

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO

CONTRIBUIÇÃO AO GERENCIAMENTO DE RECURSOS  
HÍDRICOS DA BACIA DO RIO PIRACICABA

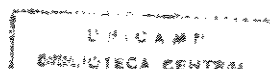
ANA ROSA BAGANHA BARP

Dissertação apresentada a Faculdade de Engenharia Civil  
como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Civil, Área de Recursos Hídricos e Saneamento.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Sérgio Franco Barbosa - FEC/UNICAMP

CAMPINAS - SÃO PAULO

Setembro, 1995



9605309/02

*Atesto que  
esta é a versão  
definitiva da dissertação  
fl. 110  
43/3/96*

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	UNICAMP
	B268c
V.	E.
T.º DO B.	27252
PROC.	667196
C	<input type="checkbox"/>
D	<input type="checkbox"/>
X	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DABA	09104196
N.º CPD	EM.00086436-4

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

B268c Barp, Ana Rosa Baganha  
Contribuição ao gerenciamento de recursos hídricos da  
bacia do Rio Piracicaba. / Ana Rosa Baganha Barp.--  
Campinas, SP: [s.n], 1995.

Orientador: Paulo Sérgio Franco Barbosa.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

1. Recursos hídricos - Desenvolvimento. 2. Bacia  
hidrográfica. 3. Otimização matemática. 4. Processo  
decisório - modelos matemáticos. 5. Análise de sistemas.  
I. Barbosa, Paulo Sérgio Franco. II. Universidade  
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil.  
III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO**

**CONTRIBUIÇÃO AO GERENCIAMENTO DE RECURSOS  
HÍDRICOS DA BACIA DO RIO PIRACICABA**

**ANA ROSA BAGANHA BARP**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**CAMPINAS - SÃO PAULO**

Setembro, 1995

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO**

**CONTRIBUIÇÃO AO GERENCIAMENTO DE RECURSOS  
HÍDRICOS DA BACIA DO RIO PIRACICABA**

**AUTORA:** ANA ROSA BAGANHA BARP

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Paulo Sérgio Franco Barbosa

**COMISSÃO EXAMINADORA**

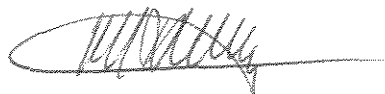
**PRESIDENTE:**



---

Prof. Dr. Paulo Sérgio Franco Barbosa - FEC/UNICAMP

**EXAMINADORES:**



---

Prof. Dr. Roberto Feijó de Figueiredo - FEC/UNICAMP



---

Prof. Dr. Paulo Barros Correa - FEM/UNICAMP

**CAMPINAS - SÃO PAULO**

Setembro, 1995

Aos meus pais Luiz e Anita,  
com carinho e gratidão.

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Paulo Sérgio Franco Barbosa, pela orientação, incentivo e amizade.

À Prof. Rosely Ferreira dos Santos, pelas sugestões importantes para a elaboração deste trabalho.

Ao Departamento de Hidráulica e Saneamento da FEC pelo apoio durante o programa de pós-graduação.

Aos funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento e da Biblioteca da Área de Engenharia, pela atenção e préstimos durante os anos de convivência.

À CAPES pelo apoio financeiro.

À CETESB, SANASA e CPFL pela informações cedidas para compor o trabalho.

Aos colegas de curso, Ana Paula, Ailton, Evandro e Suely pela amizade e companheirismo nesses anos de convívio.

Às Universidade Federal do Pará e Universidade da Amazônia, pela liberação de minhas atividades acadêmicas.

Aos meus pais, Luiz e Anita, e meus irmãos, Luiz Jr e Luiz Thadeu, pelo incentivo e ajuda nas horas difíceis.

Ao Wilson, pelo companheirismo, paciência e principalmente pelo incentivo constante em nossa caminhada.

Aos meus filhos, Kauê e Luana, pelo sentido da vida, embora em alguns momentos necessitei ausentar-me de nosso convívio.

## SUMÁRIO

Capítulo	Página
Dedicatória.....	i
Agradecimentos.....	ii
Sumário.....	iii
Lista de Figuras.....	v
Lista de Tabelas.....	vi
Resumo.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo do Trabalho.....	1
1.2 O Contexto da Aplicação da Abordagem Proposta.....	1
1.3 Organização da Dissertação.....	5
2. PERFIL REGIONAL.....	7
2.1 Área de Estudo.....	7
2.1.1 Alguns Aspectos Fisiográficos.....	10
2.2 Setores Produtivos.....	12
2.2.1 Setor Primário.....	12
2.2.2 Setor Secundário.....	14
2.2.3 Setor Terciário.....	16
2.3 Demanda de Recursos Hídricos.....	16
2.3.1 Abastecimento Público.....	17
2.3.2 Abastecimento Industrial.....	19
2.3.3 Irrigação.....	21
2.3.4 Balanço Hídrico.....	22

3	QUALIDADE DAS ÁGUAS E FONTES DE POLUIÇÃO.....	24
4	A PROBLEMÁTICA REGIONAL DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	35
4.1	Alguns Aspectos Históricos Antecedentes aos Problemas Ambientais.....	35
4.2	Os Problemas Emergentes.....	28
4.3	Justificativa para a Escolha da Área de Estudo.....	40
5	O MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE QUANTIDADE DE ÁGUA.....	42
5.1	Descrição Analítica dos Modelos de Otimização.....	42
5.2	O Modelo Computacional Simplex.....	45
5.2.1	A Modelagem Matemática .....	45
5.2.1.1	Modelo de Rede Linear.....	45
5.2.1.2	A Programação Linear.....	48
5.2.1.3	Algoritmo de Otimização por Fluxos em rede.....	51
5.2.2	O Programa Computacional .....	52
6	ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO PROCEDIMENTO E RESULTADOS.....	54
6.1	Aplicação do Modelo Simplex.....	54
6.1.1	Discretização do Modelo Computacional.....	54
6.1.2	Apresentação dos Resultados.....	62
6.1.3	Análise dos Resultados.....	96
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	98
7.1	Conclusões.....	98
7.2	Recomendações.....	101
	Referências Bibliográficas.....	104
	Bibliografia Consultada.....	109
	Abstract.....	115
	Apêndice A.....	116
	Apêndice B.....	121
	Apêndice C.....	139



## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 - Localização da Área de Estudo.....	08
Figura 2.2 - Unidade Hidrográfica do Rio Piracicaba e Sub-bacias.....	09
Figura 3.1 - Pontos de Monitoramento da CETESB na Bacia do Rio Piracicaba.....	26
Figura 5.1 - Representação Gráfica de um Rede de um Sistema Hídrico.....	46
Figura 6.1 - Localização dos Pontos a serem Otimizados.....	55
Figura 6.2 - Representação do Sistema em Fluxo de Rede.....	57
Figura 6.3 - Desenho Esquemático de um Trecho de Rede.....	56
Figura 6.4 - Benefícios X Vazão na Seção do Rio Piracicaba .....	61
Figura 6.5 - Benefícios X Vazão para Abastecimento da RMSP.....	61
Figura 6.6 - Localização dos Postos Fluviométricos na Bacia do Rio Piracicaba.....	64

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 2.1 - Ocupação Agro-silvo-pastoril por Sub-bacia - Bacia do Rio Piracicaba....	13
Tabela 2.2 - Algumas Lavouras na Bacia do Rio Piracicaba - (ha).....	14
Tabela 2.3 - Reversões para fora da Bacia - 1990 - Bacia do Rio Piracicaba.....	17
Tabela 2.4 - Demanda Urbana e Uso Consuntivo de Água na Bacia do Rio Piracicaba (m <sup>3</sup> /s) - 1990/2010.....	19
Tabela 2.5 - Maiores Consumidores Industriais de Água na Bacia do Rio Piracicaba..	20
Tabela 2.6 - Demanda Industrial e Uso Consuntivo de Água na Bacia do Rio Piracicaba (m <sup>3</sup> /s) - 1990/2010 .....	21
Tabela 2.7 - Demanda de Água para Irrigação e Uso Consuntivo de Água na Bacia do Rio Piracicaba (m <sup>3</sup> /s) - 1990/2010.....	22
Tabela 2.8 - Balanço Hídrico da Bacia do Rio Piracicaba (m <sup>3</sup> /s).....	23
Tabela 3.1 - Índice de Qualidade das Águas na Bacia do Rio Piracicaba - 1994.....	27
Tabela 3.2 - Variação Temporal do IQA na Bacia do Rio Piracicaba - Agosto/93 a Julho/94.....	28

Tabela 3.3 - Situação dos Esgotos Domésticos na Bacia do Rio Piracicaba - 1994.....	31
Tabela 3.4 - Cargas Poluidoras de Origem Doméstica dos Municípios da Bacia do Rio Piracicaba - 1994.....	32
Tabela 3.5 - Cargas Poluidoras das Indústrias do Ramo Sucro-Alcooleiro na Bacia do Rio Piracicaba - 1994.....	33
Tabela 3.6 - Cargas Poluidoras de Origem Orgânica na Bacia do Rio Piracicaba (kg DBO <sub>5</sub> /dia) - 1994.....	34
Tabela 6.1 - Características dos Reservatórios do Sistema em Estudo.....	62
Tabela 6.2 - Principais Características dos Postos Fluviométricos Considerados .....	63
Tabela 6.3 - Resultado do 1º Teste de Optimalidade da Rede.....	65
Tabela 6.4 - Vazões Naturais (m <sup>3</sup> /s) - Seção no Rio Piracicaba.....	66
Tabela 6.5 - Variação das Vazões Médias Anuais, de Estiagem e nos Biênios Escolhidos - Seção no Rio Piracicaba.....	65
Tabela 6.6 - Valores dos Pesos <i>w</i> para os Biênios Escolhidos.....	67
Tabela 6.7 - Variação da Vazão (80% do VU) no Arco 3 da Reversão para RMSP - Biênio 1976/1977.....	68
Tabela 6.8 - Variação da Vazão (80% do VU) no Arco 14 da Seção no Rio Piracicaba - Biênio 1976/1977.....	69
Tabela 6.9 - Variação do Volume (80% do VU) no Arco 15 do Reservatório de Jaguari - Biênio 1976/1977 - VU = 783 hm <sup>3</sup> .....	70

Tabela 6.10 - Variação do Volume (80% do VU) no Arco 16 do Reservatório de Cachoeira - Biênio 1976/1977 - VU = 48 hm <sup>3</sup> .....	71
Tabela 6.11 - Variação do Volume (80% do VU) no Arco 17 do Reservatório de Atibainha - Biênio 1976/1977 - VU = 100 hm <sup>3</sup> .....	72
Tabela 6.12 - Variação do Volume (80% do VU) no Arco 18 do Reservatório de Jaguariuna - Biênio 1976/1977 - VU = 38 hm <sup>3</sup> .....	73
Tabela 6.13 - Variação do Volume (80% do VU) no Arco 19 do Reservatório de Morungaba - Biênio 1976/1977 - VU = 207 hm <sup>3</sup> .....	74
Tabela 6.14 - Variação da Vazão (80% do VU) no Arco 3 da Reversão para RMSP - Biênio 1971/1972.....	75
Tabela 6.15 - Variação da Vazão (80% do VU) no Arco 14 da Seção no Rio Piracicaba - Biênio 1971/1972 .....	76
Tabela 6.16 - Variação do Volume (80% do VU) no Arco 15 do Reservatório de Jaguarí - Biênio 1971/1972 - VU = 783 hm <sup>3</sup> .....	77
Tabela 6.17 - Variação do Volume (80% do VU) no Arco 16 do Reservatório de Cachoeira - Biênio 1971/1972 - VU = 48 hm <sup>3</sup> .....	78
Tabela 6.18 - Variação do Volume (80% do VU) no Arco 17 do Reservatório de Atibainha - Biênio 1971/1972 - VU = 100 hm <sup>3</sup> .....	79
Tabela 6.19 - Variação do Volume (80% do VU) no Arco 18 do Reservatório de Jaguariuna - Biênio 1971/1972 - VU = 38 hm <sup>3</sup> .....	80
Tabela 6.20 - Variação do Volume (80% do VU) no Arco 19 do Reservatório de Morungaba - Biênio 1971/1972 - VU = 207 hm <sup>3</sup> .....	81
Tabela 6.21 - Variação da Vazão (80% do VU) no Arco 3 do Reversão para RMSP - Biênio 1962/1963.....	82

Tabela 6.22 - Variação da Vazão (80% do VU) no Arco 14 da Seção no Rio Piracicaba - Biênio 1962/1963 .....	83
Tabela 6.23 - Variação do Volume (80% do VU) no Arco 15 do Reservatório de Jaguari - Biênio 1962/1963 - VU = 783 hm <sup>3</sup> .....	84
Tabela 6.24 - Variação do Volume (80% do VU) no Arco 16 do Reservatório de Cachoeira - Biênio 1962/1963 - VU = 48 hm <sup>3</sup> .....	85
Tabela 6.25 - Variação do Volume (80% do VU) no Arco 17 do Reservatório de Atibainha - Biênio 1962/1963 - VU = 100 hm <sup>3</sup> .....	86
Tabela 6.26 - Variação do Volume (80% do VU) no Arco 18 do Reservatório de Jaguaruna - Biênio 1962/1963 - VU = 38 hm <sup>3</sup> .....	87
Tabela 6.27 - Variação do Volume (80% do VU) no Arco 19 do Reservatório de Morungaba - Biênio 1962/1963 - VU = 207 hm <sup>3</sup> .....	88
Tabela 6.28 - Variação da Vazão (100% do VU) no Arco 3 da Reversão para RMSP - Biênio 1954/1955 .....	89
Tabela 6.29 - Variação da Vazão (100% do VU) no Arco 14 da Seção no Rio Piracicaba - Biênio 1954/1955 .....	90
Tabela 6.30 - Variação do Volume (100% do VU) no Arco 15 do Reservatório de Jaguarí - Biênio 1954/1955 - VU = 783 hm <sup>3</sup> .....	91
Tabela 6.31 - Variação do Volume (100% do VU) no Arco 16 do Reservatório de Cachoeira - Biênio 1954/1955 - VU = 48 hm <sup>3</sup> .....	92
Tabela 6.32 - Variação do Volume (100% do VU) no Arco 17 do Reservatório de Atibainha - Biênio 1954/1955 - VU = 100 hm <sup>3</sup> .....	93
Tabela 6.33 - Variação do Volume (100% do VU) no Arco 18 do Reservatório de Jaguaruna - Biênio 1954/1955 - VU = 38 hm <sup>3</sup> .....	94

Tabela 6.34- Variação do Volume (100% do VU) no Arco 19 do Reservatório de Morungaba - Biênio 1954/1955 - VU = 207 hm<sup>3</sup> .....95

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**RESUMO**

**CONTRIBUIÇÃO AO GERENCIAMENTO DE RECURSOS  
HÍDRICOS DA BACIA DO RIO PIRACICABA**

**ANA ROSA BAGANHA BARP**

Este trabalho trata de um problema de otimização de fluxo em rede aplicado ao sistema hídrico da bacia do rio Piracicaba. Dentre os métodos matemáticos de otimização, selecionou-se aquele que apresenta grande eficiência computacional, visando à possibilidade de auxiliar o gerenciamento e operação de bacias hidrográficas, cuja preocupação central esteja voltada à quantidade e qualidade de água. Optou-se pelos modelos matemáticos computacionais, os quais apresentam-se como ferramentas rápidas e eficientes nos processos de tomada de decisão. O problema foi tratado segundo uma formulação multiobjetivo através do Método dos Pesos, tendo como suporte um algoritmo de otimização de fluxos em rede com função objetivo linear por partes. Verificou-se que o sistema hídrico atende satisfatoriamente aos objetivos proposto, desde que se conheçam as vazões no horizonte de 24 (vinte e quatro) meses - vazões determinísticas, com a devida manipulação dos volumes e diferenciação na evolução dos volumes com o tempo. A visão de conjunto que o modelo proporciona, contrapõe-se aos estudos tradicionais os quais avaliam o benefício das obras hidráulicas de maneira pontual.

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia que, combinada, possa auxiliar o gerenciamento e operação de bacias hidrográficas, cuja preocupação central esteja voltada à qualidade e quantidade de água. Dentre os métodos existentes, optou-se pelos modelos matemáticos computacionais, que apresentam-se como ferramentas rápidas e eficientes nos processos de tomada de decisão. A eficiência da aplicação desses métodos é aqui interpretada pela análise de um estudo de caso, cuja área selecionada é a bacia hidrográfica do rio Piracicaba.

#### 1.2 O CONTEXTO DA APLICAÇÃO DA ABORDAGEM PROPOSTA

A partir do período pós-industrial, os fenômenos sociais, políticos e econômicos foram intensificados (NEGRI, 1988a) e conseqüentemente refletidos sobre os meios físico, social e biológico local. Não seria mais possível, observar esses fenômenos dentro de um sistema<sup>1</sup> isolado, uma vez que eles interagem entre si

---

<sup>1</sup> "Sistema é uma junção de partes interconectadas para ser considerada como um todo, de preferência um aglomerado de elementos, e cujas características essenciais são **feedback** e uma estrutura orientada para realizar um objetivo comum" (ROSSI, 1983).  
"Um dispositivo que aceita uma ou mais entrada (inputs) e gera a partir delas uma ou mais saídas (outputs)" (PORTO, 1983).



causando impactos ambientais significantes e por sua vez gerando sérias mudanças no equilíbrio do ecossistema. No âmbito mundial, algumas providências já vinham sendo tomadas no intuito de minorar estes impactos. Foi então que em meados de 1978, o Comitê de Desenvolvimento e Pesquisa Europeu propôs uma política de orientação para a pesquisa científica e aplicada na Europa, a qual tinha como base desenvolver meios de controle dos impactos ambientais de ordem física, biológica e sócio-econômica decorrentes das mais diversas atividades do mundo moderno, baseada na complexidade do sistema, embora fosse necessário um plano de controle interno (ROSSI,1983).

Através desta proposta, a análise de sistema passa então a ser tarefa importante na solução dos problemas provocados pelas atividades antrópicas, antes tratados de maneira isolada. PORTO (1983) enfatiza, ainda, que *"... melhores recursos de cálculo vem permitindo entretanto que gradativamente os fenômenos que haviam sido separados artificialmente venham a ser considerados em conjunto levando-se em conta as inter-relações existentes entre eles"*.

Hoje, a análise de sistema está sendo aplicada na engenharia de recursos hídricos em disciplinas que visam um objetivo prático, que conduzam a encontrar mecanismos necessários à solução de problemas particulares ou na avaliação de alternativas para os tomadores de decisão, principalmente nos problemas de sistemas complexos: sistemas em grande escala<sup>2</sup>, sistemas multiobjetivos<sup>3</sup> e sistemas naturais como opostos aos sistemas artificiais (ROSSI,1983). Mas a tendência é aplicar a análise de sistemas de forma globalizada - modelo global, ou seja, resolver os

---

*"Um sistema é qualquer estrutura, dispositivo, esquema ou procedimento real ou abstrato que interrelaciona em um certo tempo uma entrada, causa ou estímulo de matéria, energia ou informação com uma saída, efeito ou resposta em forma de energia, matéria ou informação" ( apud PORTO, 1972).*

<sup>2</sup> *"Um sistema de larga escala é um sistema no qual algum parâmetro **N** é presumivelmente "largo". Sendo **N**: Número de um subsistema ( ou componente) do qual ele é composto; número de variáveis que são usadas em sua representação matemática, número de restrições (artificiais) ou outras interpretações" (FASSO, 1983).*

Exemplo: Sistemas de comunicação, sistemas urbanos, sistemas de transporte e sistemas hídricos de larga escala.

<sup>3</sup> *"Análise multiobjetiva é aplicada para estes sistemas complexos onde vários objetivos que podem ser conflitantes e incomensuráveis" (FASSO, 1983).*

Exemplo: Problemas de recursos hídricos no qual eficiência econômica (medida em unidades monetárias) e qualidade ambiental (medida em unidades de concentração de poluentes), estão para serem maximizadas.

problemas, os quais são ao mesmo tempo, científicos, tecnológicos, econômicos, sociais e humanos.

Uma das grandes preocupações para a gestão dos recursos hídricos no próximo século é a quantidade e qualidade das águas naturais, fato este já previsto e debatido recentemente durante a ECO/92 realizada no Brasil. A qualidade é produto da hidrogeoquímica regional, do ciclo hidrológico e do regime de fluxo da água. A disponibilidade de água, que depende das características hidrológicas e dos limites do ciclo definidos pelas bacias hidrográficas, determina e limita a produção agrícola, a geração de energia e a expansão dos núcleos urbanos. O crescimento desordenado da população dos centros urbanos, das atividades agro-industriais e as pressões sobre os recursos hídricos estão intrinsecamente relacionados com a quantidade e aumento nos custos de tratamento, para recuperação da qualidade da água.

Diante deste cenário, são inúmeras as razões que levam algumas instituições regionais a proporem debates para levantar os problemas, que têm e poderão vir a ter, de qualidade e quantidade de água. Tais debates evoluem para a formulação de planos de recursos hídricos, como forma de avaliar as demandas prospectivas e as disponibilidades desses recursos e a sua alocação entre usos múltiplos, de forma a obter os máximos benefícios econômicos e sociais (BARTH,1987), e a forma de equacionar e resolver as questões de escassez através da gestão dos recursos hídricos.

Cinco são as etapas definidas para processo de planejamento feitas por HERMANN (1983): definição dos objetivos, definição das medidas de eficiência, identificação de planos alternativos, hierarquização das alternativas e seleção da alternativa ótima. A partir desta concepção de planejamento, diversas alternativas foram propostas envolvendo iniciativas em nível de bacia hidrográfica, região ou país. Uma revisão detalhada e crítica sobre tais proposições é apresentada em TEIXEIRA (1994). FOWLER (1983) indica alguns métodos de se obter um bom desenvolvimento da operação e gerenciamento dos sistemas de recursos hídricos, como por exemplo: *"...eliminação do desperdício de água; redução no uso da água através de medidas práticas de conservação; reciclagem e reuso e suprimento de água; operação coordenada de sistema de água superficial e subterrânea, treinamento de operador e ajustamento institucional"*. Já STROBEL (1983) afirma que o processo decisório do

planejador de recursos hídricos na "...especificação do volume útil de um reservatório e na política de operação<sup>4</sup> do sistema são feitas sob condições de riscos e incertezas".

Como os sistemas são bastante complexos e possuem objetivos múltiplos em sua operação, é através das técnicas de avaliação de alternativas (otimização e/ou simulação) que poderemos assegurar, no cálculo, uma natureza seqüencial de uma decisão de operação. A evolução da pesquisa em obter respostas que representem o mais próximo a realidade dos sistemas, tornou os modelos mais complexos em virtude da discretização das variáveis que o regem. Porém, foi facilitada pela evolução dos computadores digitais na elaboração de modelos matemáticos de difícil solução.

Visualizando toda a problemática que gira em torno da elaboração simplificada de um modelo matemático de qualidade de água, que traduza, ou melhor, que se aproxime ao máximo do sistema real sem perdas de representação para fins de planejamento e operação de recursos hídricos, é que a técnica descritiva, representada através de simulações estocástica ou determinísticas, e de gerência desenvolvida por meios de otimização, vêm sendo aplicada com êxito na representação de sistemas multiobjetivos para fins de planejamento de bacias hidrográficas.

Neste trabalho, o modelo computacional de otimização utiliza um método de otimização por fluxos em redes, o qual maximiza os benefícios inerentes ao sistema e conseqüentemente reduz os custos operacionais. Sendo aplicado ao gerenciamento da bacia do rio Piracicaba, apresenta a "...vantagem de exigir pequena memória central e um uso de algoritmos de solução especial que são bastante rápidos para permitir o uso de microcomputadores" (apud ANDRADE FILHO, 1990).

No modelo de otimização inserimos na rede duas barragens - Jaguariuna no rio Camanducaia e Morungaba no rio Jaguarí - as quais estão prevista para serem construídas e que fazem parte do Plano Diretor de Captação e Produção de Água para Abastecimento Público nas Bacias dos rios Piracicaba e Capivari (JPE, 1992), como alternativas associadas para os sistemas produtores existentes e planejados das

---

<sup>4</sup> Consiste na especificação da descarga regularizada, ou volume armazenado, em função do tempo.

bacias. Deste modo, verificamos as interferências destas estruturas no sistema estudado.

