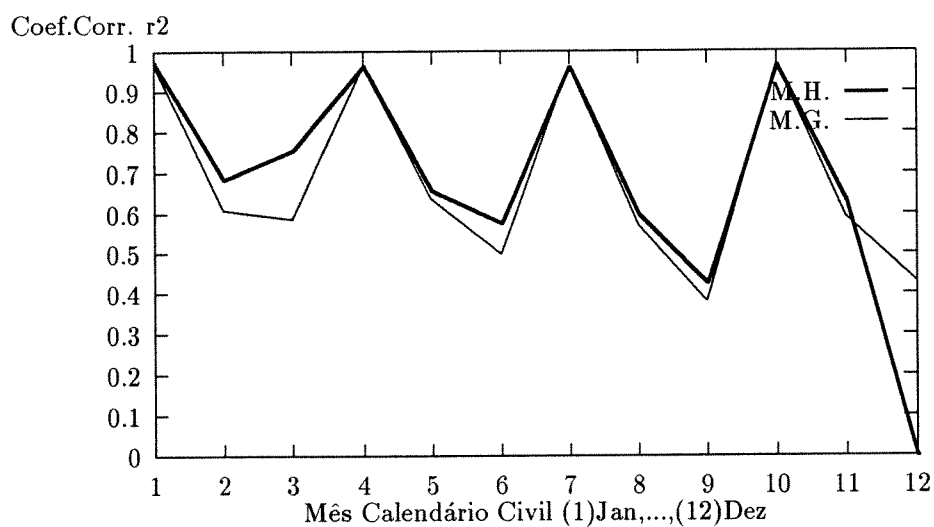


Figura A.37: Correlacao cruzada de ordem 2 entre Paraibuna e Jaguarí

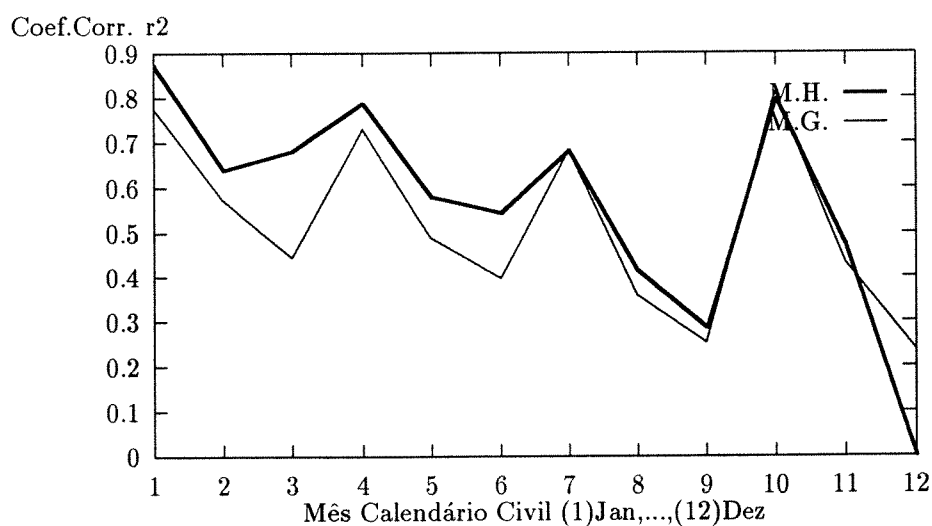


Figura A.38: Correlacao cruzada de ordem 2 entre Paraibuna e Funil

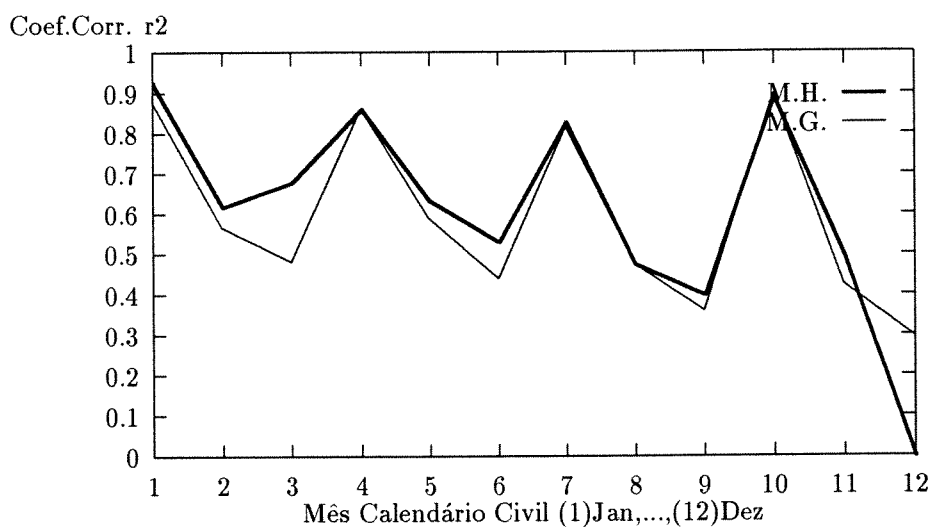


Figura A.39: Correlacao cruzada de ordem 2 entre Paraibuna e Sta.Cecilia

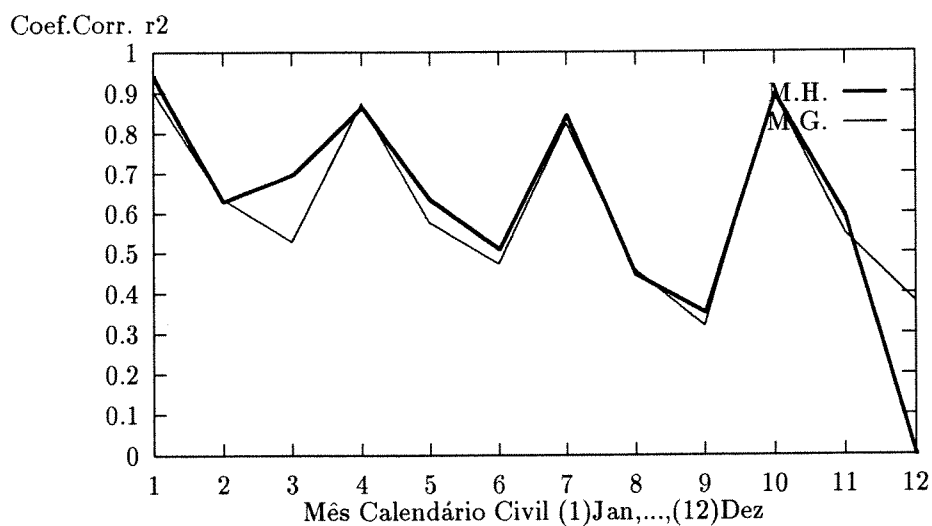


Figura A.40: Correlacao cruzada de ordem 2 entre Sta.Branca e Jaguari

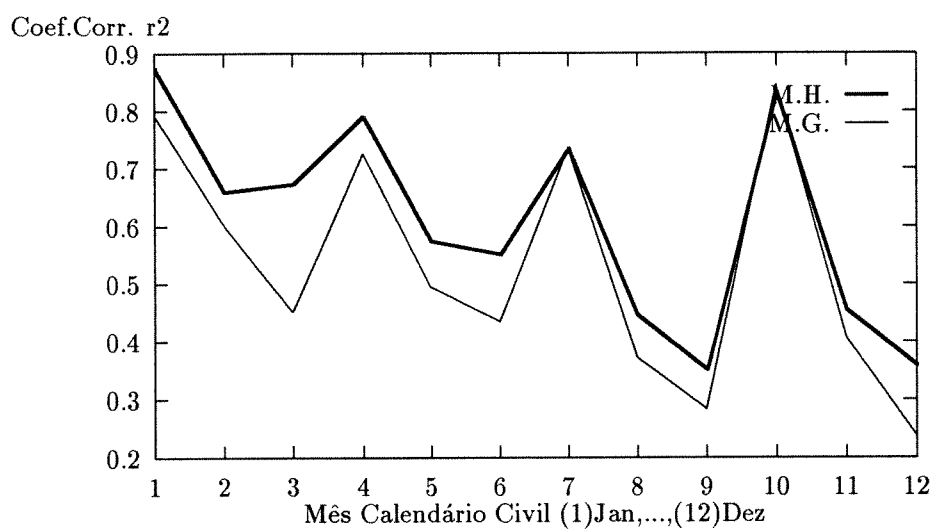


Figura A.41: Correlacao cruzada de ordem 2 entre Sta.Branca e Funil

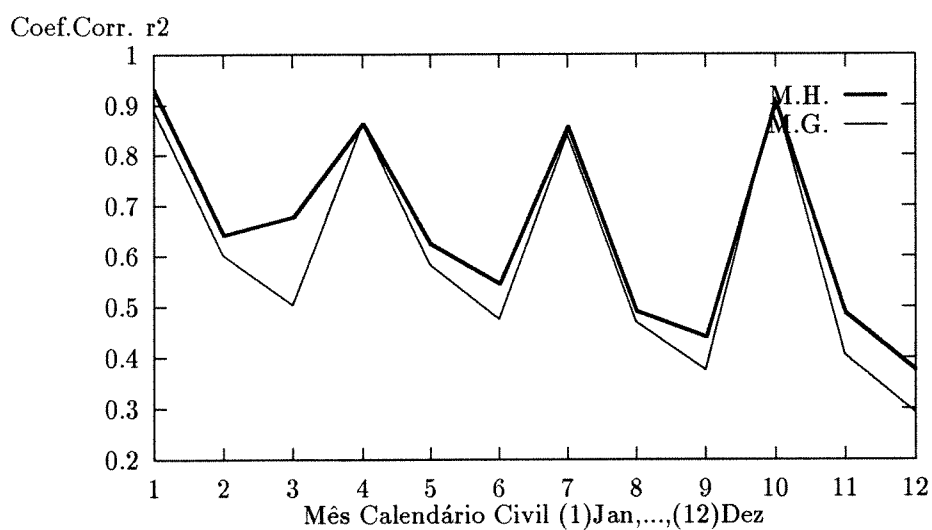


Figura A.42: Correlacao cruzada de ordem 2 entre Sta.Branca e Sta.Cecilia

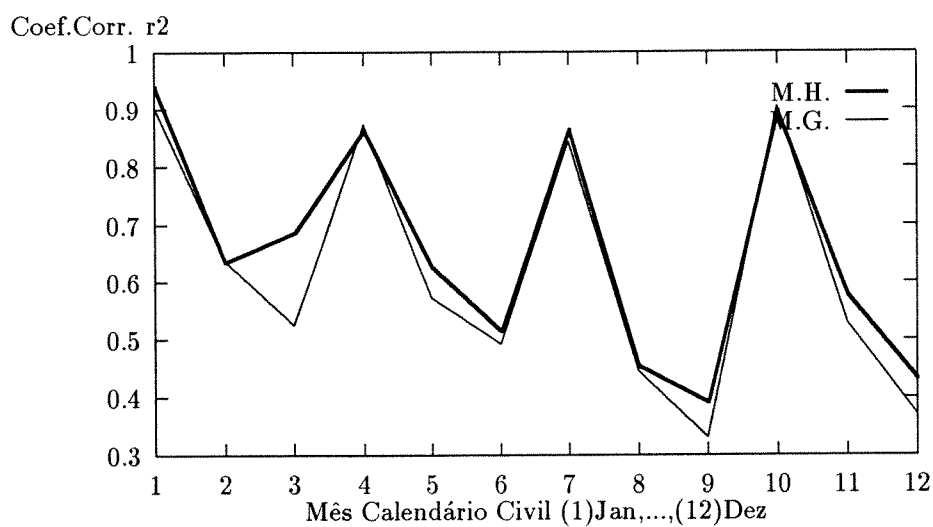


Figura A.43: Correlacao cruzada de ordem 2 entre Jaguari e Funil

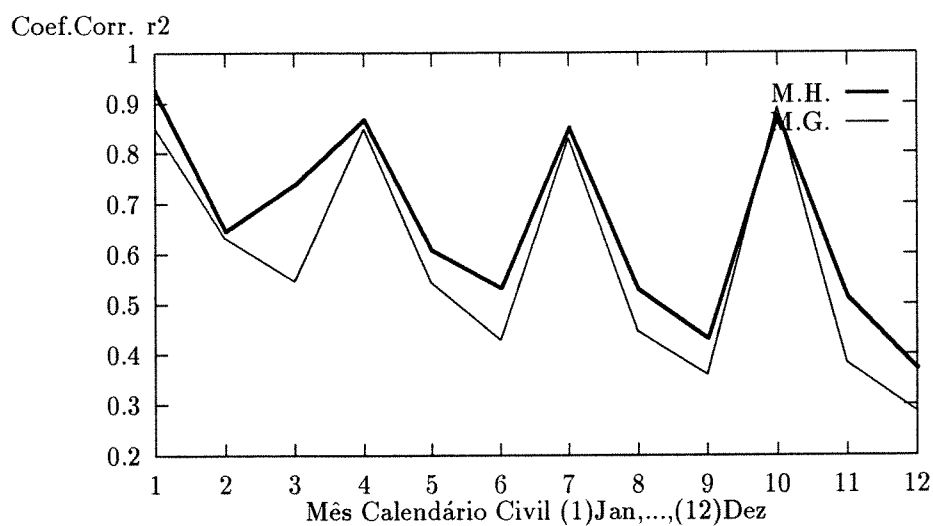


Figura A.44: Correlacao cruzada de ordem 2 entre Jaguari e Sta.Cecilia

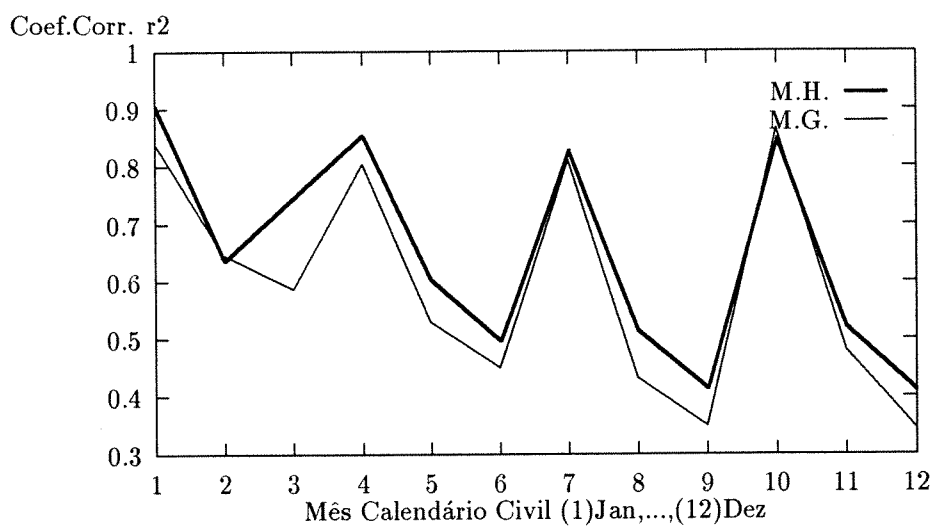
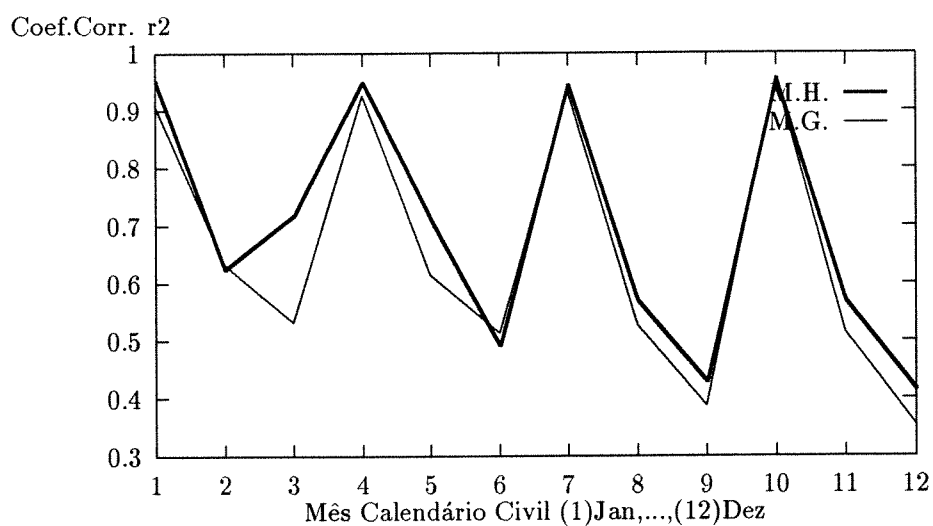


Figura A.45: Correlacao cruzada de ordem 2 entre Funil e Sta.Cecilia



Apêndice B

Vazões Mensais dos Postos Utilizados

Tabela B.1: Vazões Mensais Naturais do Posto Paraibuna do período de 1931 até 1960 fornecidas pela ELETROBRÁS

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1931	107.5	160.2	117.5	80.1	61.3	52.1	43.5	39.8	47.1	59.2	59.0	99.5
1932	117.9	94.7	118.0	65.9	79.4	59.4	44.7	47.5	39.9	50.8	45.9	87.3
1933	84.5	61.8	57.2	43.0	41.3	33.7	33.7	28.9	41.9	41.8	41.5	69.9
1934	119.3	76.3	74.1	58.5	43.2	38.6	35.3	31.6	39.7	41.4	39.0	92.4
1935	77.8	166.9	95.8	70.9	50.6	44.2	37.7	34.9	45.2	61.6	42.4	40.6
1936	47.1	63.3	164.5	101.5	60.6	47.5	38.8	41.2	47.9	40.3	40.8	66.1
1937	101.4	97.0	66.3	66.3	64.9	48.6	37.4	32.5	26.5	47.4	62.4	92.9
1938	104.8	123.7	97.5	76.6	60.5	57.9	46.3	56.1	53.0	68.3	67.2	82.9
1939	102.4	100.3	78.7	111.7	62.2	49.1	43.9	34.5	35.2	37.5	48.3	67.6
1940	113.9	147.3	91.4	61.2	51.1	39.6	32.9	28.6	30.8	43.6	50.6	60.6
1941	72.7	70.0	78.1	53.7	37.7	32.3	32.1	23.8	57.3	56.1	59.2	79.0
1942	77.9	77.0	78.1	70.3	46.6	39.2	42.2	32.0	30.7	36.1	48.0	77.7
1943	79.5	78.8	75.3	50.3	35.3	34.0	28.1	34.8	28.5	44.3	40.2	61.4
1944	70.4	160.3	163.8	78.5	63.2	45.0	39.6	32.7	29.4	28.8	47.8	46.6
1945	74.9	131.4	95.5	85.5	53.2	65.3	49.5	35.4	39.5	32.7	40.4	52.7
1946	103.5	73.0	93.7	70.7	45.4	41.1	36.1	28.7	24.2	52.7	54.0	59.1
1947	131.3	134.3	146.3	90.0	66.4	90.9	67.9	58.7	67.6	68.5	80.2	117.0
1948	102.0	139.3	135.4	88.6	75.2	58.5	49.8	49.8	46.1	41.4	51.2	60.0
1949	122.1	100.0	93.3	70.1	47.2	51.2	44.1	37.2	36.9	43.5	54.3	62.9
1950	132.7	179.5	142.1	99.9	76.8	57.0	47.6	39.7	39.9	51.4	62.8	105.2
1951	125.9	146.1	169.1	124.4	79.4	63.2	57.7	51.8	42.8	54.3	50.6	64.9
1952	112.3	158.3	136.7	75.3	56.1	67.3	47.8	43.4	48.3	42.4	54.3	60.1
1953	41.9	67.7	63.0	64.4	57.3	41.3	36.5	37.6	34.4	38.3	60.7	54.0
1954	50.0	58.0	58.7	49.9	61.0	43.5	34.8	31.1	31.6	40.0	33.9	42.5
1955	78.3	47.9	49.9	53.0	39.7	33.7	27.5	27.3	26.9	29.0	65.0	59.8
1956	56.2	66.9	97.9	56.7	58.4	52.5	40.9	50.2	38.5	48.0	55.3	62.2
1957	108.6	74.5	99.9	93.2	57.5	48.5	43.9	37.4	58.2	44.1	60.1	60.1
1958	78.3	71.1	87.9	73.2	86.4	67.5	49.9	42.3	50.1	59.2	89.4	109.1
1959	106.0	133.4	106.9	100.0	61.0	48.8	42.4	44.1	38.6	36.7	53.6	59.9
1960	71.1	121.6	104.2	58.8	54.3	46.0	47.2	45.8	37.1	48.1	56.3	94.2

Tabela B.2: Vazões Mensais Naturais do Posto Paraibuna do período de 1961 até 1990 fornecidas pela ELETROBRÁS

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1961	116.4	153.9	154.3	95.8	70.9	58.0	51.7	44.5	38.7	36.7	45.7	68.9
1962	102.6	128.1	108.9	69.3	54.1	47.9	44.0	41.6	45.8	62.8	63.4	117.0
1963	94.8	115.1	87.6	61.9	50.0	45.2	40.3	36.9	29.6	40.0	55.7	42.9
1964	51.8	85.4	63.0	55.2	47.7	38.1	42.5	34.7	32.0	43.5	46.8	70.9
1965	116.3	91.0	95.6	71.9	73.3	61.2	52.5	43.3	40.8	61.1	61.5	93.5
1966	135.8	96.9	137.5	108.6	75.5	57.1	50.8	53.7	45.5	62.7	107.3	118.3
1967	185.0	265.8	228.8	122.8	87.3	79.5	68.4	54.4	58.5	71.7	85.1	93.5
1968	109.3	75.9	94.4	76.2	56.0	47.5	42.5	46.0	41.5	39.9	34.5	60.5
1969	65.4	102.0	84.0	63.8	47.1	46.2	37.2	38.0	31.5	48.6	81.8	102.5
1970	114.5	127.7	122.7	76.5	57.5	50.3	49.0	44.6	55.2	56.6	68.2	70.0
1971	75.1	90.1	103.5	69.0	55.0	55.5	43.7	53.8	50.3	61.2	75.0	104.2
1972	96.7	139.0	96.8	70.0	51.8	43.0	41.1	43.5	47.0	62.5	62.6	63.5
1973	123.5	109.7	74.0	76.3	72.5	44.7	48.0	37.2	46.0	45.5	54.3	92.7
1974	189.3	89.6	85.6	71.1	49.6	56.7	41.3	33.6	32.2	35.6	33.1	81.0
1975	106.9	129.8	77.6	58.2	48.0	41.1	38.1	26.9	29.7	51.3	77.2	117.6
1976	120.9	77.2	108.7	95.4	87.5	72.6	93.5	74.0	87.5	72.0	75.3	112.8
1977	179.0	91.0	76.0	86.1	55.5	53.5	41.1	38.2	54.0	52.0	62.6	93.6
1978	130.6	76.2	71.5	44.3	45.6	48.5	38.3	27.0	28.0	30.0	53.1	62.1
1979	74.1	65.5	88.8	50.7	50.6	36.2	40.0	42.2	55.3	46.5	71.1	76.0
1980	111.6	110.2	73.2	82.6	47.2	50.5	40.3	43.6	39.2	54.5	57.5	86.0
1981	125.1	73.6	91.6	94.1	53.7	49.0	47.0	41.0	33.5	44.1	63.0	90.2
1982	106.8	77.1	105.8	82.7	52.5	66.6	46.5	49.5	40.3	68.0	70.1	121.8
1983	122.2	118.5	108.5	129.3	102.7	145.8	81.0	64.7	129.0	87.3	87.6	118.6
1984	104.8	54.0	66.5	74.6	65.5	38.6	38.7	44.5	48.0	38.3	45.0	55.5
1985	170.5	165.5	174.0	141.2	90.5	65.0	50.5	45.2	53.0	40.0	48.6	62.1
1986	64.0	125.5	129.5	70.0	61.1	40.2	52.5	49.3	45.6	41.5	59.8	148.7
1987	137.8	134.0	84.3	118.0	108.0	92.0	62.3	49.8	57.2	61.5	48.6	52.8
1988	93.8	157.0	111.2	88.1	86.8	75.0	52.6	43.0	49.6	62.5	66.0	79.1
1989	109.0	157.6	121.5	91.7	66.7	71.3	73.2	57.0	58.5	46.0	52.5	71.5
1990	68.3	47.3	74.5	64.5	44.0	32.3	39.0	36.5	42.6	58.5	47.7	37.3