Adicionalmente, em termos de alternativas para gerenciamento/melhoria de qualidade da água em cursos d'água fluviais, RINALDI et al (1979) apresenta algumas medidas de controle, dentre as quais em nosso estudo, procuramos verificar a inserção de uma delas, como proposta com base nos resultados finais. Em síntese, são:

- a) Tratamento de água residuária, através de métodos físicos<sup>5</sup>, em unidades de operação e métodos químicos e biológicos, em unidades de processamentos<sup>6</sup>;
- b) Controle de temperatura, p.ex., em caso de usina termelétrica a opção seria o resfriamento do efluente aquecido com as alternativas de seu lançamento no meio hídrico ou seu retorno à usina (recirculação);
- c) Aeração artificial, sendo executada através de dois tipos diferentes - aeradores de difusão e aeradores de superfície mecânica, ambos com a finalidade de aumentar o nível de oxigênio do rio;
- d) Melhoria do potencial de auto-depuração do rio, via construção de reservatórios regularizadores;
- e) Redução de descarga sólida, através da modificação do processo de geração ou pela redução de resíduo após geração, e
- f) Taxação sobre a perspectiva estática, onde se tem uma estrutura de controle centralizada - p. ex., Agências de Controle, que são responsáveis pela aplicação e cobranças dos produtores de efluentes (empresas) - e cujos encargos são aplicados no sistema. No ponto de vista dinâmico, a estrutura de decisão é descentralizada e as empresas podem entrar e sair do sistema, sendo que uma das propriedades para se atingir a optimalidade é aplicar os insumos pagos pelos produtores de efluentes na restituição de custos externos mantidos pelos mesmos.

### **1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

---

<sup>5</sup> Unidades de operação: Sedimentação, floculação, filtração, centrifugação e outros.

<sup>6</sup> Unidades de processo químico: precipitação, adsorção, desinfecção, neutralização e outros.  
Unidades de processo biológico: processos anaeróbico, aeróbico e aeróbico-anaeróbico

Este trabalho tem como área de estudo a Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba, na qual propomos a aplicação de um modelo matemático computacional, de otimização de quantidade de água, o qual utiliza a técnica de otimização de fluxos em rede. Visando tal modelagem, procuramos traçar um perfil das características fisiográficas regionais, bem como, a visão em síntese do sistema produtivo setorial e as principais fontes de demanda de água dos usos consuntivos de maior relevância na região.

Em se tratando da qualidade da água da bacia, em alguns mananciais os níveis de aceitação para vários usos públicos estão em faixas impróprias, segundo dados de fontes de monitoramento de água fluvial. Identificamos, então, como se apresentam estes níveis de poluição assim como as origens das fontes poluidoras.

Em seguida foi desenvolvido um tópico sobre alguns aspectos históricos que antecederam aos impactos do meio hídrico da bacia. O objetivo deste tópico é explicar as razões que levaram alguns dos problemas mais emergentes regionais a fazerem parte das questões de qualidade e quantidade de água tratadas neste trabalho.

No item sobre metodologia desenvolvida, foi feita, inicialmente, uma abordagem sobre novas tendências da pesquisa na escolha dos modelos, para melhor representar os problemas particulares e assim encontrar a melhor solução para o fim a que se destinam. Na seqüência, são descritos alguns modelos matemáticos existentes na literatura e aquele que faz parte do trabalho assim como as respectivas rotinas computacionais.

Dando seguimento apresentamos as conclusões e recomendações, e ao final a bibliografia pesquisada para a composição deste trabalho.

## 2 PERFIL REGIONAL

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área estudada - **Figura 2.1 - Localização da Área de Estudo** - está inserida na 1ª Zona da divisão hidrográfica do Estado de São Paulo<sup>1</sup>, proposta pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) para fins de planejamento e gerenciamento integrado dos recursos hídricos.

Esta divisão compreende 21 (vinte e uma) unidades de gerenciamento, dentre as quais encontra-se a unidade industrializada<sup>2</sup> do Piracicaba - **Figura 2.2 Unidade Hidrográfica do Rio Piracicaba** - que abrange a bacia do rio Piracicaba constituída de 4 sub-bacias: sub-bacia do rio Jaguari, sub-bacia do rio Atibaia, sub-bacia do rio Piracicaba e sub-bacia do rio Corumbataí, composta por 45 municípios paulistas e 4 mineiros. Esta é a área onde aplicamos o modelo matemático computacional selecionado.

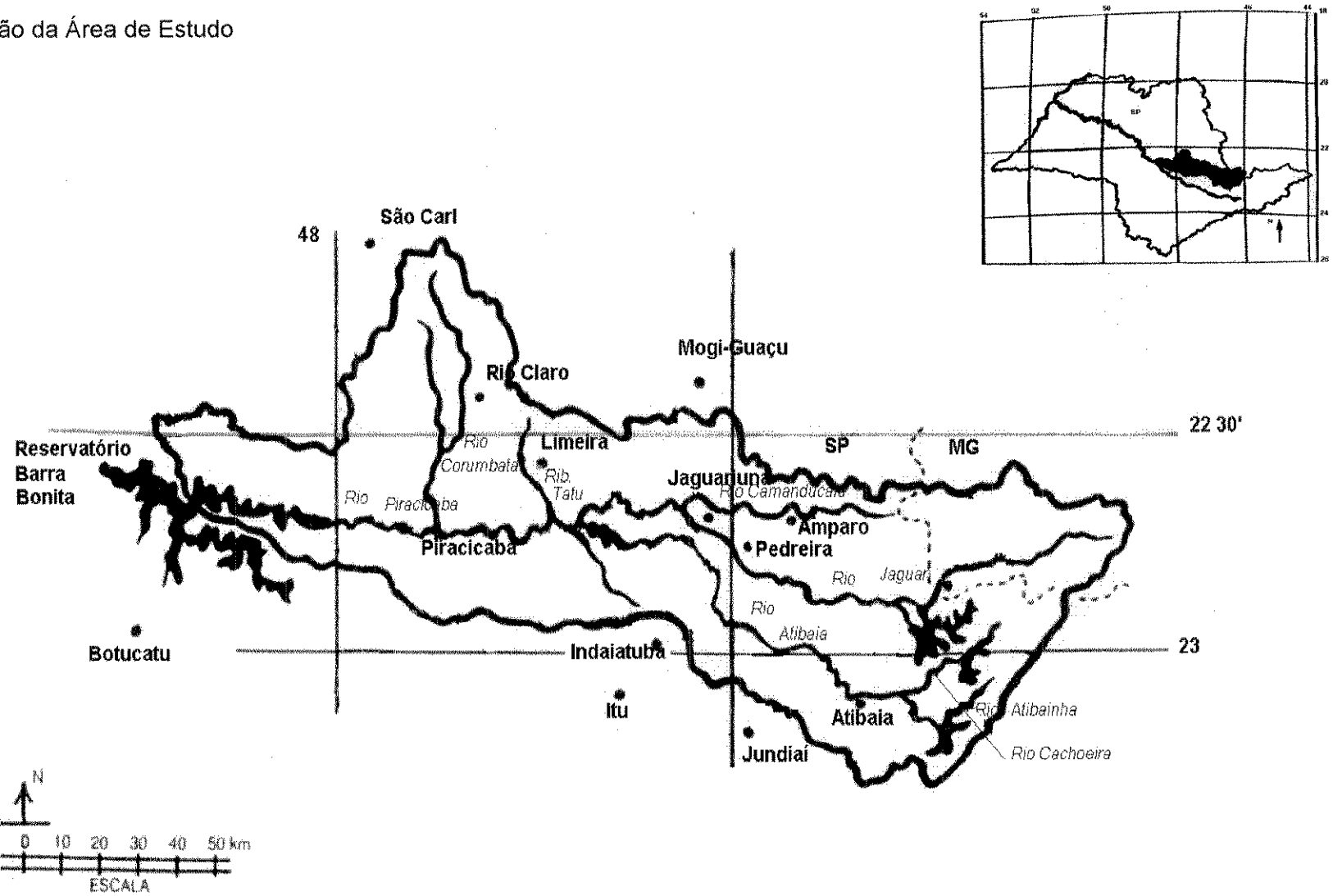
---

<sup>1</sup> Primeira zona hidrográfica, abrange a parte superior do rio Tietê, com 592 km de extensão e 32.005 km<sup>2</sup> de área de drenagem: bacia do Tietê Alto - Cabeceiras; bacia do Tietê Alto -Zona Metropolitana; bacia de Billings, bacia de Cotia, bacia de Guarapiranga, bacia do Tietê Médio-Superior; bacia do Capivarí; bacia do Jundiá e bacia do Piracicaba e bacia do Sorocaba (CETESB, 1992).

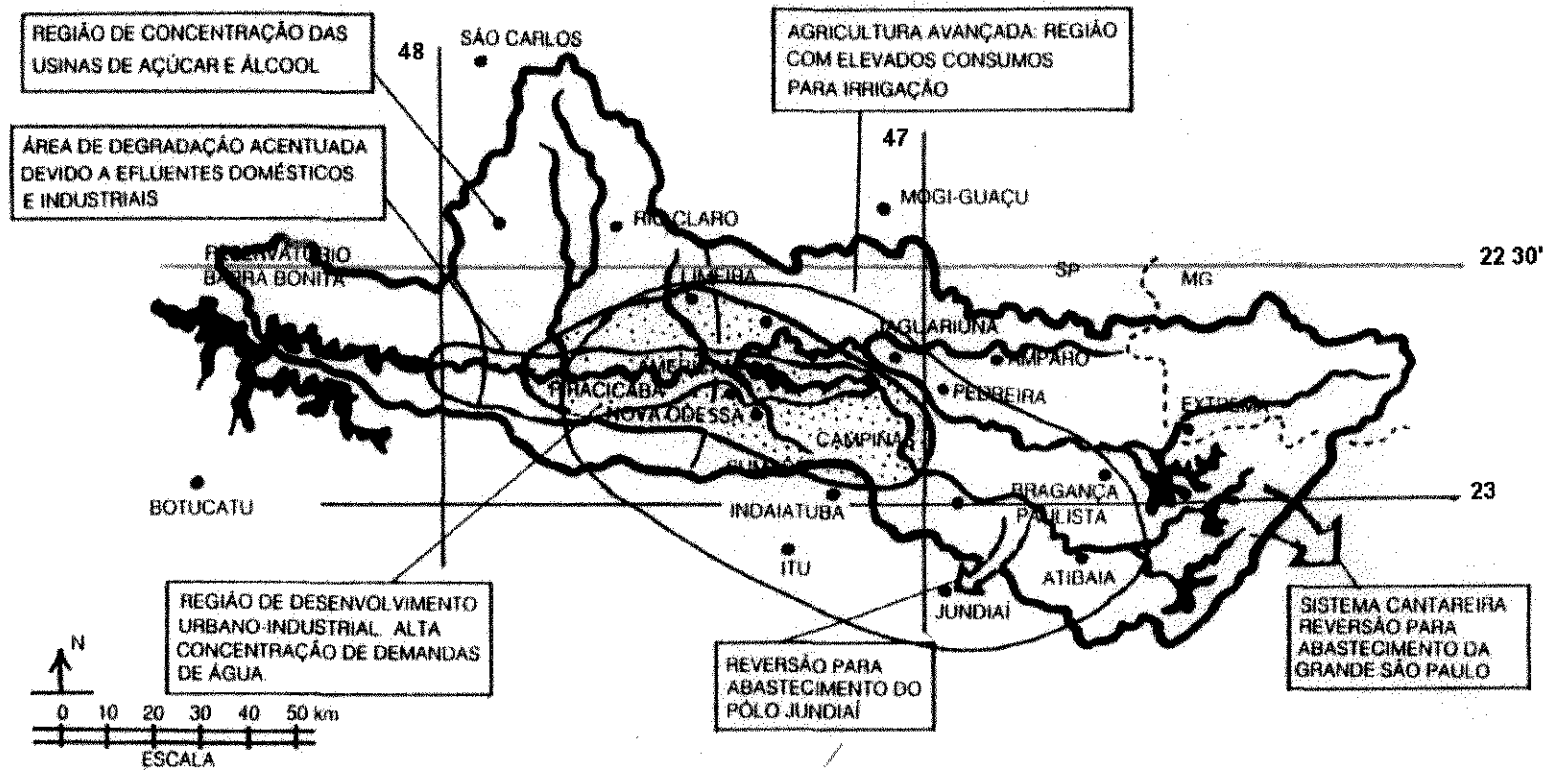
<sup>2</sup> Em se tratando das bacias do leste, a divisão hidrográfica do Estado de São de São Paulo prevê dois grupos, em função de suas características de desenvolvimento, a saber: bacias industrializadas: Piracicaba, Alto Tietê, Baixada Santista, Tietê/Sorocaba e Paraíba do Sul; e bacias em industrialização: Tietê/Jacaré, Sapucaí/Grande, Alto Pardo/Mogi e Pardo/Grande (CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 1990).

FIGURA 2.1

Localização da Área de Estudo



**FIGURA 2.2**  
Unidade Hidrográfica do Rio Piracicaba



Fonte: DAEE, 1988



### 2.1.1 ALGUNS ASPECTOS DAS CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS

A bacia hidrográfica do rio Piracicaba possui uma área de 12.400km<sup>2</sup>, sendo 11.020km<sup>2</sup> no Estado de São Paulo, com forma alongada no sentido leste-oeste, com comprimento e largura média aproximadamente igual a 250km e 50km, respectivamente (CERH,1990)

Esta Bacia está subdividida em quatro sub-bacias: Corumbataí com 1.700km<sup>2</sup>, Jaguari com 4.290km<sup>2</sup>, Atibaia com 2.760km<sup>2</sup> e Piracicaba com 3.650km<sup>2</sup>. Suas cabeceiras estão localizadas na serra da Mantiqueira em cota superior a 1700 metros, e a foz no reservatório de Barra Bonita no rio Tietê, onde a cota no nível superior da barragem está a 456 metros.

A bacia encontra-se em uma zona de influência dos climas subtropical e tropical com temperaturas médias inferior de 18°C e superior 22°C (GALLO,1995).

A média anual de precipitação registrada na bacia do rio Piracicaba corresponde a 1.500mm nas cabeceiras dos rios Atibaia e Jaguari, o que equivale a uma vazão de 553m<sup>3</sup>/s (produto da precipitação pela área de drenagem) e média natural de 165m<sup>3</sup>/s (registrada em posto fluviométrico), onde 30% da precipitação transforma-se em escoamento superficial. Possui vazão mínima mensal de 50m<sup>3</sup>/s e vazão para 95% de permanência do tempo igual a 62m<sup>3</sup>/s (CERH,1990).

A distribuição anual do regime de chuva na bacia é tropical, apresentando uma estação seca no período dos meses de abril a setembro e outra úmida que corresponde ao período de outubro a março.

Na bacia do rio Piracicaba, predominam 4 sistemas de aquíferos: Cristalino, Tubarão, o Passa Dois e o Botucatu/Pirambóia. O sistema de aquífero Cristalino ocorre na faixa oriental ocupando uma área de 43% da bacia e o Tubarão, também denominado de Itararé, na faixa central correspondendo a 17% da área da bacia; o Botucatu/Pirambóia localizado um pouco mais a oeste da região, com as respectivas vazões por poço variando de 5 a 20m<sup>3</sup>/h; 7 a 20m<sup>3</sup>/h e 60 a 100m<sup>3</sup>/h. O sistema Passa Dois está em uma faixa entre os aquíferos Tubarão e Botucatu/Pirambóia,

apresentando características hidráulicas pobres e variáveis - vazão de 1 a 20m<sup>3</sup>/h (GALLO,1995). Em função da baixa produção das vazões dos aquíferos, é que eles estão mais destinados ao abastecimento de pequenas comunidades isoladas e atividades que requeiram pequenas vazões.

Esta unidade hidrográfica possui uma concentração urbana relevante, aproximadamente 85% da distribuição da população, em relação as bacias não industrializadas. No ano de 1990, possuía uma densidade demográfica de 260 hab/Km<sup>2</sup> contra 135 hab/Km<sup>2</sup> no Estado de São Paulo e 3.080 hab/Km<sup>2</sup> na Grande São Paulo (CERH,1990). Estudos feito pela Companhia Energética de São Paulo (CESP), projetam para o ano 2010 uma densidade demográfica em torno de 235 hab/km<sup>2</sup> para o Estado de São Paulo, referente a uma população de 58 milhões e taxa de urbanização de 97% e para a bacia uma densidade na faixa de 664 a 937 hab/km<sup>2</sup>. É importante ressaltar que estas projeções nem sempre são as mesmas, variando com a Entidade, mas assume-se como dados oficiais os divulgados pela Fundação IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e Fundação SEADE (Sistema Estadual de Análise de Dados).

Das 25 (vinte e cinco) barragens/reservatórios existentes e planejadas na bacia do rio Piracicaba, 13 são usinas hidroelétricas em operação, correspondendo a um potencial gerador de 204.651kw, dos quais 6,8% correspondem ao potencial instalado no rio Atibaia (Usina Hidrelétrica - UHE de Americana, Salto Grande e Usina Atibaia) e 6,7% no rio Piracicaba (UHEs de Sta Maria da Serra, Luiz de Queiroz e Boyes). Para fins de regularização, 04 (quatro) barragens estão em fase de inventário pelo Departamento de Água e Energia Elétrica - DAEE e 04 (quatro) em operação pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP as quais formam o Sistema Produtor Cantareira<sup>3</sup>, regularizando 31 m<sup>3</sup>/s - rio Jaguarí com 18,0 m<sup>3</sup>/s, rio Jacareí com 4,0 m<sup>3</sup>/s, rio Cachoeira com 5,0 m<sup>3</sup>/s e rio Atibainha com 4,0 m<sup>3</sup>/s - com destino ao reservatório Paiva Castro no Vale do rio Juquerí, onde este último regulariza mais 2,0 m<sup>3</sup>/s o que soma uma capacidade nominal do Sistema igual a 33,0 m<sup>3</sup>/s (JPE,1992).

---

<sup>3</sup> Este Sistema tem a finalidade de reverter 32 m<sup>3</sup>/s de água para o abastecimento de toda a zona norte e central e parte leste, oeste e sudeste da Grande São Paulo, atendendo a 56,4% da população e foi projetado para manter em Piracicaba a vazão mínima de 40 m<sup>3</sup>/s (Folha de São Paulo, 29/09/94).

A região possui uma malha rodoviária com intenso tráfego devido ao fluxo de cargas e passageiros, que se deslocam não só entre os municípios próximos mas também à outras regiões do país. Dentre as rodovias estaduais que se destacam estão as Rodovias Anhanguera (SP-330), Bandeirantes (SP-384), Dom Pedro I (SP-065), Washington Luiz (SP-310) e do Açúcar (SP-308), e a federal Fernão Dias (BR-381). Quanto aos transportes ferroviário e aéreo, sobressaem o setor de carga (álcool e derivados de petróleo) através das linhas férreas da Ferrovia Paulista S.A. (FEPASA) e um aeroporto internacional para cargas e passageiros - Viracopos, em Campinas.

A navegação fluvial, hoje favorecida pelas políticas e incentivos dos governos estadual e regional, visando ao Mercosul, desempenhará um papel importante na economia da região através do escoamento da produção local, interligando-a a Hidrovia Tietê-Paraná, embora hoje, apenas o trecho entre a cidade de Santa Maria da Serra e a barragem de Barra Bonita, cerca de 20km, esteja em condições de navegabilidade na bacia do Piracicaba.

## **2.2 SETORES PRODUTIVOS**

### **2.2.1 SETOR PRIMÁRIO**

Ao final da década de 50, com a implantação do setor industrial produtor de bens de produção e insumos básicos para a agricultura, a constituição de um sistema de crédito nacional e a criação dos órgãos de pesquisa e extensão rural - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMBRATER), respectivamente, o país passa a dar uma nova configuração ao setor, ou seja, sua modernização através de um novo padrão tecnológico e fusão ou integração de capitais intersetoriais - integração técnica indústria-agricultura.

Outros fatores, dentre eles os de ordem física, referentes a condições adequadas do relevo para o manejo do solo através de práticas mecanizadas de plantio, favoreceram a consolidação da agricultura na região. Em consequência, proporcionou-se em algumas atividades agrícolas a aplicação de insumos e fertilizantes e o uso consuntivo intensivo da água na agroindústria.

Dentre as categorias agrícolas<sup>4</sup> da bacia do rio Piracicaba, a lavoura apresenta-se de maneira diversificada. Porém, na sub-categoria temporária, as que mais se destacam são a cana-de-açúcar com 60% e milho com 8%, enquanto que na sub-categoria de culturas permanentes os citros somam 14% e o café com 5% (SMA,1994).

**TABELA 2.1**

Ocupação Agro-silvo-pastoril por Sub-bacia - Bacia do Rio Piracicaba

Sub-bacia	Lavoura			Pastagem			Cobertura florestal			Total
	Temporária	Permanente	Total	Natural	Cultivada	Total	Natural	Reflor.	Total	
Piracicaba:ha	182.285	23.795	206.080	60.824	93.446	154.270	24.131	24.891	49.022	409.372
:%	44	6	50	15	23	38	6	6	12	99
Jaguari :ha	46.618	33.860	80.477	46.799	36.515	83.312	8.723	8.723	20.080	183.869
:%	25	19	44	25	20	45	5	5	11	101
Atibaia :ha	14.950	11.876	26.825	70.748	32.970	103.718	21.789	21.789	37.566	168.108
:%	9	7	16	42	20	62	13	13	22	100
Total :ha	243.853	69.530	313.383	178.371	162.970	341.299	54.643	54.643	106.667	761.349

Fonte: Diagnóstico SMA/CPLA/DBH (IEA 89/90). In: SMA,1994.

Nota: A área total da bacia é composta pela soma dos campos totais de lavoura, pastagem, e cobertura florestal.

Particularmente, a região da sub-bacia do Piracicaba concentra 54% dos 761.350ha de área cultivada na bacia, o que equivale a 75% de área de drenagem da sub-bacia ocupada com atividades agro-silvo-pastoris. As pastagens naturais correspondem a 15% dos 154.270ha da área total de pastagem, contra 6% da cobertura vegetal natural da sub-bacia (SMA, 1994).

<sup>4</sup> Categorias Agrícolas: Lavoura - temporária e permanente, Pastagem - natural e cultivada e Cobertura Florestal - natural e reflorestamento.

**TABELA 2.2**

Algumas Lavouras na Bacia do Rio Piracicaba - (ha)

Sub-bacia	Cana	Citros	Milho	Café	Fruticultura
Piracicaba	163.576	19.903	8.096	2.787	1.106
Jaguari	21.331	22.474	9.089	9.806	1.579
Atibaia	1.647	1.360	7.530	2.582	7.935
<b>Total</b>	<b>186.553</b>	<b>43.737</b>	<b>24.714</b>	<b>15.176</b>	<b>10.620</b>

Fonte: Diagnóstico SMA/CPLA (IEA 89/90). In: SMA, 1994.

Na pecuária a bacia não se destaca tanto quanto as regiões de São José do Rio Preto, Presidente Prudente, Araçatuba e Ribeirão Preto, as quais detêm os maior rebanho bovino do Estado. Embora o crescimento do rebanho bovino nesta região tenha apresentado taxa pequena em relação as registradas para o Estado de São Paulo, o crescimento nas áreas de pastagem - **TABELA 2.1** - na sub-bacia do rio Jaguari, demonstra uma “...*tendência dessa região em se especializar na atividade pecuária*” (SMA, 1994).

A criação de suínos na bacia já vem apresentando crescimento desde 1970, quando aumentou em 42,12% no período de 1970/1980. Neste mesmo período o efetivo de aves também cresceu em 79,04% e vem se consolidando ao longo desses anos (CARON, 1992).

### 2.2.2 SETOR SECUNDÁRIO

É na segunda metade da década de 50 que se dá o início da industrialização pesada no Brasil, dividida em dois ciclos ascendentes: o primeiro de 1956-62, caracterizado pela concentração da população, da indústria de bens de capital e de consumo durável e dos serviços na região metropolitana; o segundo que vai de 1968-

73, o qual se destacou pelo crescimento e modernização da região interiorana (NEGRI, 1988a).

Em virtude da descentralização e interiorização da indústria, incentivada pelo Governo Federal<sup>5</sup>, é que a Região Administrativa de Campinas cresce ainda mais, correspondendo na década de 70 à 15,4% da produção industrial paulista e o terceiro parque industrial do país, perdendo apenas para o Estado de São Paulo e em seguida para o Estado do Rio de Janeiro (NEGRI, 1992).

No quinquênio 80/85, a bacia do rio Piracicaba concentrou 19,3% da área total das indústrias no interior do Estado. Deste percentual, 67% pertenciam à sub-bacia do Piracicaba - têxtil, agroindústria sucro-alcooleira e agroindústria da laranja, 23% à sub-bacia do Atibaia - micro-eletrônica, informática, química fina e telecomunicações e 10% à sub-bacia do Jaguari - alimentos, bebidas e química. Destacando-se o município de Campinas (sub-bacia do Atibaia) o qual instalou grandes indústrias do setor metal-mecânica, material elétrico e de comunicações, e material de transporte. Já no período de 89/91, em decorrência da crise econômica a concentração das áreas industriais construídas cai para 9,8% (SMA, 1994).

Segundo a avaliação do Plano Estadual de Recursos Hídricos (1990), a região leste do Estado de São Paulo, hoje possui duas áreas de expansão industrial: "*...uma de industrialização concentrada junto aos principais eixos viários nos arredores da área metropolitana, onde se verifica acelerada urbanização decorrente da industrialização das últimas décadas* (CERH, 1990)" e a outra contendo os municípios ao longo dos eixos viários, mas distantes 150Km da Capital, onde o setor ainda é pouco expressivo.

---

<sup>5</sup> Devido a concentração urbana, o Governo incentiva a descentralização industrial rumo ao eixo metrópole-interior, através de grande projetos de refino de petróleo e petroquímicos (em Paulínia e São José dos Campos), implantação do PROÁLCOOL (regiões administrativas de Campinas e Riberão Preto), criação de centros de pesquisas e empresas estatais nas áreas de telecomunicação e microeletrônica na região administrativa de Campinas (NEGRI, 1988 a e b).

### 2.2.3 SETOR TERCIÁRIO

O setor terciário, em decorrência do processo de industrialização no Estado, alterou sua forma de comercialização, de financiamento e conseqüentemente ocorreu a necessidade de dinamizar o sistema viário, a armazenagem, as comunicações, bem como a nova estrutura do serviço público em atendimento as migrações. O setor teve que dar apoio à aceleração da produção que já se deslocava entorno da capital no sentido interior do Estado: Vale do Paraíba e o eixo Campinas até São José do Rio Preto.

Nas décadas de 70 e 80 ocorre o crescimento das cidades médias crescem em função da modernização do campo e da expulsão da população rural, com isto, induzindo as modificações na estrutura do setor em função das novas demandas da industrialização e da urbanização.

Na região em estudo, destacam-se as prestações de serviços públicos e privados e instalações como estabelecimentos comerciais - atacado e varejo - hipermercados, shopping centers, universidades, com o mesmo padrão e estrutura existentes na Capital.

## 2.3 DEMANDA DE RECURSOS HÍDRICOS

A demanda dos recursos hídricos, aqui descrita, está relacionada aos usos consuntivos<sup>6</sup> de maior relevância<sup>7</sup> com respeito à bacia do rio Piracicaba.

---

<sup>6</sup> São aqueles "...que não permitem o retorno total das águas utilizadas para os cursos de água receptores locais..." (CERH, 1990).

<sup>7</sup> Abastecimento Público, abastecimento industrial e irrigação.

O Plano Estadual de Recursos Hídrico - PERH (1990), apresenta o cenário destes volumes, onde no ano de 1990 o total da demanda de água na Bacia era de 32,6 m<sup>3</sup>/s, cabendo 27,8% a demanda urbana, 62,6% à industrial e 9,8% à irrigação. A projeção destas demandas para o ano 2010 elevam em 34,13% para a demanda urbana, 48,48% para a industrial e 17,38% para a irrigação, de uma demanda total de 62,7 m<sup>3</sup>/s.

A demanda de água na bacia não se faz apenas pelos volumes retirados para o consumo dos setores próprios da Bacia, mas esta se soma aos volumes revertidos para outras bacias (**TABELA 2.3**).

### **TABELA 2.3**

Reversões para fora da Bacia - 1990  
Bacia do Rio Piracicaba

Sub-bacia	Cidade-destino	Bacia-destino	Vazão (m3/s)
Jaguari	RMSP	Alto Tietê	31,000
Atibaia	Jundiaí	Jundiaí	0,835
	Campinas	Capivari	0,977
Total			32,812

Fonte: DAEE - Cadastro. In: DMA, 1994.

#### **2.3.1 ABASTECIMENTO PÚBLICO**

Para a Unidade Hidrográfica Industrializada do Piracicaba (UHIP), segundo dados do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), as demandas urbanas são inferiores às disponibilidades de águas nobres<sup>8</sup>. Apenas a região a montante do limite do Sistema Cantareira, os reservatórios de Jaguari, Cachoeira e Atibainha é que os corpos d'águas atualmente estão enquadrados na Classe Especial<sup>9</sup>, segundo a

<sup>8</sup> "São águas ótimas que constituem a produção hídrica das cabeceiras das bacias e devem ser preservadas para abastecimento urbano" (CERH, 1990).

<sup>9</sup> Resolução CONAMA Nº 020/86 - "Art.19 - Nas águas de Classe Especial não serão tolerados lançamentos de águas residuárias, domésticas e industriais, lixo e outros resíduos sólidos."



Resolução CONAMA Nº 020/86. Os demais corpos d'água, na sua grande maioria, pertencem a Classe 2 (DBO até 5 mg/l e OD não inferior a 5 mg/l), as quais são destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; à recreação; à irrigação; à aquicultura e à proteção das comunidades aquáticas (SMA, 1994, CONAMA, 1986). Segundo o estudo do SMA (1994), o ribeirão das Anhumas, ribeirão do Lava Pés, ribeirão do Tatu (a jusante de Limeira) e o córrego da Servidão não estão aptos ao abastecimento público, cabendo a destinação de suas águas "...à navegação, à harmonia paisagística e aos usos menos exigentes - Classe 4" (CONAMA, 1986).

Estudos realizados pela Jaakko Pöyry Engenharia Ltda (JPE, 1992) - Plano Diretor de Captação e Produção de Água para Abastecimento Público nas Bacias dos Rios Capivari e Piracicaba, revelam que as médias de consumo "*per capita*" para os períodos de verão e inverno, de uma faixa populacional não flutuante acima de 500 mil habitantes, correspondem 0,260 m<sup>3</sup>/hab.dia e 0,240 m<sup>3</sup>/hab.dia, respectivamente. E para uma faixa entre 500 e 100 mil habitantes com população flutuante, calcula-se uma média de 0,325 m<sup>3</sup>/hab.dia para o verão e 0,305 m<sup>3</sup>/hab.dia no inverno.

Estes dados "*per capita*" representam os mesmos para o município de Campinas para um contingente populacional de 817.866 habitantes, em uma previsão feita para o ano de 1995, equivalendo a uma demanda de 303.800 m<sup>3</sup>/dia para o verão e 280.400 m<sup>3</sup>/dia para o inverno, considerando um índice de perdas de 30%.

Dos 40 municípios da bacia no Estado de São Paulo, os sistemas existentes produtores e distribuidores de águas, em 10 municípios são operados pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e nos demais, a responsabilidade pela operação é municipal. Segundo dados da Secretaria do Meio Ambiente, em 1990, 94% da população da Bacia era atendida pelo sistema de distribuição de água, destacando-se 12 municípios com atendimento de 100%, 37 municípios atingiam em torno de 80% e apenas 3 encontravam-se um pouco abaixo dos 80% (GALLO, 1995).

---

*substâncias potencialmente tóxicas, defensivos agrícolas, fertilizantes químicos e outros poluentes, mesmo tratados. Caso sejam utilizadas para o abastecimento doméstico deverão ser submetidas a uma inspeção sanitária preliminar" (CONAMA, 1986).*

A **TABELA 2.4** mostra que a maior demanda de água urbana ocorrida em 1990 foi na sub-bacia do rio Atibaia, correspondendo a 51,11% do total da Bacia e projetando esta demanda para o ano 2010, será de 79,02%. Esta sub-bacia destaca-se também no uso consuntivo, em relação as demais, consumindo 2,7 m<sup>3</sup>/s o que representou 75% do total da bacia no ano de 1990 para este tipo de uso. Verificam-se estes dados elevados em função das vazões de reversão (**TABELA 2.3**) e possuir municípios com alta densidade populacional.

#### **TABELA 2.4**

Demanda Urbana e Uso Consuntivo de Água na Bacia do Rio Piracicaba (m<sup>3</sup>/s) - 1990/2010

Sub-bacia	1990		2010 (**)	
	Demanda Urbana	Uso Consuntivo	Demanda Urbana	Uso Consuntivo
Atibaia (*)	4,6	2,7	11,3	7,1
Corumbatai	0,4	0,1	0,7	0,1
Jaguari	0,7	0,1	1,4	0,3
Piracicaba	3,3	0,7	8,0	1,6
<b>Total</b>	<b>9,0</b>	<b>3,6</b>	<b>21,4</b>	<b>9,1</b>

Fonte: CERH, 1990

(\*) Inclui como perdas as reversões para Jundiá, Campo Limpo, Várzea Paulista e Bacia do Capivari (esgoto de Campinas)

(\*\*) Projeções

### **2.3.2 ABASTECIMENTO INDUSTRIAL**

A origem das captações de água para fins industriais na UHIP, estão concentradas, em sua maior parte, nos mananciais superficiais (93%), embora algumas pequenas indústrias consumam a água através da rede pública (5%) e outras de mananciais subterrâneos (2%). As perdas de água perfazem um percentual em torno de 20 a 55% do consumo, segundo dados do PERH (CERH, 1990).

Na UHIP de um total de 19 indústrias potencialmente consumidoras de água, estas captam uma vazão em torno de 10,86 m<sup>3</sup>/s e lançam 7,83 m<sup>3</sup>/s de seus

efluentes. A sub-bacia do rio Piracicaba é a que mais consome por ser responsável pelo assentamento do maior número de indústrias na Bacia (**TABELA 2.6**). A indústria que mais consome é Rhodia Indústria Química, 2,91m<sup>3</sup>/s, ou seja, 26,79% do total da vazão das 19 indústrias (**TABELA 2.5**).

**TABELA 2.5**

Maiores Consumidores Industriais de Água na Bacia do Rio Piracicaba

Num. de Ordem	Indústria	Localização		Vazões (m <sup>3</sup> /s)	
		Município	Sub-bacia	Captação	Despejo
1	Fábrica de Papel Santa Terezinha	Bragança Pta.	Jaguari	0,12	0,05
2	Petrobrás - REPLAN	Paulinia	Jaguari	0,55	0,34
3	Usina de Açúcar Ester S.A.	Cosmópolis	Jaguari	1,08	0,88
4	Ajinomoto Interamericana Ind. e Com.	Limeria	Jaguari	1,16	1,04
5	Papirus Ind. Papel S.A.	Limeira	Jaguari	0,23	0,20
6	Antartica Paulista	Jaguariuna	Jaguari	0,11	-
7	Rhodia Indústria Química	Paulinia	Atibaia	2,91	1,78
8	Shell Química S.A.	Paulinia	Atibaia	0,17	0,17
9	J. Bresseler S.A. Indústria de Papel	Paulinia	Atibaia	0,17	0,14
10	Usina Costa Pinto S.A. - Açúcar e Alcool	Piracicaba	Corumbataí	0,47	0,19
11	S.A. Indústria Química Butilamil	Piracicaba	Corumbataí	0,21	0,18
12	Ripasa S.A. Celulose e Papel	Limeira	Piracicaba	1,00	0,88
13	Fibra S.A.	Americana	Piracicaba	0,32	0,31
14	Limeira S.A. Ind. Papel e Cartolina I/II	Limeira	Piracicaba	0,19	0,21
15	Usina Sta. Bárbara S.A. - Açúcar e Alc.	Sta. Bárbara	Piracicaba	0,45	0,18
16	Usina S. José S.A. - Açúcar e Alcool	Rio das Pedras	Piracicaba	0,25	0,20
17	Cia. Ind. e Agrí. Ometto/Usina Iracema	Iracemópolis	Piracicaba	0,29	-
18	Indústria de Papel Piracicaba	Piracicaba	Piracicaba	0,21	0,19
19	Usina Modelo S.A	Piracicaba	Piracicaba	0,97	0,89
Total				10,86	7,83

Fonte: JPE, 1992

As indústrias se concentram na porção mais urbanizada da UHIP, enquanto que nas cabeceiras da sub-bacia do rio Atibaia há uma baixa concentração industrial decorrente de que esta região encontra-se em área de proteção de mananciais, devido ao Sistema Produtor Cantareira.

**TABELA 2.6**

Demanda Industrial e Uso Consuntivo de Água na Bacia do Rio Piracicaba (m<sup>3</sup>/s) - 1990/2010

Sub-bacia	1990		2010	
	Demanda Industrial	Uso Consuntivo	Demanda Industrial	Uso Consuntivo
Atibaia	4,3	0,8	8,1	1,4
Corunbataí	0,1	0,1	0,3	0,1
Jaguari	1,5	0,2	1,7	0,3
Piracicaba	14,5	1,5	20,3	2,5
<b>Total</b>	<b>10,4</b>	<b>1,6</b>	<b>30,4</b>	<b>4,3</b>

Fonte: CERH, 1990

### 2.3.3 IRRIGAÇÃO

A dificuldade para calcular a demanda máxima de água para irrigação na UHIP decorre da inexistência de não se ter um cadastro atualizado de irrigantes nesta área, portanto, em alguns casos, as vazões são estimadas mediante dados do IBGE e estudos do DAEE (1987). Em outros casos, obtém-se estes dados através de projeções das áreas ocupadas pelos cultivos irrigados, demanda unitária<sup>10</sup> - (vazão/unidade de água) e em função dos semestres seco e úmido (JPE, 1992).

O retorno da água utilizada na irrigação ao manancial de captação, segundo técnicos do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), é inexpressível, ou seja, considera-se 100% de perdas consuntivas sobre a vazão de referência da sub-bacia.

Considerando uma área irrigada de 16.093 hectares, a UHIP apresentou uma demanda máxima em 1990 da ordem de 4.519 l/s, devendo atingir a marca de 7.354 l/s no ano 2000, para uma área irrigada de 25.562 hectares.

<sup>10</sup> Para maiores detalhes ler (JPE, 1992).

**TABELA 2.7**

Damanda de Água para Irrigação e Uso Consuntivo de Água na Bacia do Rio Piracicaba (m<sup>3</sup>/s) - 1990/2010

Sub - bacia	1990		2010	
	Demanda Irrigação	Uso Consuntivo	Demanda Irrigação	Uso Consuntivo
Atibaia	0,2	0,8	0,7	2,6
Corumbataí	0,9	0,2	3,2	0,7
Jaguari	1,1	1,1	4,4	4,4
Piracicaba	1	0,9	2,6	3,2
<b>Total</b>	<b>3,2</b>	<b>3,2</b>	<b>10,9</b>	<b>10,9</b>

Fonte: CERH, 1990

É importante ressaltar que os dados de demanda, nos diversos trabalhos consultados, tratam apenas da demanda de irrigação da lavoura e não adicionam uma faixa de consumo na agricultura que é a pecuária. Em CARON (1992) e mais recentemente em SMA (1994), nesta atividade foram levantadas não só as demandas nas áreas de culturas irrigadas, como também o uso consuntivo, embora a divisão das sub-bacias da bacia do rio Piracicaba tenha sido elaborada de forma diferente da aplicada neste trabalho<sup>11</sup>.

### 3.3.4 BALANÇO HÍDRICO

Os estudos realizados por diversos órgão de pesquisa prevêem para a UHIP déficits elevados de água em decorrência das perdas provenientes dos usos consuntivos existentes, bem como da reversão de água do Sistemas Produtor Cantareira. No ano de 1990, as perdas consuntivas foram de 9,4 m<sup>3</sup>/s e a demanda de 33 m<sup>3</sup>/s na bacia, para uma disponibilidade hídrica calculada, considerando-se vazão

<sup>11</sup> Das 4 sub-bacias que compõem a bacia do rio Piracicaba, os dados relativos foram computados levando-se em conta o somatório de um conjunto de municípios inteiros. A Bacia foi dividida em 12 compartimentos e esses limites foram estabelecidos por técnicos da SMA/SP (CARON, 1992).

mínima de referência<sup>12</sup>, em torno de 40,0 m<sup>3</sup>/s nas estiagens mais severas. Para uma projeção do ano 2010, estes dados irão corresponder a 24,3 m<sup>3</sup>/s de perdas consuntivas, mantendo-se a mesma disponibilidade hídrica, a vazão de consumo subirá para 63 m<sup>3</sup>/s. Conclui-se, que o fornecimento de água da Bacia do rio Piracicaba, não só para os fins consuntivos como para os demais, entrará em colapso no período crítico das vazões, caso não sejam tomadas providências emergentes no sentido de disciplinar o uso dos recursos hídricos nos próximos anos (TABELA 2.8).

**TABELA 2.8**

Balanco Hídrico da Bacia do Rio Piracicaba (m<sup>3</sup>/s)

Ano	Vazões Necessárias		Disponibilidade Hídrica Mínima		
	Demanda	Consumo <sup>(3)</sup>	Naturais Q 7,10	Q 95%	Observada <sup>(1)</sup>
1990	33	9	40 <sup>(2)</sup>	62	25 a 48
2000 (*)	48	16			
2010 (*)	63	24			

Fonte: CERH, 1990.

Q<sub>7,10</sub> - Vazão mínima de 7 dias consecutivos com período de recorrência de 10 anos.

Q<sub>95%</sub> - Vazão com garantia de 95% no tempo.

(1) - Médias diárias observadas nas estiagens de 1985 e 1986 junto à cidade de Piracicaba

(2) - Vazão que o Sistema Cantareira (SABESP) procura assegurar no rio Piracicaba na cidade de Piracicaba.

(3) - Vazões correspondentes aos usos consuntivos.

(\*) - Projeções.

<sup>12</sup> Vazão mínima de referência ou vazão crítica, neste estudo, é a vazão mínima anual de sete dias consecutivos e dez anos de período de retorno - Q<sub>7,10</sub>.

## CAPÍTULO 3

### QUALIDADE DAS ÁGUAS E FONTES DE POLUIÇÃO

A qualidade dos corpos d'água segue uma classificação, segundo as legislações federal e estadual<sup>1</sup>, a partir de um monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológico de qualidade de água, em locais estabelecidos por órgãos competentes à questão ambiental, os quais são enquadrados nas classes correlatas. A qualidade dos corpos d'água da Bacia está relacionada com a capacidade de autodepuração - decorrentes de fatores naturais como velocidade das águas, vazão, profundidade, quantidade de oxigênio dissolvido e cascadeamento - e da intervenção humana (SMA, 1994).

Na Bacia, a qualidade das águas vem sendo avaliada pela CETESB deste 1974, através de um programa de monitoramento, com freqüência bimestral, daqueles indicadores de qualidade das águas.

Existem grandes dificuldades no trabalho de modelagem de qualidade de água da Bacia, em virtude da qualidade dos dados que "alimentam" os programas computacionais, os quais apresentam deficiências quanto a freqüência e distribuição

---

<sup>1</sup> Das legislações pertinentes a qualidade de água destacamos as seguintes:

1. Federal - Portaria MINTER no. GM 0013, de 15/01/76, que regulamenta a classificação dos corpos d'água superficiais, com respectivos padrões de qualidade, e os padrões de emissão para efluentes, e a Resolução nº 20/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, que estabelece nova classificação para as águas doces, bem como inclui as águas salobras e salinas do Território Nacional.
2. Estadual - Decreto no. 8468, de 08/09/76, define a classificação das águas interiores situadas no território do Estado de São Paulo e são fixados os padrões de qualidade de água e de emissão de efluentes líquidos, e o Decreto no. 10.755, de 22/11/77, que estabelece o enquadramento dos corpos d'água.

espacial (rede de monitoramento) dos parâmetros analisados nos pontos amostrais na região de estudo, realizada pelas instituições oficiais.

Na UHIP existem 10 (dez) pontos de monitoramento (**FIGURA 3.1**):

- AT2065 - Rio Atibaia, na captação número 3 de Campinas;
- AT2605 - Rio Atibaia, ponte na rodovia Campinas-Cosmópolis (SP-332);
- CR2500 - Rio Corumbataí, ponte ao lado da usina Tamandupa, em Recreio;
- JA2800 - Rio Jaguari, em Quebra Popa;
- PI2100 - Rio Piracicaba, na captação de Americana;
- PI2135 - Rio Piracicaba, ponte na rodovia Americana-Limeira;
- PI2160 - Rio Piracicaba, margem direita, 1,4 km a montante da foz do ribeirão dos Coqueiros;
- PI2192 - Rio Piracicaba, ponte próxima da Usina Monte Alegre;
- PI2215 - Rio Piracicaba, margem direita, 1,2 km a jusante da foz do ribeirão Piracicamirim, e
- PI2800 - Rio Piracicaba, ponte na localidade de Artemis, no município de Piracicaba.

A partir da análise de 35 (trinta e cinco) parâmetros sanitários, são retirados 9 (nove) para o cálculo do Índice de Qualidade de Água - IQA<sup>2</sup> (**TABELA 3.1**), que são: pH, OD, DBO<sub>5</sub>, coliformes fecais, resíduo total, temperatura, turbidez, nitrogênio total (amônia, nitrato, nitrito e nitrogênio orgânico) e fósforo total, que "... são relevantes para avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a utilização dessas para abastecimento público" (CETESB, 1992). Também é calculado o Índice de Toxicidade - IT<sup>3</sup>, que é constituído de 9 (nove) parâmetros - bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo total, níquel, mercúrio, zinco e fenol - o qual determina as condições tóxicas da água, que não são levadas em conta no IQA.

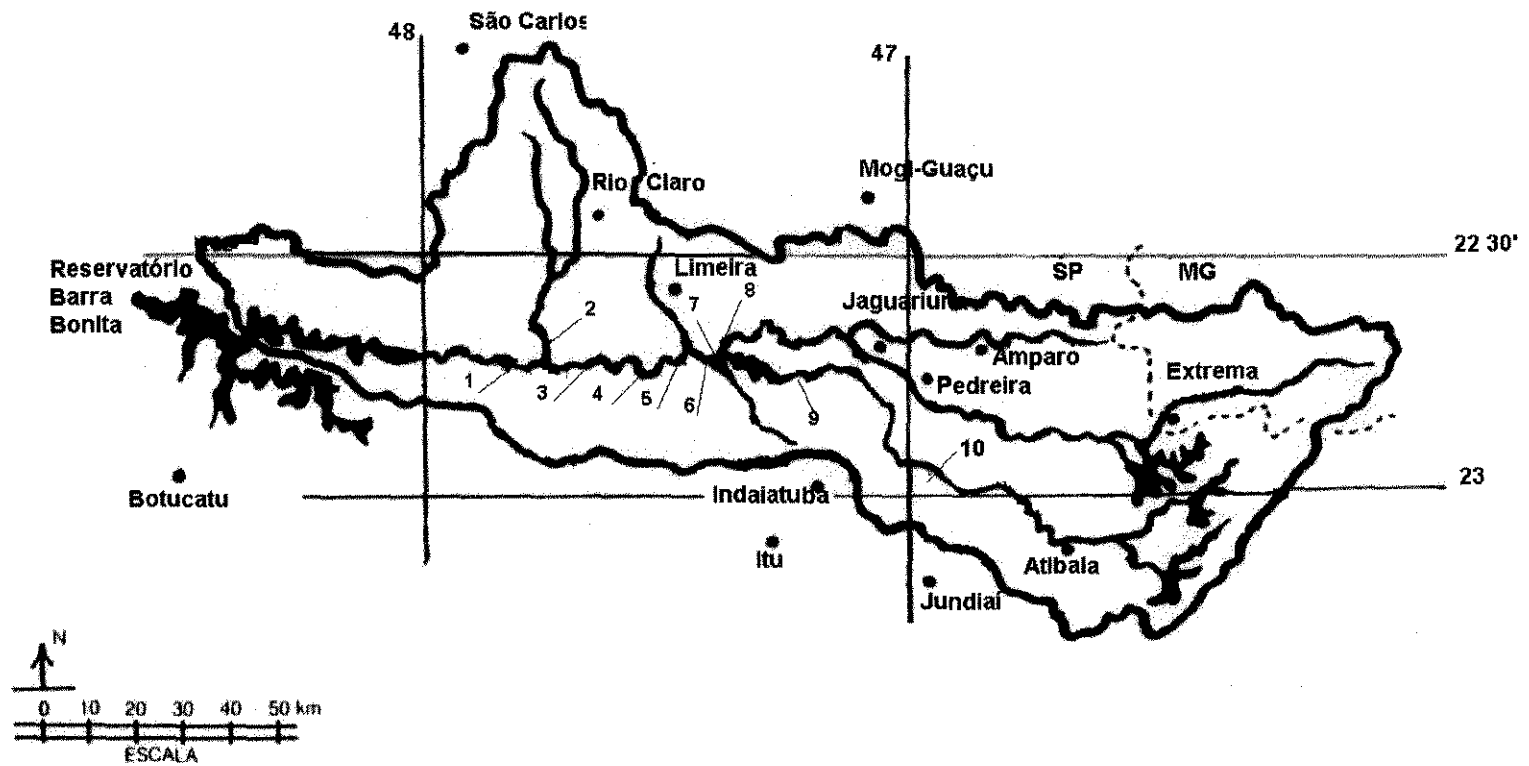
---

<sup>2</sup> Maiores informações ler (CETESB, 1992).

<sup>3</sup> Maiores informações ler (CETESB, 1992).