Tabela B.3: Vazões Mensais Naturais do Posto Santa Branca do período de 1931 até 1960 fornecidas pela ELETROBRÁS

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1931	128.2	190.5	139.0	95.1	73.5	63.5	53.0	48.2	58.0	70.5	69.4	118.9
1932	138.2	111.8	145.1	78.4	96.2	73.4	55.3	57.0	47.7	61.9	55.4	105.0
1933	103.9	75.1	66.9	50.2	49.6	40.6	39.2	34.1	49.2	48.3	48.2	81.4
1934	143.9	97.2	89.2	70.4	51.5	44.4	40.2	36.2	44.7	48.5	46.1	119.1
1935	90.2	198.1	115.7	84.7	60.6	54.0	44.3	40.8	53.9	77.3	52.6	47.5
1936	58.2	72.0	190.8	118.7	70.2	54.5	45.4	48.0	57.6	47.7	47.8	83.3
1937	123.2	115.3	79.7	79.1	76.4	57.4	42.4	37.9	31.8	56.7	75.1	105.1
1938	124.0	143.5	114.1	89.1	71.3	67.7	53.5	66.4	61.9	83.9	82.0	99.0
1939	122.4	118.6	91.2	129.5	73.7	58.5	51.6	39.9	41.2	43.6	59.8	80.9
1940	143.5	184.3	111.2	75.1	63.0	48.5	40.3	35.5	37.8	53.2	60.5	74.2
1941	89.3	83.8	92.4	62.9	44.7	38.5	38.4	28.9	68.6	68.6	70.6	96.1
1942	93.9	93.8	90.1	84.5	55.5	46.8	51.2	38.1	36.7	41.0	55.4	87.2
1943	90.4	91.8	87.8	57.0	39.8	38.3	31.7	38.6	32.2	50.9	45.6	67.9
1944	79.7	177.0	190.0	89.4	72.0	51.0	45.0	37.3	34.1	33.5	56.2	53.1
1945	84.1	159.0	114.0	96.6	61.6	78.6	58.9	41.0	45.4	39.0	48.5	59.7
1946	121.4	86.5	107.9	81.2	52.7	48.7	42.9	34.3	27.3	60.9	60.5	66.6
1947	160.0	159.5	176.4	107.7	79.9	105.7	79.7	69.4	81.7	82.3	96.4	144.9
1948	124.2	171.2	165.7	108.4	92.4	72.3	60.2	62.8	56.8	51.3	59.4	73.1
1949	137.8	119.8	106.9	83.2	56.7	60.1	52.0	44.0	43.3	50.2	62.0	75.0
1950	151.5	211.8	170.5	119.1	86.3	65.7	54.9	46.6	45.3	62.3	71.4	127.5
1951	150.0	165.9	190.7	140.9	91.5	73.3	66.0	59.4	49.1	63.4	59.2	75.9
1952	131.5	183.9	161.0	90.5	67.6	81.3	58.8	55.3	60.6	52.0	67.3	70.5
1953	53.5	79.8	72.1	76.2	71.5	51.1	45.2	44.5	43.5	43.6	69.3	63.2
1954	62.0	75.1	71.8	59.6	71.2	53.1	43.5	36.0	37.2	49.5	41.0	49.7
1955	89.7	55.3	61.5	64.3	48.8	41.0	33.7	34.0	32.3	32.5	71.3	67.1
1956	67.1	76.6	108.0	68.1	73.1	67.1	52.0	62.0	46.7	55.5	60.8	68.5
1957	120.0	89.6	112.0	107.0	66.0	60.0	54.2	46.5	71.6	52.6	77.6	71.2
1958	98.5	92.2	104.0	88.0	104.0	81.2	62.0	52.1	61.5	69.7	106.0	124.0
1959	127.0	159.0	125.0	115.0	71.3	58.2	52.0	54.6	43.7	39.5	62.0	67.0
1960	77.2	153.6	134.2	65.8	64.7	52.0	56.0	54.1	47.3	59.0	69.3	122.3

Tabela B.4: Vazões Mensais Naturais do Posto Santa Branca do período de 1961 até 1990 fornecidas pela ELETROBRÁS

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1961	141.1	207.3	201.2	117.6	84.7	68.3	61.2	53.5	50.1	43.3	55.6	81.0
1962	122.6	170.2	146.0	80.7	65.8	55.0	53.0	54.1	63.8	80.8	76.5	144.0
1963	125.8	153.1	104.0	69.1	53.1	50.3	46.5	47.0	34.0	45.3	63.8	45.7
1964	52.7	99.1	70.5	61.2	55.0	45.1	51.0	44.1	38.0	51.6	52.5	79.5
1965	159.2	110.2	115.5	82.0	86.3	68.0	61.6	49.1	50.3	72.3	74.8	115.0
1966	158.1	115.8	162.8	127.3	87.2	64.5	61.2	66.0	60.2	76.0	123.0	145.5
1967	214.8	307.8	276.6	145.2	101.0	92.1	81.0	63.0	68.7	84.6	103.5	111.3
1968	125.0	88.1	112.5	89.3	66.5	55.7	47.8	53.1	48.0	46.1	39.7	69.5
1969	74.3	115.5	99.7	72.6	54.5	54.1	43.5	45.0	37.6	58.5	92.3	107.2
1970	142.3	166.0	138.0	83.1	62.3	56.2	55.5	53.6	63.1	62.5	70.7	76.1
1971	79.0	92.5	112.3	72.5	61.8	67.3	54.7	60.6	54.8	71.2	80.0	110.1
1972	114.0	170.0	109.8	75.3	54.0	44.8	48.0	48.5	52.7	68.8	71.6	69.6
1973	130.6	114.7	77.5	81.7	76.1	48.2	52.0	40.1	49.7	49.0	62.5	109.0
1974	211.2	99.6	93.6	74.5	52.6	62.5	46.5	37.3	35.8	40.7	40.3	83.2
1975	114.0	144.8	85.0	62.7	52.5	45.6	42.5	31.3	31.3	57.0	82.2	129.7
1976	129.5	82.2	120.5	106.7	100.2	79.1	104.2	82.3	99.1	79.5	86.6	123.5
1977	202.7	95.6	81.6	95.7	61.5	58.6	44.5	44.2	61.5	56.8	67.1	103.0
1978	137.5	83.7	77.0	48.5	51.5	58.6	45.3	31.5	31.0	35.6	65.0	68.5
1979	80.0	72.8	103.7	64.5	60.6	44.8	50.1	51.2	63.3	52.6	90.2	97.2
1980	131.2	134.0	88.6	94.2	48.1	54.2	44.0	47.7	42.6	57.2	61.3	101.7
1981	138.6	79.2	97.6	97.0	55.2	54.8	50.3	42.7	35.2	51.5	71.2	97.8
1982	116.7	88.2	117.1	88.0	57.0	85.5	58.1	62.3	53.5	85.2	79.5	141.6
1983	142.7	142.6	130.8	161.1	129.0	187.0	99.6	80.6	151.0	104.0	105.2	144.5
1984	123.6	67.0	79.7	89.2	76.8	52.0	49.0	56.6	59.6	49.3	56.0	71.5
1985	183.1	180.5	189.5	161.2	103.3	74.0	58.7	53.2	64.7	49.3	57.1	73.8
1986	76.0	145.5	154.5	79.7	74.2	51.2	64.0	63.7	57.5	56.6	72.6	181.7
1987	171.0	152.2	97.6	130.7	121.0	107.6	70.2	58.1	67.8	69.8	55.1	61.2
1988	110.7	174.1	121.8	98.5	102.7	85.5	54.8	48.1	55.6	68.7	72.5	85.1
1989	125.6	189.8	141.2	103.0	74.0	78.5	87.3	64.1	66.7	52.8	60.0	80.6
1990	81.2	54.2	85.5	70.1	50.1	38.2	47.1	44.0	49.2	66.1	53.1	42.0

Tabela B.5: Vazões Mensais Naturais do Posto Jaguari do período de 1931 até 1960 fornecidas pela ELETROBRÁS

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1931	48.2	56.8	61.0	50.5	31.3	27.3	24.1	20.8	21.6	23.5	20.0	42.2
1932	34.5	46.8	43.6	32.7	30.6	37.5	25.6	21.8	22.0	21.0	21.1	37.0
1933	46.2	35.1	33.7	23.5	23.7	20.6	19.8	18.8	18.3	18.8	19.0	30.5
1934	44.8	40.5	37.1	28.5	24.6	22.5	19.0	17.0	15.7	18.0	15.0	41.5
1935	33.5	48.7	46.5	34.6	28.0	26.0	22.1	21.1	23.5	31.7	22.5	20.5
1936	23.8	29.5	60.6	32.6	22.1	17.5	15.5	17.5	17.8	16.7	17.2	52.6
1937	67.8	70.6	47.3	46.2	34.0	27.8	22.1	19.2	16.3	25.2	30.8	50.1
1938	55.6	47.1	46.7	42.1	31.0	25.1	21.1	22.1	20.1	28.2	30.3	34.3
1939	42.5	40.8	40.5	42.2	28.8	22.3	19.2	15.6	15.2	14.5	18.0	24.6
1940	31.5	67.8	40.0	28.3	22.5	18.5	15.3	13.7	14.0	16.7	24.1	25.0
1941	25.1	23.5	26.8	20.5	15.6	14.3	13.6	11.2	23.8	22.6	29.7	34.0
1942	31.1	42.5	42.8	36.8	25.8	21.8	20.6	16.6	15.5	15.8	18.1	34.6
1943	38.8	36.6	40.5	28.8	21.0	17.7	15.0	15.6	14.5	21.8	19.0	27.8
1944	30.3	52.6	61.7	35.1	25.0	19.5	17.5	14.2	13.0	12.0	24.0	21.5
1945	32.2	63.5	36.8	32.0	23.5	32.8	24.3	18.0	17.5	16.7	21.8	29.2
1946	46.5	42.1	47.5	36.0	26.0	22.6	20.0	16.1	14.5	19.0	18.7	23.5
1947	59.8	60.7	83.1	44.0	34.6	29.2	28.8	25.2	28.0	30.8	31.7	60.1
1948	48.5	59.2	61.0	44.1	36.2	27.2	24.8	23.8	22.0	23.5	25.5	32.3
1949	44.8	48.7	39.6	30.0	23.5	20.6	17.7	14.8	13.2	15.3	16.7	31.1
1950	55.8	67.8	56.7	47.8	33.5	27.2	21.6	17.5	15.6	21.5	27.3	37.5
1951	36.2	53.1	49.2	37.7	25.7	20.7	19.0	17.5	14.0	17.7	20.0	19.8
1952	45.7	74.3	63.1	35.5	25.7	27.5	19.7	16.5	18.1	15.7	21.2	21.0
1953	17.6	23.1	20.6	24.8	18.7	14.5	12.2	12.0	11.5	15.3	23.3	27.7
1954	25.8	38.3	31.3	22.0	25.5	19.6	15.0	12.1	10.8	15.7	11.1	19.5
1955	32.6	22.6	30.3	22.0	16.8	14.5	11.6	13.2	10.5	11.0	18.2	22.2
1956	26.8	27.3	34.6	24.1	24.8	25.5	18.2	21.1	16.5	18.7	16.1	20.2
1957	51.0	40.6	47.0	39.8	26.5	21.5	19.1	17.2	27.7	21.6	31.0	30.8
1958	43.8	43.1	47.1	36.6	43.0	34.6	26.5	20.8	22.2	24.3	28.7	35.2
1959	48.2	44.0	49.2	38.0	28.1	21.1	17.2	18.0	14.7	15.0	21.8	25.0
1960	39.5	55.8	63.2	36.0	30.5	26.0	20.3	18.2	16.1	19.7	22.8	58.0

Tabela B.6: Vazões Mensais Naturais do Posto Jaguari do período de 1961 até 1990 fornecidas pela ELETROBRÁS

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1961	61.5	60.5	70.3	43.5	35.1	28.3	23.0	18.8	16.0	17.0	22.2	28.2
1962	45.0	58.2	68.7	32.0	26.1	20.7	18.5	17.3	17.6	30.1	27.3	54.7
1963	46.0	64.5	45.6	24.2	20.3	17.0	14.8	13.6	11.0	17.0	17.2	18.0
1964	21.5	45.0	26.0	21.0	19.1	14.5	15.3	12.6	11.8	18.1	17.0	36.0
1965	59.0	48.8	38.3	26.5	27.0	19.5	20.0	15.1	14.3	22.1	26.0	37.5
1966	70.6	44.0	64.3	37.7	28.0	21.6	19.5	19.0	16.1	22.2	31.1	57.2
1967	77.7	84.3	79.2	44.6	32.5	28.3	23.1	18.5	20.7	24.1	29.2	37.3
1968	45.5	29.7	40.1	31.0	23.0	18.5	16.0	15.0	13.5	13.7	12.8	22.7
1969	20.0	25.8	21.1	22.3	18.3	14.5	11.6	11.8	11.0	15.5	35.0	26.0
1970	66.0	77.5	47.0	32.3	24.6	22.5	18.0	17.5	23.5	20.1	21.0	21.5
1971	21.6	14.5	25.0	12.5	11.0	15.2	15.2	12.0	10.2	22.6	20.0	32.5
1972	36.2	50.0	37.0	26.6	21.0	18.1	19.8	21.5	17.0	28.5	26.0	25.0
1973	37.5	39.5	30.1	33.5	18.5	21.7	22.5	15.2	16.2	24.5	26.2	41.2
1974	49.3	28.3	40.6	29.1	24.5	23.2	15.3	12.7	13.5	16.0	16.2	30.1
1975	23.2	40.8	29.0	18.8	13.8	12.5	10.5	8.1	6.0	10.2	21.3	44.5
1976	35.7	21.3	43.7	39.7	37.5	31.0	40.5	31.1	40.5	33.5	34.0	53.7
1977	45.0	28.6	35.0	44.7	24.0	22.1	16.2	13.8	13.7	15.3	22.0	38.5
1978	41.6	30.5	34.5	17.3	16.6	19.8	15.8	10.8	10.1	10.1	32.1	23.8
1979	30.1	26.3	26.7	21.0	20.1	13.0	13.6	16.3	19.2	18.2	30.5	34.0
1980	35.8	38.3	29.0	34.0	17.6	18.0	12.6	12.7	11.1	13.6	17.3	44.5
1981	53.3	29.3	30.2	22.0	14.0	13.2	12.7	9.6	9.3	25.0	33.6	30.7
1982	47.6	43.5	65.3	37.7	24.5	28.5	20.0	21.3	13.6	28.0	31.7	61.1
1983	63.5	71.0	51.5	51.1	51.6	72.6	41.3	30.0	52.5	39.2	39.0	48.5
1984	42.8	28.0	30.7	31.8	31.2	17.8	15.0	17.5	18.2	10.5	13.0	22.1
1985	44.7	49.2	50.5	31.1	25.5	17.0	12.8	12.0	15.8	9.7	17.1	17.2
1986	18.6	29.0	50.7	21.1	19.5	11.6	11.1	17.7	11.8	11.0	18.2	50.8
1987	50.6	41.0	43.5	39.5	43.0	39.3	24.6	19.7	20.6	20.8	18.8	20.6
1988	44.7	59.3	59.8	39.0	45.5	35.6	24.6	20.1	16.7	24.0	20.6	25.0
1989	52.8	56.7	54.7	35.0	24.1	23.3	27.6	19.6	18.0	14.7	17.6	25.6
1990	41.3	21.7	37.1	23.2	20.5	14.3	17.3	12.1	17.5	19.7	18.8	14.8

Tabela B.7: Vazões Mensais Naturais do Posto de Funil do período de 1931 até 1960 fornecidas pela ELETROBRÁS

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1931	469.1	836.1	625.4	420.3	236.6	178.5	156.6	124.8	137.6	186.6	170.9	388.1
1932	472.8	480.3	491.5	264.1	249.4	247.4	154.3	138.3	120.1	156.6	145.9	331.9
1933	402.6	251.9	235.4	149.9	141.5	109.4	104.6	89.3	106.6	113.3	133.1	284.3
1934	526.0	286.7	329.6	211.4	142.4	114.4	97.1	80.1	93.5	108.7	92.6	385.0
1935	320.4	667.0	473.8	276.1	181.0	148.8	114.5	107.2	126.9	221.3	150.3	133.3
1936	183.8	248.1	706.1	395.2	188.8	130.8	115.5	114.2	148.5	118.8	127.5	305.0
1937	511.6	548.2	295.2	282.8	249.0	176.1	123.1	103.3	86.0	168.7	226.3	428.8
1938	486.4	388.7	424.8	313.9	212.9	176.5	139.8	164.4	154.8	237.9	280.6	314.6
1939	451.6	479.5	297.5	364.1	213.7	161.2	131.4	110.0	101.4	95.2	141.6	220.1
1940	382.7	605.2	473.6	225.4	166.6	132.0	107.9	85.6	85.0	114.3	194.6	194.6
1941	275.0	204.1	247.6	202.3	119.4	102.0	105.3	72.3	176.3	234.5	226.7	298.0
1942	317.6	299.3	383.7	260.1	193.7	142.0	142.6	109.5	95.0	115.3	172.1	289.4
1943	318.5	357.5	361.5	216.4	134.9	116.5	97.6	98.8	90.3	147.8	148.4	230.3
1944	284.5	389.8	703.0	295.6	188.2	137.2	123.9	95.3	82.9	77.5	127.7	179.1
1945	255.6	609.9	348.3	304.3	173.3	187.7	225.6	113.3	111.5	101.5	163.5	264.0
1946	574.6	348.6	354.3	266.6	163.6	147.3	125.0	95.1	76.4	137.0	164.1	184.6
1947	482.5	659.8	855.3	396.7	256.3	205.2	245.0	174.8	205.2	219.4	253.2	429.7
1948	503.2	524.2	597.1	385.2	247.2	196.1	154.8	160.2	130.1	129.8	180.4	227.6
1949	421.1	498.6	319.5	251.9	153.3	139.9	126.8	96.9	91.6	101.3	146.6	236.4
1950	436.4	754.6	607.6	453.8	279.6	192.1	159.9	122.2	97.6	148.9	193.2	407.8
1951	401.0	530.5	599.1	465.8	241.9	179.0	159.3	139.8	108.1	121.1	130.7	198.2
1952	363.2	476.8	638.3	332.8	178.5	213.9	148.5	118.7	129.3	107.3	193.6	199.0
1953	129.7	199.7	174.9	236.4	162.7	115.0	93.8	82.9	89.5	103.1	204.1	238.7
1954	195.2	286.4	263.3	203.9	224.8	156.7	105.5	83.8	74.5	104.8	107.6	139.1
1955	308.5	176.8	222.7	180.2	128.7	106.9	80.9	66.3	78.9	71.2	127.7	187.4
1956	186.6	169.8	328.8	200.2	182.0	194.5	126.0	164.0	112.1	139.8	143.8	208.3
1957	333.5	372.3	395.5	373.3	193.4	150.7	131.5	115.9	184.7	122.7	237.8	211.7
1958	209.8	421.0	382.1	267.6	270.1	264.0	177.4	139.8	158.1	173.8	225.2	304.1
1959	445.8	316.5	385.6	341.5	185.0	144.3	121.1	126.2	105.6	104.6	157.3	190.3
1960	286.8	383.1	496.9	242.7	187.5	147.7	131.5	127.2	102.6	119.9	196.2	357.7

Tabela B.8: Vazões Mensais Naturais do Posto de Funil do período de 1961 até 1990 fornecidas pela ELETROBRÁS

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1961	517.0	534.9	614.2	333.8	249.9	186.0	153.7	130.5	112.1	106.7	145.7	216.8
1962	346.9	569.6	508.4	260.3	194.2	152.1	129.7	126.7	143.7	210.1	249.8	365.7
1963	430.4	451.3	339.5	206.2	149.2	126.5	109.2	102.2	82.1	106.2	171.3	130.8
1964	203.6	425.5	243.2	189.9	155.5	115.2	127.9	101.4	87.2	143.8	141.1	214.3
1965	447.2	466.9	393.4	217.6	239.8	163.2	152.6	115.5	97.2	192.8	222.2	316.2
1966	570.0	323.5	527.7	327.3	231.8	168.4	142.0	141.8	133.0	171.6	341.2	409.5
1967	797.9	811.7	810.9	452.1	261.0	227.8	189.7	147.2	151.0	165.2	261.1	334.2
1968	373.3	247.5	338.6	239.3	171.7	142.7	123.3	122.5	110.2	103.0	93.0	212.9
1969	212.5	283.3	253.5	212.1	129.9	128.9	97.2	101.1	81.9	117.9	275.8	313.7
1970	433.0	432.9	394.9	237.3	161.8	130.9	142.7	108.5	193.6	183.0	206.5	199.3
1971	211.8	142.0	329.6	193.3	150.2	177.2	147.8	95.3	112.2	194.3	198.7	295.0
1972	333.4	457.7	384.1	205.2	124.2	90.0	89.2	98.9	79.9	166.5	213.3	200.5
1973	323.9	344.3	226.4	246.7	168.5	109.7	102.5	77.8	85.3	116.2	164.8	333.9
1974	488.8	298.5	374.6	254.3	147.6	141.0	118.8	77.6	69.2	78.6	74.7	227.0
1975	330.7	359.8	299.0	211.4	114.6	70.1	65.9	49.6	72.3	100.5	199.8	407.5
1976	349.0	199.8	414.3	335.0	237.9	283.0	333.2	237.1	278.8	264.8	280.6	385.9
1977	538.0	361.4	231.5	289.9	150.3	137.0	74.6	85.5	95.5	91.2	150.3	281.0
1978	397.8	236.7	292.9	140.9	119.2	138.2	105.2	49.2	51.3	74.7	175.8	197.7
1979	261.5	289.7	267.5	165.0	147.6	101.6	100.0	89.6	126.0	116.7	246.7	295.7
1980	363.6	337.1	243.5	294.2	147.5	121.3	128.0	94.3	108.3	131.5	170.2	298.0
1981	485.0	255.5	270.8	215.7	148.5	120.5	107.7	103.2	85.0	133.0	254.2	292.3
1982	404.1	274.0	479.7	330.7	174.5	179.5	168.0	144.7	100.2	164.2	208.5	403.5
1983	498.8	492.0	410.7	394.1	288.7	591.0	289.8	193.2	393.0	329.3	326.5	394.7
1984	360.1	205.7	181.3	234.5	214.0	123.7	103.8	118.7	120.5	102.0	100.5	156.2
1985	422.7	462.7	527.1	350.5	210.1	137.1	108.5	91.6	129.0	94.5	145.5	171.5
1986	211.2	301.8	452.8	214.0	166.5	107.1	113.5	128.2	96.7	79.7	119.5	448.3
1987	456.9	502.8	278.9	400.3	322.9	309.6	180.7	138.4	158.4	167.8	127.3	194.8
1988	313.8	506.1	445.6	283.9	271.1	260.9	150.6	113.5	114.6	158.6	184.7	198.2
1989	463.3	533.5	473.8	307.9	189.9	193.0	149.6	198.8	147.7	119.1	137.8	204.4
1990	259.7	135.9	263.0	198.2	143.0	102.0	113.3	113.1	129.2	158.7	133.9	104.7