**FIGURA 3.1**  
Pontos de Monitoramento da CETESB na Bacia do Rio Piracicaba



**TABELA 3.1**

Índice de Qualidade das Águas na Bacia do Rio Piracicaba - 1994

Ponto de Amostragem	IQA Janeiro	IQA Março	IQA Maio	IQA Julho
JA2800	B	B	B	B
AT2065	A	A	B	A
AT2605	R	A	A	A
PI2100	B	B	B	B
PI2135	A	R	A	A
PI2160	R	A	A	R
PI2192	R	A	A	R
PI2215	A	A	A	A
PI2800	A	A	A	B
CR2500	A	A	B	B

Fonte: CETESB/Setor de Águas Interiores, 1994

Escala: 0 - 19 - Péssima (P)  
 20 - 36 - Ruim (R)  
 37 - 51 - Aceitável (A)  
 52 - 79 - Boa (B)  
 80 - 100 - Ótima (O)

Na variação temporal do IQA na Bacia, no período agosto/93 a julho/94 (TABELA 3.2), o ponto crítico manteve-se, desde a avaliação de Jan/92 a Nov/92, a montante da foz do ribeirão dos Coqueiros, onde 67% do período sua classificação foi Ruim (R). A qualidade da água manteve este índice devido o local encontrar-se a jusante da foz dos ribeirões Quilombo, Tatu e Toledo, os quais afluem esgotos brutos industriais e urbanos, em grande quantidade. O local cuja classificação em 100% do período obteve classificação Boa (B) foi JA2800, no rio Jaguari em Quebra Popa (GALLO, 1995; CETESB, 1994).

O perfil sanitário da Bacia atende, em parte, aos padrões da Resolução CONAMA nº 20/86, menos para os níveis de fosfato total<sup>4</sup> e coliformes fecais<sup>5</sup>, os quais apresentam elevadas concentrações, considerando a classificação dos cursos d'água principais em Classe 2.

<sup>4</sup> Teor máximo de fosfato total: 0,025 mg/l P (CONAMA, 1986).

<sup>5</sup> "Coliformes: para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecido o Art. 26 desta Resolução. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes fecais por 100 ml em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês..." (CONAMA, 1986).

TABELA 3.2

Varição Temporal do IQA na Bacia do Rio Piracicaba  
Agosto/93 a Julho/94

Ponto de Amostragem	Classificação				
	Otima	Boa	Aceitável	Ruim	Péssima
	%	%	%	%	%
JA2800	-	100	-	-	-
AT2065	-	17	83	-	-
AT2605	-	-	67	33	-
PI2100	-	83	17	-	-
PI2135	-	-	67	67	-
PI2160	-	-	33	50	-
PI2192	-	-	50	17	-
PI2215	-	-	83	-	-
PI2800	-	33	67	-	-
CR2500	-	50	50	-	-

Fonte: CETESB, 1994

Quanto aos teores de Oxigênio Dissolvido (OD) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>)<sup>6</sup>, em 67% das amostras analisadas pela CETESB (1994) no rio Piracicaba, os níveis de OD estavam abaixo da legislação e os de DBO<sub>5</sub> superiores em 14% das amostras. No rio Atibaia o quadro não foi muito diferente, as análises feitas no município de Paulínia, os teores de DBO<sub>5</sub> foram superiores a 5,0 mg/l em 50% das amostras e os de fenol superiores aos níveis da Resolução em 100% das amostras. Já nos postos de coleta dos rios Jaguari, Corumbataí e Piracicaba (captação de Americana) os resultados das amostras apresentaram níveis de OD e DBO<sub>5</sub> compatíveis com os limites da Classe 2.

Ocorre que este cenário dos níveis de qualidade de água, não condiz com o enquadramento atual destes recursos hídricos, segundo o Decreto Estadual nº 10.755/77, ou seja, pela classificação (Classe 2) existe uma diferença entre valores de DBO e OD estabelecidos no enquadramento e aqueles verificados pelo monitoramento dos corpos d'água.

É necessário rever este quadro de enquadramento, pois este deve estar *"...baseado não necessariamente no estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade, (...) o equilíbrio*

<sup>6</sup> OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/l O<sub>2</sub> e DBO<sub>5</sub> dias a 20°C até 5 mg/l O<sub>2</sub> (CONAMA, 1986).

*ecológico aquático e (...) a saúde e o bem-estar humano*" (CONAMA, 1986). Para fins de planejamento e gestão do sistema hídrico, a relação qualidade-uso da água, não deve estar em desacordo, para que não hajam distorções nas deliberações de uso e proteção a que se pretende dar aos mesmos.

O trabalho da SMA (1994), reforça a *"...desconformidade que ocorre entre a real situação da qualidade da água na bacia e o enquadramento legal"*. Por exemplo:

- O rio Jaguari está enquadrado como Classe 2, mas apresenta a jusante da cidade de Bragança Paulista condições para Classe 4, 3 e 2 e a jusante das cidades de Pedreira e Jaguariúna, condições para Classes 3 e 2;
- O rio Piracicaba (Classe 2) em quase toda a sua extensão, deveria estar enquadrado nas Classes 3 e 4;
- Para o rio Atibaia (Classe 2), o cenário é que *"...em seu trecho superior, a montante da cidade de Itatiba, apresenta-se em condições de Classe 1, exceto em um pequeno trecho a jusante da cidade de Atibaia onde apresenta Classe 3 e 2; já no trecho que vai do ribeirão Anhumas até Itatiba, sua qualidade varia de Classe 1 a Classe 3, e a jusante do citado ribeirão passa para Classe 4, bastante inferior à Classe em que está legalmente enquadrado"* (SMA, 1994);
- No rio Camanducaia, no trecho a montante de Amparo as condições são de Classe 1. Apresenta Classe 3 a jusante da cidade após o ponto de lançamento dos efluentes urbanos e industriais e no trecho seguinte até a foz reverte suas águas à condição de Classe 2, e
- O rio Corumbataí (Classe 2), no município de Rio Claro varia de Classe 1 à sua montante, passando para trecho entre a Classe 1 e a Classe 4 a jusante deste município.

Como já descrito em capítulo anterior, a área de estudo possui um concentração urbana e industrial muito grande, daí gerando uma alta carga orgânica potencial de seus efluentes. Mas a poluição dos recursos hídricos não tem somente a suas origens nestas fontes. Ocorre também através de fontes difusas urbano-industrial e agrícola, as quais estão intrinsecamente ligadas ao tipo e ocupação do solo. As práticas de fertirrigação podem gerar cargas difusas, embora estudos comprovem que o índice de redução da carga poluidora seja de 100% (SMA, 1994). GALLO (1995) avalia que nesta técnica, mesmo alcançando alto índice de eficiência, a quantidade do

despejo que não é consumida pela cana, pode chegar aos corpos d'água através da infiltração no solo e alcançar o manancial subterrâneo (com menor teor poluente) ou pela lixiviação do solo. Outras fontes, também contribuem para o aumento do potencial da carga poluidora na Bacia, como as atividades minerárias, a disposição de resíduos sólidos de forma não controlada e as atividades granjeiras.

A quantidade da carga orgânica difusa, em termos globais na Bacia, é da ordem de 13% da carga poluidora urbano-industrial. Seguindo esta relação, nas sub-bacias o maior percentual está na do rio Jaguarí, seguida a do rio Piracicaba. As cargas difusas de origem urbana globais, são menos expressivas que as de atividades rurais<sup>7</sup> na Bacia, na ordem de 5,38% das cargas difusas rurais (SMA, 1994).

Estas fontes, possuem uma constituição muito variável e algumas de difícil quantificação, por exemplo, os esgotos domésticos possuem contaminantes orgânicos biodegradáveis, nutrientes e bactérias. Os esgotos industriais possuem uma composição que vai depender das matérias-primas e processos utilizados. Para os deflúvios superficiais urbanos, os poluentes se depositam no solo e são carreados para os cursos d'água através das enxurradas, enquanto os de origens rurais vão depender das práticas regionais, sazonalidade do plantio, aplicação de defensivos agrícolas e da colheita.

Dos 45 municípios que pertencem à bacia do rio Piracicaba no estado de São Paulo, apenas 14 possuem algum tipo de tratamento de efluente dos esgotos domésticos (**TABELA 3.3**). Correspondem, em média, a uma rede de coleta de esgoto municipal da ordem de 80%, representa uma remoção de 4% da carga poluidora potencial que é de 121.611 kg DBO<sub>5</sub>/dia, ou seja, *“...a maior parte dos esgotos das cidades é lançada “in natura” em corpos d'água da bacia. A carga orgânica de origem doméstica lançada (remanescente) corresponde a 116.958 kg DBO<sub>5</sub> /dia”* (CETESB,1994).

---

<sup>7</sup> Atividades rurais: cultura temporária; cultura permanente; agro-silvo-pastoril e pastos.

**TABELA 3.3**

Situação dos Esgotos Domésticos na Bacia do Rio Piracicaba - 1994

Operação	Número de Municípios	População (habitantes)		Carga Poluidora (kg DBO <sub>5</sub> /dia)	
		Urbana	Servida (*)	Potencial	Remanescente
SABESP	14	236.173	35.519	12.753	11.500
SAAE/P.M.	31	2.015.885	96.598	108.858	105.450
<b>Total</b>	<b>45</b>	<b>2.252.028</b>	<b>132.117</b>	<b>121.611</b>	<b>116.950</b>

Fonte: Levantamento de dados CETESB/Regional de Campinas/1994. In: CETESB, 1994.

(\*) A população servida, para fins de cálculo da carga remanescente, foi considerada apenas aquela provida de sistema de tratamento de esgoto.

SABESP - Companhia de Saneamento Básico de São Paulo.

SAAE - Serviços Autônomos de Água e Esgoto.

P.M. - Prefeitura Municipal.

O município de Campinas, é o que mais contribui em carga poluidora de origem doméstica na Bacia. Possui uma carga potencial de 26.693 kg DBO<sub>5</sub>/dia e apenas 1% desta carga é tratada em estações depuradoras primárias, sendo o restante lançado em corpos d'água receptores (**TABELA 3.4**).

Quanto aos esgotos industriais, os originados das atividades sucro-alcooleiras, concentram-se na área de drenagem da calha principal da bacia do rio Piracicaba. Os efluentes líquidos desta atividade industrial<sup>8</sup> possuem alta carga orgânica poluidora, mas vêm sendo usados na prática da fertirrigação<sup>9</sup>. As 14 (quatorze) indústrias cujos efluentes possuem as maiores cargas orgânicas potenciais, num total de 995.494 kg DBO<sub>5</sub>/dia, estão listadas na **TABELA 3.5**. O percentual de redução da carga remanescente, a CETESB (1994) considera 100% para toda a Bacia, não levando em conta que, parte desta carga chega aos corpos d'água por percolação do lençol subterrâneo ou lixiviação do solo.

<sup>8</sup> Efluentes líquidos gerados na atividade sucro-alcooleira: água de lavagem de cana, águas condensadas, águas de colunas barométricas e restilo (vinho e vinhaça).

<sup>9</sup> Sistema de fertirrigação consiste, basicamente, na disposição sobre o solo dos efluentes produzidos pelas usinas, sobretudo o vinhoto (SMA, 1994).

TABELA 3.4

Cargas Poluidoras de Origem Doméstica dos Municípios da Bacia do Rio Piracicaba - 1994

Município	Carga Poluidora (kg DBO5/dia)		Tipo de Tratamento	Corpo Receptor
	Potencial	Remanescente		
Campinas (1)	26.693	26.426	Est. dep. primária	(4)
Piracicaba	14.307	13.364	Lg. estabilização + Fossa e Filtro	R. Piracicaba, R. Piraci- camirim e R. Corumbataí
Limeira	9.590	8.976	Lg. Estabilização	Ribeirão Tatu
Americana	8.294	8.294	-	Rib. Quilombo
Sta. Bárbara D'Oeste	7.626	7.626	-	Rib. dos Toledos
Sumaré	7.548	7.548	-	Rib. Quilombo
Rio Claro	7.129	6.926	Lg. Est. + Fos. e Fil.	R. Corumbataí e Claro
Hortolândia (3)	4.596	4.596	-	Jacuba
Bragança Pfla.	4.559	4.559	-	Rib. Lavapés
Atibaia	4.032	4.032	-	Rio Atibaia
Itatiba (2)	2.918	2.918	-	R. Jacarezinho e Atib.
Valinhos	3.234	2.312	Lagoa Aerada	Rib. Pinheiros
Amparo	2.227	2.227	-	Rio Camanducaia
Vinhedo	1.780	1.780	-	Rib. Pinheirinho
Paulínia (2)	1.773	1.773	-	Rio Atibaia
Cosmópolis	1.738	1.738	-	Cor. Três Barras
Nova Odessa	1.728	1.728	-	Rib. Quilombo
Pedreira	1.437	1.437	-	Rio Jaguarí
Piracaia (2)	1.031	1.031	-	Rio Cachoeira
Jaguariuna	931	931	-	Rio Jaguarí
Rio das Pedras	899	899	-	Rib. Tijuco Preto
São Pedro	839	839	-	Rib. Samambaia
S. Antônio de Posse	603	603	-	R. Camanducaia-Mirim/ Rib. Pirapitingui
Iracemópolis	581	581	-	Rib. Cachoeirinha
Cordeirópolis	545	545	-	Rib. Tatu
Santa Gertrudes	5232	523	-	Cór. Barreiro/ Rib. Claro
B. Jesus dos Perdões	484	484	-	Rio Atibaia
Artur Nogueira	505	263	Lg. Estabilização	Cór. São Bento
Joanópolis (2)	386	242	Lg. Aerada	Rio Jacaré
Vargem (2)	229	229	-	Rib. da Limeira
Charqueada (2)	469	226	Lg. Estabilização	Cór. Tijuco Preto/Char- queada, Rib. Fragadoli
S. Maria da Serra	187	187	-	Rib. Bonito
Tuiuti (2)	187	187	-	Rib. do Pântano
M. Alegre do Sul (3)	148	148	-	R. Camanducaia e Rib. Monte Alegre
Holambra	142	142	-	Rib. Cachoeira e Cór. da Borda da Mata
Saltinho	260	130	Lg. Estabilização	Rib. Piracicamirim
Águas de S. Pedro (2)	92	92	-	Rib. Araquá
Analândia	86	86	-	Rio Corumbataí
Morungaba (2)	337	71	Lg. Estabilização	Rio dos Mansos
Corumbataí	68	68	-	Rio Corumbataí
Jarinu (2)	296	48	Lg. Estabilização	Rib. Jarinu
Pedra Bela (2)	48	48	-	Cór. Pedra Bela
Pinhalzinho	205	43	Lg. Estabilização	Rio do Pinha
Nazaré Paulista (2)	225	35	Lg. Estabilização	Rio Atibaia
Ipeúna	96	17	Lg. Estabilização	Cór. das Lavadeiras
Total	121.611	116.958		

Fonte: Levantamento de dados CETESB/Regional Campinas/1994. In: CETESB, 1994.

(1) Carga parcial: contribuição dos municípios para a Bacia

(2) Serviços operados pela SABESP

(3) Municípios não servidos por rede coletora pública

(4) Rib. Samambaia/Anhumas (45%) e Quilombo (15%)

**TABELA 3.5**

Cargas Poluidoras das Indústrias do Ramo Sucro-Alcooleiro na Bacia do Rio Piracicaba (kg DBO<sub>5</sub>/dia) - 1994

Fonte de Poluição	Município	Carga Poluidora Potencial
Cia. Ind. e Agr. Ometto U. Itacema	Itacemápolis	273.152
Us. Costa Pinto Açúcar e Álcool S.A	Piracicaba	238.312
Us. Sta. Bárbara Açúcar e Álcool S.A	Sta. Bárbara D'Oeste	112.000
Us. Sta. Helena S.A. Açúcar e Álcool	Rio das Pedras	64.610
Us. Açucareira Ester S.A.	Cosmópolis	91.922
Us. Bom Retiro S.A. Açúcar e Álcool	Capivari	71.102
Us. Furlan S.A. Açúcar e Álcool	Sta. Bárbara D'Oeste	46.388
Us. S. José S.A. Açúcar e Álcool	Rio das Pedras	34.746
Us. Sto. Antônio S.A. Açúcar e Álcool	Piracicaba	5.928
Us. Maluf S.A. Açúcar e Álcool	Sto. Antônio de Posse	3.579
Engenho São Pedro (Engenho)	São Pedro	9.000
Cia. Agrícola Faz. Sta. Adélia (Engenho)	Limeira	2.055
Engenho Capuava	Piracicaba	1.800
Engenho Schiavuzzo	Piracicaba	900
<b>Total</b>		<b>955.494</b>

Fonte: Relatório CETESB - Controle da Poluição Ambiental na Bacia do Rio Piracicaba - Dezembro/1993 e avaliações realizadas em 1994. In: CETESB (1994).

No setor industrial não-alcooleiro, os ramos que mais poluem os corpos d'água são as indústrias de alimentos, têxtil, químico, de papel e celulose e tinturaria. O setor possui uma carga poluidora potencial de 156,8 t DBO<sub>5</sub>/dia com 74% de redução de carga, um valor bem inferior se compararmos a carga potencial urbana que é de 121,6 t DBO<sub>5</sub>/dia com 3,8% de redução. A sub-bacia do rio Piracicaba é a que mais contribui em carga lançada nos corpos d'água, 98,7 t DBO<sub>5</sub>/dia (**TABELA 3.6**).

O baixo índice redução de carga poluidora - a legislação estadual prevê mínimo de 80% - ainda persiste pelo fato de que *"...muitas indústrias possuem sistemas inadequados ou insuficientes de controle de poluição"* (SMA, 1994).



**TABELA 3.6**

Cargas Poluidoras de Origem Orgânica na Bacia do Rio Piracicaba - 1994

Sub-bacia	Carga Poluidora (t DBO <sub>5</sub> /dia)					
	Tipo de Fonte					
	Município		Indústria - C/L		Indústria - S/L (*)	
	Potencial	Remanescente	Potencial	Remanescente	Potencial	Remanescente
Atibaia	35,8	34,2	29,7	6,0	-	-
Jaguari	13,7	12,9	28,3	3,0	95,5	zero
Piracicaba e Corumbataí	72,1	69,9	98,7	30,3	856,7	zero
<b>Total</b>	<b>121,6</b>	<b>156,7</b>	<b>156,7</b>	<b>39,3</b>	<b>952,2</b>	<b>zero</b>

Fonte: CETESB, 1994.

C/L = com lançamento

S/L = sem lançamento

(\*) Indústrias que representam o setor sucro-alcooleiro.

## **CAPÍTULO 4**

### **A PROBLEMÁTICA REGIONAL DOS RECURSOS HÍDRICOS**

#### **4.1 ALGUNS ASPECTOS HISTÓRICOS ANTECEDENTES AOS PROBLEMAS AMBIENTAIS**

Para se entender a evolução das diversas transformações que levaram, a região sudeste do Estado de São Paulo, a solidificar-se com uma complexa infraestrutura e conseqüentemente destaque em alguns setores econômicos, a partir da década de 30, fazem-se necessárias algumas informações históricas. Mas, todo este desenvolvimento, quando não planejado em seu espaço ambiental, particularmente os recursos hídricos, gera uma série de prejuízos à qualidade de vida, tópicos estes que serão, abordados a seguir.

A primeira revolução industrial provocou grandes mudanças no cenário econômico-social mundial. No Brasil, a partir da década de 30, o Estado passou a intervir na economia, diante de diversas mudanças internas e de outras de conseqüência externa.

Nos anos de 1930-45 foram criados pelo Estado, órgãos com finalidades de estudar, planejar, coordenar, proteger, disciplinar, reorientar e incentivar as atividades produtivas em geral; leis e decretos promulgados; incentivos à realização de debates, em nível oficial e oficioso, sobre problemas econômicos, financeiros, administrativos, educacionais, tecnológicos e outros, a exemplo da criação de institutos com a "... finalidade de suscitar e incentivar a sistematização de informações e debates, a análise de problemas, a tomada de decisões e a própria execução de medidas de

*política econômica*" (IANNI,1986). Para o setor da agricultura foi criado o Departamento Nacional do Café (1933), Instituto do Açúcar e do Alcool (1930), Instituto Nacional do Mate (1938), e para o setor industrial a Usina Siderúrgica de Volta Redonda (1943), portos, a Central do Brasil, dentre outros.

Já na década de 50 o setor industrial (indústria de base) passa a ser fortemente estimulado, enquanto no período de 65 a 75 os investimentos estão voltados ao setor agro-industrial, embora antes de 30 predominasse o setor agro-exportador. A partir de 75, grandes projetos de geração de energia foram executados dando um maior impulso à agricultura, como por exemplo, o Programa Proálcool e as fábricas de fertilizantes, daí incorporando ainda mais o uso destes produtos, como também, de defensivos nas culturas agrícolas.

A industrialização, no pensamento daquele momento, era a diretriz para o desenvolvimento econômico do país. Para o setor primário, o Estado ampliou a infra-estrutura, como a abertura de estradas e criação de uma estrutura de armazenagem, dando condições para o avanço às fronteiras agrícolas. Mas algumas regiões, como o sul do país, já se encontravam tecnicamente esgotadas, o que promoveu a busca de outras áreas mais férteis e menos ocupadas.

A transferência dos investimentos do setor de agro-exportação para o setor urbano-industrial, provocou o avanço da urbanização e das migrações rurais-urbanas (intensificada a partir de 1964), pois as indústrias absorviam a mão-de-obra não qualificada mais barata dos migrantes rurais, como também eram aproveitados em outras atividades não especializadas, sobretudo a construção civil.

A partir dos anos 60, o Estado passou a estimular a agroindústria, tanto no setor urbano como no setor rural, com a criação de fábricas de fertilizantes e defensivos agrícolas; fábricas de tratores, ceifadeiras e equipamentos agrícolas; produção de sementes, incorporação de mão-de-obra especializada; estímulo ao uso de insumos modernos e de instrumentos de trabalho representativos da agricultura intensiva em capital.

Foi a partir da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, realizada em Estocolmo em 1972, que o mundo despertou para a gravidade dos

problemas ambientais decorrentes do uso desordenado da natureza, face as diversas atividades antrópicas. Portanto, diante do quadro de próspero desenvolvimento e com amplo planejamento econômico, o país passou a conviver com grandes problemas ambientais do mundo moderno, dentre eles a instalação de indústrias poluentes vindas da Europa, pressionadas pelos movimentos ambientalistas locais.

No que diz respeito ao uso ordenado do sistema ambiental com as mais variadas atividades agrícolas, industriais, de mineração implantadas e as conseqüentes modificações sociais, havia a necessidade de estabelecer uma Política Nacional de Meio Ambiente<sup>1</sup> com objetivo de *"...preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana..."* (SANTOS,1991).

No cenário dos recursos hídricos, na região leste do Estado de São Paulo, a partir de grupos organizados em defesa da recomposição ambiental da Bacia do rio Piracicaba, foi lançada uma ampla campanha em outubro 1985, da qual gerou o documento Ano 2000 - Carta de Reivindicação ao Governo Orestes Quércia (RODRIGUES,1988). Este documento foi somente entregue em audiência dois anos depois, o qual resultou na promulgação do Decreto nº 27.576 em 11 de novembro de 1987, criando um Sistema de Recursos Hídricos, com finalidade de propor o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SGRHI, a Política Estadual de Recursos Hídricos<sup>2</sup> e elaborar o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH<sup>3</sup>.

No caso do Estado de São Paulo, é de suma importância o disciplinamento do seu espaço físico, biológico e sócio-econômico em decorrência do seu acelerado *"desenvolvimento"*. Em particular, sobre os recursos hídricos superficiais da Bacia do rio Piracicaba, com referência a qualidade e quantidade de água para fins de

---

<sup>1</sup> Lei Nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

<sup>2</sup> A Lei No. 7.663 de 30 de dezembro de 1991 estabeleceu a Política Estadual de Recursos Hídricos, assim como ao Sistema Integrado de Gerenciamento e Recursos Hídricos, criando o Fundo Estadual de Recursos hídricos - FEHIDRO, o qual dá o suporte financeiro à Política Estadual e às ações correspondentes.

<sup>3</sup> O PERH *"...tomará por base os planos de bacias hidrográficas, as normas à proteção do meio ambiente e as diretrizes do planejamento e gerenciamento ambientais"* (CONEJO, 1992).

abastecimento urbano - incluindo as reversões do Sistema Cantareira e para município de Jundiaí - e industrial e irrigação; é onde deteremos, neste trabalho, a análise da problemática regional, oriunda do desenvolvimento das atividades antrópicas sob o sistema hídrico local.

## **5.2 OS PROBLEMAS EMERGENTES**

Um dos grandes problemas ambientais da região da Sub-bacia do rio Atibaia, principalmente na perspectiva futura, é conciliar a demanda dos usos consuntivos em questão com a disponibilidade de recursos hídricos, preservando a qualidade e administrando a quantidade de água para fins de planejamento e operação do sistema hídrico regional, os quais são objetos de avaliação neste trabalho.

Associado a este, observamos as perdas de água decorrente da falta de manutenção do sistema de operação e distribuição de água e do consumo feito sem controle pelo usuário. Em um recente trabalho realizado pela JAAKKO PÖYRY ENGENHARIA LTDA (JPE,1992), foi feita uma análise para caracterizar os sistemas de abastecimento de água nas principais localidades das Bacias do Piracicaba e Capivari. Sob o ponto de vista das perdas de água, a empresa conclui que *"...é imprescindível que o controle das perdas de água seja implantado nos sistemas existentes como parte integrante do controle de operação, dentro da maior brevidade possível..."* (JPE,1992), uma vez que o índice de perdas<sup>4</sup> de água tratada, correspondente aos municípios da área de estudo, varia entre 19% a 37% do volume medido em cada sistema, para 303.657 ligações feitas em 1991. Este valor é questionável, porque a precisão quanto as macro e micro medições é insatisfatória, os recursos de pitometria ineficientes e faltam dados para análise de perdas.

Mas é a irrigação que mais contribui para o elevado percentual de perdas por uso consuntivo. Alguns estudos afirmam que as perdas por usos consuntivo representam apenas 5% da vazão de referência, mas na bacia do rio Piracicaba este

---

<sup>4</sup> Maiores detalhes sobre o cálculo deste índice, ver (JPE,1992).

percentual sobe para 16% da vazão de referência que é de 40 m<sup>3</sup>/s<sup>5</sup>. Estes valores, assim como a vazão de consumo, são calculados por estimativas, o que provoca uma avaliação, quantitativa e qualitativa desta atividade, alterada com relação a realidade.

Para se ter uma visão da extensão destes problemas em um outro horizonte de tempo, há a necessidade de fazer as projeções dos volumes de consumo (uso consuntivo) e demanda de água para os usos urbanos, industrial e irrigação na bacia do rio Atibaia, relativos a população estimada para os anos de 1995, 2000 e 2010). Um dos objetivos é saber, do volume total de consumo dos usos consuntivos, quanto será perdido - reversão do rio Atibaia para abastecimento de Jundiaí e RMS, drenagem de parte dos esgotos de Campinas para a bacia do rio Capivari, uso industrial e irrigação - e quanto volta para a bacia em forma de esgoto.

Com a fixação de vazão mínima para o rio Piracicaba - 40 m<sup>3</sup>/s - ficou estabelecido uma vazão requerida de 31 m<sup>3</sup>/s para a reversão do Sistema Cantareira (SABESP), em condições adequadas de operação e regime dos rios. Mas houve o crescimento significativo dos usos consuntivos na região, principalmente a irrigação e o uso industrial, com isso dificultando a manutenção das vazões, simultaneamente com os consumos. Com os dados acima proposto, poderemos ainda saber, qual o valor da vazão mínima do rio Atibaia, mantendo-se a vazão dos usos consuntivos para a população estimada em cada ano.

Outro problema emergente na região trata-se da remoção de carga orgânica, procedente de esgotos urbanos e industrial. É necessário conhecer valores atualizados de carga poluidora produzida, o percentual de remoção de carga orgânica por estação de tratamento, bem como, o percentual e pontos de lançamento de esgoto bruto no curso d'água, para cada uso consuntivo. Ainda é necessário saber, mesmo com o tratamento destes efluentes (carga urbana sem tratamento e industrial com 95% de tratamento), como se encontrará os cursos d'água ao nível de sua classificação de acordo com a Resolução 20/86 do CONAMA e qual será a carga orgânica remanescente para estas projeções, dado muito importante para o planejamento regional.

---

<sup>5</sup> É a vazão mínima a ser garantida na seção do rio Piracicaba.

Um problema de ordem sócio-econômica, é o congestionamento de atividades em algumas áreas e dispersão em outras. A reorientação do crescimento urbano, industrial e agrícola, teria dentre outras finalidades para os recursos hídricos, a obtenção de valores menores de cargas poluentes, principalmente nas seções consideradas como críticas.

### **4.3 JUSTIFICATIVA PARA A ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO**

A água é um recurso natural essencial à vida, com quantidade constante no planeta e qualidade restaurada permanentemente pelo ciclo hidrológico. Mas com aumento das concentrações populacionais e o desenvolvimento econômico, este recurso passa a sofrer fortes alterações físicas, biológicas e químicas devido aos usos diversificados e a contaminação por despejos.

Em particular, a Bacia e as suas respectivas sub-bacias, as quais nos propomos a aplicar os modelos de otimização de quantidade de água e o de simulação de qualidade de água, passam por um processo de exploração e alteração das suas características vitais. Desde 1977 que movimentos populares alertam as autoridades sobre a degradação da bacia do rio Piracicaba. Mas a cada ano que passa, os problemas se agravam: perdas na reserva de água, perdas nos ecossistemas aquáticos, aumento no custo de tratamento da água, dentre outras.

Em 1987, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH) editou a Deliberação nº 5, que declarou a bacia do rio Piracicaba como crítica quanto aos seus recursos hídricos. Recentemente, o estudo publicado pela SMA (1994), revela o perfil da qualidade da água da Bacia, para vários cenários prognosticados, nos quais é evidente a necessidade de medidas mitigadoras para conter a degradação deste recursos hídrico.

Portanto, procurando equacionar os problemas mais emergentes, que são a qualidade e a quantidade de água, aplicou-se um modelo matemático computacional,

que ao ser usado na perspectiva do planejamento e operação da Bacia, posteriormente, dinamizará as ações na gestão deste recursos hídricos.



## CAPÍTULO 5

# O MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE QUALIDADE DE ÁGUA

### 5.1 DESCRIÇÃO ANALÍTICA DOS MODELOS DE OTIMIZAÇÃO

Os modelos matemáticos de qualidade de água possuem uma classificação, não rígida, a qual os separam em dois grupos distintos: um de simulação descritiva que *"...servem como proposta inicial do conhecimento científico (...) resolvidos via simulação estocástica ou determinística..."* e o outro de otimização para gerenciamento *"...planejado para a prática de suporte de decisão"* (SOMLYÓDY e PINTÉR, 1987).

Os modelos de otimização (gerenciamento) necessitam, inicialmente, de algumas definições que o conduzirão a um bom desempenho. É necessário, então, estabelecer as variáveis de decisão, restrições impostas<sup>1</sup>, objetivos e quantificação de todos os problemas relevantes característicos<sup>2</sup>, para se obter resultados ótimos do modelo resultante, pois a ausência de certas características e dados insuficientes, implica na ocorrência de modelos imperfeitos que irão comprometer toda uma análise do processo ambiental.

---

<sup>1</sup> A formulação das restrições de qualidade de água, deve estar fundamentada em um perfeito entendimento dos processos físicos, químicos e biológicos do corpo d'água estudado.

<sup>2</sup> Muitos são os modelos que não consideram em sua formulação questões referentes aos aspectos tecnológicos e principalmente econômicos, social, políticos e legal da região em estudo; muitas vezes gerando objetivos conflitantes entre si e de difícil quantificação.

A solução do modelo poderá ser estudada via parametrização do modelo sistemático (análise de sensibilidade determinística) ou simulação Monte-Carlo<sup>3</sup>.

Neste caso, os objetivos são diversos na formulação do modelo - problemas multi-objetivos, e são característicos de estudos de gerenciamento ambiental, dada a dinâmica dos sistemas e suas interrelações. Salientamos que, pelas razões acima mencionadas, não existe uma formulação multi-objetiva que possa ser considerada a que melhor represente a realidade de um sistema, considerando todos os seus aspectos. O que os modelos tentam, é encontrar uma solução eficiente, ou seja, decisões não dominadas.

Uma das formulações apresentadas por SOMLYÓDY e PINTÉR (1987), para soluções de problemas multiobjetivos que geram resultados factíveis, são para os casos de objetivos proporcionais onde se considera pesos para os objetivos propostos, parâmetro este de julgamento parcialmente subjetivo e que depende da importância relativa dos objetivos individuais.

Para estudar o compromisso entre a maximização do abastecimento de água da RMSP, considerando os níveis razoáveis de qualidade de água do Sistema Cantareira, BARBOSA e BRAGA Jr(1994) aplicaram um algoritmo multiobjetivo - Modelo Simplex, usando o método dos pesos e análise de fluxo em rede para resolver a função objetivo linear.

Seguindo a linha de modelos aplicados ao gerenciamento de recursos hídricos, o MODSIM, modelo de simulação de bacia fluvial, basicamente se constitui na *"...otimização estática de cada intervalo de tempo usando o algoritmo **out-of-kilter**<sup>4</sup> para encontrar o custo mínimo da distribuição do fluxo em rede de uma bacia fluvial"* (LABADIE, BODE e PINEDA,1986). Outra versão aplicada por LABADIE (1986) na cidade e Fort Collins, Colorado, é o MODSIM3, o qual avalia o *"...suprimento de água em estrutura complexas que incluem escoamento direto, armazenagem e possibilidade de troca de água com outros usuários diretos da bacia"*, podendo também ser usado

<sup>3</sup> Para maiores explicações ver (CHAPRA, BYARS e BRANDÃO,1994).

<sup>4</sup> *"... é usado para determinar de forma integral os benefícios da água de uma bacia complexa em incrementos de tempos mensais sobre um período de vários anos"* (SHAFER, LABADIE e JONES,1981).

em planejamento de recursos hídricos para avaliar o impacto de vários projetos propostos de uso múltiplo de água.

O MODSIM apresenta outra versão, a qual analisa os benefícios de uma empresa de abastecimento de água para o projeto Rawhide (Colorado, USA), considerando ao mesmo tempo restrições institucionais complexas e físicas (SHAFER, 1981). Outra aplicação do modelo de fluxo em rede em bacia fluvial, foi apresentada por AZEVEDO (1994) desta vez associado a um modelo de simulação de qualidade de água, onde a integração destes produz resultados tanto de qualidade como de quantidade de água de forma simultânea.

Estes tipos de modelos de otimização são capazes de gerar planos operacionais que satisfaçam metas, prioridades e restrições especificadas. Em cada passo de tempo, encontram uma disposição sistemática de alocação de fluxo mínimo ou máximo através da rede, usando critérios os quais podem ser estruturados sobre bases econômicas ou prioridades de água potável. Foi através desta linha que se selecionou o programa Simplex, atendendo aos objetivos proposto e se adequando à rede fluvial representada, no estudo de caso, pela bacia do rio Piracicaba.

## **5.2 O MODELO COMPUTACIONAL SIMPLEX**

### **5.2.1 A MODELAGEM MATEMÁTICA**

#### **5.2.1.1 O MODELO DE REDE LINEAR**

A análise de fluxo em rede derivou da teoria dos grafos, a qual se constitui em um conjunto de confluências ou nós que por sua vez estão interligados à elementos chamados de arcos, e limitada com um número finito destas entidades.

Os tipos de problemas associados à teoria de fluxos em rede são Problemas do Caminho Mínimo, Problemas de Fluxo Máximo e Problemas de Transporte (BARBOSA e BRAGA Jr, 1993). No primeiro problema a solução está vinculada ao objetivo de se encontrar o menor caminho a percorrer entre o nó inicial e o final. No segundo, a solução é obter o limite máximo de fluxo através de um conjunto de arcos entre os pontos inicial e final, e o terceiro problema é designado para casos em que se estabelece requisitos no percursos para o fluxo entre os nós e ao mesmo tempo atendendo a objetivos formulados.

Os arcos são meios ou dispositivos unidirecionais de transporte de produtos, por exemplo, ruas em sistemas de transportes urbanos; tubulações em rede de distribuição de água, linhas aéreas em sistemas de tráfego aéreo ou atividades no planejamento de atividade.

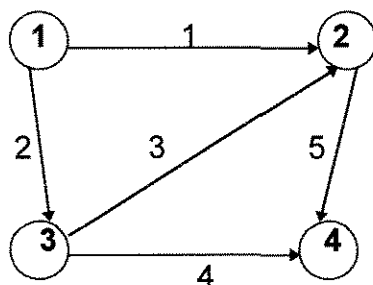
Os nós podem ser interpretados como locações ou terminais conectados pelos arcos e servido por quaisquer meios físicos de transporte, os quais estão associados com os arcos. Exemplificando: os cruzamentos em sistemas de transportes urbanos os quais tem como fluxo o número de veículos por hora; as junções nas redes de distribuição de água para o fluxo de água tratada, os aeroportos nos sistemas de tráfegos aéreos com fluxo de aeronaves e os eventos para aqueles casos onde o problema é de planejamento de algum tipo de atividade tem como fluxo o tempo.

A **FIGURA 5.1** caracteriza um sistema hídrico formado por 5 (cinco) reservatórios, representados pelos círculos (nós) e as linhas (arcos) seriam os cursos d'água de uma bacia fluvial.

Os arcos que compõe a rede possuem 4 características particulares que são formadas pelos seguintes elementos:

- Uma orientação que especifica a ligação do arco a um nó origem e a um nó-destino;
- Um limite superior de fluxo ( $I_{sup}$ );
- Um limite inferior de fluxo ( $I_{inf}$ ), e
- Um custo unitário associado aos fluxos ( $c$ ).

**FIGURA 5.1**  
Representação Gráfica de uma Rede de um Sistema Hídrico



Considerando a rede formada por  $I$  nós e  $J$  arcos, é imposta uma ordenação de tal forma que a colocação destes siga correspondente ordem  $1, \dots, I$  e  $1, \dots, J$ . A estrutura da rede pode ser definida na forma matricial  $[I \times J]$ .

Para tornar mais eficiente o cálculo computacional, a representação do fluxo em rede toma a forma matricial, onde a Matriz de Incidência Nó-Arco "A", tem a seguinte característica:

$$A_{ij} = \begin{cases} +1, & \text{se o arco } j \text{ sai de um certo nó } i \\ -1, & \text{se o arco } j \text{ entra em um certo nó } i \\ 0, & \text{se o arco } j \text{ não está conectado ao nó } i \end{cases}$$

Considerando a **FIGURA 5.1**, a Matriz de Incidência Nó-Arco é:

$$\begin{array}{c}
 \text{Arcos} \\
 \hline
 \begin{array}{ccccc}
 1 & 2 & 3 & 4 & 5
 \end{array} \\
 \hline
 \text{Nós} \\
 \begin{array}{c}
 1 \\
 2 \\
 3 \\
 4
 \end{array}
 \end{array}
 \quad
 A_{ij} =
 \begin{bmatrix}
 1 & 1 & & & \\
 -1 & & -1 & & 1 \\
 & -1 & 1 & 1 & \\
 & & & -1 & -1
 \end{bmatrix}$$

Tal matriz possui as seguintes propriedades:

- A cada nó associa-se uma linha;
- A cada arco da rede associa-se uma coluna, e
- Cada coluna só dois tem elementos diferentes de zero.

Sendo os modelos de fluxo em rede um caso especial de Programação Linear, matematicamente o problema básico de fluxo em rede, do qual podem ser derivadas diversas variantes (BARBOSA e BRAGA Jr, 1993), é denominado de Problema de Fluxo a Custo Mínimo, e pode ser representado da seguinte forma:

$$\begin{array}{l}
 \text{Min } \mathbf{c} \mathbf{x} \\
 \text{s.a} \\
 \mathbf{A} \mathbf{x} = \mathbf{b} \\
 \mathbf{l}_{\text{inf}} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{l}_{\text{sup}}
 \end{array}$$

onde:

- $\mathbf{A}$ , é a matriz de incidência nó-arco;
- s.a., é a abreviação de "sujeito a";
- $\mathbf{c}$ , é o vetor de custos associados aos fluxos ( $i$  componentes);

- $x$ , é o vetor de todos os fluxos (variáveis de decisão), e
- $b$ , é o vetor de recursos ( $j$  componentes).

Os limites superiores e inferiores estabelecidos nos arcos como restrições, são baseados em objetivos operacionais e limites físicos dos reservatórios, ou seja, devem atender ao longo do tempo as exigências de defluência mínima imposta nos múltiplos usos do sistema (navegação, abastecimento, geração de energia) e defluência máxima, para casos de controle de cheias (BARBOSA e BRAGA JR, 1993).

As vantagens da estrutura da rede, incidem sem poder explorá-la no desenvolvimento de algoritmos especializados, que produzam soluções em centésimos de tempo e custo reduzido, com relação à algoritmos mais gerais. Outra vantagem é quando a sua geometria, a qual pode ser facilmente disposta em cenários (desenhos) bidimensionais, de grande simplificação nos problemas de comunicação entre o analista e o cliente, para o qual o modelo é designado (KENNIGTON e HELGASON, 1976).

### 5.2.1.2 A PROGRAMAÇÃO LINEAR

Para se resolver os problemas de otimização, um dos modelos matemáticos de representação simplificada do sistema da Bacia, é o de Programação Linear (PL). Dentre os problemas mais comuns estão (PONNAMBALAM et al, 1989):

- Otimização determinística para períodos múltiplos envolvendo intervalos de estágios finos, p. ex., de uma hora para uma semana;
- Otimização estocástica implícita, usando anos múltiplos para dados de efluentes, e
- Otimização estocástica explícita, usando distribuição de probabilidade de dados de efluentes.

Os sistemas de bacias fluviais são caracterizados por terem um alto grau de estocacidade hidrológica, isto é, a fluviometria é incerta.

Estes problemas são associados por métodos algébricos-computacionais, que ao longo do tempo tem sido aperfeiçoados com certa melhoria entomo, não só da simplificação na sua estrutura, como também na velocidade de execução do problema.

A PL possui uma estrutura bastante simples na representação do modelo:

- A função objetivo (f.o.), expressa um conjunto de objetivos de planejamento em termos de variável de decisão no modelo;
- As variáveis de decisão, por sua vez, representam o “...fluxo de água liberada do reservatório, o fluxo de reversão inter-bacias para outros usos de água, a localização e capacidade dos componentes estruturais do sistema hídrico e a produção regulável dos usos para os quais a água é alocada” (MARKS e COHON,1975);
- O conjunto de restrições, consiste de restrições de continuidade, as quais delineiam o fluxo de água através do sistema hídrico - assegurando a conservação de massa em todos os pontos no rio, para os quais a água é armazenada, revertida ou importada - e restrições sobre cada elemento ou uso do sistema, p. ex., reservatórios, produção de energia elétrica, importação e exportação de água inter-bacias, irrigação , e outros, e
- As soluções factíveis do problema, são aquelas que melhor satisfazem o conjunto de restrições, cabendo dentre estas uma que apresenta o melhor valor para a função objetivo. Esta é a solução ótima para o problema que representa um vetor cujas componentes indicam o nível em que cada atividade do sistema deve ser desenvolvida.

Portanto, um problema de PL é “...um problema de otimização matemática para o qual se procura determinar um vetor de variáveis que satisfaça um sistema de restrições de equações e/ou inequações lineares e que minimize (ou maximize) uma função objetivo linear” (PERIN, 1992).



Em geral, o modelo matemático de otimização (maximização ou minimização) por programação linear é constituído por uma função objetivo linear, onde sua representação é da seguinte forma:

$$\boxed{\text{Max } F(x_1, x_2, \dots, x_n)} \quad \dots (5.1)$$

sujeito às seguintes restrições:

$$\begin{array}{l} \boxed{G_1(x_1, x_2, \dots, x_n) > b_1; < b_1; = b_1} \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ G_m(x_1, x_2, \dots, x_n) > b_m; < b_m; = b_m \end{array} \quad \dots(5.2)$$

onde:

- $b_i \geq 0$ ,  $i=1,2,\dots,m$ , os parâmetros do modelo;
- $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , que é a representação matemática da meta a que se propõe a sociedade naquele empreendimento;
- $x_1, x_2, \dots, x_n$  são as  $n$  variáveis de decisão do problema;
- $m$  funções de restrição linear  $G_i(x_1, x_2, \dots, x_m)$  para  $i = 1,2,\dots,m$ ; que determinam a região factível das variáveis de decisão.

A solução torna-se viável na medida em os valores das variáveis de decisão  $x_1, x_2, \dots, x_n$  satisfaçam a equação (5.2). Se a solução atender também a equação (5.1) ela é chamada de solução ótima.

Neste trabalho, o problema multiobjetivo será encontrar a melhor solução para a maximização de quantidade de água destinada aos usos múltiplos do sistema hídrico da bacia do rio Piracicaba, considerando os níveis de qualidade de água. Logo, o modelo matemático a ser definido para esta formulação será um algoritmo multiobjetivo, o qual usa o método dos pesos e análise de fluxo em rede para resolver uma função objetivo linear.

### 5.2.1.3 O ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO POR FLUXOS EM REDE

O prof. Leonid Kantorovich da USSR em 1939 apresentou um trabalho sobre modelos de otimização aplicado à fluxo de cargas entre diferentes rotas de redes rodoviárias. O objetivo era satisfazer condições e restrições de capacidade sobre as rotas, enquanto minimizava os gastos com o combustível. A partir de 1950 até 1965, as pesquisas se intensificaram na proposição de buscar soluções mais rápidas para os problemas de fluxo em rede linear, com o desenvolvimento de algoritmos (KENNINGTON e HELGASON, 1980).

Dentre os métodos para se obter a solução do programa linear, destacam-se os algoritmos classificados em Método Simplex Primal, o Método Primal-dual e mais recentemente, o Método de Pontos Interiores.

A aplicação do Método Simplex Primal ou Método Simplex, deu início com o trabalho de George Dantzig, em 1947 e culminando com o trabalho de Elliz Johnson. Este método trata-se de um procedimento algébrico que fornece a solução exata a qualquer problema de programação linear, tendo a capacidade de indicar se o problema possui solução ilimitada, se não tem solução ou se possui infinitas soluções. Já o Método Primal-dual foi originado por Harold Kuhn (algoritmo *Hungarian*) e culminado por Delbert Fulkerson (algoritmo *out-of-kilter*) (KENNINGTON e HELGASON, 1980).

O método de resolução de programação linear por pontos interiores, foi desenvolvido em 1984 por Karmarkar. O Método Karmarkar *“...percorre o interior do polítopo factível para encontrar a solução ótima, com a possibilidade de compensar considerável tempo de CPU em problemas de larga escala, onde o número de soluções básicas do Método Simplex tem para percorrer o interior do polítopo, é muito larga”* (PONNAMBALAM, 1989). Este método tem vantagens sobre o Simplex, pelo fato de que para resolver o problema de PL com grande número de variáveis e restrições, ele gasta menos tempo de CPU<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup>O Método Karmarkar *“...será mais rápido que o Método Simplex somente para problemas onde o número de cálculos por iteração de Karmarkar é menor que, em um pequeno espaço de tempo, o número de cálculos por iteração no Método Simplex”* (PONNAMBALAN et al, 1989).

## 5.2.2 O PROGRAMA COMPUTACIONAL SIMPLEX

Para resolver o problema formulado, foram usados dois programas computacionais, o programa Montador de Rede (**APÊNDICE B**) e o otimizador da rede montada - programa Simplex (**APÊNDICE C**), ou seja, o que determina a solução ótima do problema. Ambos são operados em linguagem TURBO PASCAL, versão 7.0 .

O programa Montador de Rede tem como dados de entrada o horizonte mensal de estudo; uma série histórica de vazões médias mensais gravada em um arquivo correspondentes aos 10 (dez) postos fluviométricos; o número de nós; o número de arcos, percentual do volume útil dos reservatórios e o peso  $w$  para o abastecimento da RMSP (arco 3 da rede).

Os dados de saída são gravados em arquivo linha por coluna, com os nós destino; origem, número de arcos acumulados e linearização por parte das curvas Benefício (escala de 0 a 10) X Vazão ( $m^3/s$ ) com os coeficientes angulares e as respectivas vazões .

O programa Simplex tem como área de aplicação a bacia do rio Piracicaba limitada a área de drenagem à jusante, na seção do salto do rio Piracicaba em frente ao município de Piracicaba. Justifica-se porque é uma área que representa a dinâmica do sistema para fins de gerenciamento dos recursos hídricos e por atender aos objetivos na otimização do problema.

Os dados que alimentam o programa Simplex são tomados a partir do próprio programa Montador de Rede, o qual é utilizado como arquivo de entrada (*input*).

O programa seguindo o método Simplex primal, trabalha com uma solução básica primal factível desde o início e a cada iteração procura alcançar uma solução ótima; isto significa que a sua parada ocorre quando a factibilidade dual é atingida.

Os resultados esperados (*output*) são armazenados em arquivos com Vazão ( $hm^3/h$ ) X Arcos e Volume ( $hm^3$ ) X Arcos, para cada instante mensal do biênio de

soluções ótimas, os quais são interpretados com vistas a sua aplicabilidade em programas de gerenciamento e operação de recursos hídricos do sistema estudado.