Tabela B.9: Vazões Mensais Naturais do Posto Santa Cecília do período de 1931 até 1960 fornecidas pela ELETROBRÁS

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1931	569.1	1020.2	741.8	506.8	338.5	283.8	217.2	175.5	191.3	237.1	260.8	477.3
1932	596.3	570.6	595.8	345.3	336.5	333.6	225.8	199.8	169.5	210.7	229.3	450.1
1933	531.3	336.8	318.3	214.0	192.4	155.0	140.4	128.1	143.6	170.2	190.0	371.3
1934	669.6	354.6	403.8	272.8	193.3	154.1	135.0	112.6	136.1	147.2	125.1	414.6
1935	407.3	766.1	537.8	362.5	272.1	209.6	158.9	144.2	163.5	279.1	192.8	188.7
1936	226.9	316.7	872.9	494.9	269.9	223.4	194.3	176.9	211.5	164.9	176.5	357.0
1937	570.0	649.4	362.3	359.9	327.8	231.0	165.6	132.5	109.6	213.4	285.1	540.2
1938	586.0	496.4	505.8	375.4	282.0	238.3	182.2	207.9	198.2	295.7	351.2	418.8
1939	523.3	542.8	364.6	429.1	264.2	199.7	166.4	139.9	129.6	124.5	180.9	297.8
1940	495.8	705.7	565.4	293.8	235.6	177.7	139.6	112.3	109.6	144.5	258.2	250.6
1941	362.9	273.0	306.5	248.7	146.8	123.6	133.9	92.1	224.5	287.4	281.2	401.5
1942	417.6	382.2	492.1	346.2	250.5	177.3	174.4	133.0	115.7	149.5	228.9	417.2
1943	492.7	511.3	467.3	299.3	191.4	161.0	129.9	129.7	123.8	203.8	193.6	332.2
1944	371.8	541.7	776.4	362.6	262.2	212.7	177.3	128.7	106.2	98.3	158.6	236.0
1945	346.0	691.0	436.0	392.6	243.8	237.0	266.9	140.5	133.0	122.1	198.1	327.8
1946	709.8	432.6	465.6	355.7	235.2	198.8	159.0	121.3	94.8	170.4	205.5	234.8
1947	648.6	751.7	1087.8	492.3	347.6	298.5	318.5	223.3	256.2	271.3	319.6	505.7
1948	556.7	654.7	758.2	470.3	325.4	283.3	224.7	210.6	167.6	165.6	234.6	291.8
1949	533.4	596.0	408.4	330.4	228.4	198.8	171.6	123.1	115.3	140.1	190.1	306.7
1950	635.2	898.4	679.2	535.1	374.2	267.5	210.5	158.7	128.0	203.8	263.6	512.5
1951	492.2	610.9	688.6	528.6	314.6	258.1	212.2	179.5	144.2	152.9	165.2	255.1
1952	467.8	623.5	707.7	385.4	231.8	260.9	173.5	147.5	167.9	131.6	223.5	249.4
1953	174.1	240.3	222.2	270.3	180.6	133.2	101.8	95.1	105.1	116.0	221.0	281.5
1954	209.3	335.3	297.4	240.0	253.0	188.0	123.5	93.3	88.5	130.6	135.0	155.5
1955	392.2	212.3	267.6	205.7	141.5	119.5	89.3	75.0	87.7	84.3	139.5	253.2
1956	249.0	236.0	423.6	255.0	216.8	229.5	141.8	193.7	133.0	160.8	183.7	285.8
1957	424.1	472.5	606.5	523.0	256.4	193.3	168.0	140.1	222.3	141.5	288.5	272.2
1958	271.1	521.4	480.6	336.3	332.0	320.1	213.8	157.5	183.5	210.1	322.9	411.1
1959	630.3	412.3	537.9	490.1	234.7	175.8	142.5	144.1	117.3	119.1	206.5	229.8
1960	374.9	536.8	746.6	323.9	241.1	185.5	160.7	147.3	121.6	140.6	241.1	456.3

Tabela B.10: Vazões Mensais Naturais do Posto Santa Cecilia do período de 1961 até 1990 fornecidas pela ELETROBRÁS

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1961	783.0	798.5	947.2	470.2	329.1	224.5	173.3	147.0	123.3	116.9	161.0	264.7
1962	480.2	832.6	659.3	346.6	234.3	176.6	147.5	137.9	171.8	258.0	316.1	469.6
1963	526.1	607.4	424.5	239.9	163.8	141.1	118.3	107.9	126.8	117.7	194.1	146.5
1964	232.9	525.7	290.2	215.2	173.6	129.4	138.0	106.7	89.5	155.0	157.2	271.2
1965	566.5	611.0	500.9	268.2	297.0	204.3	184.0	135.3	109.0	225.6	273.5	412.8
1966	780.8	385.8	662.2	396.5	268.7	192.4	164.1	161.9	148.6	196.7	463.0	466.4
1967	1015.9	1034.2	923.0	535.0	327.4	283.1	229.6	171.1	165.4	179.7	313.2	435.8
1968	512.8	305.3	406.8	283.2	194.7	161.6	140.7	133.0	127.1	120.7	113.3	254.8
1969	306.9	325.0	364.3	266.7	155.2	148.3	112.5	115.1	89.0	146.5	338.6	383.3
1970	507.3	518.1	510.9	270.3	191.1	156.9	163.8	139.6	228.4	209.8	230.6	238.5
1971	246.6	148.6	373.7	247.0	173.7	207.0	153.6	115.7	159.6	261.6	262.5	439.0
1972	469.2	653.2	570.4	310.2	193.7	154.2	145.7	157.1	123.7	232.7	302.7	309.5
1973	475.7	512.6	302.7	356.6	247.7	171.5	161.0	134.3	131.4	172.9	237.6	469.6
1974	618.2	406.8	529.0	359.5	206.9	192.1	169.3	116.9	100.2	123.5	126.7	328.8
1975	470.5	510.5	417.2	258.5	177.7	147.1	127.2	99.0	79.7	150.4	303.7	500.4
1976	482.8	303.7	543.0	430.4	317.7	348.8	398.8	298.3	328.2	330.0	359.5	520.5
1977	686.3	505.5	291.0	374.5	215.1	190.9	139.3	120.8	173.9	179.6	242.8	436.5
1978	616.1	401.7	446.0	216.2	172.1	186.7	143.2	103.6	92.0	103.3	208.9	250.1
1979	365.4	452.2	376.2	223.5	198.0	141.8	141.5	150.1	191.0	165.7	336.7	392.5
1980	482.9	432.6	329.7	392.2	190.2	158.0	159.2	130.7	133.6	164.5	235.7	408.0
1981	623.0	350.9	375.5	293.3	191.7	168.3	139.1	135.9	108.0	171.3	330.3	424.9
1982	550.1	383.1	676.3	439.8	251.1	232.8	216.8	192.5	184.2	233.7	286.6	535.8
1983	640.0	587.5	522.0	468.5	345.0	683.0	343.8	223.5	486.3	429.0	432.7	539.5
1984	484.3	296.8	261.3	328.0	330.7	185.1	150.8	165.1	173.5	150.0	155.0	226.0
1985	580.2	676.0	707.0	453.0	303.5	206.8	170.3	141.6	170.5	137.0	197.0	243.0
1986	331.6	445.0	582.0	308.7	239.5	170.5	165.0	184.5	142.1	132.3	174.6	571.0
1987	562.1	626.3	369.9	514.8	403.0	366.5	237.2	180.2	219.8	210.9	174.5	275.3
1988	421.6	732.3	552.6	374.6	350.6	319.5	203.3	155.8	148.6	206.3	253.0	253.3
1989	541.3	648.2	576.3	400.2	264.3	254.9	197.2	247.1	201.6	164.3	188.3	273.2
1990	337.4	183.8	341.4	265.8	189.7	137.1	148.3	142.9	165.4	200.9	184.3	147.4

Apêndice C

Dados de Operação dos Reservatórios de Paraibuna e Jaguari

Tabela C.1: Vazões Turbinadas do Reservatório de Paraibuna - Paraitinga fornecidas pela CESP

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1976	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0
1977	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1978	0	0	0	6	38	5	31	94	98	93	87	50
1979	38	32	26	36	52	69	86	87	90	62	34	34
1980	36	37	36	56	100	107	102	97	82	76	79	44
1981	22	21	34	64	104	116	116	96	115	96	43	29
1982	11	12	32	30	65	31	31	63	82	62	59	57
1983	54	61	57	106	101	68	119	66	79	108	113	99
1984	99	68	97	106	59	90	87	79	118	90	77	82
1985	75	52	51	55	91	105	81	107	74	80	53	69
1986	81	47	36	34	78	97	72	60	78	84	56	39
1987	69	95	108	72	89	86	86	80	106	67	72	47
1988	40	63	71	79	84	84	78	88	56	59	57	80
1989	63	82	100	102	69	92	90	89	113	112	110	67
1990	52	95	97	80	54	0	0	0	0	0	0	0
1991	0	2	41	31	24	45	57	59	59	51	45	59
1992	56	51	46	54	93	-	-	-	-	-	-	-

Tabela C.2: Vazões Vertidas do Reservatório de Paraibuna - Paraitinga fornecidas pela CESP

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1976	-	-	-	-	-	-	-	30	1	12	31	30
1977	30	48	49	17	27	50	50	50	40	56	105	64
1978	45	34	29	30	37	72	43	8	3	3	0	0
1979	0	3	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1983	36	48	18	26	4	65	5	0	20	11	5	12
1984	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	0	8	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0
1988	0	34	44	0	0	0	0	0	0	37	1	0
1989	0	2	16	3	0	0	0	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	9	42	67	70	82	58	78	90
1991	75	46	0	2	8	0	2	14	46	14	5	41
1992	24	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-

Tabela C.3: Vazões Totais Efluentes do Reservatório de Paraibuna - Paraitinga fornecidas pela CESP

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1976	-	-	-	-	-	-	-	30	1	12	31	30
1977	30	48	49	17	27	50	50	50	40	56	105	64
1978	45	34	29	36	75	77	74	102	101	96	87	50
1979	38	35	30	39	52	69	86	87	90	62	34	34
1980	36	37	36	56	100	107	102	97	82	76	79	44
1981	22	21	34	64	104	116	116	96	115	96	43	29
1982	11	12	32	30	65	31	31	63	82	62	59	58
1983	90	109	75	132	105	133	124	66	99	119	118	111
1984	113	68	97	106	59	90	87	79	118	90	77	82
1985	75	52	51	55	91	105	81	107	74	80	53	69
1986	81	47	36	34	78	97	72	60	78	84	56	39
1987	69	103	108	72	90	89	86	80	106	67	72	47
1988	40	97	115	79	84	84	78	88	56	96	58	80
1989	63	84	116	105	69	92	90	89	113	112	110	67
1990	52	95	97	80	63	42	67	70	82	58	78	90
1991	75	48	41	33	32	45	59	73	105	65	50	100
1992	80	51	46	54	93	-	-	-	-	-	-	-

Tabela C.4: Vazões Turbinadas do Reservatório de Jaguari fornecidas pela CESP

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1972	-	-	-	-	21	19	21	20	21	21	19	20
1973	20	21	21	20	18	24	24	24	27	26	17	18
1974	10	15	29	28	31	44	38	38	41	43	43	17
1975	6	6	4	6	45	48	46	43	44	43	27	11
1976	11	10	10	9	20	13	13	19	42	42	27	21
1977	21	36	41	39	39	40	41	41	43	42	41	20
1978	14	14	13	28	41	39	43	23	19	15	15	17
1979	18	18	17	18	18	19	20	22	14	14	14	15
1980	15	13	15	18	29	30	38	26	26	19	18	20
1981	12	14	20	33	42	44	41	42	40	38	35	20
1982	12	12	14	12	18	26	40	40	40	22	33	17
1983	36	39	32	42	34	30	41	37	38	41	35	36
1984	34	30	28	34	33	34	35	28	42	44	30	18
1985	17	15	14	15	17	21	21	21	22	42	24	18
1986	16	14	14	14	23	37	43	40	23	14	30	18
1987	13	13	21	23	31	42	36	42	38	16	16	16
1988	21	42	40	36	29	38	40	40	40	35	38	27
1989	20	16	29	37	25	32	33	38	43	39	45	22
1990	17	17	27	32	35	42	44	44	34	14	19	28
1991	11	10	10	10	12	42	44	44	30	32	25	42
1992	25	12	11	11	13	-	-	-	-	-	-	-

Tabela C.5: Vazões Vertidas do Reservatório de Jaguari fornecidas pela CESP

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1972	-	-	-	-	0	0	0	0	39	13	0	0
1973	0	0	0	0	1	14	10	13	25	1	0	0
1974	1	1	2	3	6	1	0	0	0	6	0	0
1975	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1976	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1977	14	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1978	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1979	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1983	15	20	5	5	11	45	9	0	6	14	4	10
1984	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	0	0	0	6	12	2	0	0	0	0	0	0
1988	1	11	17	0	8	5	0	0	0	0	0	0
1989	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1991	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-

Tabela C.6: Vazões Totais Efluentes do Reservatório de Jaguari fornecidas pela CESP

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1972	-	-	-	-	21	19	21	20	60	34	19	20
1973	20	21	21	20	19	38	34	37	52	27	17	18
1974	11	16	31	31	37	45	38	38	41	49	43	17
1975	6	6	6	6	45	48	46	43	44	43	27	11
1976	11	10	10	9	20	13	13	19	42	42	27	21
1977	35	48	41	39	39	40	41	41	43	42	41	20
1978	14	14	13	28	41	39	43	23	19	15	15	17
1979	18	18	17	18	18	19	20	22	14	14	14	15
1980	15	13	15	18	29	30	38	26	26	19	18	20
1981	12	14	20	33	42	44	41	42	40	38	35	20
1982	12	12	14	12	18	26	40	40	40	22	33	17
1983	51	59	37	47	45	75	50	37	44	55	39	46
1984	43	32	28	34	33	34	35	28	42	44	30	18
1985	17	15	14	15	17	21	21	21	22	42	24	18
1986	16	14	14	14	23	37	43	40	23	14	30	18
1987	13	13	21	29	43	44	36	42	38	16	16	16
1988	22	53	57	36	37	43	40	40	40	35	38	27
1989	20	16	36	37	25	32	33	38	43	39	45	22
1990	17	17	27	32	35	42	44	44	34	14	19	28
1991	11	10	10	10	12	42	44	44	30	32	25	42
1992	25	12	11	11	13	-	-	-	-	-	-	-