## **CAPÍTULO 6**

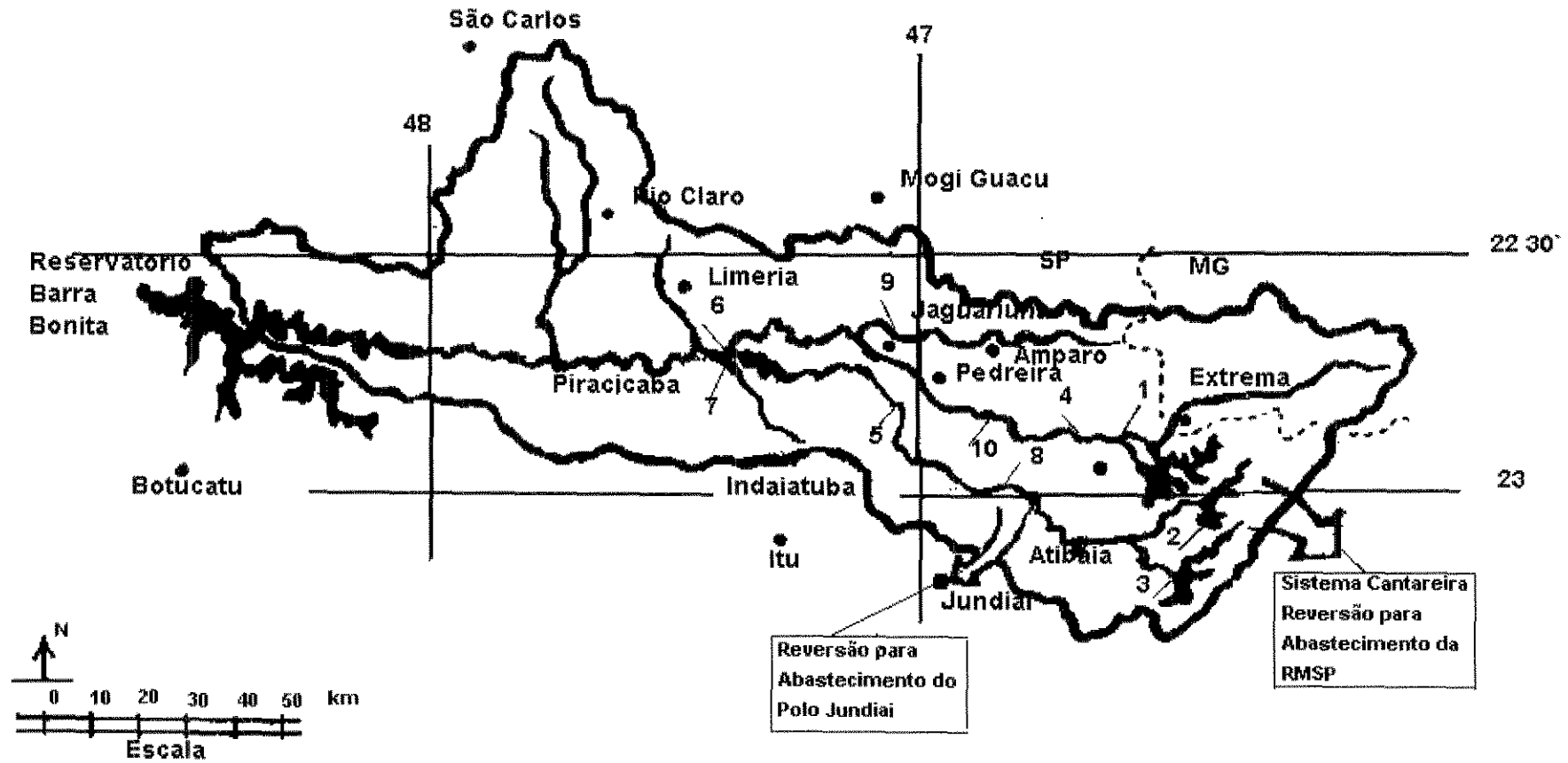
### **ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO PROCEDIMENTO E RESULTADOS**

#### **6.1 APLICAÇÃO DO MODELO SIMPLEX**

##### **6.1.1 DISCRETIZAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL**

O sistema de fluxo em rede a ser otimizado (**FIGURA 6.1**) é representado por arcos e nós para um instante  $t$  qualquer. O instante  $t$  é discretizado mês a mês para um horizonte de estudo de 2 (dois) anos, devido ao fato de que para os reservatórios selecionados, este período é suficiente para considerar a sua capacidade de regularização intra-anual. Os arcos representam fluxos espaciais (interligação e localização existente entre os reservatórios determinada pela configuração do sistema fluvial) e temporais (transferência entre instantes sucessivos do volume de água dos reservatórios, com capacidade regularizadora). A interseção do sistema fluvial e cada reservatório é representado por nós, enquanto o nó fictício representado por **R** (sumidouro), é colocado visando permitir o balanço hídrico na rede como um todo.

FIGURA 6.1  
Localização dos Pontos a serem Otimizados

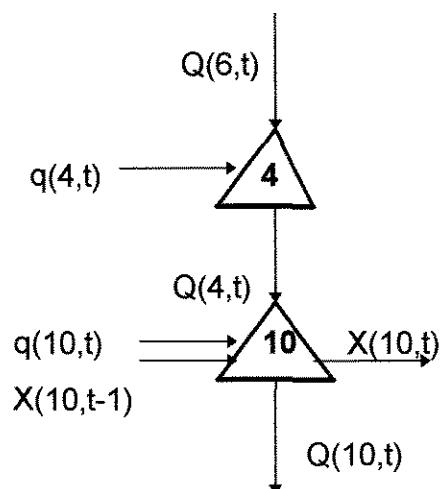


Para o sistema hídrico da Bacia, para um instante  $t=1$  mês, foram selecionados 19 arcos (5 com transferência de volume, 3 com vazão de reversão e 11 com vazão liberada) e 10 nós, os quais correspondem as seguintes seções fluviais (**FIGURA 6.2**):

1. Reservatório de Jaguari (SABESP) no rio Jaguari;
2. Reservatório de Cachoeira (SABESP) no rio Cachoeira ;
3. Reservatório de Atibainha (SABESP) no rio Atibainha;
4. UHE de Jaguari (CPFL) no rio Jaguari;
5. UHE de Salto Grande (CPFL) no rio Atibaia;
6. UHE de Americana (CPFL) no rio Atibaia;
7. Junção do rio Atibaia com o rio Jaguari;
8. Reversão para Abastecimento de Água para Jundiá no rio Atibaia;
9. Barragem de Jaguariuna (DAEE) no rio Camanducaia, e
10. Barragem de Morungaba (DAEE) no rio Jaguari.

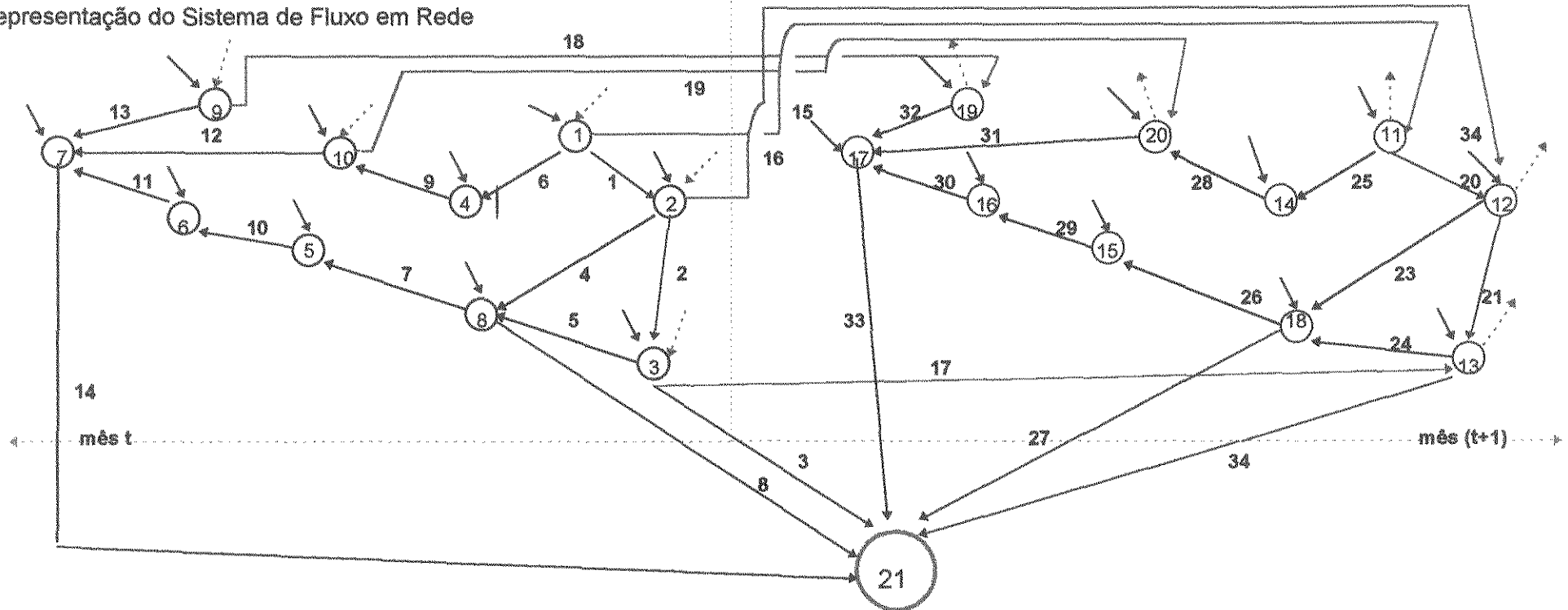
### FIGURA 6.3

Desenho Esquemático de um Trecho da Rede



Nó 4 - UHE de Jaguari  
Nó 10 - Barragem de Morungaba

**FIGURA 6.2**  
Representação do Sistema de Fluxo em Rede



**LEGENDA**

NÓ NOME

1	Reservatório de Jaguari
2	Reservatório de Cachoeira
3	Reservatório de Atibainha
4	UHE de Jaguari
5	UHE de Salto Grande
6	UHE de Americana
7	Junção do Rio Atibaia com o Rio Jaguari
8	Reversão para Abastecimento de Água para Jundiaí
9	Barragem de Jaguariuna (em inventário)
21	Nó Raiz

**CONVENÇÕES**

	Vazão incremental, $q(n,t)$
	Vazão liberada, $Q(n,t)$
	Vazão de reversão, $D(n,t)$
	Volume armazenado, $X$



A equação que representa o balanço hídrico das vazões nos reservatórios é da seguinte forma:

$$X(i,t) = X(i,t-1) + q(i,t) - L(i,t) + \sum_{j=1}^n L(j,t) \quad , \quad j \in M_i \quad \dots(6.1)$$

onde:

- $i$  : representa o local ou seção fluvial e  $t$  o tempo;
- $M_i$  : o conjunto dos aproveitamentos a montante do reservatório  $i$ ;
- $X(i,t)$  : volume armazenado ( $\text{hm}^3$ ) no reservatório  $i$ , no instante  $t$  (mês);
- $q(i,t)$  : vazão incremental ( $\text{hm}^3/\text{mês}$ ) afluente no nó  $i$ ;
- $L(i,t)$  : vazão liberada  $Q(i,t)$  e/ou Reversão  $D(i,t)$  do nó  $i$ , e
- $L(i-1,t)$ : defluência do reservatório (nó  $i-1$ ) de montante.

Tomando como exemplo a **FIGURA 6.3** para  $i=10$ , a equação 6.1 fica:

$$X(10,t) = X(10,t-1) + q(10,t) - Q(10,t) + Q(4,t) \quad \dots(6.2)$$

Nos casos em que os reservatórios não possuem capacidade regularizadora (p.ex. nó 4) ou nas interseções do sistema fluvial (p.ex. nó 7), a equação da continuidade é da seguinte forma:

$$Q(i,t) = q(i,t) + \sum_{j \in M_i} Q(j,t) \quad \dots(6.3)$$

onde:

- $Q(i,t)$ : é a vazão liberada no nó do reservatório sem capacidade regularizadora  $i$  ou na interseção fluvial  $i$ ;
- $q(i,t)$ : é a vazão incremental afluente no nó  $i$ ;
- $Q(j,t)$ : é a vazão liberada no nó  $j$  (montante de  $i$ ), e
- $j$  : pertence ao conjunto dos reservatórios a montante.

Para o nó 4, a equação 6.3 é da forma:

$$Q(4,t) = q(4,t) + Q(6,t) \quad \dots(6.4)$$

As seguintes variáveis são relevantes na modelagem por fluxo em rede:

1. Vazão de reversão para a RMSP, representada pela variável  $D(3,t)$ ;
2. Vazão de reversão para o município de Jundiaí, representada pela variável  $D(8,t)$ ;
3. Vazão fluvial a jusante de Piracicaba, representada por  $Q(7,t)$ ;
4. Vazão fluvial de jusante da barragem (em inventário) de Jaguariuna, rerepresentada por  $Q(9,t)$ , e
5. Vazão fluvial de jusante da barragem (em estudo de viabilidade) de Morungaba, representada por  $Q(10,t)$ .

Deve-se ressaltar que, no estudo de caso, foram selecionadas as variáveis (1) e (3).

Os objetivos formulados neste modelo foram maximizar ou assegurar a vazão média de  $40\text{m}^3/\text{s}$  na seção do rio Piracicaba a jusante do município de Piracicaba e a vazão de  $33\text{m}^3/\text{s}$  na reversão de água para o Sistema Cantareira atendendo ao abastecimento da RMSP.

A vazão de reversão para RMSP, pode ser interpretada como meta a ser atingida, em razão da pequena amplitude de variação permitida.

Logo, a formulação multiobjetivo do problema proposto ao sistema da bacia hidrográfica do rio Piracicaba, tem como função objetivo representar a maximização dos benefícios associados às metas propostas e tem a seguinte estrutura matemática, considerando a análise:

$$\boxed{\text{MAX} \sum_{t=t_0}^T G[Q(14,t)] + w \cdot F[D(3,t)]} \quad \dots(6.5)$$

sujeito às restrições das equações (6.1) e (6.3).

onde:

- $t_0$  : instante inicial (mês);
- $T$  : horizonte de planejamento (meses);
- $G[.]$  : função benefício associada à qualidade de água no rio Piracicaba;
- $F[.]$  : função benefício associada à reversão para os sistemas de abastecimento de água da RMSP e Jundiaí, respectivamente,
- $w$  : peso para a função abastecimento, adotado para gerar múltiplas soluções do problema multiobjetivo em detrimento da qualidade de água a jusante do rio Piracicaba.

Os dados para compor as funções  $F[.]$  - Benefício X Vazão no Rio Piracicaba e  $G[.]$  - Benefícios X Vazão para Abastecimento de São Paulo, foram obtidos na CETESB e SABESP, respectivamente, os quais possuem as seguintes formas ilustradas nas **FIGURAS 6.4 e 6.5**. Estas foram executadas a partir da equação linear correspondente aos limites superiores dos reservatórios, para os períodos discretizados, cujos valores encontram-se no programa Montador da Rede (Programa Principal).

A interpretação analítica da **FIGURA 6.4**, seção no rio Piracicaba (arco 14), considerando os pontos A (0,0;0,0), B (40,0;8,0) e C (60,0;10,0), é:

- À direita de C: benefício marginal decrescente, poucos benefícios para a qualidade da água;
- $\overline{BC}$ : melhoria da qualidade da água, em termos de aumento da capacidade de auto-depuração, melhoria do nível de OD, e
- B: valor mínimo a ser garantido, estabelecido em lei.

Para a **FIGURA 6.5**, a interpretação toma o seguinte sentido, considerando os pontos A (20,0;0,0); B (29,2;9.05), C (33,0;10,0) e D (40,0;10,0):

- $\overline{C}$ : capacidade de bombeamento do Sistema Cantareira;
- $\overline{BC}$ : prejuízos moderados ao abastecimento, com início de necessidade de distribuição dos déficits através do sistema de rodízio, principalmente no período de estiagem entre junho a novembro, sendo a maior intensidade nos meses de agosto, setembro e outubro;

FIGURA 6.4

Benefícios (Escala de 0 a 10) X Vazão na Seção do Rio Piracicaba

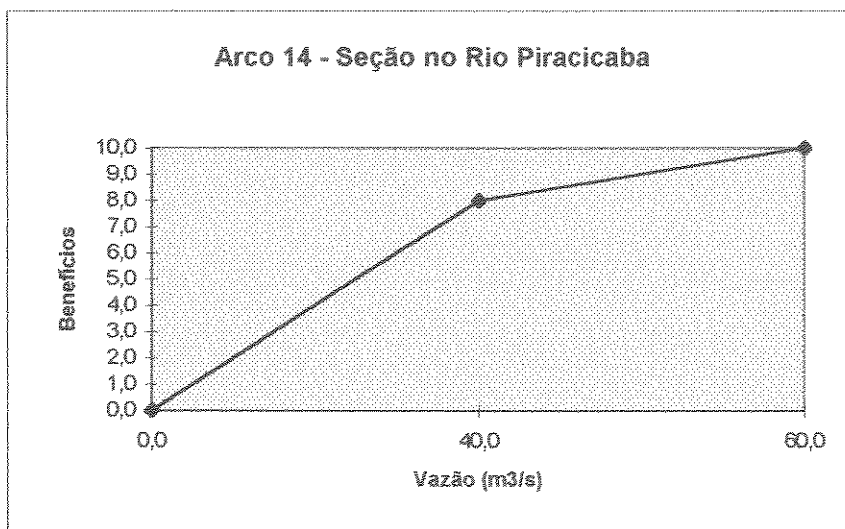
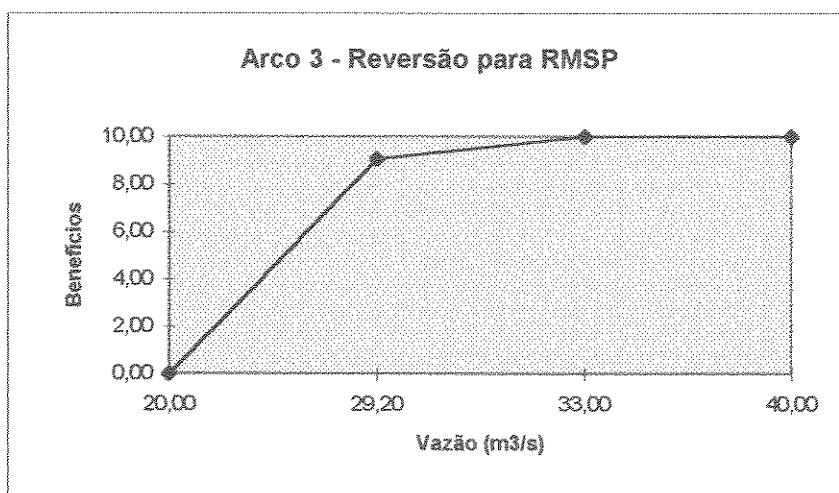


FIGURA 6.5

Benefícios (Escala de 0 a 10) X Vazão para Abastecimento da RMSP



- $\overline{AB}$ : prejuízos acentuados ao abastecimento, com déficits distribuídos à toda Região Metropolitana de São Paulo, com necessidade de rodízio, mesmo em ocasiões de períodos úmidos, e
- Abaixo de A: situação catastrófica para o abastecimento. O sistema não pode prescindir deste valor mínimo, caso contrário, implica em calamidade pública.

As FIGURAS 6.1 e 6.2, ilustram a localização dos pontos na Bacia que representam o sistema a ser otimizado, bem como a respectiva representação na forma de fluxo em rede.

### 6.1.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Foi utilizado um algoritmo de otimização de fluxos em rede, com função objetivo linear por partes, desenvolvido por MARINS(1987). Este programa exige uma forma especial de entrada de dados. Assim, com base no trabalho prévio de BARROS e BARBOSA (1994) foi desenvolvido um algoritmo denominado Programa Montador de Rede, em linguagem Pascal versão Turbo 7.0. Também, o algoritmo de otimização de fluxos em redes (Simplex) foi atualizado para a versão Turbo Pascal 7.0 .

O sistema em estudo (FIGURA 6.2) tem os reservatórios com as seguintes características:

**TABELA 6.1**

Características dos Reservatórios do Sistema em Estudo

Reservatório	Volume Útil (hm <sup>3</sup> )	Controle de Cheias	Vol. Máx. reservado p/ Cont. de Cheias (hm <sup>3</sup> )
Jaguari	783,00	Sim	154,00
Cachoeira	48,00	Sim	36,00
Atibainha	100,00	Sim	20,00
Jaguariuna	38,00	Não	-
Morungaba	207,00	Não	-

Fonte: DAEE

Uma vez os programas ajustados ao novo cenário, foi construído um arquivo com as vazões médias mensais ( $m^3/s$ ) dos 10 postos fluviométricos, que correspondem as vazões incrementais nos nós da rede, para o período histórico observado de 1949 a 1977<sup>1</sup>. Estes valores foram extraídos de planilhas dos postos fluviométricos do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) localizados na Bacia (TABELA 6.2 e FIGURA 6.6) e que no APÊNDICE A encontram-se as vazões naturais registradas nestes postos selecionados, correspondentes aos meses (maio a abril) do ano hidrológico no período observado. O arquivo é usado como dado de entrada para o programa Montador de Rede.

**TABELA 6.2**

Principais Características dos Postos Fluviométricos Considerados

Código Prefixo	Nome	Rio	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	No. Adicional de Identificação	No. do Nó Correspondente na Rede
62.595.000	Fernão Dias	Jaguari	235	-	1
62.665.000	Piracaia	Cachoeira	418	-	2
62.660.000	Nazaré Paulista	Atibainha	305	-	3
62.597.000	Guaripocaba	Jaguari	1.353	3D-015 R	4
62.676.000	Bairro da Ponte	Atibaia	1.918	3D-006	5
62.690.000	Acima de Paulínia	Atibaia	2.682	4D-009 R	6
62.707.000	Piracicaba	Piracicaba	8.851	-	7
62.670.000	Atibaia	Atibaia	1.143	-	8
62.628.000	Fazenda Barra	Camanducaia	928	3D-001	9
62.605.000	Bairro Buenópolis	Jaguari	1.950	3D-009	10

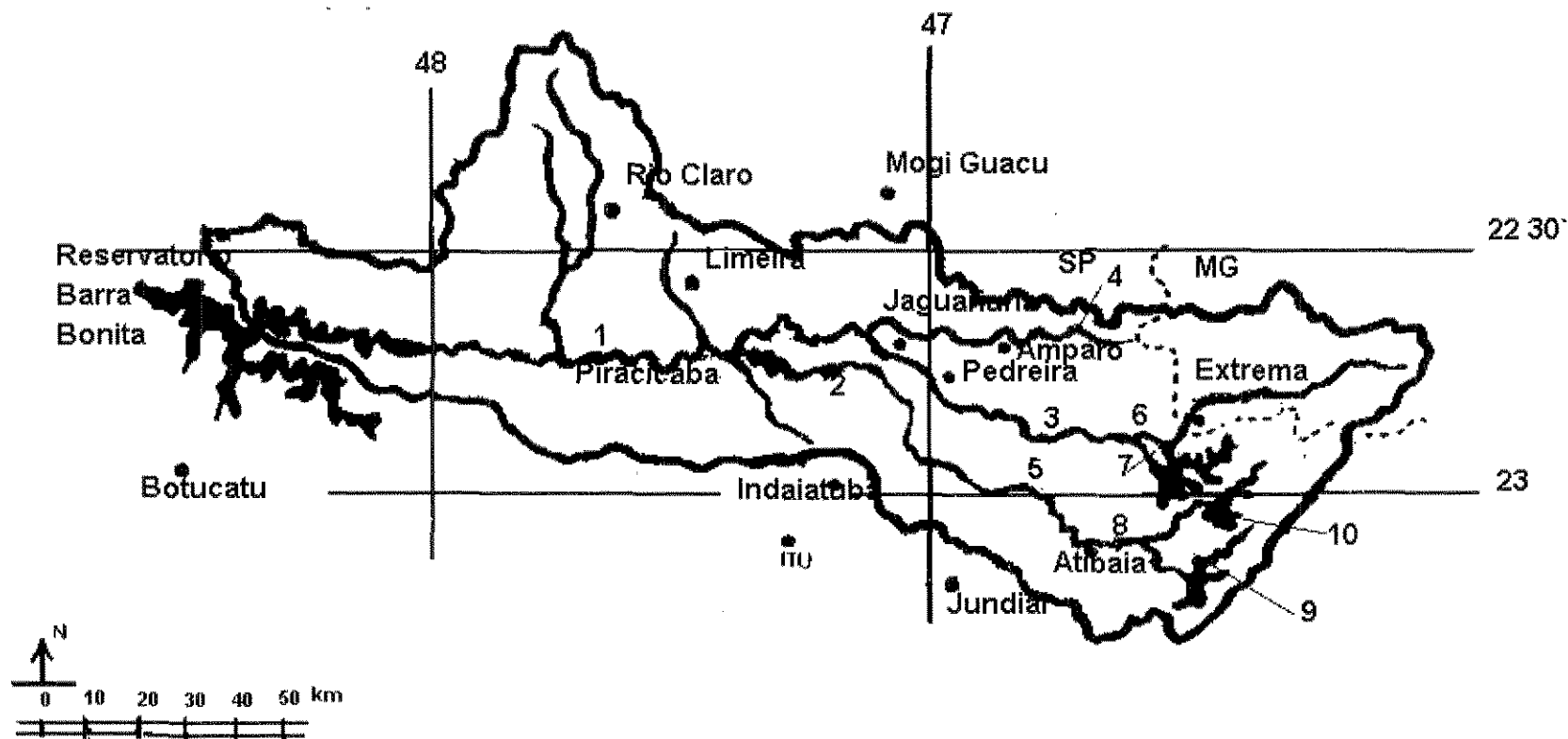
Fonte: Boletim Fluviométrico, DNAEE, 1970.