Apêndice D

Curvas Cota-Area e Cota-Volume dos quatro Reservatórios

Figura D.1: Curva Cota - Área do Reservatório Paraibuna - Paraitinga

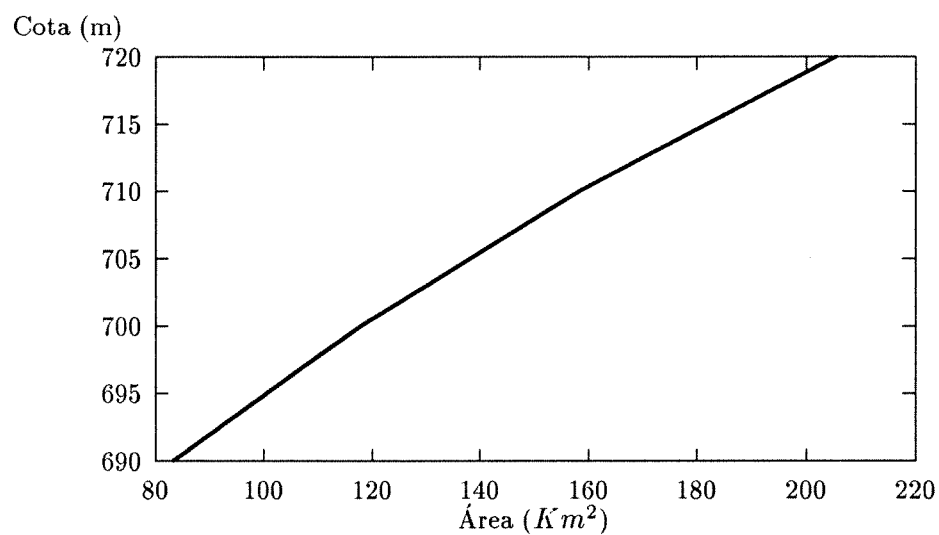


Figura D.2: Curva Cota - Volume do Reservatório Paraibuna - Paraitinga

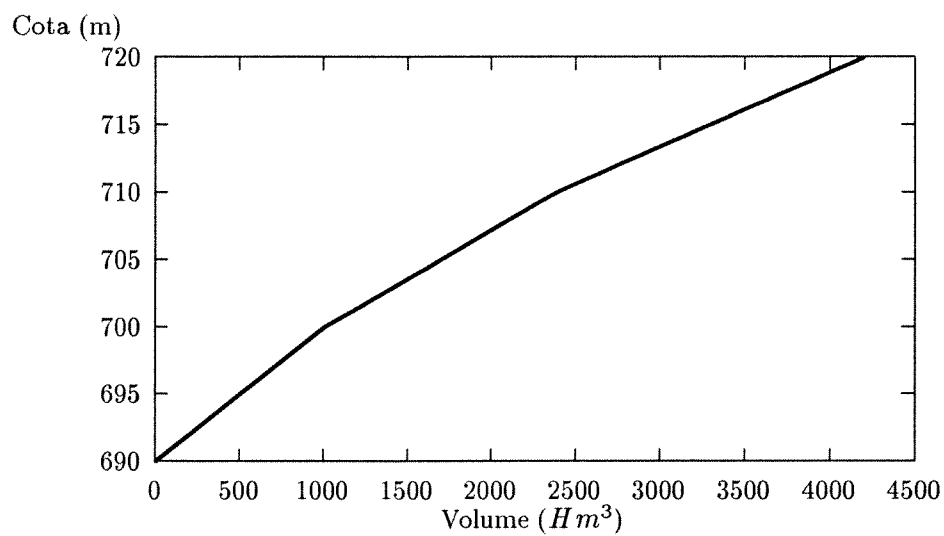


Figura D.3: Curva Cota - Área do Reservatório Santa Branca

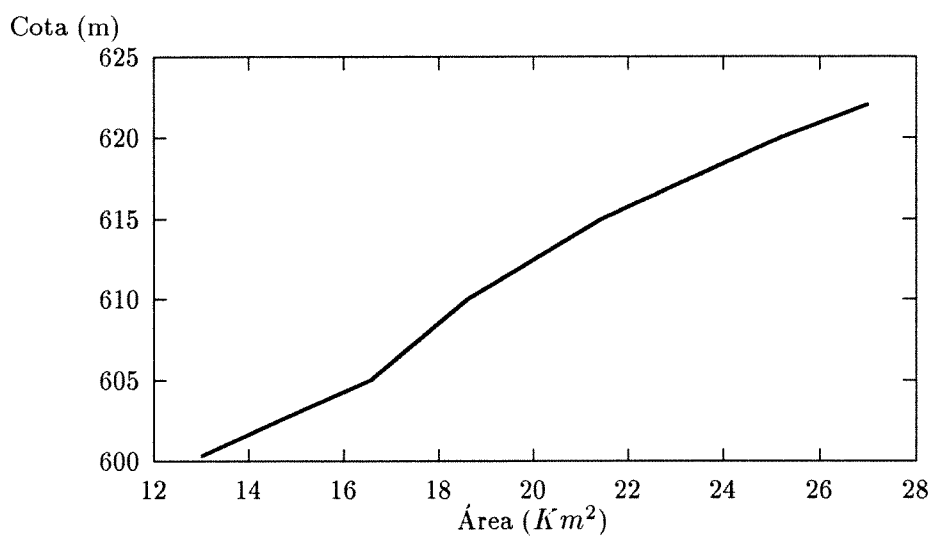


Figura D.4: Curva Cota - Volume do Reservatório Santa Branca

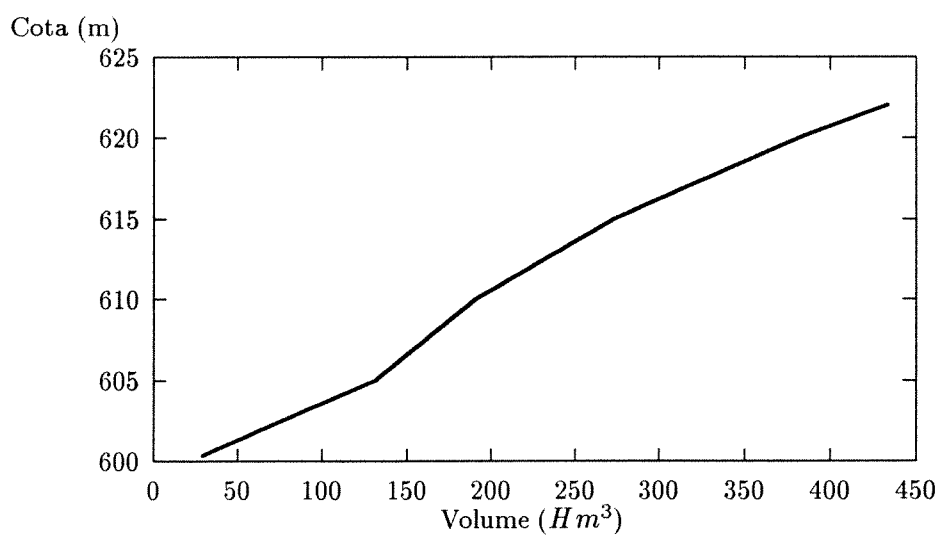


Figura D.5: Curva Cota - Área do Reservatório Jaguari

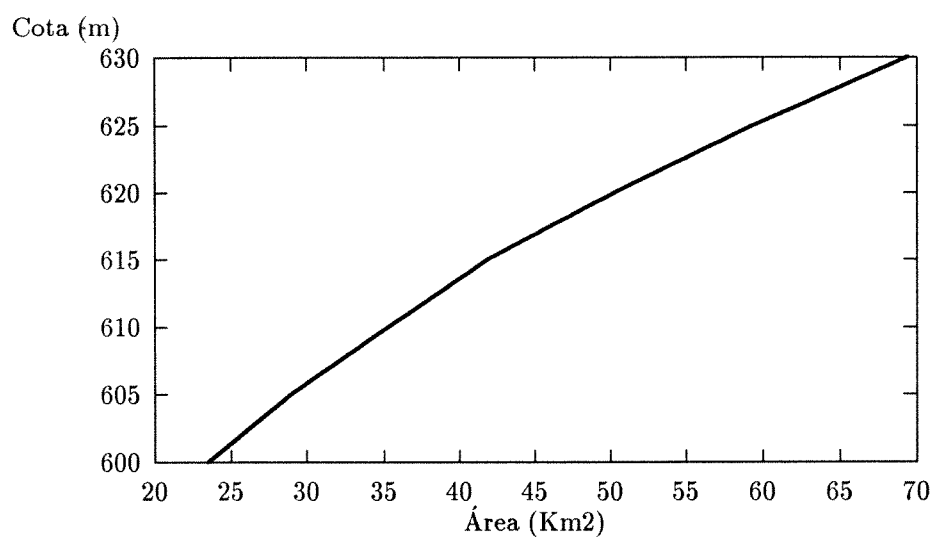


Figura D.6: Curva Cota - Volume do Reservatório Jaguari

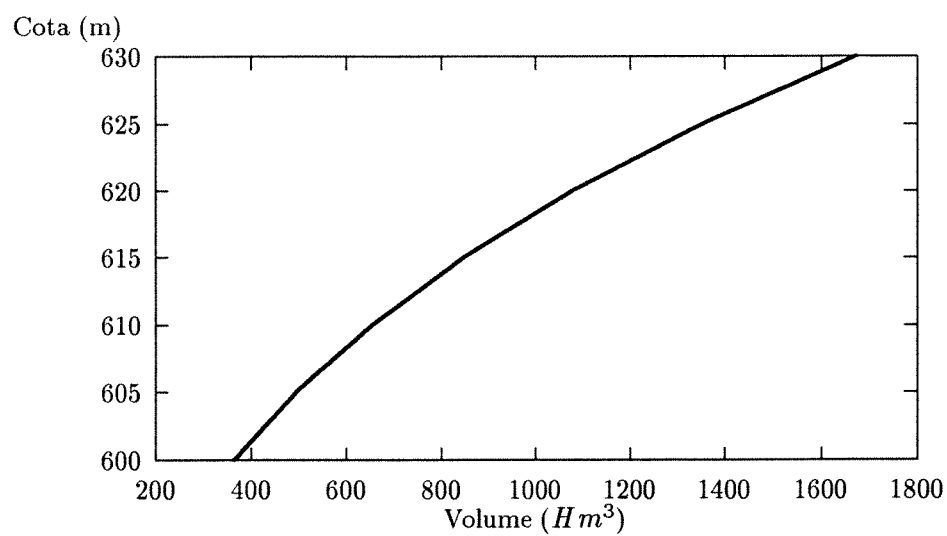


Figura D.7: Curva Cota - Área do Reservatório Funil

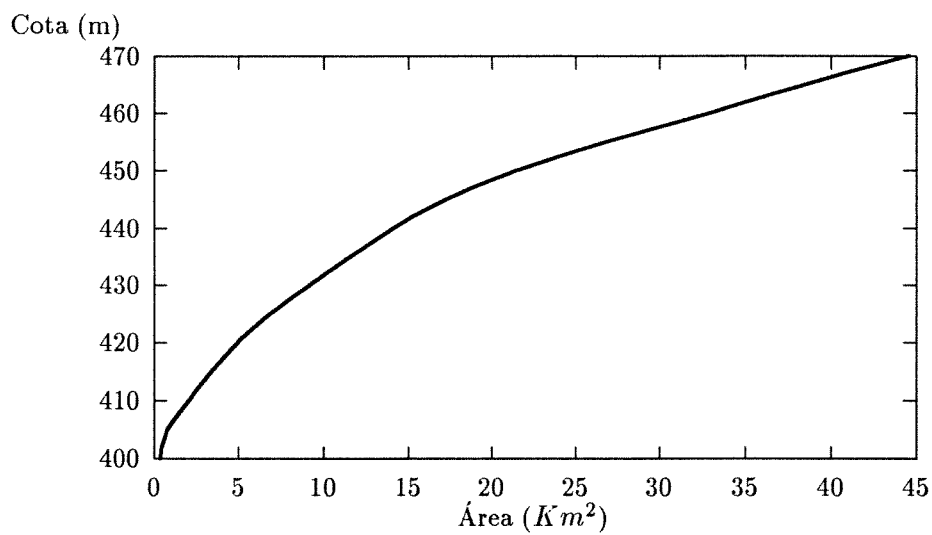
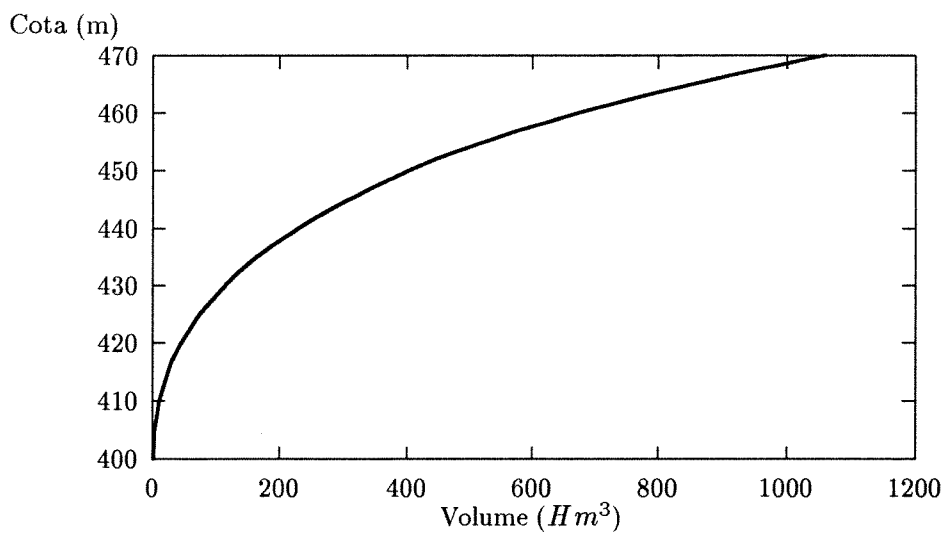


Figura D.8: Curva Cota - Volume do Reservatório Funil



Apêndice E

**Informações retiradas do
Decreto N.68324, artigo 8, de 9
de março de 1971**

A seguir apresentam-se informações constando do Decreto.

- considerar o início da "configuração futura" o momento em que os reservatórios de Paraibuna-Paraitinga atinjam a cota 713,00 metros;
- garantir os seguintes valores de descarga mínima a jusante dos aproveitamentos
 - Paraibuna-Paraitinga 30 m^3/s
 - Santa Branca 40 m^3/s
 - Jaguari 10 m^3/s
 - Funil 80 m^3/s
 - Santa Cecilia 90 m^3/s
 - Bombeamento Paraíba-Piraí 100 m^3/s
- fixar as seguintes normas de operação para a "configuração futura" :
- a.) no período seco anual (junho a novembro), Jaguari deverá, descarregar 42 m^3/s , a não ser que as condições hidrológicas assim não exijam no restante do ano (dezembro a maio), este reservatório deverá reter água, soltando até a descarga mínima;
- b.) os reservatórios de Santa Branca e Funil deverão operar, sempre que possível, sobre suas respectivas curvas de operação , ver **Tabela E.1.**
- c.) faixas de tolerância em relação as curvas de operação (porcentagem dos volumes úteis) :

Santa Branca +/- 2
Funil +/- 10

- d.) matrizes de prioridade dos reservatórios em relação às curvas de operação :

1.- deplecionamento (soltar água) :
 primeiro Funil
 segundo Santa Branca
 2.- replecionamento (reter água) :
 primeiro Santa Branca
 segundo Funil

Tabela E.1: Curva de operação dos reservatórios (porcentagem do volume útil)

<i>Mês</i>	<i>Santa Branca</i>		<i>Funil</i>
	<i>sem geração</i>	<i>com geração</i>	
<i>janeiro</i>	60	80	60
<i>fevereiro</i>	80	85	70
<i>março</i>	95	90	80
<i>abril</i>	100	95	90
<i>maio</i>	100	100	100
<i>junho</i>	90	100	100
<i>julho</i>	75	100	100
<i>agosto</i>	50	95	100
<i>setembro</i>	25	90	85
<i>outubro</i>	10	80	65
<i>novembro</i>	0	70	40
<i>dezembro</i>	30	70	50

- e.) faixa de prioridade (porcentagem do volume útil)

Tabela E.2: Faixas nos quatro reservatórios

<i>Especifi- cação</i>	<i>Paraibuna- Paraitinga</i>	<i>Santa Branca</i>		<i>Jaguari</i>	<i>Funil</i>
		<i>sem geração</i>	<i>com geração</i>		
1 ^a	100 até 20	100 até 0	100 até 70	100 até 15	100 até 40
2 ^a	20 até 20	0 até 0	70 até 40	15 até 15	40 até 40
3 ^a	20 até 5	0 até 0	40 até 20	15 até 15	40 até 25
4 ^a	5 até 0	0 até 0	20 até 0	15 até 0	25 até 0

- f.) o reservatório Paraibuna-Paraitinga complementar as necessidades de água em Santa Cecília (90 m^3/s para jusante e até 160 m^3/s para bombeamento), após a operação indicada nos itens "a" e "b"; se houver excesso em Santa Cecília, a prioridade para reter será de Paraibuna-Paraitinga;
- g.) a afluência regularizada em Santa Cecília será reduzida obrigatoriamente para 190 m^3/s , sempre que a armazenagem global dos reservatórios do sistema Paraíba atinja os valores indicados na **Tabela E.3**.

Tabela E.3: Curva limite para redução da vazão para $190 \text{ m}^3/\text{s}$

<i>Mês</i>	<i>Vol.útil (em porcen.)</i>
<i>janeiro</i>	14,0
<i>fevereiro</i>	27,5
<i>março</i>	29,0
<i>abril</i>	33,5
<i>maio</i>	34,5
<i>junho</i>	32,5
<i>julho</i>	29,0
<i>agosto</i>	24,0
<i>setembro</i>	20,0
<i>outubro</i>	14,5
<i>novembro</i>	12,5
<i>dezembro</i>	12,0

Apêndice F

Listagem do Programa

```

C-----
C----- PMS.FOR DATA : 05/04/93
C-----
C----- ALGORITHM DO PROCESSO INTERATIVO ENTRE UM PROGRAMA DINAMICO,
C----- UMA REGRESSAO MULTIPLA E UM PROCESSO DE SIMULACAO PARA A
C----- OBTENCAO DE REGRAS OPERACIONAIS OTIMAS PARA O SISTEMA DE
C----- RESERVATORIOS ALTO PARAIBA ALTO-PARAIBA COMPOSTO POR
C----- PARAIBUNA-PARAITINGA , SANTA BRANCA , JAGUARI E FUNIL
C-----
C----- DIMENSIONAMENTO DE VECTORES E MATRIZES
C-----
PROGRAM PROGDI
CHARACTER TITULO*80
INTEGER NFPS(4),NFPI(4),NV(4),NVV(4),NPM(20,5),NHM(20,5),
*NRM(20,5),NAM(20,5),NUM(20,5),NSAL(20,5)
REAL REL(4,4500,360),VALFO2(4,4500),VALFO1(4,4500),V(4,50),
*H(4,50),A(4,50),VP(4,50),HP(4,50),HQ(4,50),AP(4,50),VMAX(4),
*VMIN(4),SPO(4),SP(4),SV(4),SR(4),SQ(4),SPOP(4),
*SPOQ(4),VULQ(4),VULP(4),COTP(4),COTQ(4),COTR(4),HJ(4),
*QIRR(12),EV(12,4),PRE(12,4),FKC(4),FKE(4),VMC(9,4),CR(3,4),
*CRI(3,4),AR(3,3),BR(3),SU(4),SUMA(4),VDSE(4),VDSS(4),
*VRES(4),VR(4,4500),COAP(4),COAQ(4),COAR(4),PORP(4),
*PORQ(4),QC(360,4,2),VREL(360,4),VS(4),SC(4),UNAR(4),UNAP(4),
*VNAQ(4),VLMA(4),VAMA(4),VVMA(4),VNSS(4),VNSI(4),VNTQ(4),
*VNTQ(4),SUPO(4),VUS(12)
C-----
C-- DEFINICAO DE MATRIZES
C-----
C----- A( , ) MATRIZ DE AREAS DOS REs
C----- H( , ) MATRIZ DE COTAS DOS REs
C----- V( , ) MATRIZ DE VOLUMES DOS REs
C----- AP( , ) MATRIZ DE AREAS CARACTERISTICAS DOS REs
C----- HQ( , ) MATRIZ DE ALTURAS DE QUEDA DOS REs
C----- HP( , ) MATRIZ DE ALTURAS CARACTERISTICAS DOS REs
C----- VP( , ) MATRIZ DE VOLUMES CARACTERISTICOS DOS REs
C----- EV( , ) MATRIZ DE EVAPORACOES DOS REs
C----- PRE( , ) MATRIZ DE PRECIPITACOES DOS REs
C----- NAM( , ) MATRIZ DE OCORRENCIA DE VAZOS AFLUENTES
C----- NHM( , ) MATRIZ DE OCORRENCIA DE ALTURAS DE QUEDA
C----- NPM( , ) MATRIZ DE OCORRENCIA DE POTENCIAS
C----- NRM( , ) MATRIZ DE OCORRENCIA DE VAZOS LIBERADAS
C----- AR( , ) MATRIZ DE COEFICIENTES USADA NA REGRESSAO MULTIPLA
C----- CR( , ) MATRIZ DE COEFICIENTES A,B e C DAS REGRESSOES
C----- CRI( , ) MATRIZ DE COEFICIENTES A,B e C DAS REGRESSOES
C----- QC( , , )MATRIZ TRIDIM.NO TEMPO DOS REs DE VAZOS e VOLUMES
C----- VREL( , )MATRIZ DOS REs DE VAZOS LIBERADAS
C----- REL( , , )MATRIZ DOS REs PARA TODAS AS COMBINACOES NO TEMPO
C----- VALFO1( , )MATRIZ DE VALORES DA FUNCAO OBJETIVO PARA OS REs
C----- VALFO2( , )MATRIZ DE VALORES DA FUNCAO OBJETIVO PARA OS REs
C-----
C----- DEFINICAO DE VETORES
C-----
C----- BR( ) VETOR DE COEFICIENTES USADA NA REGRESSAO MULTIPLA
C----- FKC( ) FATORES DE CORRECAO DE PRECIPITACAO
C----- FKE( ) FATORES DE CORRECAO DE EVAPORACAO
C----- HJ( ) VETOR DE ALTURAS DE JUSANTE DOS REs
C----- NV( ) NUMERO DE VALORES NAS CURVAS COTA-AREA-VOLUME
C----- NVV( ) NUMERO DE VALORES CARACTERISTICOS
C----- NFPI( ) VETOR DE N.FALHAS POT.INF.
C----- NFPS( ) VETOR DE N.FALHAS POT.SUP.
C----- VMIN( ) VOLUMES MINIMOS DOS RESERVATORIOS
C----- VMAX( ) VOLUMES MAXIMOS DOS RESERVATORIOS

```

```

C----- VNAF( ) VETOR DE FALHAS DE POT.PARA COEF.ANUAIS
C----- VNAQ( ) VETOR DE FALHAS DE VAZAO LIB.PARA COEF.ANUAIS
C----- VNTP( ) VETOR DE FALHAS TOTAIS DE POTENCIA
C----- VNTQ( ) VETOR DE FALHAS TOTAIS DE VAZAO LIBERADA
C----- VAMA( ) VALORES MAXIMOS DE VAZAO AFLUENTE
C----- VLMA( ) VALORES MAXIMOS DE VAZAO LIBERADA
C----- VVMA( ) VALORES MAXIMOS DE VOLUME RESERVADO
C----- ALTURAS DE JUSANTE DOS RESERVATORIOS
      HJ(1)=625.00
      HJ(2)=577.72
      HJ(3)=556.00
      HJ(4)=396.05

C-----
C----- LEITURA DAS CARACTERISTICAS DOS RESERVATORIOS
C----- CURVAS COTA-VOLUME E COTA-AREA , VAZAO DE IRRIGACAO DO
C----- SISTEMA , PRECIPITACAO E EVAPORACAO DOS RESERVATORIOS
C-----
C-----
C----- ABERTURA DE ARQUIVOS PARA LEITURA DE DADOS
C-----
      OPEN (UNIT = 4 , FILE = 'RESER.DAT',STATUS = 'OLD')
      DO 10 K=1,4
      READ(4,1000)TITULO
1000  FORMAT(A80)
      READ(4,1010)INV
      IF(K.EQ.1) INV1=INV
      IF(K.EQ.2) INV2=INV
      IF(K.EQ.3) INV3=INV
      IF(K.EQ.4) INV4=INV
      DO 20 I1=1,INV
      READ(4,1020)H(K,I1),A(K,I1),V(K,I1)
20    CONTINUE
      NV(K)=INV
10    CONTINUE
      READ(4,1000)TITULO
      READ(4,1030)(QIRR(I1),I1=1,12)
      READ(4,1000)TITULO
      DO 30 I1=1,4
      READ(4,1040)FKC(I1)
      READ(4,1030)(PRE(I2,I1),I2=1,12)
30    CONTINUE
      READ(4,1000)TITULO
      DO 40 I1=1,4
      READ(4,1040)FKE(I1)
      READ(4,1030)(EV(I2,I1),I2=1,12)
40    CONTINUE
      READ(4,1000)TITULO
      READ(4,1030)(VUS(I2),I2=1,12)

C-----
C----- LEITURA DOS VOLUMES CARACTERISTICOS
C-----
C----- INSERE-SE O ARQUIVO DE DADOS EXEMPLO EM FORMA
C----- DE COMENTARIO,PARA USO RETIRAR O ARQUIVO DE DADOS DO
C----- PROGRAMA PRINCIPAL. TOMAR CUIDADO COM FORMATO DE
C----- LEITURA
C----- -- inicio do arquivo -----
CDADOS COTA-AREA-VOLUME DO RESERVATORIO PARAIBUNA-PARAITINGA
C 4
C   690.00      83.09      0.00
C   700.00     117.71     1004.00
C   710.00     158.30     2384.05
C   720.00     205.48     4202.95

```

CDADOS COTA-AREA-VOLUME DO RESERVATORIO SANTA BRANCA

C 6

C	600.31	13.00	28.60
C	605.00	16.54	131.00
C	610.00	18.61	191.00
C	615.00	21.44	273.00
C	620.00	25.20	382.00
C	622.00	27.00	434.00

CDADOS COTA-AREA-VOLUME DO RESERVATORIO JAGUARI

C 7

C	600.00	23.45	362.50
C	605.00	28.91	493.40
C	610.00	35.23	653.73
C	615.00	41.86	846.45
C	620.00	50.22	1076.76
C	625.00	59.32	1350.51
C	630.00	69.34	1672.18

CDADOS COTA-AREA-VOLUME DO RESERVATORIO FUNIL

C29

C	400.00	0.30	0.00
C	402.00	0.40	1.00
C	405.00	0.71	2.53
C	407.00	1.15	5.00
C	410.00	1.96	9.21
C	412.00	2.47	14.50
C	415.00	3.30	22.37
C	417.00	3.90	29.00
C	420.00	4.89	42.85
C	422.00	5.65	54.00
C	425.00	6.82	72.12
C	427.00	7.75	88.00
C	430.00	9.19	112.13
C	432.00	10.05	131.50
C	435.00	11.51	163.88
C	437.00	12.48	187.00
C	440.00	14.07	227.83
C	442.00	15.16	256.50
C	445.00	17.22	306.05
C	447.00	18.72	343.00
C	450.00	21.41	402.63
C	452.00	23.50	445.00
C	455.00	26.83	523.23
C	457.00	29.30	580.00
C	460.00	32.89	672.51
C	462.00	35.05	740.00
C	465.00	38.46	850.88
C	467.00	40.70	930.00
C	470.00	44.49	1058.25

CDADOS DE VAZ0ES NECESSARIAS DE IRRIGACAO EXTRAIDAS DO RIO PARAIBA

C	27.36	27.36	27.36	22.80	18.24	18.24
C	18.24	20.52	26.80	25.08	27.36	27.36

CDADOS DE PRECIPITACAO NOS QUATRO RESERVATORIO2

C1.00

C	187.70	170.30	148.70	101.60	73.60	52.70
C	36.10	43.20	73.30	95.30	117.00	169.10

C1.00

C	271.20	192.00	176.50	55.60	42.00	64.60
C	37.10	36.70	53.30	104.90	107.90	167.60

C1.00

C	212.10	170.90	178.80	83.90	79.90	57.70
C	37.90	37.80	78.80	111.80	136.90	188.50

C1.00

```

C 212.10 170.00 178.80 83.90 79.90 57.70
C 37.90 37.80 78.80 111.80 136.90 188.50
CDADOS DE EVAPORACAO NOS QUATRO RESERVATORIOS
C0.70
C 141.10 132.40 126.80 99.50 76.30 64.90
C 76.60 89.90 101.20 126.10 143.80 130.50
C0.70
C 141.10 132.40 126.80 99.50 76.30 64.90
C 76.60 89.90 101.20 126.10 143.80 130.50
C0.70
C 141.10 132.40 126.80 99.50 76.30 64.90
C 76.60 89.90 101.20 126.10 143.80 130.50
C0.70
C 141.10 132.40 126.80 99.50 76.30 64.90
C 76.60 89.90 101.20 126.10 143.80 130.50
CVOLUMES UTEIS MINIMOS DO SISTEMA ALTO-PARAIBA
C 14.00 27.50 29.00 33.50 34.50 32.50
C 29.00 24.00 20.00 14.50 12.50 12.00
CVAZDES MINIMAS E MAXIMAS A JUSANTE DOS QUATRO RESERVATORIOS
C 30.00 1000.00
C 40.00 1000.00
C 10.00 1000.00
C 80.00 1000.00
VAZAO MINIMA E MAXIMA NECESSARIA EM SANTA CECILIA
C 190.00 250.00
CPOTENCIA MINIMAS E MAXIMAS GERADAS PELOS QUATRO RESERVATOR
C 21250.00 85000.00
C 11250.00 49000.00
C 6900.00 27600.00
C 55000.00 220000.00
CVALORES INICIAIS ADOTADOS PARA VLM , A , B E C
C1.20
C 1.00 1.00 1.00
C 1.00 1.00 1.00
C 1.00 1.00 1.00
C 1.00 1.00 1.00
CNUMERO DE MESES UTILIZADOS PARA O P.D. E A REGRESSAO
C361
CMES QUE INICIA A REGRESSAO
C11
CNUMERO DE MESES UTILIZADOS PARA A SIMULACAO
C361
CMES QUE INICIA A SIMULACAO
C 1
CNUMERO DE VOLUMES CARACTERISTICOS DE PARAIBUNA-PARAITINGA
C 5
C 3111.61 461.84
CNUMERO DE VOLUMES CARACTERISTICOS DE SANTA BRANCA
C 5
C 434.00 28.60
CNUMERO DE VOLUMES CARACTERISTICOS DE JAGUARI
C 5
C 1241.01 446.28
CNUMERO DE VOLUMES CARACTERISTICOS DE FUNIL
C 5
C 888.00 222.00
CNUMERO DE DIVISOES NA VAZAO LIBERADA
C 3
C----- fim arquivo dados -----
READ(4,1000)TITULO
READ(4,1050)RMINJ1,RMAXJ1
READ(4,1050)RMINJ2,RMAXJ2