Para esta série histórica, foi verificado para quais biênios o modelo obteria solução ótima das vazões e volumes, variando em cada rodada a percentagem do volume útil dos reservatórios e o peso  $w$ . Os biênios encontrados foram 1951/1952, 1952/1953, 1954/1955, 1957/1958, 1958/1959, 1961/1962, 1965/1966, 1966/1967, 1967/1968, 1970/1971, 1971/1972 e 1976/1977, sendo que, o percentual do volume útil dos reservatório variaram entre 80% e 100%<sup>2</sup> (TABELA 6.3).

<sup>1</sup> A observação hidrológica existe desde 1931 e o período escolhido (1949 a 1977) corresponde a ocorrência de vazões críticas, o qual serviu para representar bem o sistema hídrico nas condições mais desfavoráveis.

<sup>2</sup> Ao final do horizonte, a meta é alcançar 80% de VU ou 100% de VU.

FIGURA 6.6  
Localização dos Pontos Fluviométricos na Bacia do Rio Piracicaba



**TABELA 6.3**

Resultado do 1º Teste de Optimalidade da Rede

Biênio	Peso $w$ e Percentagem de Volume Útil dos Reservatórios			
	w100v100	w100v80	w1v100	w1v80
1951/1952	I	O	I	O
1952/1953	O	O	O	O
1954/1955	O	O	O	O
1957/1958	O	O	O	O
1958/1959	O	O	O	O
1961/1962	O	O	O	O
1962/1963	I	O	I	O
1965/1966	O	O	O	O
1966/1967	O	O	O	O
1967/1968	I	O	I	O
1970/1971	O	O	O	O

I - Solução Ineficaz

O - Solução Ótima

w100 - peso igual a 100

v100 - 100 % do volume útil

Deste conjunto de biênios, foram selecionados aqueles em que apresentaram o período mais seco (vazões mínimas) e o mais úmido (vazões máximas) da série histórica. Na seleção, os biênios mais secos foram 1954/1955, 1962/1963 e 1971/1972 e o mais úmido 1976/1977 (**TABELA 6.4**).

Dentre estes, o biênio 1954/1955 foi o que apresentou a menor vazão média anual, 111,27 m<sup>3</sup>/s, seguido dos biênios 1962/1963 e 1971/1972, 116,51 m<sup>3</sup>/s e 136,5 m<sup>3</sup>/s, respectivamente (**TABELA 6.5**).

**TABELA 6.5**

Variação das Vazões Médias Anuais, de Estiagem e nos Biênios Escolhidos Seção no Rio Piracicaba

Ano Hidrológico	Q anual m <sup>3</sup> /s	Q estiagem m <sup>3</sup> /s	Q* m <sup>3</sup> /s
1954	114,51	79,89	111,27
1955	108,03	65,54	
1962	137,07	81,36	116,51
1963	95,95	49,04	
1971	141,01	95,20	136,5
1972	131,99	98,18	
1976	228,26	217,88	169,79
1977	111,32	93,22	

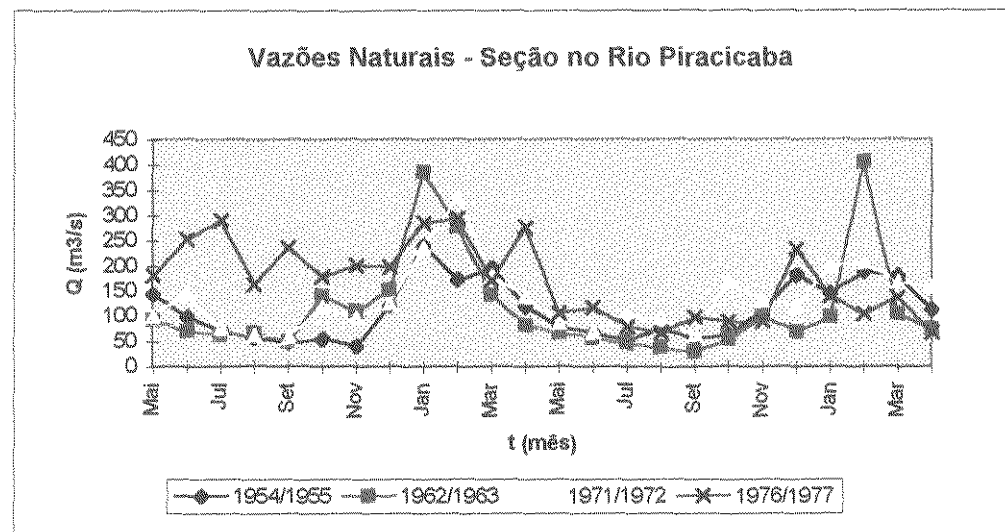
Q estiagem - Vazão média no período de maio a outubro.

Q\* - Vazão média do biênio.



**TABELA 6.4**  
 Vazões Naturais (m<sup>3</sup>/s)  
 Seção no Rio Piracicaba

Ano Hidrológico	Mês											
	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
1954	145,01	100,89	69,52	58,92	48,80	56,19	41,67	122,12	240,93	172,66	196,91	120,53
1955	78,93	66,32	53,35	74,82	55,90	63,92	11,42	182,61	147,59	189,73	181,19	112,69
1962	93,34	72,65	63,36	67,61	50,42	140,79	110,34	154,31	387,02	278,56	143,26	83,18
1963	67,61	56,67	46,67	37,89	30,35	55,03	100,96	69,97	98,72	406,66	105,59	75,31
1971	101,78	147,03	77,73	63,99	59,55	121,12	97,53	126,75	237,46	337,84	181,34	139,97
1972	87,85	70,45	103,72	92,93	65,24	168,91	132,29	122,65	202,70	208,29	169,62	159,22
1976	181,34	253,86	290,73	164,91	237,19	179,23	201,93	199,56	285,81	294,89	173,20	276,51
1977	106,56	118,06	79,56	67,73	98,53	88,86	90,70	233,61	141,65	105,20	138,18	67,25



Com este quadro e definido os percentuais dos volumes úteis dos reservatórios, a próxima investigação foi saber para que valores do peso  $w$  as vazões e volumes não seriam alteradas em seu valor nos respectivos arcos, mantidos os percentuais. Os valores do peso  $w$ , durante o teste, variaram de 1000 até 0,001 para os biênios, de maneira que, após várias tentativas (rodadas computacionais) encontrou-se os intervalos dos pesos, onde a variação era pequena ou quase nula, para cada biênio escolhido.

Para cada biênio foram escolhido dois valores extremos de peso -  $w_1$  e  $w_3$ , onde as vazões ou volumes permanecem constantes para qualquer variação de  $w$  e um valor intermediário -  $w_2$ , para o caso contrário (**TABELA 6.6**).

**TABELA 6.6**

Valores dos Pesos  $w$  para os Biênios Escolhidos

Biênio	% do Volume Útil	Peso $w$		
		$w_1$	$w_2$	$w_3$
1954/1955	100% VU	0,5	3,0	5,0
1962/1963	80% VU	0,5	0,2	0,002
1971/1972	80% VU	0,9	0,7	0,6
1976/1977	80% VU	1,0	0,4	0,7

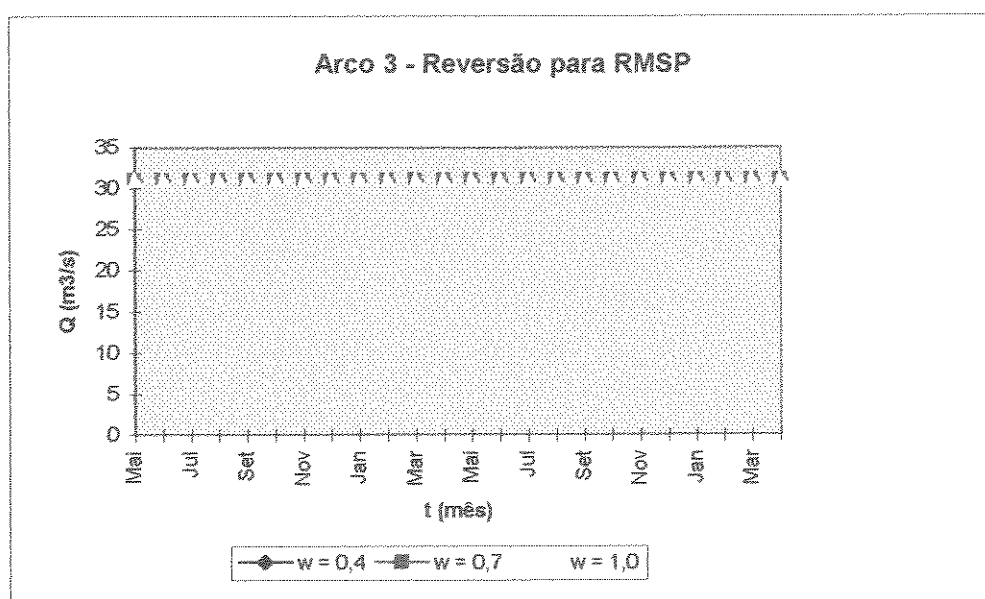
O passo seguinte foi gravar um arquivo, com os conjuntos de vazões para cada peso  $w$  escolhido no período  $t$  igual a 24 meses dos anos hidrológicos, correspondentes aos arcos 3 (Reversão para Região Metropolitana de São Paulo) e 14 (Seção no Rio Piracicaba). Através do programa Excel, versão 5.0, foram construídas planilhas e os gráficos  $Q$  ( $m^3/s$ ) X  $t$  (mês), para cada arco (**TABELAS 8.7; 8.8; 8.11; 8.12; 8.21; 8.22, 8.28 e 8.29**).

O mesmo procedimento foi tomado para os arcos com transferência de volume: arco 15 (Reservatório de Jaguari - VU=783  $hm^3$ ), arco 16 (Reservatório de Cachoeira - VU=48  $hm^3$ ), arco 17 (Reservatório de Atibainha - VU=100  $hm^3$ ), arco 18 (Reservatório de Jaguariuna - VU=38  $hm^3$ ) e arco 19 (Reservatório de Morungaba - VU=207  $hm^3$ ). Sendo que os gráficos foram construídos a partir do percentual de volume útil de cada reservatório versus o tempo em mês do ano hidrológico (**TABELAS 8.10 a 8.13; 8.16 a 8.20, 8.23 a 8.27 e 8.30 a 8.34**).

**TABELA 6.7**

Variação da Vazão (80% do VU) no Arco 3 da Reversão para RMSP  
Biênio 1976/1977

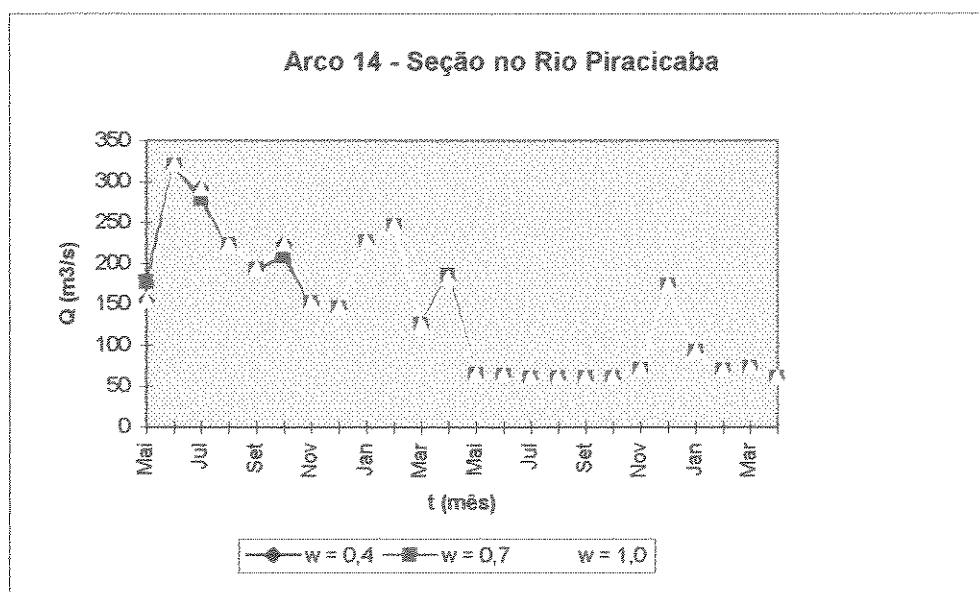
Mês do Ano Hidrológico t	Vazão (m <sup>3</sup> /s)		
	Peso		
	w = 0,4	w = 0,7	w = 1,0
Mai	31,02	31,02	31,02
Jun	31,02	31,02	31,02
Jul	31,02	31,02	31,02
Ago	31,02	31,02	31,02
Set	31,02	31,02	31,02
Out	31,02	31,02	31,02
Nov	31,02	31,02	31,02
Dez	31,02	31,02	31,02
Jan	31,02	31,02	31,02
Fev	31,02	31,02	31,02
Mar	31,02	31,02	31,02
Abr	31,02	31,02	31,02
Mai	31,02	31,02	31,02
Jun	31,02	31,02	31,02
Jul	31,02	31,02	31,02
Ago	31,02	31,02	31,02
Set	31,02	31,02	31,02
Out	31,02	31,02	31,02
Nov	31,02	31,02	31,02
Dez	31,02	31,02	31,02
Jan	31,02	31,02	31,02
Fev	31,02	31,02	31,02
Mar	31,02	31,02	31,02
Abr	31,02	31,02	31,02



**TABELA 6.8**

Variação da Vazão (80% do VU) no Arco 14 da Seção no Rio Piracicaba  
Biênio 1976/1977

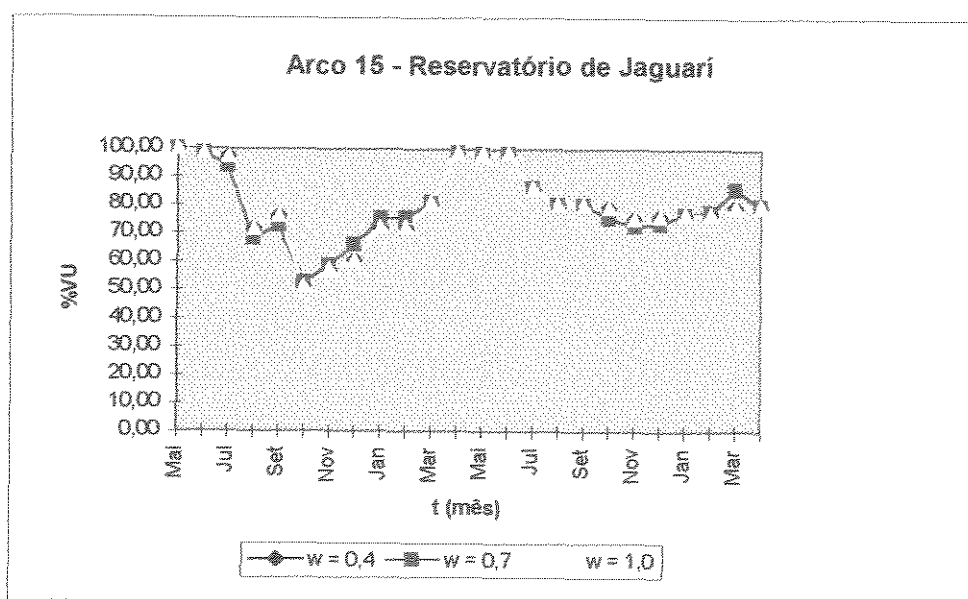
Mês do Ano Hidroológico t	Vazão (m <sup>3</sup> /s)		
	Peso		
	w = 0,4	w = 0,7	w = 1,0
Mai	154,34	177,25	154,34
Jun	320,1	319,52	320,1
Jul	291,33	279,02	291,33
Ago	222,07	222,07	222,07
Set	192,74	192,74	192,74
Out	222,87	208,63	222,87
Nov	152,14	152,14	152,14
Dez	145,76	145,76	145,76
Jan	226,07	226,07	226,07
Fev	245,97	245,97	245,97
Mar	125,16	125,16	125,16
Abr	181,71	185,93	181,71
Mai	64,39	64,39	64,39
Jun	63,8	63,8	63,8
Jul	59,99	59,99	59,99
Ago	59,99	59,99	59,99
Set	59,99	59,99	59,99
Out	59,99	59,99	59,99
Nov	70,52	70,52	70,52
Dez	173,38	173,38	173,38
Jan	92,33	92,33	92,33
Fev	69,83	69,83	69,83
Mar	73,16	73,16	73,16
Abr	59,99	59,99	59,99



**TABELA 6.9**

Varição do Volume (80% do VU) no Arco 15 do Reservatório de Jaguari  
Biênio 1976/1977 - VU = 783 hm<sup>3</sup>

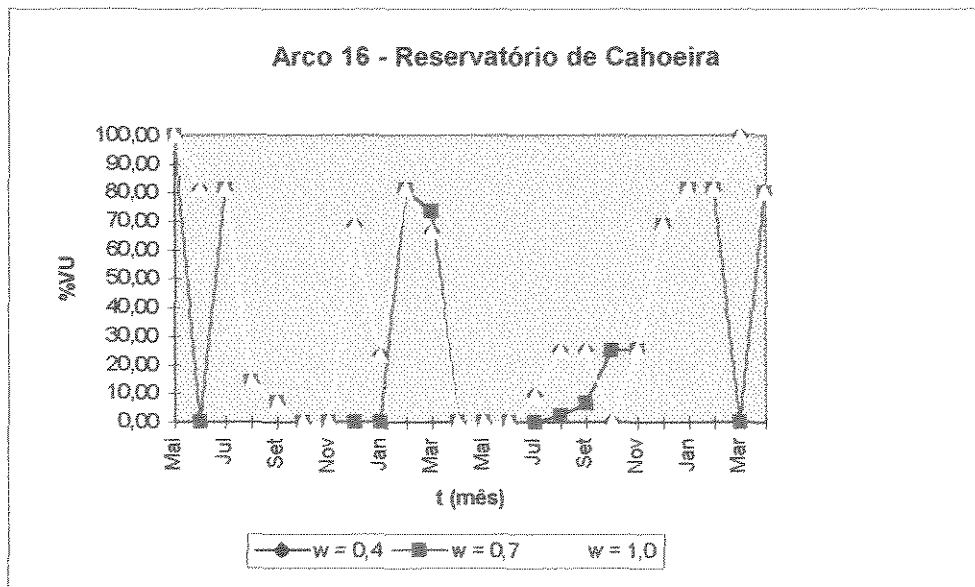
Mes do Ano Hidrológico t	Volume Inicial = 80% VU		
	Peso		
	w = 0,4	w = 0,7	w = 1,0
Mai	100,00	100,00	100,00
Jun	98,47	98,47	98,47
Jul	97,03	93,72	97,03
Ago	71,62	68,31	71,62
Set	76,19	72,87	76,19
Out	51,56	52,96	51,56
Nov	57,44	58,84	57,44
Dez	60,44	66,05	60,44
Jan	72,16	75,22	72,16
Fev	72,13	75,20	72,13
Mar	80,65	80,65	80,65
Abr	98,61	98,61	98,61
Mai	98,13	98,13	98,13
Jun	98,47	98,47	98,47
Jul	86,22	86,22	86,22
Ago	80,33	80,33	80,33
Set	80,33	80,33	80,33
Out	79,30	75,42	79,30
Nov	75,20	72,85	75,20
Dez	76,13	73,78	76,13
Jan	76,80	76,80	76,80
Fev	77,03	77,82	77,03
Mar	79,84	85,97	79,84
Abr	80,00	80,00	80,00



**TABELA 6.10**

Varição do Volume (80% do VU) no Arco 16 do Reservatório de Cachoeira  
Biênio 1976/1977 - VU = 48 hm<sup>3</sup>

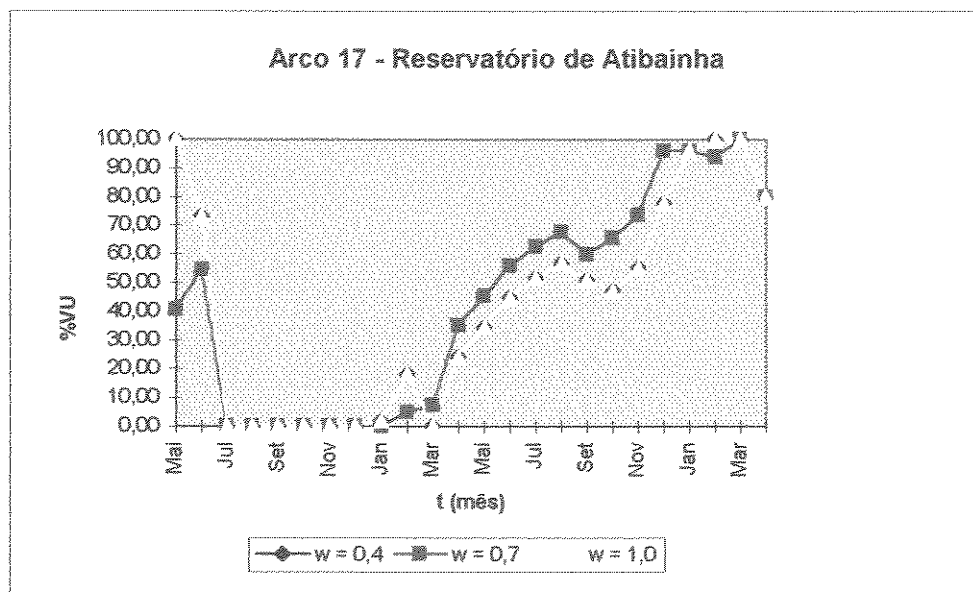
Mes do Ano Hidrológico t	Volume Inicial = 80% VU		
	Peso		
	w = 0,4	w = 0,7	w = 1,0
Mai	100,00	100,00	100,00
Jun	81,25	0,00	81,25
Jul	81,25	81,25	81,25
Ago	14,10	14,10	14,10
Set	6,81	6,81	6,81
Out	0,00	0,00	0,00
Nov	0,00	0,00	0,00
Dez	68,75	0,00	68,75
Jan	23,56	0,00	23,56
Fev	81,25	81,25	81,25
Mar	66,38	73,71	66,38
Abr	0,00	0,00	0,00
Mai	0,00	0,00	0,00
Jun	0,00	0,00	0,00
Jul	9,44	0,00	9,44
Ago	25,00	2,19	25,00
Set	25,00	6,42	25,00
Out	0,00	25,00	0,00
Nov	25,00	25,00	25,00
Dez	68,75	68,75	68,75
Jan	81,25	81,25	81,25
Fev	81,25	81,25	81,25
Mar	100,00	0,00	100,00
Abr	80,00	80,00	80,00



**TABELA 6.11**

Variação do Volume (80% do VU) no Arco 17 do Reservatório de Atibainha  
Biênio 1976/1977 - VU = 100 hm<sup>3</sup>

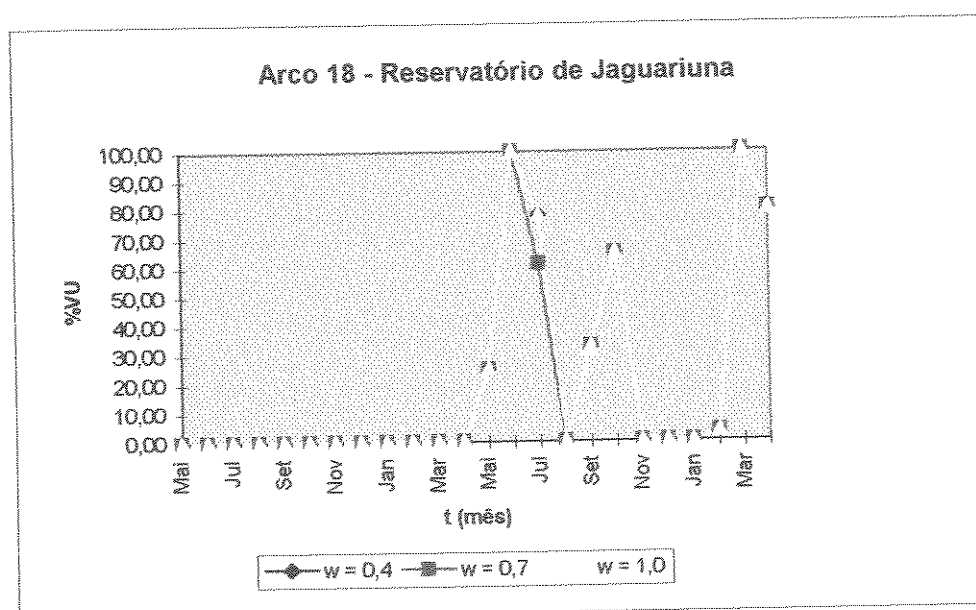
Mes do Ano Hidrológico t	Volume Inicial = 80% VU		
	Peso		
	w = 0,4	w = 0,7	w = 1,0
Mai	100,00	40,61	100,00
Jun	73,31	54,44	73,31
Jul	0,00	0	0,00
Ago	0,00	0	0,00
Set	0,00	0	0,00
Out	0,00	0	0,00
Nov	0,00	0	0,00
Dez	0,00	0	0,00
Jan	1,73	0	1,73
Fev	18,02	4,98	18,02
Mar	0,00	7,43	0,00
Abr	24,20	35,15	24,20
Mai	34,27	45,22	34,27
Jun	44,75	55,7	44,75
Jul	51,60	62,55	51,60
Ago	56,69	67,64	56,69
Set	50,85	59,77	50,85
Out	47,12	65,53	47,12
Nov	55,19	73,6	55,19
Dez	77,59	96	77,59
Jan	96,00	96	96,00
Fev	100,00	93,81	100,00
Mar	100,00	100	100,00
Abr	80,00	80	80,00