```

```

READ(4,1050)RMINJ3,RMAXJ3
READ(4,1050)RMINJ4,RMAXJ4
READ(4,1000)TITULO
READ(4,1050)QJCI,QJCS
READ(4,1000)TITULO
READ(4,1050)PMIN1,PMAX1
READ(4,1050)PMIN2,PMAX2
READ(4,1050)PMIN3,PMAX3
READ(4,1050)PMIN4,PMAX4
READ(4,1000)TITULO
READ(4,1040)ULIM
READ(4,1070)(CR(I1,1),I1=1,3)
READ(4,1070)(CR(I1,2),I1=1,3)
READ(4,1070)(CR(I1,3),I1=1,3)
READ(4,1070)(CR(I1,4),I1=1,3)
READ(4,1000)TITULO
READ(4,1010)NPERH
READ(4,1000)TITULO
READ(4,1010)ITM1
READ(4,1000)TITULO
READ(4,1010)NPERG
READ(4,1000)TITULO
READ(4,1010)ITM2
DO 50 K=1,4
READ(4,1000)TITULO
READ(4,1010)INVV
IF(K.EQ.1) INV1=INVV
IF(K.EQ.2) INV2=INVV
IF(K.EQ.3) INV3=INVV
IF(K.EQ.4) INV4=INVV
READ(4,1080)VMAX(K),VMIN(K)
NVV(K)=INVV
50 CONTINUE
READ(4,1000)TITULO
READ(4,1010)NDIV
CLOSE(4)
C----- NUMERO DE COMBINACOES A SEREM CALCULADAS
NCOMB=INV1*INV2*INV3*INV4
C-----
C----- CALCULO DAS AREAS E ALTURAS CONJUGADAS AOS VOLUMES ESCOLHIDOS
C----- COMO VOLUMES CARACTERISTICOS
C-----
OPEN(UNIT=6,FILE='TESI.SAR',STATUS='NEW')
DO 60 K=1,4
INVV=NVV(K)
INV=NV(K)
WRITE(6,*)INVV
DO 70 I1=1,INVV
IF(INV.GT.1)THEN
VP(K,I1)=VMAX(K)-(I1-1)*(VMAX(K)-VMIN(K))/(INVV-1)
ELSE
VP(K,I1)=VMAX(K)
ENDIF
ST=VP(K,I1)
CALL VAL1PORVAL2(V,H,K,INV,ST,HHT)
HP(K,I1)=HHT
HQ(K,I1)=HHT-VP(K,I1)
CALL VAL1PORVAL2(H,A,K,INV,HHT,AAT)
AP(K,I1)=AAT
WRITE(6,*)VP(K,I1),AP(K,I1),HP(K,I1),HQ(K,I1)
70 CONTINUE
60 CONTINUE

```

```

CLOSE(6)
DO 75 K=1,4
VMAX(K)=VMAX(K)/2.63
VMIN(K)=VMIN(K)/2.63
75 CONTINUE
VU1=VMAX(1)-VMIN(1)
VU2=VMAX(2)-VMIN(2)
VU3=VMAX(3)-VMIN(3)
VU4=VMAX(4)-VMIN(4)
VUT=VU1+VU2+VU3+VU4
SUPER=0.0
SUPOT=0.0
ITER=0
C-----
C---- ABERTURA DE ARQUIVOS PARA GRAVACAO DE DADOS
C-----
OPEN(UNIT=5,FILE='VOL.SAR',STATUS='NEW')
OPEN(UNIT=6,FILE='TESA.SAR',STATUS='NEW')
OPEN(UNIT=7,FILE='PARAI.SIA',STATUS='NEW')
OPEN(UNIT=8,FILE='STABR.SIA',STATUS='NEW')
OPEN(UNIT=9,FILE='JAGUA.SIA',STATUS='NEW')
OPEN(UNIT=10,FILE='FUNIL.SIA',STATUS='NEW')
OPEN(UNIT=11,FILE='REL.DIM',STATUS='NEW')
OPEN(UNIT=12,FILE='REL.DIA',STATUS='NEW')
OPEN(UNIT=13,FILE='PERMA.SAR',STATUS='NEW')
OPEN(UNIT=14,FILE='TABEL.SAR',STATUS='NEW')
OPEN(UNIT=16,FILE='PARAI.SIM',STATUS='NEW')
OPEN(UNIT=17,FILE='STABR.SIM',STATUS='NEW')
OPEN(UNIT=18,FILE='JAGUA.SIM',STATUS='NEW')
OPEN(UNIT=19,FILE='FUNIL.SIM',STATUS='NEW')
OPEN(UNIT=24,FILE='MENSA.SAR',STATUS='NEW')
C-----
C---- PROCESSO INTERATIVO REGRESSIVO PARA MONTAR MATRIZ
C---- DOS CAMINHOS E ESCOLHER O CAMINHO CRITICO
C-----
8050 CONTINUE
DO 80 I=1,4
DO 90 J=1,3
CRI(J,I)=CR(J,I)
90 CONTINUE
80 CONTINUE
SUPER=SUPOT
8070 SUPOT=0.0
ITT=13
DO 100 K1=1,4
DO 110 K2=1,NCOMB
VALF01(K1,K2)=0.0
VALF02(K1,K2)=0.0
DO 120 IIT=1,NPERH
REL(K1,K2,IIT)=0.0
120 CONTINUE
110 CONTINUE
100 CONTINUE
C-----
C---- ABERTURA DE ARQUIVOS PARA LEITURA DE DADOS DE VAZAO
C---- EM ORDEM REGRESSIVA
C-----
OPEN (UNIT = 1 , FILE = 'Q1AFLR.FLU',STATUS = 'OLD')
C-----
C---- INICIA PROCESSO INTERATIVO REGRESSIVO
C-----
DO 130 IT=NPERH-1,1,-1

```

```

      IF(ITT.EQ.1) ITT=13
      ITT=ITT-1
      IF(IT.EQ.(NPERH-1))ITT=ITM1
C-----
C----- LEITURA DAS VAZOES AFLUENTES A CADA LOCAL
C-----
      READ(1,1100) QA1,QA2,QA3,QA4,QA5
      II1=0
      DO 150 I1=1,INUV1
      DO 160 I2=1,INUV2
      DO 170 I3=1,INUV3
      DO 180 I4=1,INUV4
C-----
C----- VOLUMES DOS RESERVATORIOS NO PERIODO I
C-----
      III1=III1+1
      MAXFOB=0.0
      TOTFOB=0.0
      S1=VP(1,I1)/2.63
      S2=VP(2,I2)/2.63
      S3=VP(3,I3)/2.63
      S4=VP(4,I4)/2.63
      EC1=AP(1,I1)*((PRE(ITT,1)*FKC(1))-(EV(ITT,1)*FKE(1)))/2630.0
      EC2=AP(2,I2)*((PRE(ITT,2)*FKC(2))-(EV(ITT,2)*FKE(2)))/2630.0
      EC3=AP(3,I3)*((PRE(ITT,3)*FKC(3))-(EV(ITT,3)*FKE(3)))/2630.0
      EC4=AP(4,I4)*((PRE(ITT,4)*FKC(4))-(EV(ITT,4)*FKE(4)))/2630.0
C-----
C----- EQUILIBRIO DO RESERVATORIO PARAIBUNA-PARATINGA
C-----
      QIN1=QA1
      RMAX1=(1+V LIM)*(CRI(1,1)+CRI(2,1)*QIN1+CRI(3,1)*(S1-V MIN(1)))
      RMIN1=(1-V LIM)*(CRI(1,1)+CRI(2,1)*QIN1+CRI(3,1)*(S1-V MIN(1)))
      IF(RMINJ1.GT.RMIN1) RMIN1=RMINJ1
      IF(RMAXJ1.LT.RMAX1) RMAX1=RMAXJ1
      IF(RMAX1.LT.RMIN1) RMAX1=RMIN1
      DO 155 IK1=1,NDIV
      RS1=RMIN1+(IK1-1)*(RMAX1-RMIN1)/(NDIV-1)
      SS1=S1+QIN1-RS1+EC1
      IF(SS1.GT.V MAX(1))GOTO 155
      IF(SS1.LT.V MIN(1))GOTO 155
      PG1=8.5*HQ(1,I1)*RS1
      IF(PG1.LT.P MIN(1))GOTO 155
      IF(PG1.GT.P MAX(1))THEN
      PG1=P MAX1
      RM1=P MAX1/(8.5*HQ(1,I1))
      RS1=RM1
      SS1=S1+QIN1-RS1+EC1
      IF(SS1.GT.V MAX(1))THEN
      SS1=V MAX(1)
      RL1=S1+QIN1-SS1+EC1
      VERT1=RL1-RS1
      RS1=RL1
      ENDIF
      ENDIF
C-----
C----- EQUILIBRIO DO RESERVATORIO SANTA BRANCA
C-----
      QIN2=QA2+RS1
      RMAX2=(1+V LIM)*(CRI(1,2)+CRI(2,2)*QIN2+CRI(3,2)*(S2-V MIN(2)))
      RMIN2=(1-V LIM)*(CRI(1,2)+CRI(2,2)*QIN2+CRI(3,2)*(S2-V MIN(2)))
      IF(RMINJ2.GT.RMIN2) RMIN2=RMINJ2
      IF(RMAXJ2.LT.RMAX2) RMAX2=RMAXJ2

```

```

IF(RMAX2.LT.RMIN2) RMAX2=RMIN2
DO 165 IK2=1,NDIV
RS2=RMIN2+(IK2-1)*(RMAX2-RMIN2)/(NDIV-1)
SS2=S2+QIN2-RS2+EC2
IF(SS2.GT.VMAX(2))GOTO 165
IF(SS2.LT.VMIN(2))GOTO 165
PG2=8.5*HQ(2,I2)*RS2
IF(PG2.LT.PMIN2)GOTO 165
IF(PG2.GT.PMAX2)THEN
PG2=PMAX2
RM2=PMAX2/(8.5*HQ(2,I2))
RS2=RM2
SS2=S2+QIN2-RS2+EC2
IF(SS2.GT.VMAX(2))THEN
SS2=VMAX(2)
RL2=S2+QIN2-SS2+EC2
VERT2=RL2-RS2
RS2=RL2
ENDIF
ENDIF

```

C-----

C----- EQUILIBRIO DO RESERVATORIO JAGUARI

C-----

```

QIN3=QA3
RMAX3=(1+VLIM)*(CRI(1,3)+CRI(2,3)*QIN3+CRI(3,3)*(S3-VMIN(3)))
RMIN3=(1-VLIM)*(CRI(1,3)+CRI(2,3)*QIN3+CRI(3,3)*(S3-VMIN(3)))
IF(RMINJ3.GT.RMIN3) RMIN3=RMINJ3
IF(RMAXJ3.LT.RMAX3) RMAX3=RMAXJ3
IF(RMAX3.LT.RMIN3) RMAX3=RMIN3
DO 175 IK3=1,NDIV
RS3=RMIN3+(IK3-1)*(RMAX3-RMIN3)/(NDIV-1)
SS3=S3+QIN3-RS3+EC3
IF(SS3.GT.VMAX(3))GOTO 175
IF(SS3.LT.VMIN(3))GOTO 175
PG3=8.5*HQ(3,I3)*RS3
IF(PG3.LT.PMIN3)GOTO 175
IF(PG3.GT.PMAX3)THEN
PG3=PMAX3
RM3=PMAX3/(8.5*HQ(3,I3))
RS3=RM3
SS3=S3+QIN3-RS3+EC3
IF(SS3.GT.VMAX(3))THEN
SS3=VMAX(3)
RL3=S3+QIN3-SS3+EC3
VERT3=RL3-RS3
RS3=RL3
ENDIF
ENDIF

```

C-----

C----- EQUILIBRIO DO RESERVATORIO FUNIL

C-----

```

QIN4=QA4+(RS2-RS3)*QTRR(ITT)
RMAX4=(1+VLIM)*(CRI(1,4)+CRI(2,4)*QIN4+CRI(3,4)*(S4-VMIN(4)))
RMIN4=(1-VLIM)*(CRI(1,4)+CRI(2,4)*QIN4+CRI(3,4)*(S4-VMIN(4)))
IF(RMINJ4.GT.RMIN4) RMIN4=RMINJ4
IF(RMAXJ4.LT.RMAX4) RMAX4=RMAXJ4
IF(RMAX4.LT.RMIN4) RMAX4=RMIN4
DO 185 IK4=1,NDIV
RS4=RMIN4+(IK4-1)*(RMAX4-RMIN4)/(NDIV-1)
SS4=S4+QIN4-RS4+EC4
IF(SS4.GT.VMAX(4))GOTO 185
IF(SS4.LT.VMIN(4))GOTO 185

```

```

PG4=8.5*HQ(4,I4)*RS4
IF(PG4.LT.PMIN4)GOTO 185
IF(PG4.GT.PMAX4)THEN
PG4=PMAX4
RM4=PMAX4/(8.5*HQ(4,I4))
RS4=RM4
SS4=S4+QIN4-RS4+EC4
IF(SS4.GT.VMAX(4))THEN
SS4=VMAX(4)
RL4=S4+QIN4-SS4+EC4
VERT4=RL4-RS4
RS4=RL4
ENDIF
ENDIF

```

C-----

C----- VERIFICACAO DA VAZAO DE BOMBEAMENTO EM
C----- PARAIBA-PARAI,SEGUNDO DECRETO

C-----

```

VD1=SS1-VMIN(1)
VD2=SS2-VMIN(2)
VD3=SS3-VMIN(3)
VD4=SS4-VMIN(4)
VSU=VD1+VD2+VD3+VD4
PVU=VSU*100.00/VUT
IF(PVU.LE.VUS(ITT))THEN
QJR=QJCI
ELSE
QJR=QJCS
ENDIF
QJ=QA5+RS4
IF(QJ.GE.QJR)THEN

```

C-----

C----- CALCULO DA FUNCAO OBJETIVO PARA A COMBINACAO

C-----

```

SC(1)=SS1*2.63
SC(2)=SS2*2.63
SC(3)=SS3*2.63
SC(4)=SS4*2.63
CALL INTERPOLA(SC,VP,VALF01,NVV,VS)
VAL1=VS(1)+PG1
VAL2=VS(2)+PG2
VAL3=VS(3)+PG3
VAL4=VS(4)+PG4
TOTFOB=VAL1+VAL2+VAL3+VAL4
ELSE
TOTFOB=0.0
ENDIF
IF(TOTFOB.GT.MAXFOB)THEN
MAXFOB=TOTFOB
REL(1,II1,IT)=RS1
VALF02(1,II1)=VAL1
REL(2,II1,IT)=RS2
VALF02(2,II1)=VAL2
REL(3,II1,IT)=RS3
VALF02(3,II1)=VAL3
REL(4,II1,IT)=RS4
VALF02(4,II1)=VAL4
ENDIF

```

185 CONTINUE

175 CONTINUE

165 CONTINUE

155 CONTINUE

```

180  CONTINUE
170  CONTINUE
160  CONTINUE
150  CONTINUE
    DO 230 K1=1,4
    DO 240 K2=1,NCOMB
    VALF01(K1,K2)=VALF02(K1,K2)
    VALF02(K1,K2)=0.0
240  CONTINUE
230  CONTINUE
130  CONTINUE
    CLOSE(1)
C-----
C----- PROCESSO INTERATIVO AVANTE PARA MONTAR VAZÕES AFLUENTES ,
C----- VOLUMES E LIBERAÇÕES ÓTIMAS DOS RESERVATÓRIOS APÓS TER
C----- SIDO DETERMINADO O CAMINHO CRÍTICO ÓTIMO
C-----
C----- ABERTURA DE ARQUIVOS PARA LEITURA DE DADOS DE VAZÃO
C----- EM ORDEM AVANTE
C-----
    OPEN (UNIT=2,FILE = 'Q1AFLA.FLU',STATUS='OLD')
    ITT=0
    IT1=0
    IANO=0
    SUPOT=0.0
    POT=0.0
    DO 250 K=1,4
    SPD(K)=0.0
    SP(K)=0.0
    SQ(K)=0.0
    SR(K)=0.0
    SV(K)=0.0
    SC(K)=0.0
    VLMA(K)=0.0
    VAMA(K)=0.0
    VVMA(K)=0.0
250  CONTINUE
    IF(ITER.EQ.0)THEN
    WRITE(12,2400)CHAR(15)
    ENDIF
    DO 260 IT=1,NPERH-1
    DO 265 K1=1,4
    DO 270 K2=1,NCOMB
    VR(K1,K2)=REL(K1,K2,IT)
270  CONTINUE
265  CONTINUE
    POT=0.0
    IF(ITT.EQ.12)ITT=0
    ITT=ITT+1
    READ(2,1100)QA1,QA2,QA3,QA4,QA5
    IF(IT.EQ.1)THEN
    S1=VP(1,1)/2.63
    S2=VP(2,1)/2.63
    S3=VP(3,1)/2.63
    S4=VP(4,1)/2.63
    ELSE
    S1=SS1
    S2=SS2
    S3=SS3
    S4=SS4
    ENDIF
    SC(1)=S1*2.63

```

```

SC(2)=S2*2.63
SC(3)=S3*2.63
SC(4)=S4*2.63
CALL INTERPOLA(SC,VP,VR,NVV,VS)
RS1=VS(1)
RS2=VS(2)
RS3=VS(3)
RS4=VS(4)
IF(RS1.LT.RMINJ1)RS1=RMINJ1
IF(RS2.LT.RMINJ2)RS2=RMINJ2
IF(RS3.LT.RMINJ3)RS3=RMINJ3
IF(RS4.LT.RMINJ4)RS4=RMINJ4

```

C-----

C-- VERIFICACAO DA VAZAO DE BOMBEAMENTO EM

C----- PARAIBA-PARAI,SEGUNDO DECRETO

C-----

```

QIN1=QA1
ST1=S1*2.63
CALL VAL1PORVAL2(V,H,1,INV1,ST1,HH1)
CALL VAL1PORVAL2(H,A,1,INV1,HH1,AA1)
EC1=AA1*((PRE(ITT,1)*FKC(1))-(EV(ITT,1)*FKE(1)))/2630.0
SS1=S1+QIN1-RS1+EC1
IF(SS1.GT.VMAX(1))THEN
SS1=VMAX(1)
RS1=S1+QIN1-VMAX(1)+EC1
ENDIF
IF(SS1.LT.VMIN(1))THEN
SS1=VMIN(1)
RS1=S1+QIN1-VMIN(1)+EC1
ENDIF
VD1=SS1-VMIN(1)
QIN2=QA2+RS1
ST2=S2*2.63
CALL VAL1PORVAL2(V,H,2,INV2,ST2,HH2)
CALL VAL1PORVAL2(H,A,2,INV2,HH2,AA2)
EC2=AA2*((PRE(ITT,2)*FKC(2))-(EV(ITT,2)*FKE(2)))/2630.0
SS2=S2+QIN2-RS2+EC2
IF(SS2.GT.VMAX(2))THEN
SS2=VMAX(2)
RS2=S2+QIN2-VMAX(2)+EC2
ENDIF
IF(SS2.LT.VMIN(2))THEN
SS2=VMIN(2)
RS2=S2+QIN2-VMIN(2)+EC2
ENDIF
VD2=SS2-VMIN(2)
QIN3=QA3
ST3=S3*2.63
CALL VAL1PORVAL2(V,H,3,INV3,ST3,HH3)
CALL VAL1PORVAL2(H,A,3,INV3,HH3,AA3)
EC3=AA3*((PRE(ITT,3)*FKC(3))-(EV(ITT,3)*FKE(3)))/2630.0
SS3=S3+QIN3-RS3+EC3
IF(SS3.GT.VMAX(3))THEN
SS3=VMAX(3)
RS3=S3+QIN3-VMAX(3)+EC3
ENDIF
IF(SS3.LT.VMIN(3))THEN
SS3=VMIN(3)
RS3=S3+QIN3-VMIN(3)+EC3
ENDIF
VD3=SS3-VMIN(3)
QIN4=QA4+RS2+RS3-QIRR(ITT)

```

```

ST4=S4*2.63
CALL VAL1PORVAL2(V,H,4,INV4,ST4,HH4)
CALL VAL1PORVAL2(H,A,4,INV4,HH4,AA4)
EC4=AA4*((PRE(ITT,4)*FKC(4))-(EV(ITT,4)*FKE(4)))/2630.0
SS4=S4+QIN4-RS4+EC4
IF(SS4.GT.VMAX(4))THEN
SS4=VMAX(4)
RS4=S4+QIN4-VMAX(4)+EC4
ENDIF
IF(SS4.LT.VMIN(4))THEN
SS4=VMIN(4)
RS4=S4+QIN4-VMIN(4)+EC4
ENDIF
VD4=SS4-VMIN(4)
VSU=VD1+VD2+VD3+VD4
PVU=VSU*100.00/VUT
IF(PVU.LE.VUS(ITT))THEN
QJR=QJCI
ELSE
QJR=QJCS
ENDIF

```

C-----

C----- RESERVATORIO PARAIBUNA PARAITINGA

C-----

```

QJC=0.0
RM1=0.0
VERT1=0.0
QIN1=QA1
QC(1,1,1)=QIN1
QC(IT,1,2)=S1-VMIN(1)
SS1=S1+QIN1-RS1+EC1
IF(SS1.GT.VMAX(1))THEN
SS1=VMAX(1)
RS1=S1+QIN1-VMAX(1)+EC1
ENDIF
IF(SS1.LT.VMIN(1))THEN
SS1=VMIN(1)
RS1=S1+QIN1-VMIN(1)+EC1
ENDIF
RM1=RS1
PG1=8.5*RS1*(HH1-HJ(1))
IF(PG1.GT.PMAX1)THEN
PG1=PMAX1
RM1=PMAX1/(8.5*(HH1-HJ(1)))
RS1=RM1
SS1=S1+QIN1-RS1+EC1
IF(SS1.GT.VMAX(1))THEN
SS1=VMAX(1)
RL1=S1+QIN1-SS1+EC1
VERT1=RL1-RS1
RS1=RL1
ENDIF
ENDIF
CALL FAIXA(NPM,1,PMAX1,PG1,NSAL)
DO 275 IK=1,20
NPM(IK,1)=NSAL(IK,1)
CONTINUE
VALOR=HH1-HJ(1)
VALMAX=HQ(1,1)
CALL FAIXA(NHM,1,VALMAX,VALOR,NSAL)
DO 280 IK=1,20
NHM(IK,1)=NSAL(IK,1)

```

275

```

280  CONTINUE
    VREL(IT,1)=RS1
    SPO(1)=SPO(1)+PG1
    SP(1)=SP(1)+PG1
    SQ(1)=SQ(1)+QIN1
    SV(1)=SV(1)+S1
    SR(1)=SR(1)+RS1
C-----
C---  RESERVATORIO JAGUARI BRAUCA
C-----
    RM2=0.0
    VERT2=0.0
    QIN2=QA2+RS1
    QC(IT,2,1)=QIN2
    QC(IT,2,2)=S2-VMIN(2)
    SS2=S2+QIN2-RS2+EC2
    IF(SS2.GT.VMAX(2))THEN
        SS2=VMAX(2)
    RS2=S2+QIN2-VMAX(2)+EC2
    ENDIF
    IF(SS2.LT.VMIN(2))THEN
        SS2=VMIN(2)
    RS2=S2+QIN2-VMIN(2)+EC2
    ENDIF
    RM2=RS2
    PG2=8.5*RS2*(HH2-HJ(2))
    IF(PMAX2.LT.PG2)THEN
        PG2=PMAX2
    RM2=PMAX2/(8.5*(HH2-HJ(2)))
    RS2=RM2
    SS2=S2+QIN2-RS2+EC2
    IF(SS2.GT.VMAX(2))THEN
        SS2=VMAX(2)
    RL2=S2+QIN2-SS2+EC2
    VERT2=RL2-RS2
    RS2=RL2
    ENDIF
    ENDIF
    CALL FAIXA(NPM,2,PMAX2,PG2,NSAL)
    DO 285 IK=1,20
        NPM(IK,2)=NSAL(IK,2)
285  CONTINUE
    VALOR=HH2-HJ(2)
    VALMAX=HQ(2,1)
    CALL FAIXA(NHM,2,VALMAX,VALOR,NSAL)
    DO 290 IK=1,20
        NHM(IK,2)=NSAL(IK,2)
290  CONTINUE
    VREL(IT,2)=RS2
    SPO(2)=SPO(2)+PG2
    SP(2)=SP(2)+PG2
    SQ(2)=SQ(2)+QIN2
    SV(2)=SV(2)+S2
    SR(2)=SR(2)+RS2
C-----
C----- RESERVATORIO JAGUARI
C-----
    RM3=0.0
    VERT3=0.0
    QIN3=QA3
    QC(IT,3,1)=QIN3
    QC(IT,3,2)=S3-VMIN(3)

```

```

ST3=S3*2.63
CALL VAL1PORVAL2(V,H,3,INV3,ST3,HH3)
CALL VAL1PORVAL2(H,A,3,INV3,HH3,AA3)
EC3=AA3*((PRE(ITT,3)*FKC(3))-(EV(ITT,3)*FKE(3)))/2630.0
SS3=S3+QIN3-RS3+EC3
IF(SS3.GT.VMAX(3))THEN
SS3=VMAX(3)
RS3=S3+QIN3-VMAX(3)+EC3
ENDIF
IF(SS3.LT.VMIN(3))THEN
SS3=VMIN(3)
RS3=S3+QIN3-VMIN(3)+EC3
ENDIF
RM3=RS3
PG3=8.5*RS3*(HH3-HJ(3))
IF(PG3.GT.PMAX3)THEN
PG3=PMAX3
RM3=PMAX3/(8.5*(HH3-HJ(3)))
RS3=RM3
SS3=S3+QIN3-RS3+EC3
IF(SS3.GT.VMAX(3))THEN
SS3=VMAX(3)
RL3=S3+QIN3-SS3+EC3
VERT3=RL3-RS3
RS3=RL3
ENDIF
ENDIF
CALL FAIXA(NPM,3,PMAX3,PG3,NSAL)
DO 295 IK=1,20
NPM(IK,3)=NSAL(IK,3)
295 CONTINUE
VALOR=HH3-HJ(3)
VALMAX=HQ(3,1)
CALL FAIXA(NHM,3,VALMAX,VALOR,NSAL)
DO 300 IK=1,20
NHM(IK,3)=NSAL(IK,3)
300 CONTINUE
VREL(IT,3)=RS3
SP0(3)=SP0(3)+PG3
SP(3)=SP(3)+PG3
SQ(3)=SQ(3)+QIN3
SV(3)=SV(3)+S3
SR(3)=SR(3)+RS3
C-----
C----- RESERVATORIO FUNIL
C-----
RM4=0.0
VERT4=0.0
QIN4=QA4+RS2+RS3-QIRR(ITT)
QC(IT,4,1)=QIN4
QC(IT,4,2)=S4-VMIN(4)
SS4=S4+QIN4-RS4+EC4
IF(SS4.GT.VMAX(4))THEN
SS4=VMAX(4)
RS4=S4+QIN4-VMAX(4)+EC4
ENDIF
IF(SS4.LT.VMIN(4))THEN
SS4=VMIN(4)
RS4=S4+QIN4-VMIN(4)+EC4
ENDIF
RM4=RS4
PG4=8.5*RS4*(HH4-HJ(4))

```

```

IF (PG4.GT.PMAX4) THEN
PG4=PMAX4
RM4=PMAX4/(8.5*(HH4-HJ(4)))
RS4=RM4
SS4=S4+QIN4-RS4+EC4
IF (SS4.GT.VMAX(4)) THEN
SS4=VMAX(4)
RL4=S4+QIN4-SS4+EC4
VERT4=RL4-RS4
RS4=RL4
ENDIF
ENDIF
CALL FAIXA(NPM,4,PMAX4,PG4,NSAL)
DO 305 IK=1,20
NPM(IK,4)=NSAL(IK,4)
305 CONTINUE
VALOR=HH4-HJ(4)
VALMAX=HQ(4,1)
CALL FAIXA(NHM,4,VALMAX,VALOR,NSAL)
DO 306 IK=1,20
NHM(IK,4)=NSAL(IK,4)
306 CONTINUE
VREL(IT,4)=RS4
SP0(4)=SP0(4)+PG4
SP(4)=SP(4)+PG1
SQ(4)=SQ(4)+QIN4
SV(4)=SV(4)+S4
SR(4)=SR(4)+RS4
QJC=QA5+RS4
POT=PG1+PG2+PG3+PG4
VALOR=POT
VALMAX=PMAX1+PMAX2+PMAX3+PMAX4
CALL FAIXA(NPM,5,VALMAX,VALOR,NSAL)
DO 308 IK=1,20
NPM(IK,5)=NSAL(IK,5)
308 CONTINUE
SUPOT=SUPOT+POT
DO 311 K=1,4
IF (VREL(IT,K).GT.VLMA(K)) VLMA(K)=VREL(IT,K)
IF (QC(IT,K,1).GT.VAMA(K)) VAMA(K)=QC(IT,K,1)
IF (QC(IT,K,2).GT.VVMA(K)) VVMA(K)=QC(IT,K,2)
311 CONTINUE
WRITE(5,2000) IT,S1,QIN1,RS1,S2,QIN2,RS2,S3,QIN3,RS3,S4,QIN4,RS4,QJC
2000 FORMAT(I6,13F10.2)
IF (IT1.EQ.0.OR.IT1.EQ.61) THEN
WRITE(11,5090) CHAR(12)
WRITE(11,6000)
6000 FORMAT(5HPERD.,41HVol.Ini. Qaf1. EC Vol.Fin. Qtur. Qver.,
*12H Sum.Pot. ,42HVol.Ini. Qaf1. EC Vol.Fin. Qtur. Qver.,
*11H Sum.Pot. ,42HVol.Ini. Qaf1. EC Vol.Fin. Qtur. Qver.,
*11H Sum.Pot. ,42HVol.Ini. Qaf1. EC Vol.Fin. Qtur. Qver.,
*11H Sum.Pot. ,11H Sum.Pot.T ,/,228(1h-))
WRITE(12,5090) CHAR(12)
WRITE(12,6020)
6020 FORMAT(6H Ano ,10H Vol.Med. ,10H Qaf.Med. ,10H Qju.Med. ,
*11H Pot.Med. ,10H Vol.Med. ,10H Qaf.Med. ,10H Qju.Med. ,
*11H Pot.Med. ,10H Vol.Med. ,10H Qaf.Med. ,10H Qju.Med. ,
*11H Pot.Med. ,10H Vol.Med. ,10H Qaf.Med. ,10H Qju.Med. ,
*11H Pot.Med. ,/,170(1h-))
IT1=0
ENDIF
IT1=IT1+1

```

```

      IF(ITT.EQ.12)THEN
      DO 312 K=1,4
      SP(K)=SP(K)/12.0
      SQ(K)=SQ(K)/12.0
      SV(K)=SV(K)/12.0
      SR(K)=SR(K)/12.0
312  CONTINUE
      IANO=IANO+1
      WRITE(11,6010)IT,S1,QIN1,EC1,SS1,RM1,VERT1,SPO(1),S2,QIN2,
      *EC2,SS2,RM2,VERT2,SPO(2),S3,QIN3,EC3,SS3,RM3,VERT3,SPO(3),
      *S4,QIN4,EC4,SS4,RM4,VERT4,SPO(4),SUPOT
      WRITE(12,6030)IANO,SV(1),SQ(1),SR(1),SP(1),SV(2),SQ(2),
      *SR(2),SP(2),SV(3),SQ(3),SR(3),SP(3),SV(4),SQ(4),SR(4),SP(4)
6030  FORMAT(I5,4(F10.2,F10.2,F10.2,F11.0))
      DO 313 K=1,4
      SP(K)=0.0
      SQ(K)=0.0
      SV(K)=0.0
      SR(K)=0.0
313  CONTINUE
      ELSE
      WRITE(11,6010)IT,S1,QIN1,EC1,SS1,RM1,VERT1,SPO(1),S2,QIN2,
      *EC2,SS2,RM2,VERT2,SPO(2),S3,QIN3,EC3,SS3,RM3,VERT3,SPO(3),
      *S4,QIN4,EC4,SS4,RM4,VERT4,SPO(4),SUPOT
      ENDIF
C6010  FORMAT(I5,4(F8.2,F7.2,F5.2,F8.2,F7.2,F7.2,F11.0),F11.0)
C-----
C----- SOMATORIAS PARA CALCULO DE REGRESSAO MULTIPLA
C-----
      DO 314 K=1,4
C----- VAZOES AFLUENTES
      VMC(1,K)=VMC(1,K)+QC(IT,K,1)
C----- QUADRADOS DAS VAZOES AFLUENTES
      VMC(4,K)=VMC(4,K)+(QC(IT,K,1)**2)
C----- VOLUMES RESERVADOS
      VMC(2,K)=VMC(2,K)+QC(IT,K,2)
C----- QUADRADOS DOS VOLUMES RESERVADOS
      VMC(5,K)=VMC(5,K)+(QC(IT,K,2)**2)
C----- VAZOES LIBERADAS
      VMC(3,K)=VMC(3,K)+VREL(IT,K)
C----- QUADRADOS DAS VAZOES LIBERADAS
      VMC(9,K)=VMC(9,K)+(VREL(IT,K)**2)
C----- VAZOES AFLUENTES * VOLUMES RESERVADOS
      VMC(6,K)=VMC(6,K)+(QC(IT,K,1)*QC(IT,K,2))
C----- VAZOES LIBERADAS * VAZOES AFLUENTES
      VMC(7,K)=VMC(7,K)+(VREL(IT,K)*QC(IT,K,1))
C----- VAZOES LIBERADAS * VOLUMES RESERVADOS
      VMC(8,K)=VMC(8,K)+(VREL(IT,K)*QC(IT,K,2))
314  CONTINUE
260  CONTINUE
      CLOSE(2)
      DO 315 IT=1,NPERH-1
      DO 316 K1=1,4
      VALOR=VREL(IT,K1)
      VALMAX=VLMA(K1)
      CALL FAIXA(NRM,K1,VALMAX,VALOR,NSAL)
      DO 317 IK=1,20
      NRM(IK,K1)=NSAL(IK,K1)
317  CONTINUE
      VALOR=QC(IT,K1,1)
      VALMAX=VAMA(K1)
      CALL FAIXA(NAM,K1,VALMAX,VALOR,NSAL)

```

```

DO 318 IK=1,20
  NAM(IK,K1)=NSAL(IK,K1)
318  CONTINUE
  VALOR=QC(IT,K1,2)
  VALMAX=VVMA(K1)
  CALL FAIXA(NVM,K1,VALMAX,VALOR,NSAL)
  DO 319 IK=1,20
    NVM(IK,K1)=NSAL(IK,K1)
319  CONTINUE
316  CONTINUE
315  CONTINUE
  IF(ITER.EQ.0)WRITE(13,5090)CHAR(15)
  DO 800 K2=1,5
    IF(K2.EQ.1)PMA=PMA1
    IF(K2.EQ.2)PMA=PMA2
    IF(K2.EQ.3)PMA=PMA3
    IF(K2.EQ.4)PMA=PMA4
    IF(K2.EQ.5)PMA=PMA1+PMA2+PMA3+PMA4
    IF(K2.LE.4)THEN
      WRITE(13,9500)ITER,VLIM,CRI(1,K2),CRI(2,K2),CRI(3,K2),
      *SPO(K2),SUPOT,COTP(K2)
      WRITE(13,9510)
      WRITE(13,9520)K2,PMA,(NPM(I2,K2),I2=20,1,-1)
      WRITE(13,9530)
      WRITE(13,9520)K2,HQ(K2,1),(NHM(I2,K2),I2=20,1,-1)
      WRITE(13,9540)
      WRITE(13,9520)K2,VLMA(K2),(NRM(I2,K2),I2=20,1,-1)
      WRITE(13,9550)
      WRITE(13,9520)K2,VAMA(K2),(NAM(I2,K2),I2=20,1,-1)
      WRITE(13,9560)
      WRITE(13,9520)K2,VVMA(K2),(NVM(I2,K2),I2=20,1,-1)
    ELSE
      WRITE(13,9520)K2,PMA,(NPM(I2,K2),I2=20,1,-1)
    ENDIF
    DO 810 I2=1,20
      NPM(I2,K2)=0
      NHM(I2,K2)=0
      NRM(I2,K2)=0
      NAM(I2,K2)=0
      NVM(I2,K2)=0
810  CONTINUE
800  CONTINUE
C----
C---- SOLUCAO DA REGRESSAO MULTIPLA
C----
DO 320 K=1,4
  AR(1,1)=NPERH-1
  AR(1,2)=VMC(1,K)
  AR(1,3)=VMC(2,K)
  AR(2,1)=AR(1,2)
  AR(2,2)=VMC(4,K)
  AR(2,3)=VMC(6,K)
  AR(3,1)=AR(1,3)
  AR(3,2)=AR(2,3)
  AR(3,3)=VMC(5,K)
  BR(1)=VMC(3,K)
  BR(2)=VMC(7,K)
  BR(3)=VMC(8,K)
  WRITE(6,*)AR(1,1),AR(1,2),AR(1,3)
  WRITE(6,*)AR(2,1),AR(2,2),AR(3,2)
  WRITE(6,*)AR(3,1),AR(3,2),AR(3,3)
  WRITE(6,*)BR(1),BR(2),BR(3)

```

```

DO 330 I1=1,3
AUX=AR(I1,I1)
DO 340 I2=1,3
AR(I1,I2)=AR(I1,I2)/AUX
340 CONTINUE
BR(I1)=BR(I1)/AUX
DO 350 I2=1,3
IF(I2.NE.I1)THEN
AUX=AR(I2,I1)
DO 360 I3=I1,3
AR(I2,I3)=AR(I2,I3)-AUX*AR(I1,I3)
360 CONTINUE
BR(I2)=BR(I2)-AUX*BR(I1)
END IF
350 CONTINUE
330 CONTINUE
CR(1,K)=BR(1)
CR(2,K)=BR(2)
CR(3,K)=BR(3)
WRITE(6,*)CR(1,K),CRI(1,K)
WRITE(6,*)CR(2,K),CRI(2,K)
WRITE(6,*)CR(3,K),CRI(3,K)
320 CONTINUE
DO 328 K=1,4
SU(K)=0.0
VDSS(K)=0.0
VDSE(K)=0.0
VRES(K)=0.0
328 CONTINUE
DO 322 IT=1,NPERH-1
DO 324 K=1,4
SUMA(K)=0.0
SUMA(K)=CR(1,K)+CR(2,K)*QC(IT,K,1)+CR(3,K)*QC(IT,K,2)
SU(K)=SU(K)+(VREL(IT,K)-SUMA(K))*2
C----- ZERANDO VARIAVEIS
QC(IT,K,1)=0.0
QC(IT,K,2)=0.0
VREL(IT,K)=0.0
324 CONTINUE
322 CONTINUE
DO 326 K=1,4
VDSE(K)=SU(K)/(NPERH-4)
VDSS(K)=(NPERH*VMC(9,K)-VMC(3,K)**2)/((NPERH-1)*(NPERH-2))
VRES(K)=1-(VDSE(K)/VDSS(K))
326 CONTINUE
C----- ZERANDO VARIAVEIS
DO 370 K1=1,9
DO 380 K2=1,4
VMC(K1,K2)=0.0
380 CONTINUE
370 CONTINUE
C-----
C----- PROCESSO DE SIMULACAO USANDO OS COEFICIENTES DA REGRESSAO
C----- MULTIPLA
C-----
C-----
C----- COMPRESSAO PARA A IMPRESSORA
C-----
IF(ITER.EQ.0)THEN
WRITE(14,5090)CHAR(15)
WRITE(16,5090)CHAR(15)
WRITE(17,5090)CHAR(15)

```

```

WRITE(18,5090)CHAR(15)
WRITE(19,5090)CHAR(15)
WRITE(7,5090)CHAR(15)
WRITE(8,5090)CHAR(15)
WRITE(9,5090)CHAR(15)
WRITE(10,5090)CHAR(15)
WRITE(24,5090)CHAR(15)
ENDIF
WRITE(24,*)ITER
DO 390 K=1,4
VNSS(K)=0
VNSI(K)=0
NFPS(K)=0
NFFI(K)=0
VNAP(K)=0
VNTP(K)=0
VNAQ(K)=0
VNTQ(K)=0
VNAR(K)=0
SPO(K)=0.0
SV(K)=0.0
SP(K)=0.0
SR(K)=0.0
SQ(K)=0.0
SUPR(K)=0.0
COTP(K)=0.0
COTQ(K)=0.0
COTR(K)=0.0
VLMA(K)=0.0
VAMA(K)=0.0
VVMA(K)=0.0
390 CONTINUE
ITT=ITM2-1
IT1=0
IANO=0
VNQR=0
VNQT=0
VFTSC=0
COTSC=0.0
S1=VP(1,1)/2.63
S2=VP(2,1)/2.63
S3=VP(3,1)/2.63
S4=VP(4,1)/2.63
SUPOT=0.0
SQJL=0.0
IF(IANO.EQ.0)THEN
WRITE(7,5090)CHAR(12)
WRITE(7,7000)
WRITE(7,7040)
WRITE(8,5090)CHAR(12)
WRITE(8,7010)
WRITE(8,7040)
WRITE(9,5090)CHAR(12)
WRITE(9,7020)
WRITE(9,7040)
WRITE(10,5090)CHAR(12)
WRITE(10,7030)
WRITE(10,7045)
WRITE(24,5090)CHAR(12)
ENDIF

```

C----

C----- LEITURA DE VAZOES AFLUENTES E INTERMEDIARIAS AOS

C----- RESERVATORIOS, EM ORDEM AVANTE (ARQUIVO GERADO OU
 C----- OUTRA SERIE HISTORICA, DIFERENTE DA UTILIZADA NA
 C----- PROGRAMACAO DINAMICA).

C-----
 OPEN (UNIT = 3 , FILE = 'QASIN.FLU', STATUS = 'OLD')
 DO 420 IT=1, NPERG-1
 IF (ITT.EQ.12) ITT=0
 ITT=ITT+1
 IF (IT1.EQ.0.OR.IT1.EQ.56) THEN
 WRITE(16,5090) CHAR(12)
 WRITE(16,5000)
 WRITE(16,5040)
 WRITE(17,5090) CHAR(12)
 WRITE(17,5010)
 WRITE(17,5040)
 WRITE(18,5090) CHAR(12)
 WRITE(18,5020)
 WRITE(18,5040)
 WRITE(19,5090) CHAR(12)
 WRITE(19,5030)
 WRITE(19,5100)
 WRITE(24,5090) CHAR(12)
 IT1=0
 ENDIF
 IT1=IT1+1
 READ(3,1100) QA1,QA2,QA3,QA4,QA5

C-----
 C----- VERIFICACAO DE VAZAO DE BOMBEAMENTO EM
 C----- PARAIBA-PIRAI

C-----
 IPR0=0
 RS1=0.0
 RS2=0.0
 RS3=0.0
 RS4=0.0
 ST1=S1*2.63
 CALL VAL1PORVAL2(V,H,1,INV1,ST1,HH1)
 CALL VAL1PORVAL2(H,A,1,INV1,HH1,AA1)
 QIN1=QA1
 EC1=AA1*((PRE(ITT,1)*FKC(1))-(EV(ITT,1)*FKE(1)))/2630.0
 RS1=CR(1,1)+(CR(2,1)*QIN1)+(CR(3,1)*(S1-VMIN(1)))
 IF (RS1.LT.RMINJ1) RS1=RMINJ1
 SS1=S1+QIN1-RS1+EC1
 IF (SS1.GT.VMAX(1)) SS1=VMAX(1)
 IF (SS1.LT.VMIN(1)) SS1=VMIN(1)
 ST2=S2*2.63
 CALL VAL1PORVAL2(V,H,2,INV2,ST2,HH2)
 CALL VAL1PORVAL2(H,A,2,INV2,HH2,AA2)
 QIN2=QA2+RS1
 EC2=AA2*((PRE(ITT,2)*FKC(2))-(EV(ITT,2)*FKE(2)))/2630.0
 RS2=CR(1,2)+(CR(2,2)*QIN2)+(CR(3,2)*(S2-VMIN(2)))
 IF (RS2.LT.RMINJ2) RS2=RMINJ2
 SS2=S2+QIN2-RS2+EC2
 IF (SS2.GT.VMAX(2)) SS2=VMAX(2)
 IF (SS2.LT.VMIN(2)) SS2=VMIN(2)
 ST3=S3*2.63
 CALL VAL1PORVAL2(V,H,3,INV3,ST3,HH3)
 CALL VAL1PORVAL2(H,A,3,INV3,HH3,AA3)
 QIN3=QA3
 EC3=AA3*((PRE(ITT,3)*FKC(3))-(EV(ITT,3)*FKE(3)))/2630.0
 RS3=CR(1,3)+(CR(2,3)*QIN3)+(CR(3,3)*(S3-VMIN(3)))
 IF (RS3.LT.RMINJ3) RS3=RMINJ3

```

SS3=SS+QIN3-RS3+EC3
IF(SS3.GT.VMAX(3))SS3=VMAX(3)
IF(SS3.LT.VMIN(3))SS3=VMIN(3)
ST4=S4*2.63
CALL VAL1PORVAL2(V,H,4,INV4,ST4,HH4)
CALL VAL1PORVAL2(H,A,4,INV4,HH4,AA4)
QIN4=QA4+RS2+RS3-QIRR(ITT)
EC4=AA4*((PRE(ITT,4)*FKC(4))-(EV(ITT,4)*FKE(4)))/2630.0
RS4=CR(1,4)+(CR(2,4)*QIN4)+(CR(3,4)*(S4-VMIN(4)))
IF(RS4.LT.RMINJ4)RS4=RMINJ4
SS4=S4+QIN4-RS4+EC4
IF(SS4.GT.VMAX(4))SS4=VMAX(4)
IF(SS4.LT.VMIN(4))SS4=VMIN(4)
VD1=SS1-VMIN(1)
VD2=SS2-VMIN(2)
VD3=SS3-VMIN(3)
VD4=SS4-VMIN(4)
VSU=VD1+VD2+VD3+VD4
PVU=VSU*100.00/VUT
IF(PVU.LE.VUS(ITT))THEN
QJR=QJCI
ELSE
QJR=QJCS
ENDIF
RT=RS4+QA5
IF(RT.LT.QJR)THEN
VFAL=QJR-RT
SD1=S1-VMIN(1)
SD3=S3-VMIN(3)
SD4=S4-VMIN(4)
IF(SD1.GE.VFAL)THEN
RDEF1=RS1+VFAL
RDEF2=RS2+VFAL
RDEF3=RS3
RDEF4=RS4+VFAL
ELSE
VFAL2=VFAL-SD1
IF(SD3.GE.VFAL2)THEN
RDEF1=RS1+SD1
RDEF2=RS2+SD1
RDEF3=RS3+VFAL2
RDEF4=RS4+VFAL
ELSE
RDEF1=RS1+SD1
RDEF2=RS2+SD1
RDEF3=RS3+SD3
VFAL3=VFAL2-SD3
IF(SD4.GE.VFAL3)THEN
RDEF4=RS4+VFAL
ELSE
RDEF4=RS4+SD1+SD3+SD4
ENDIF
ENDIF
ENDIF
IPRO=1
VFTSC=VFTSC+1
ENDIF

```

C----

C---- RESERVATORIO PARAIBUNA PARAITINGA

C----

RS1=0.0

RM1=0.0

```

VERT1=0.0
QIN1=QA1
IF(IPRO.EQ.0)THEN
RS1=CR(1,1)+CR(2,1)*QIN1+CR(3,1)*(S1-VMIN(1))
ELSE
RS1=RDEF1
ENDIF
IF(RS1-RMINJ1)645,646,646
645 RS1=RMINJ1
646 PG1=8.5*RS1*(HH1-HJ(1))
IF(PG1.LT.PMIN1)THEN
PG1=PMIN1
RM1=PG1/(8.5*(HH1-HJ(1)))
VERT1=0.0
RS1=RM1
ENDIF
SS1=S1+QIN1-RS1+EC1
IF(SS1.GT.VMAX(1))THEN
SS1=VMAX(1)
RS1=S1+QIN1-SS1+EC1
PG1=8.5*RS1*(HH1-HJ(1))
VNSS(1)=VNSS(1)+1
VNAR(1)=VNAR(1)+1
ENDIF
IF(SS1.LT.VMIN(1))THEN
SS1=VMIN(1)
RS1=S1+QIN1-SS1+EC1
PG1=8.5*RS1*(HH1-HJ(1))
IF(PG1.LT.PMIN1) NFPI(1)=NFPI(1)+1
VNSI(1)=VNSI(1)+1
VNAR(1)=VNAR(1)+1
ENDIF
IF(PG1.GT.PMAX1)THEN
PG1=PMAX1
RM1=PG1/(8.5*(HH1-HJ(1)))
RS1=RM1
SS1=S1+QIN1-RS1+EC1
IF(SS1.GT.VMAX(1))THEN
SS1=VMAX(1)
RL1=S1+QIN1-SS1+EC1
VERT1=RL1-RS1
ENDIF
NFPS(1)=NFPS(1)+1
ENDIF
VJUS1=RS1+VERT1
IF(PG1.LT.PMIN1)THEN
PORP(1)=(PMIN1-PG1)/PMIN1
SPOP(1)=SPOP(1)+(PMIN1-PG1)
VNAP(1)=VNAP(1)+1
VNTQ(1)=VNTQ(1)+1
NFPI(1)=NFPI(1)+1
ENDIF
IF(VJUS1.LT.RMINJ1)THEN
VNAQ(1)=VNAQ(1)+1
VNTQ(1)=VNTQ(1)+1
FORQ(1)=(RMINJ1-VJUS1)/RMINJ1
SPOQ(1)=SPOQ(1)+(RMINJ1-VJUS1)
ENDIF
CALL FAIXA(NPM,1,PMAX1,PG1,NSAL)
DO 435 IK=1,20
NPM(IK,1)=NSAL(IK,1)
435 CONTINUE

```

```

VALOR=HH1-HJ(1)
VALMAX=HQ(1,1)
CALL FAIXA(NHM,1,VALMAX,VALOR,NSAL)
DO 440 IK=1,20
NHM(IK,1)=NSAL(IK,1)
440 CONTINUE
VREL(IT,1)=VJUS1
QC(IT,1,1)=QIN1
QC(IT,1,2)=S1-VMIN(1)
SPD(1)=SPD(1)+PG1
SP(1)=SP(1)+PG1
SQ(1)=SQ(1)+QIN1
SV(1)=SV(1)+S1
SR(1)=SR(1)+VJUS1
IF(ITT.EQ.12)THEN
IANO=IANO+1
COAP(1)=1.0-(VNAP(1)/12.0)
VULP(1)=SPOP(1)/(PMIN1*12.0)
COAQ(1)=1.0-(VNAQ(1)/12.0)
VULQ(1)=SPDQ(1)/(RMINJ1*12.0)
COAR(1)=1.0-(VNAR(1)/12.0)
SP(1)=SP(1)/12.0
SQ(1)=SQ(1)/12.0
SV(1)=SV(1)/12.0
SR(1)=SR(1)/12.0
WRITE(16,5050)IT,HH1,S1,QIN1,EC1,SS1,RS1,VERT1,VJUS1,PG1,
*COAP(1),PORP(1),VULP(1),COAQ(1),PORQ(1),VULQ(1),SV(1),SQ(1),
*SR(1),SP(1),COAR(1)
WRITE(7,7050)IANO,SV(1),SQ(1),SR(1),SP(1),COAP(1),VULP(1),
*COAQ(1),VULQ(1),COAR(1)
ENDIF
ELSE
WRITE(16,5060)IT,HH1,S1,QIN1,EC1,SS1,RS1,VERT1,VJUS1,PG1,
*PORP(1),PORQ(1)
ENDIF
C-----
C----- RESERVATORIO SANTA BRANCA
C-----
RS2=0.0
RM2=0.0
VERT2=0.0
QIN2=QA2+VJUS1
IF(IPRO.EQ.0)THEN
RS2=CR(1,2)+CR(2,2)*QIN2+CR(3,2)*(S2-VMIN(2))
ELSE
RS2=RDEF2
ENDIF
IF(RS2-RMINJ2)655,656,656
655 RS2=RMINJ2
656 PG2=8.5*RS2*(HH2-HJ(2))
IF(PG2.LT.PMIN2)THEN
PG2=PMIN2
RM2=PG2/(8.5*(HH2-HJ(2)))
VERT2=0.0
RS2=RM2
ENDIF
SS2=S2+QIN2-RS2+EC1
IF(SS2.GT.VMAX(2))THEN
SS2=VMAX(2)
RS2=S2+QIN2-SS2+EC2
PG2=8.5*RS2*(HH2-HJ(2))
VNSS(2)=VNSS(2)+1

```

```

VNAR(2)=VNAR(2)+1
ENDIF
IF(SS2.LT.VMIN(2))THEN
SS2=VMIN(2)
RS2=S2+QIN2-SS2+EC2
PG2=8.5*RS2*(HH2-HJ(2))
IF(PG2.LT.PMIN2) NFPI(2)=NFPI(2)+1
VNSI(2)=VNSI(2)+1
VNAR(2)=VNAR(2)+1
ENDIF
IF(PG2.GT.PMAX2)THEN
PG2=PMAX2
RM2=PG2/(8.5*(HH2-HJ(2)))
RS2=RM2
SS2=S2+QIN2-RS2+EC1
IF(SS2.GT.VMAX(2))THEN
SS2=VMAX(2)
RL2=S2+QIN2-SS2+EC2
VERT2=RL2-RS2
ENDIF
NFPS(2)=NFPS(2)+1
ENDIF
VJUS2=RS2+VERT2
IF(PG2.LT.PMIN2)THEN
PORP(2)=(PMIN2-PG2)/PMIN2
SPOP(2)=SPOP(2)+(PMIN2-PG2)
VNAP(2)=VNAP(2)+1
VNTP(2)=VNTP(2)+1
NFPI(2)=NFPI(2)+1
ENDIF
IF(VJUS2.LT.RMINJ2)THEN
VNAQ(2)=VNAQ(2)+1
VNTQ(2)=VNTQ(2)+1
PORQ(2)=(RMINJ2-VJUS2)/RMINJ2
SPDQ(2)=SPDQ(2)+(RMINJ2-VJUS2)
ENDIF
CALL FAIXA(NPM,2,PMAX2,PG2,NSAL)
DO 445 IK=1,20
NPM(IK,2)=NSAL(IK,2)
445 CONTINUE
VALOR=HH2-HJ(2)
VALMAX=HQ(2,1)
CALL FAIXA(NHM,2,VALMAX,VALOR,NSAL)
DO 450 IK=1,20
NHM(IK,2)=NSAL(IK,2)
450 CONTINUE
VREL(IT,2)=VJUS2
QC(IT,2,1)=QIN2
QC(IT,2,2)=S2-VMIN(2)
SPD(2)=SPD(2)+PG2
SP(2)=SP(2)+PG2
SQ(2)=SQ(2)+QIN2
SV(2)=SV(2)+S2
SR(2)=SR(2)+VJUS2
IF(ITT.EQ.12)THEN
COAP(2)=1.0-(VNAP(2)/12.0)
VULP(2)=SPOP(2)/(PMIN2*12.0)
COAQ(2)=1.0-(VNAQ(2)/12.0)
VULQ(2)=SPDQ(2)/(RMINJ2*12.0)
COAR(2)=1.0-(VNAR(2)/12.0)
SP(2)=SP(2)/12.0
SQ(2)=SQ(2)/12.0

```

```

SV(2)=SV(2)/12.0
SR(2)=SR(2)/12.0
WRITE(17,5050)IT,HH2,S2,QIN2,EC2,SS2,RS2,VERT2,VJUS2,PG2,
*COAP(2),PORP(2),VULP(2),COAQ(2),PORQ(2),VULQ(2),SV(2),SQ(2),
*SR(2),SP(2),COAR(2)
WRITE(8,7050)IANO,SV(2),SQ(2),SR(2),SP(2),COAP(2),VULP(2),
*COAQ(2),VULQ(2),COAR(2)
ENDIF
ELSE
WRITE(17,5060)IT,HH2,S2,QIN2,EC2,SS2,RS2,VERT2,VJUS2,PG2,
*PORP(2),PORQ(2)
ENDIF

```

C-----

C----- RESERVATORIO JAGUARI

C-----

```

RS3=0.0
RM3=0.0
VERT3=0.0
QIN3=QA3
IF(IPRO.EQ.0)THEN
RS3=CR(1,3)+CR(2,3)*QIN3+CR(3,3)*(S3-VMIN(3))
ELSE
RS3=RDEF3
ENDIF
IF(RS3-RMINJ3)665,666,666
665 RS3=RMINJ3
666 PG3=8.5*RS3*(HH3-HJ(3))
IF(PG3.LT.PMIN3)THEN
PG3=PMIN3
RM3=PG3/(8.5*(HH3-HJ(3)))
VERT3=0.0
RS3=RM3
ENDIF
SS3=S3+QIN3-RS3+EC3
IF(SS3.GT.VMAX(3))THEN
SS3=VMAX(3)
RS3=S3+QIN3-SS3+EC3
PG3=8.5*RS3*(HH3-HJ(3))
VNSS(3)=VNSS(3)+1
VNAR(3)=VNAR(3)+1
ENDIF
IF(SS3.LT.VMIN(3))THEN
SS3=VMIN(3)
RS3=S3+QIN3-SS3+EC3
PG3=8.5*RS3*(HH3-HJ(3))
IF(PG3.LT.PMIN3) NFPI(3)=NFPI(3)+1
VNSI(3)=VNSI(3)+1
VNAR(3)=VNAR(3)+1
ENDIF
IF(PG3.GT.PMAX3)THEN
PG3=PMAX3
RM3=PG3/(8.5*(HH3-HJ(3)))
RS3=RM3
SS3=S3+QIN3-RS3+EC3
IF(SS3.GT.VMAX(3))THEN
SS3=VMAX(3)
RL3=S3+QIN3-SS3+EC3
VERT3=RL3-RS3
ENDIF
NFPS(3)=NFPS(3)+1
ENDIF
VJUS3=RS3+VERT3

```

```

      IF(PG3.LT.PMIN3)THEN
      PORP(3)=(PMIN3-PG3)/PMIN3
      SPOP(3)=SPOP(3)+(PMIN3-PG3)
      VNAP(3)=VNAP(3)+1
      VNTP(3)=VNTP(3)+1
      NFPI(3)=NFPI(3)+1
      ENDIF
      IF(VJUS3.LT.RMINJ3)THEN
      VNAQ(3)=VNAQ(3)+1
      VNTQ(3)=VNTQ(3)+1
      PORQ(3)=(RMINJ3-VJUS3)/RMINJ3
      SPOQ(3)=SPOQ(3)+(RMINJ3-VJUS3)
      ENDIF
      CALL FAIXA(NPM,3,PMAX3,PG3,NSAL)
      DO 455 IK=1,20
      NPM(IK,3)=NSAL(IK,3)
455    CONTINUE
      VALOR=HH3-HJ(3)
      VALMAX=HQ(3,1)
      CALL FAIXA(NHM,3,VALMAX,VALOR,NSAL)
      DO 460 IK=1,20
      NHM(IK,3)=NSAL(IK,3)
460    CONTINUE
      VREL(IT,3)=VJUS3
      QC(IT,3,1)=QIN3
      QC(IT,3,2)=S3-VMIN(3)
      SP0(3)=SP0(3)+PG3
      SP(3)=SP(3)+PG3
      SQ(3)=SQ(3)+QIN3
      SV(3)=SV(3)+S3
      SR(3)=SR(3)+VJUS3
      IF(ITT.EQ.12)THEN
      COAP(3)=1.0-(VNAP(3)/12.0)
      VULP(3)=SPOP(3)/(PMIN3*12.0)
      COAQ(3)=1.0-(VNAQ(3)/12.0)
      VULQ(3)=SPOQ(3)/(RMINJ3*12.0)
      COAR(3)=1.0-(VNAR(3)/12.0)
      SP(3)=SP(3)/12.0
      SQ(3)=SQ(3)/12.0
      SV(3)=SV(3)/12.0
      SR(3)=SR(3)/12.0
      WRITE(18,5050)IT,HH3,S3,QIN3,EC3,SS3,RS3,VERT3,VJUS3,PG3,
      *COAP(3),PORP(3),VULP(3),COAQ(3),PORQ(3),VULQ(3),SV(3),SQ(3),
      *SR(3),SP(3),COAR(3)
      WRITE(9,7050)IAND,SV(3),SQ(3),SR(3),SP(3),COAP(3),VULP(3),
      *COAQ(3),VULQ(3),COAR(3)
      ENDIF
      ELSE
      WRITE(18,5060)IT,HH3,S3,QIN3,EC3,SS3,RS3,VERT3,VJUS3,PG3,
      *PORP(3),PORQ(3)
      ENDIF
C-----
C----- RESERVATORIO FUNIL
C-----
      RS4=0.0
      RM4=0.0
      VERT4=0.0
      QIN4=QA4+(VJUS2+VJUS3)-QIRR(ITT)
      IF(IPRO.EQ.0)THEN
      RS4=CR(1,4)+CR(2,4)*QIN4+CR(3,4)*(S4-VMIN(4))
      ELSE
      RS4=RDEF4

```

```

ENDIF
IF (RS4-RMINJ4) 675, 676, 676
675 RS4=RMINJ4
676 PG4=8.5*RS4*(HH4-HJ(4))
IF (PG4.LT.PMIN4) THEN
PG4=PMIN4
RM4=PG4/(8.5*(HH4-HJ(4)))
VERT4=0.0
RS4=RM4
ENDIF
SS4=S4+QIN4-RS4+EC4
IF (SS4.GT.VMAX(4)) THEN
SS4=VMAX(4)
RS4=S4+QIN4-SS4+EC4
PG4=8.5*RS4*(HH4-HJ(4))
VNSS(4)=VNSS(4)+1
VNAR(4)=VNAR(4)+1
ENDIF
IF (SS4.LT.VMIN(4)) THEN
SS4=VMIN(4)
RS4=S4+QIN4-SS4+EC4
PG4=8.5*RS4*(HH4-HJ(4))
IF (PG4.LT.PMIN4) NFPI(4)=NFPI(4)+1
VNSI(4)=VNSI(4)+1
VNAR(4)=VNAR(4)+1
ENDIF
IF (PG4.GT.PMAX4) THEN
PG4=PMAX4
RM4=PG4/(8.5*(HH4-HJ(4)))
RS4=RM4
SS4=S4+QIN4-RS4+EC4
IF (SS4.GT.VMAX(4)) THEN
SS4=VMAX(4)
RL4=S4+QIN4-SS4+EC4
VERT4=RL4-RS4
ENDIF
NFPS(4)=NFPS(4)+1
ENDIF
VJUS4=RS4+VERT4
IF (PG4.LT.PMIN4) THEN
PORP(4)=(PMIN4-PG4)/PMIN4
SPOP(4)=SPOP(4)+(PMIN4-PG4)
VNAP(4)=VNAP(4)+1
Vntp(4)=Vntp(4)+1
NFPI(4)=NFPI(4)+1
ENDIF
IF (VJUS4.LT.RMINJ4) THEN
VNAQ(4)=VNAQ(4)+1
VNTQ(4)=VNTQ(4)+1
PORQ(4)=(RMINJ4-VJUS4)/RMINJ4
SPOQ(4)=SPOQ(4)+(RMINJ4-VJUS4)
ENDIF
CALL FAIXA(NPM, 4, PMAX4, PG4, NSAL)
DO 465 IK=1, 20
NPM(IK, 4)=NSAL(IK, 4)
465 CONTINUE
VALOR=HH4-HJ(4)
VALMAX=HQ(4, 1)
CALL FAIXA(NHM, 4, VALMAX, VALOR, NSAL)
DO 470 IK=1, 20
NHM(IK, 4)=NSAL(IK, 4)
470 CONTINUE

```

```

VREL(IT,4)=VJUS4
QC(IT,4,1)=QIN4
QC(IT,4,2)=S4-VMIN(4)
QJCL=QA5+VJUS4
IF(QJCL.LT.QJR)THEN
VNQR=VNQR+1
VNQT=VNQT+1
PORQR=(QJR-QJCL)/QJR
SPOQR=SPOQR+(QJR-QJCL)
ENDIF
SPD(4)=SPD(4)+PG4
SP(4)=SP(4)+PG4
SQ(4)=SQ(4)+QIN4
SV(4)=SV(4)+S4
SR(4)=SR(4)+VJUS4
SQJL=SQJL+QJCL
IF(ITT.EQ.12)THEN
COAP(4)=1.0-(VNAF(4)/12.0)
VULP(4)=SPOP(4)/(PMIN4*12.0)
COAQ(4)=1.0-(VNAQ(4)/12.0)
VULQ(4)=SPOQ(4)/(RMINJ4*12.0)
COAR(4)=1.0-(VNAR(4)/12.0)
COAQR=1.0-(VNQR/12.0)
VULQR=SPOQR/(QJR*12.0)
VNQR=0
SP(4)=SP(4)/12.0
SQ(4)=SQ(4)/12.0
SV(4)=SV(4)/12.0
SR(4)=SR(4)/12.0
SQJL=SQJL/12.0
WRITE(19,5110)IT,HH4,S4,QIN4,EC4,SS4,RS4,VERT4,VJUS4,PG4,
*COAP(4),PORP(4),VULP(4),COAQ(4),PORQ(4),VULQ(4),SV(4),SQ(4),
*SR(4),SP(4),COAR(4),QJCL,COAQR,PORQR,VULQR
WRITE(10,7055)IANO,SV(4),SQ(4),SR(4),SP(4),COAP(4),VULP(4),
*COAQ(4),VULQ(4),COAR(4),SQJL,COAQR,VULQR
ENDIF
ELSE
WRITE(19,5120)IT,HH4,S4,QIN4,EC4,SS4,RS4,VERT4,VJUS4,PG4,
*PORP(4),PORQ(4),QJCL,PORQR
ENDIF
POT=PG1+PG2+PG3+PG4
WRITE(24,8900)IT,S1,QIN1,VJUS1,VERT1,PG1,S2,QIN2,VJUS2,VERT2,
*PG2,S3,QIN3,VJUS3,VERT3,PG3,S4,QIN4,VJUS4,VERT4,PG4,POT,QJCL
8900 FORMAT(I6,20F10.2,F15.0,F10.2)
VALOR=POT
VALMAX=PMAX1+PMAX2+PMAX3+PMAX4
CALL FAIXA(NPM,5,VALMAX,VALOR,NSAL)
DO 472 IK=1,20
NPM(IK,5)=NSAL(IK,5)
472 CONTINUE
SUPOT=SUPOT+POT
SUPO(1)=SUPO(1)+PG1
SUPO(2)=SUPO(2)+PG2
SUPO(3)=SUPO(3)+PG3
SUPO(4)=SUPO(4)+PG4
DO 475 K2=1,4
IF(VREL(IT,K2).GT.VLMA(K2))VLMA(K2)=VREL(IT,K2)
IF(QC(IT,K2,1).GT.VAMA(K2))VAMA(K2)=QC(IT,K2,1)
IF(QC(IT,K2,2).GT.VVMA(K2))VVMA(K2)=QC(IT,K2,2)
475 CONTINUE
S1=SS1
S2=SS2

```

```

      S3=SS3
      S4=SS4
3000  FORMAT(I5,F6.2,2F12.2)
      IF(IT1.EQ.56.OR.IT.EQ.(NPERG-1))THEN
      WRITE(16,5070)
      WRITE(17,5070)
      WRITE(18,5070)
      WRITE(19,5075)
      ENDIF
      IF(IT.EQ.(NPERG-1))THEN
      WRITE(7,7070)
      WRITE(8,7070)
      WRITE(9,7070)
      WRITE(10,7075)
      ENDIF
      IF(ITT.EQ.12)THEN
      DO 415 K=1,4
      UNAP(K)=0
      VNAQ(K)=0
      VNAR(K)=0
      SV(K)=0.0
      SQ(K)=0.0
      SR(K)=0.0
      SP(K)=0.0
      VULP(K)=0.0
      VULO(K)=0.0
      COAP(K)=0.0
      COAQ(K)=0.0
      COAR(K)=0.0
      SPOF(K)=0.0
      SPOQ(K)=0.0
415  CONTINUE
      SPOQR=0.0
      COAQR=0.0
      VULQR=0.0
      SQJL=0.0
      ITT=0
      ENDIF
420  CONTINUE
      CLOSE(3)
      DO 480 IT=1,NPERG-1
      DO 482 K2=1,4
      VALOR=VREL(IT,K2)
      VALMAX=VLMA(K2)
      CALL FAIXA(NRM,K2,VALMAX,VALOR,NSAL)
      DO 484 IK=1,20
      NRM(IK,K2)=NSAL(IK,K2)
484  CONTINUE
      VALOR=QC(IT,K2,1)
      VALMAX=VAMA(K2)
      CALL FAIXA(NAM,K2,VALMAX,VALOR,NSAL)
      DO 486 IK=1,20
      NAM(IK,K2)=NSAL(IK,K2)
486  CONTINUE
      VALOR=QC(IT,K2,2)
      VALMAX=VVMA(K2)
      CALL FAIXA(NVM,K2,VALMAX,VALOR,NSAL)
      DO 488 IK=1,20
      NVM(IK,K2)=NSAL(IK,K2)
488  CONTINUE
482  CONTINUE
480  CONTINUE

```

```

DO 430 K=1,4
COTP(K)=1.0-(VNTF(K)/(NPERG-1))
COTQ(K)=1.0-(VNTQ(K)/(NPERG-1))
COTR(K)=1.0-((VNSS(K)+VNSI(K))/(NPERG-1))
430 CONTINUE
COTSC=1.0-(VFTSC/(NPERG-1))
DO 850 K2=1,5
IF(K2.EQ.1)PMA=PMA1
IF(K2.EQ.2)PMA=PMA2
IF(K2.EQ.3)PMA=PMA3
IF(K2.EQ.4)PMA=PMA4
IF(K2.EQ.5)PMA=PMA1+PMA2+PMA3+PMA4
IF(K2.LE.4)THEN
PP=SUPO(K2)/((NPERG-1)*PMA)
WRITE(14,8888)K2,ITER,VLIM,SUPO(K2),PP,CR(1,K2),CR(2,K2),
*CR(3,K2),VRES(K2),COTP(K2),COTQ(K2),COTR(K2),COTSC
8888 FORMAT(2I5,F6.2,F15.2,9F10.4)
WRITE(13,9570)ITER,VLIM,CR(1,K2),CR(2,K2),CR(3,K2),
*SPO(K2),SUPOT,COTP(K2)
WRITE(13,9510)
WRITE(13,9520)K2,PMA,(NPM(I2,K2),I2=20,1,-1)
WRITE(13,9530)
WRITE(13,9520)K2,HQ(K2,1),(NHM(I2,K2),I2=20,1,-1)
WRITE(13,9540)
WRITE(13,9520)K2,VLMA(K2),(NRM(I2,K2),I2=20,1,-1)
WRITE(13,9550)
WRITE(13,9520)K2,VAMA(K2),(NAM(I2,K2),I2=20,1,-1)
WRITE(13,9560)
WRITE(13,9520)K2,VVMA(K2),(NVM(I2,K2),I2=20,1,-1)
ELSE
WRITE(13,9520)K2,PMA,(NPM(I2,K2),I2=20,1,-1)
ENDIF
DO 860 I2=1,20
NPM(I2,K2)=0
NHM(I2,K2)=0
NRM(I2,K2)=0
NAM(I2,K2)=0
NVM(I2,K2)=0
860 CONTINUE
850 CONTINUE
WRITE(16,5090)CHAR(12)
WRITE(16,5080)ITER,VLIM,CR(1,1),CR(2,1),CR(3,1),SPO(1),SUPOT,
*COTP(1),COTQ(1),VNSS(1),VNSI(1),COTR(1),VRES(1)
WRITE(17,5090)CHAR(12)
WRITE(17,5080)ITER,VLIM,CR(1,2),CR(2,2),CR(3,2),SPO(2),SUPOT,
*COTP(2),COTQ(2),VNSS(2),VNSI(2),COTR(2),VRES(2)
WRITE(18,5090)CHAR(12)
WRITE(18,5080)ITER,VLIM,CR(1,3),CR(2,3),CR(3,3),SPO(3),SUPOT,
*COTP(3),COTQ(3),VNSS(3),VNSI(3),COTR(3),VRES(3)
WRITE(19,5090)CHAR(12)
WRITE(19,5080)ITER,VLIM,CR(1,4),CR(2,4),CR(3,4),SPO(4),SUPOT,
*COTP(4),COTQ(4),VNSS(4),VNSI(4),COTR(4),VRES(4)
WRITE(7,5080)ITER,VLIM,CR(1,1),CR(2,1),CR(3,1),SPO(1),SUPOT,
*COTP(1),COTQ(1),VNSS(1),VNSI(1),COTR(1),VRES(1)
WRITE(8,5080)ITER,VLIM,CR(1,2),CR(2,2),CR(3,2),SPO(2),SUPOT,
*COTP(2),COTQ(2),VNSS(2),VNSI(2),COTR(2),VRES(2)
WRITE(9,5080)ITER,VLIM,CR(1,3),CR(2,3),CR(3,3),SPO(3),SUPOT,
*COTP(3),COTQ(3),VNSS(3),VNSI(3),COTR(3),VRES(3)
WRITE(10,5080)ITER,VLIM,CR(1,4),CR(2,4),CR(3,4),SPO(4),SUPOT,
*COTP(4),COTQ(4),VNSS(4),VNSI(4),COTR(4),VRES(4)
ITER=ITER+1
IF(ITER.EQ.1)GOTO 8050

```

```

      IF(SUPOT.GT.SUPER)GOTO 8050
      IF(VLIM.LE.0.01)GOTO 8100
      VLIM=VLIM/2.0
      GOTO 8070
8100  CONTINUE
      CLOSE(5)
      CLOSE(6)
      CLOSE(7)
      CLOSE(8)
      CLOSE(9)
      CLOSE(10)
      CLOSE(11)
      CLOSE(12)
      CLOSE(13)
      CLOSE(14)
      CLOSE(16)
      CLOSE(17)
      CLOSE(18)
      CLOSE(19)
      CLOSE(24)

C-----
C----- FORMATOS
C-----
1010  FORMAT(I3)
1020  FORMAT(3F10.2)
1030  FORMAT(12F10.2)
1040  FORMAT(F4.2)
1050  FORMAT(2F10.2)
1060  FORMAT(F10.2)
1070  FORMAT(3F6.2)
1080  FORMAT(2F10.2)
1090  FORMAT(F5.0,F7.4)
1100  FORMAT(5F9.2)
5000  FORMAT(189(1H-),/,1H!,70X,38HRESERVATORIO DE PARAIBUNA - PARAITING
      *A,79X,1H!)
5010  FORMAT(189(1H-),/,1H!,80X,28HRESERVATORIO DE SANTA BRANCA,79X,1H!)
5020  FORMAT(189(1H-),/,1H!,75X,23HRESERVATORIO DE JAGUARI,89X,1H!)
5030  FORMAT(228(1H-),/,1H!,95X,21HRESERVATORIO DE FUNIL,110X,1H!)
5040  FORMAT(189(1H-),/,7H! PERI- ,9H! NIVEL ,10H! VOL.IN. ,
      *10H! Qafl ,10H! Perdas ,10H! VOL.FI. ,10H! Qturb ,
      *10H! Qvert ,10H! Qjus ,10H! Pot.G. ,8H! Conf. ,
      *7H! Vul. ,7H! Vul. ,8H! Conf. ,7H! Vul. ,7H! Vul. ,
      *10H! Vol.Med ,10H! Qaf.Med ,10H! Qju.Med ,11H! Pot.Med.!,
      *8H Conf. !,/,7H! ODO ,9H! (m) ,10H! (m3/s) ,10H! (m3/s) ,
      *10H! (m3/s) ,10H! (m3/s) ,10H! (m3/s) ,10H! (m3/s) ,
      *10H! (m3/s) ,10H! (kw) ,8H! Anual ,7H! ,7H! Anu. ,
      *8H! Anual ,7H! ,7H! Anu. ,10H! (m3/s) ,10H! (m3/s) ,
      *10H! (m3/s) ,11H! (kw) !,8H Anual !,/,189(1H-))
5050  FORMAT(2H! ,I4,3H! ,F6.2,3H! ,F7.2,4H! ,F6.2,3H! ,F6.2,
      *4H! ,F7.2,3H! ,F6.2,4H! ,F6.2,4H! ,F6.2,4H! ,F7.0,3H! ,
      *F5.2,3H! ,F4.2,3H! ,F4.2,3H! ,F5.2,3H! ,F4.2,3H! ,F4.2,3H! ,
      *F7.2,3H! ,F6.2,4H! ,F6.2,4H! ,F7.0,3H! ,F5.2,2H! )
5060  FORMAT(2H! ,I4,3H! ,F6.2,3H! ,F7.2,4H! ,F6.2,3H! ,F6.2,
      *4H! ,F7.2,3H! ,F6.2,4H! ,F6.2,4H! ,F6.2,4H! ,F7.0,
      *11H! ----- ! ,F4.2,18H! ---- ! ----- ! ,F4.2,10H! ---- ! ,
      *47H----- ! ----- ! ----- ! ----- ! ----- ! )
5070  FORMAT(189(1H-),/)
5075  FORMAT(229(1H-),/)
5080  FORMAT(/,18HINTERACAO NUMERO = ,I5,/,15HVALOR DE LIM = ,F6.3,/,
      *41HCOEFICIENTES USADOS NA REGRESSAO MULTIPLA,/,
      *22HCOEFICIENTE ----> A = ,F14.4,/,22HCOEFICIENTE ----> B = ,
      *F14.4,/,22HCOEFICIENTE ----> C = ,F14.4,/,16HPOTENCIA GERADA ,

```

```

*20HPELO RESERVATORIO = ,F15.2,/,31HPOTENCIA GERADA PELO SISTEMA =
* ,F15.2,/,29HCONFIABILIDADE DA POTENCIA = ,F6.3,/,
*26HCONFIABILIDADE DA VAZAO = ,F6.3,/,18HREGRA OPERACIONAL ,
*38HSUPERA RESTRICAO DE VOLUME SUPERIOR = ,F5.0,6H VEZES,/,
*38HSUPERA RESTRICAO DE VOLUME INFERIOR = ,F5.0,6H VEZES,/,
*38HCONFIABILIDADE DA REGRA OPERACIONAL = ,F6.3,/,
*38HCOEFICIENTE DE CORR.DA REGRES. MULT.= ,F6.3,/)
5090  FORMAT(1X,A1)
5100  FORMAT(228(1H-),/,7H! PERI-,9H! NIVEL ,10H! VOL.IN. ,
*10H! Qaf1. ,10H! Perdas ,10H! VOL.FI. ,10H! Qturb ,
*10H! Qvert ,10H! Qjus ,10H! Pot.G. ,8H! Conf. ,
*7H! Vul. ,7H! Vul. ,8H! Conf. ,7H! Vul. ,7H! Vul. ,
*10H! Vol.Med ,10H! Qaf.Med ,10H! Qju.Med ,11H! Pot.Med !,
*8H Conf. !,16H Q.Sta.Cecilia ,8H! Conf. ,7H! Vul. ,8H! Vul. !,/,
*7H! ODO ,9H! (m) ,10H! (m3/s) ,10H! (m3/s) ,
*10H! (m3/s) ,10H! (m3/s) ,10H! (m3/s) ,10H! (m3/s) ,
*10H! (m3/s) ,10H! (kw) ,8H! Anual ,7H! ,7H! Anu. ,
*8H! Anual ,7H! ,7H! Anu. ,10H! (m3/s) ,10H! (m3/s) ,
*10H! (m3/s) ,11H! (kw) !,8H Anual !,16H (m3/s) ,
*8H! Anual ,7H! ,8H! Anu. !,/,228(1H-))
5110  FORMAT(2H! ,14,3H ! ,F6.2,3H ! ,F7.2,4H ! ,F6.2,3H ! ,F6.2,
*4H ! ,F7.2,3H ! ,F6.2,4H ! ,F6.2,4H ! ,F6.2,4H ! ,F7.0,3H ! ,
*F5.2,3H ! ,F4.2,3H ! ,F4.2,3H ! ,F5.2,3H ! ,F4.2,3H ! ,F4.2,3H ! ,
*F7.2,3H ! ,F6.2,4H ! ,F6.2,4H ! ,F7.0,3H ! ,F5.2,6H ! ,F6.2,
*7H ! ,F5.2,3H ! ,F4.2,3H ! ,F4.2,2H ! )
5120  FORMAT(2H! ,14,3H ! ,F6.2,3H ! ,F7.2,4H ! ,F6.2,3H ! ,F6.2,
*4H ! ,F7.2,3H ! ,F6.2,4H ! ,F6.2,4H ! ,F6.2,4H ! ,F7.0,
*11H ! ---- ! ,F4.2,18H ! ---- ! ---- ! ,F4.2,10H ! ---- ! ,
*54H----- ! ----- ! ----- ! ----- ! ----- ! ,F6.2,
*14H ! ---- ! ,F4.2,9H ! ---- ! )
7040  FORMAT(85(1H-),/,6H! AND ,10H! Vol.Med ,10H! Qaf.Med ,
*10H! Qju.Med ,10H! Pot.Med ,8H! Conf. ,7H! Vul. ,8H! Conf. ,
*7H! Vul. ,9H! Conf. !,/,6H! ,10H! (m3/s) ,10H! (m3/s) ,
*10H! (m3/s) ,10H! (kw) ,8H! Anual ,7H! Anu. ,8H! Anual ,
*7H! Anu. ,9H! Anual !,/,85(1H-))
7050  FORMAT(2H! ,13,3H ! ,F7.2,3H ! ,F6.2,4H ! ,F6.2,4H ! ,F7.0,
*3H ! ,F5.2,3H ! ,F4.2,3H ! ,F5.2,3H ! ,F4.2,3H ! ,F5.2,2H ! )
7070  FORMAT(85(1H-),/)
7075  FORMAT(111(1H-),/)
7000  FORMAT(85(1H-),/,1H!,23X,38HRESERVATORIO DE PARAIBUNA - PARAITINGA
*,22X,1H!)
7010  FORMAT(85(1H-),/,1H!,28X,28HRESERVATORIO DE SANTA BRANCA,27X,1H!)
7020  FORMAT(85(1H-),/,1H!,30X,23HRESERVATORIO DE JAGUARI,30X,1H!)
7030  FORMAT(111(1H-),/,1H!,44X,21HRESERVATORIO DE FUNIL,44X,1H!)
7045  FORMAT(111(1H-),/,6H! AND ,10H! Vol.Med ,10H! Qaf.Med ,
*10H! Qju.Med ,10H! Pot.Med ,8H! Conf. ,7H! Vul. ,8H! Conf. ,
*7H! Vul. ,8H! Conf. ,11H! Q.Sta.Ce ,8H! Conf. ,8H! Vul. !,/,
*6H! ,10H! (m3/s) ,10H! (m3/s) ,10H! (m3/s) ,10H! (kw) ,
*8H! Anual ,7H! Anu. ,8H! Anual ,7H! Anu. ,8H! Anual ,
*11H! (m3/s) ,8H! Anual ,8H! Anu. !,/,111(1H-))
7055  FORMAT(2H! ,13,3H ! ,F7.2,3H ! ,F6.2,4H ! ,F6.2,4H ! ,F7.0,
*3H ! ,F5.2,3H ! ,F4.2,3H ! ,F5.2,3H ! ,F4.2,3H ! ,F5.2,5H ! ,
*F6.2,4H ! ,F5.2,3H ! ,F4.2,2H ! )
2800  FORMAT(4F12.2)
9500  FORMAT(33HVETORES DAS CURVAS DE PERMANENCIA,/,
*39HNA PROGRAMACAO DINAMICA NA INTERACAO = ,I5,/,
*15HVALOR DE LIM = ,F6.3,/,
*41HCOEFICIENTES USADOS NA REGRESSAO MULTIPLA,/,
*22HCOEFICIENTE ----> A = ,F14.4,/,22HCOEFICIENTE ----> B = ,
*F14.4,/,22HCOEFICIENTE ----> C = ,F14.4,/,16HPOTENCIA GERADA ,
*20HPELO RESERVATORIO = ,F15.2,/,31HPOTENCIA GERADA PELO SISTEMA =
* ,F15.2,/,29HCONFIABILIDADE DA POTENCIA = ,F6.3,/)

```

```

9510  FORMAT(8HPOTENCIA)
9520  FORMAT(I3,F15.2,20I4)
9530  FORMAT(15HALTURA DE QUEDA)
9540  FORMAT(14HVAZAO LIBERADA)
9550  FORMAT(14HVAZAO AFLUENTE)
9560  FORMAT(16HVOLUME RESERVADO)
9570  FORMAT(33HVETORES DAS CURVAS DE PERMANENCIA,/,
*28HNA SIMULACAO NA INTERACAO = ,I5,/,
*15HVALOR DE LIM = ,F6.3,/,
*41HCOEFICIENTES USADOS NA REGRESSAO MULTIPLA,/,
*22HCOEFICIENTE ----> A = ,F14.4,/,22HCOEFICIENTE ----> B = ,
*F14.4,/,22HCOEFICIENTE ----> C = ,F14.4,/,16HPOTENCIA GERADA ,
*20HPELO RESERVATORIO = ,F15.2,/,31HPOTENCIA GERADA PELO SISTEMA =
* ,F15.2,/,29HCONFIABILIDADE DA POTENCIA = ,F6.3,/)
      END

C-----
C----- SUBROTINAS DO PROGRAMA
C-----
C-----
C----- SUBROTINA DE TRANSFORMACAO DE VALORES
C-----
      SUBROUTINE VAL1FORVAL2(VEE,VSS,K,NV,VME,VMS)
      REAL VEE(4,50),VSS(4,50)
      DO 500 I=2,NV
      IF(VME.GE.VEE(K,I-1))THEN
      IF(VME.LE.VEE(K,I))THEN
      DFVE=VEE(K,I)-VEE(K,I-1)
      DFVS=VSS(K,I)-VSS(K,I-1)
      DVE=VME-VEE(K,I-1)
      DVS=DVE*DFVS/DFVE
      VMS=VSS(K,I-1)+DVS
      ENDIF
      ENDIF
500   CONTINUE
      RETURN
      END

C-----
C-----
C-----
      SUBROUTINE INTERPOLA(SD,VB,VALCA,NVD,VA)
      INTEGER NVD(4),LIU(4),LIL(4),LMS(8,10),LMI(8,10)
      REAL SD(4),VB(4,50),DIFE(4),DE(4),VA(4),
*VALCA(4,4500)
      DO 700 IP=1,4
      VA(IP)=0.0
      NP=NVD(IP)
      DO 710 IL=2,NP
      IF(SD(IP).LE.VB(IP,IL-1))THEN
      IF(SD(IP).GE.VB(IP,IL))THEN
      LIU(IP)=IL-1
      LIL(IP)=IL
      DIFE(IP)=VB(IP,IL-1)-VB(IP,IL)
      DE(IP)=SD(IP)-VB(IP,IL)
      ENDIF
      ENDIF
710   CONTINUE
700   CONTINUE
      DO 720 JP=1,10
      DO 730 IP=1,8
      IF(JP.LE.4)THEN
      LMS(IP,JP)=LIU(JP)
      LMI(IP,JP)=LIL(JP)

```

```

ENDIF
IF(JP.EQ.5)THEN
IF(IP.LE.4)THEN
LMS(IP,JP)=LIU(2)
LMI(IP,JP)=LIU(2)
ELSE
LMS(IP,JP)=LIL(2)
LMI(IP,JP)=LIL(2)
ENDIF
ENDIF
IF(JP.EQ.6)THEN
IF(IP.LE.2.OR.IP.EQ.5.OR.IP.EQ.6)THEN
LMS(IP,JP)=LIU(3)
LMI(IP,JP)=LIU(3)
ELSE
LMS(IP,JP)=LIL(3)
LMI(IP,JP)=LIL(3)
ENDIF
ENDIF
IF(JP.EQ.7)THEN
IF(IP.EQ.1.OR.IP.EQ.3.OR.IP.EQ.5.OR.IP.EQ.7)THEN
LMS(IP,JP)=LIU(4)
LMI(IP,JP)=LIU(4)
ELSE
LMS(IP,JP)=LIL(4)
LMI(IP,JP)=LIL(4)
ENDIF
ENDIF
IF(JP.EQ.8)THEN
IF(IP.LE.4)THEN
LMS(IP,JP)=LIU(1)
LMI(IP,JP)=LIU(1)
ELSE
LMS(IP,JP)=LIL(1)
LMI(IP,JP)=LIL(1)
ENDIF
ENDIF
IF(JP.EQ.9)THEN
IF(IP.LE.2.OR.IP.EQ.5.OR.IP.EQ.6)THEN
LMS(IP,JP)=LIU(2)
LMI(IP,JP)=LIU(2)
ELSE
LMS(IP,JP)=LIL(2)
LMI(IP,JP)=LIL(2)
ENDIF
ENDIF
IF(JP.EQ.10)THEN
IF(IP.EQ.1.OR.IP.EQ.3.OR.IP.EQ.5.OR.IP.EQ.7)THEN
LMS(IP,JP)=LIU(3)
LMI(IP,JP)=LIU(3)
ELSE
LMS(IP,JP)=LIL(3)
LMI(IP,JP)=LIL(3)
ENDIF
ENDIF
730 CONTINUE
720 CONTINUE
IC1=NVD(2)*NVD(3)*NVD(4)
IC2=NVD(3)*NVD(4)
IC3=NVD(4)
DO 740 KP=1,4
JP1=KP

```

```

JP2=KP+4
JP3=KP+5
JP4=KP+6
VEDS=0.0
VEDI=0.0
DIFS=0.0
DS=0.0
DO 750 IP=1,8
JS1=LMS(IP,JP1)
JI1=LMI(IP,JP1)
JS2=LMS(IP,JP2)
JI2=LMI(IP,JP2)
JS3=LMS(IP,JP3)
JI3=LMI(IP,JP3)
JS4=LMS(IP,JP4)
JI4=LMI(IP,JP4)
ICOS=(JS1-1)*IC1+(JS2-1)*IC2+(JS3-1)*IC3+JS4
ICOI=(JI1-1)*IC1+(JI2-1)*IC2+(JI3-1)*IC3+JI4
VEDS=VEDS+VALCA(KP,ICOS)
VEDI=VEDI+VALCA(KP,ICOI)
750 CONTINUE
VEDS=VEDS/8
VEDI=VEDI/8
DIFS=VEDS-VEDI
DS=DE(KP)*DIFS/DIFE(KP)
VA(KP)=DS+VEDI
740 CONTINUE
RETURN
END

C-----
C----- SUBROUTINA DO CALCULO DA FAIXA
C-----
SUBROUTINE FAIXA(NENT,KD,VALMAX,VALOR,NSAS)
INTEGER NENT(20,5),NSAS(20,5)
DO 900 ID=1,20
NSAS(ID,KD)=0
900 CONTINUE
DO 910 ID=20,1,-1
IF(VALOR.LE.(VALMAX*ID/20))THEN
IF(VALOR.GT.(VALMAX*(ID-1)/20))THEN
NENT(ID,KD)=NENT(ID,KD)+1
ENDIF
ENDIF
910 CONTINUE
DO 920 ID=1,20
NSAS(ID,KD)=NENT(ID,KD)
920 CONTINUE
RETURN
END

```