**TABELA 6.12**

Variação do Volume (80% do VU) no Arco 18 do Reservatório de Jaguariuna  
Biênio 1976/1977 - VU = 38 hm<sup>3</sup>

Mes do Ano Hidrológico t	Volume Inicial = 80% VU		
	Peso		
	w = 0,4	w = 0,7	w = 1,0
Mai	0,00	0,00	0,00
Jun	0,00	0,00	0,00
Jul	0,00	0,00	0,00
Ago	0,00	0,00	0,00
Set	0,00	0,00	0,00
Out	0,00	0,00	0,00
Nov	0,00	0,00	0,00
Dez	0,00	0,00	0,00
Jan	0,00	0,00	0,00
Fev	0,00	0,00	0,00
Mar	0,00	0,00	0,00
Abr	0,00	0,00	0,00
Mai	25,03	25,03	25,03
Jun	100,00	100,00	100,00
Jul	78,18	61,29	78,18
Ago	0,00	0,00	0,00
Set	32,84	32,84	32,84
Out	64,95	64,95	64,95
Nov	0,00	0,00	0,00
Dez	0,00	0,00	0,00
Jan	0,00	0,00	0,00
Fev	3,42	3,42	3,42
Mar	100,00	100,00	100,00
Abr	80,00	80,00	80,00

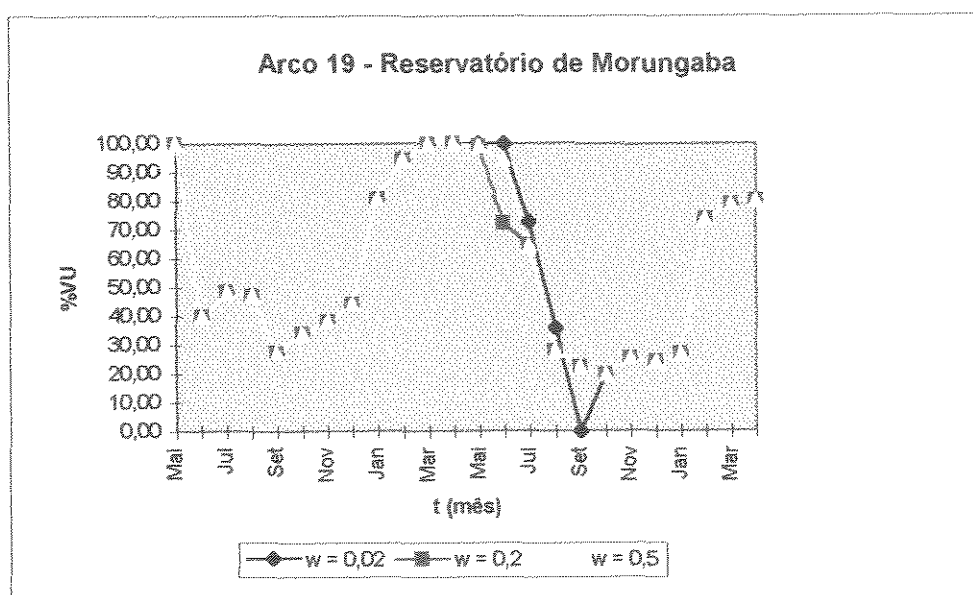




**TABELA 6.13**

Varição do Volume (80% do VU) no Arco 19 do Reservatório de Morungaba  
Biênio 1976/1977 - VU = 207 hm<sup>3</sup>

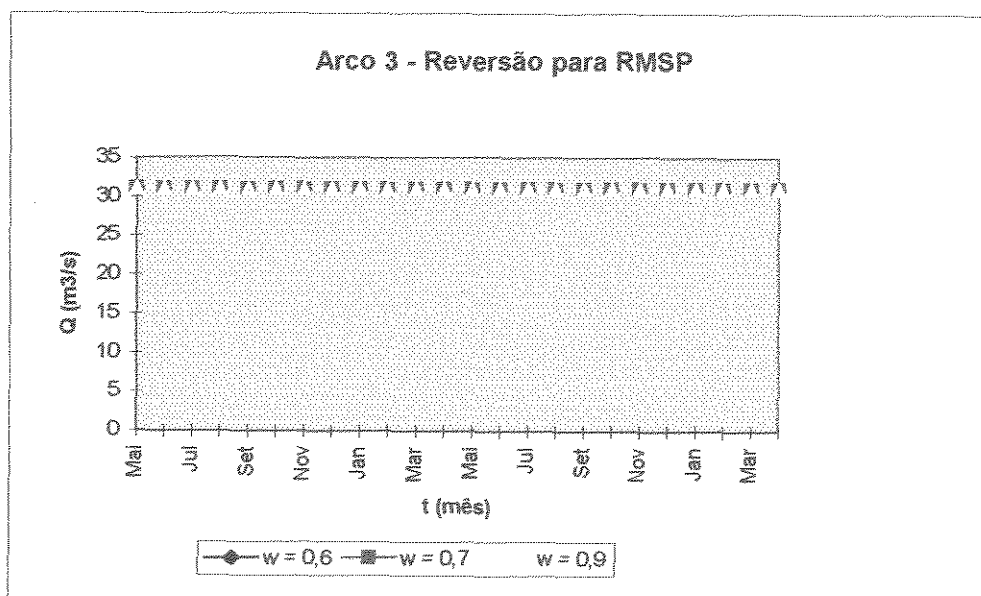
Mes do Ano Hidroológico t	Volume Inicial = 80% VU		
	Peso		
	w = 0,4	w = 0,7	w = 1,0
Mai	100,00	100,00	100,00
Jun	0,00	0,00	0,00
Jul	0,00	0,00	0,00
Ago	0,00	0,00	0,00
Set	0,00	0,00	0,00
Out	0,00	0,00	0,00
Nov	0,00	0,00	0,00
Dez	0,00	0,00	0,00
Jan	0,00	0,00	0,00
Fev	0,00	0,00	0,00
Mar	0,00	0,00	0,00
Abr	14,39	9,10	14,39
Mai	19,43	14,14	19,43
Jun	27,18	21,89	27,18
Jul	56,41	56,41	56,41
Ago	56,57	56,57	56,57
Set	61,52	61,52	61,52
Out	63,16	63,16	63,16
Nov	66,08	66,08	66,08
Dez	76,93	76,93	76,93
Jan	84,26	84,26	84,26
Fev	85,02	85,02	85,02
Mar	93,64	93,64	93,64
Abr	80,00	80,00	80,00



**TABELA 6.14**

Variação da Vazão (80% do VU) no Arco 3 da Reversão para RMSP  
Biênio 1971/1972

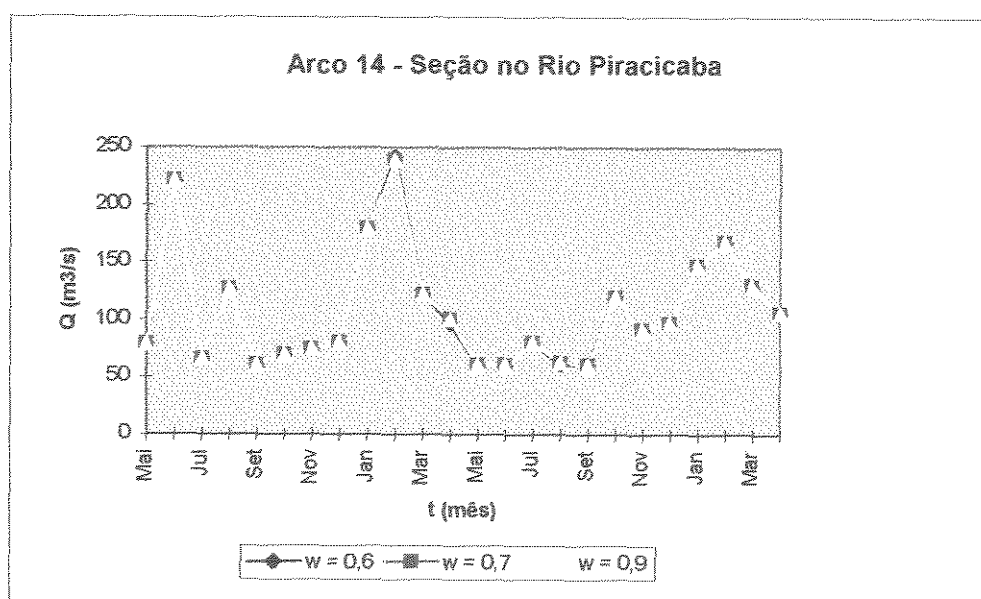
Mês do Ano Hidrológico t	Vazão (m <sup>3</sup> /s)		
	Peso		
	w = 0,6	w = 0,7	w = 0,9
Mai	31,02	31,02	31,02
Jun	31,02	31,02	31,02
Jul	31,02	31,02	31,02
Ago	31,02	31,02	31,02
Set	31,02	31,02	31,02
Out	31,02	31,02	31,02
Nov	31,02	31,02	31,02
Dez	31,02	31,02	31,02
Jan	31,02	31,02	31,02
Fev	31,02	31,02	31,02
Mar	31,02	31,02	31,02
Abr	31,02	31,02	31,02
Mai	31,02	31,02	31,02
Jun	31,02	31,02	31,02
Jul	31,02	31,02	31,02
Ago	31,02	31,02	31,02
Set	31,02	31,02	31,02
Out	31,02	31,02	31,02
Nov	31,02	31,02	31,02
Dez	31,02	31,02	31,02
Jan	31,02	31,02	31,02
Fev	31,02	31,02	31,02
Mar	31,02	31,02	31,02
Abr	31,02	31,02	31,02



**TABELA 6.15**

Variação da Vazão (80% do VU) no Arco 14 da Seção do Rio Piracicaba  
Biênio 1971/1972

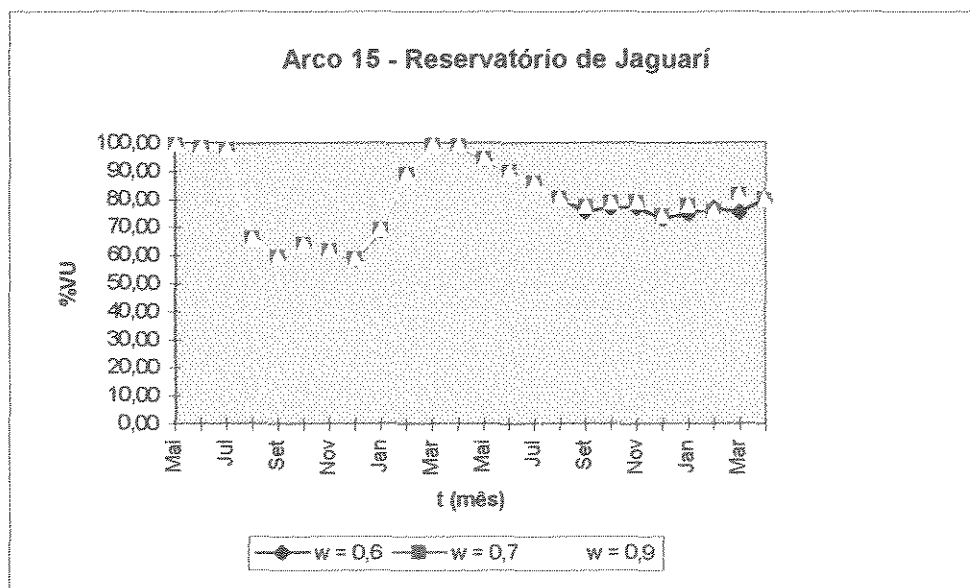
Mes do Ano Hidrológico t	Vazão (m <sup>3</sup> /s)		
	Peso		
	w = 0,6	w = 0,7	w = 0,9
Mai	78,66	78,66	78,66
Jun	220,29	220,29	220,29
Jul	66,05	66,05	66,05
Ago	125,85	125,85	125,85
Set	59,99	59,99	59,99
Out	68,92	68,92	68,92
Nov	74,1	74,1	74,1
Dez	79,97	79,97	79,97
Jan	178,55	178,55	178,55
Fev	241,23	238,09	238,09
Mar	121,67	121,67	121,67
Abr	96,82	99,95	99,95
Mai	59,99	59,99	59,99
Jun	59,99	59,99	59,99
Jul	79,74	79,74	79,74
Ago	61,41	62,37	62,37
Set	60,95	59,99	59,99
Out	119,24	119,24	119,24
Nov	90,73	90,73	90,73
Dez	96,62	96,62	96,62
Jan	146,79	146,79	146,79
Fev	166,66	166,66	166,66
Mar	128,88	128,88	128,88
Abr	105,46	105,46	105,46



**TABELA 6.16**

Variação do Volume (80% do VU) no Arco 15 do Reservatório de Jaguari  
Biênio 1971/1972 - VU = 783 hm<sup>3</sup>

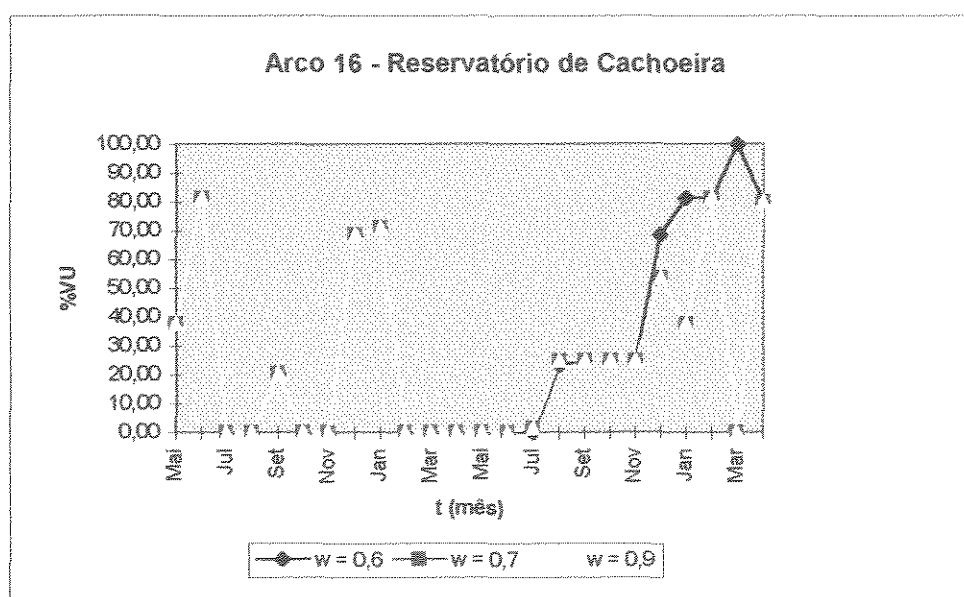
Mes do Ano Hidrológico t	Volume Inicial = 80 % VU		
	Peso		
	w = 0,6	w = 0,7	w = 0,9
Mai	99,59	99,59	99,59
Jun	98,47	98,47	98,47
Jul	97,62	97,62	97,62
Ago	66,00	66,00	66,00
Set	59,40	59,40	59,40
Out	63,93	64,03	64,03
Nov	61,60	61,69	61,69
Dez	58,48	58,58	58,58
Jan	69,02	69,12	69,12
Fev	88,80	88,90	88,90
Mar	99,28	99,38	99,38
Abri	99,02	99,12	99,12
Mai	94,15	94,25	94,25
Jun	89,48	89,58	89,58
Jul	85,76	85,76	85,76
Ago	80,33	80,33	80,33
Set	75,63	77,37	77,37
Out	77,03	78,77	78,77
Nov	77,22	78,96	78,96
Dez	72,97	73,89	73,89
Jan	74,93	77,61	77,61
Fev	76,74	75,53	75,53
Mar	75,34	81,48	81,48
Abr	80,00	80,00	80,00



**TABELA 6.17**

Variação do Volume (80% do VU) no Arco 16 do Reservatório de Cachoeira  
Biênio 1971/1972 - VU = 48 hm<sup>3</sup>

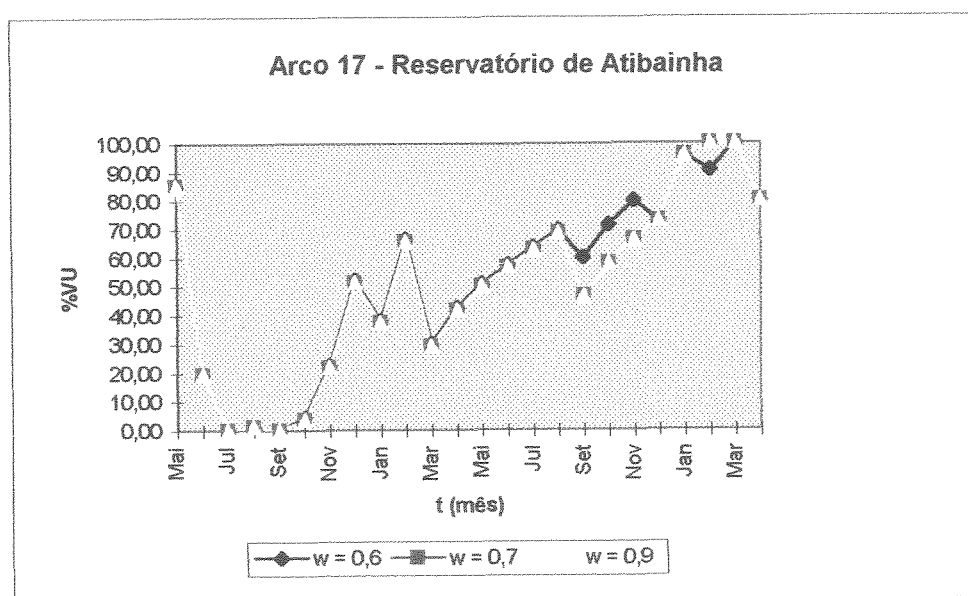
Mes do Ano Hidrológico t	Volume Inicial = 80 % VU		
	Peso		
	w = 0,6	w = 0,7	w = 0,9
Mai	37,75	37,75	37,75
Jun	81,25	81,25	81,25
Jul	0,00	0,00	0,00
Ago	0,00	0,00	0,00
Set	20,48	20,48	20,48
Out	0,00	0,00	0,00
Nov	0,00	0,00	0,00
Dez	68,75	68,75	68,75
Jan	71,19	71,19	71,19
Fev	0,00	0,00	0,00
Mar	0,00	0,00	0,00
Abri	0,00	0,00	0,00
Mai	0,00	0,00	0,00
Jun	0,00	0,00	0,00
Jul	0,00	1,60	1,60
Ago	23,40	25,00	25,00
Set	25,00	25,00	25,00
Out	25,00	25,00	25,00
Nov	25,00	25,00	25,00
Dez	68,75	53,69	53,69
Jan	81,25	37,54	37,54
Fev	81,25	81,25	81,25
Mar	100,00	0,00	0,00
Abr	80,00	80,00	80,00



**TABELA 6.18**

Variação do Volume (80% do VU) no Arco 17 do Reservatório de Atibainha  
Biênio 1971/1972 - VU = 100 hm<sup>3</sup>

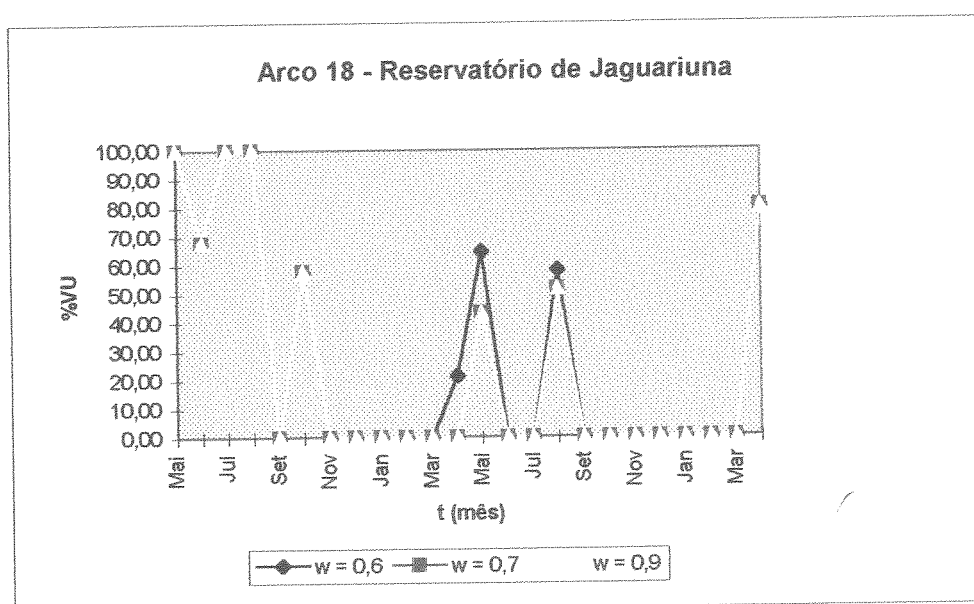
Mes do Ano Hidroológico t	Volume Inicial = 80% VU		
	Peso		
	w = 0,6	w = 0,7	w = 0,9
Mai	85,22	85,22	85,22
Jun	19,46	19,46	19,46
Jul	0,00	0,00	0,00
Ago	1,27	1,27	1,27
Set	0,00	0,00	0,00
Out	4,50	3,73	3,73
Nov	22,65	21,88	21,88
Dez	52,29	51,52	51,52
Jan	38,27	37,50	37,50
Fev	66,61	65,84	65,84
Mar	30,12	29,35	29,35
Abri	42,70	41,93	41,93
Mai	51,21	50,44	50,44
Jun	57,65	56,88	56,88
Jul	63,73	62,96	62,96
Ago	69,70	68,93	68,93
Set	60,28	46,71	46,71
Out	71,64	58,07	58,07
Nov	80,00	66,43	66,43
Dez	73,05	73,05	73,05
Jan	96,00	96,00	96,00
Fev	90,53	100,00	100,00
Mar	100,00	100,00	100,00
Abr	80,00	80,00	80,00



**TABELA 6.19**

Variação do Volume (80% do VU) no Arco 18 do Reservatório de Jaguariuna  
Biênio 1971/1972 - VU = 38 hm<sup>3</sup>

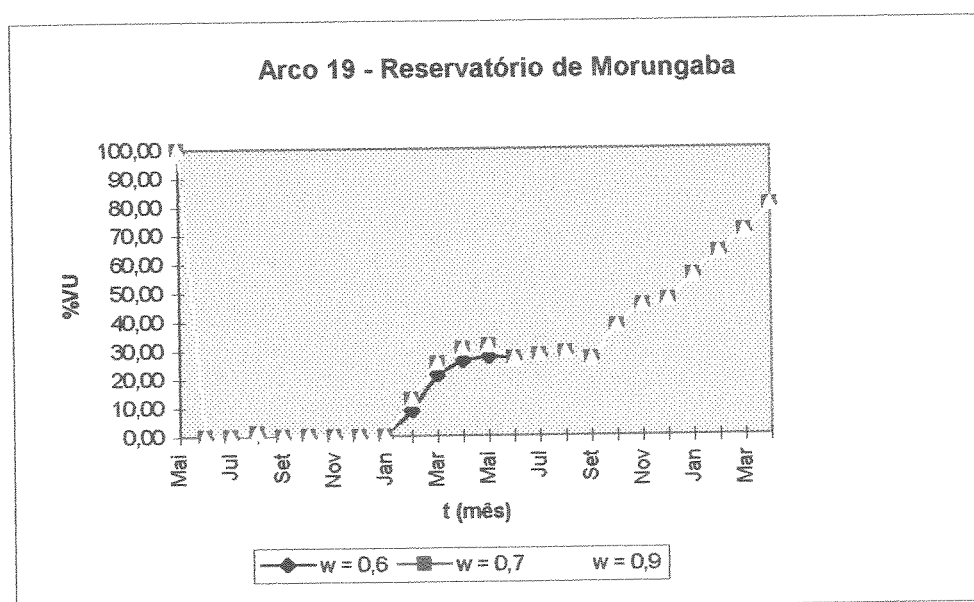
Mes do Ano Hidrológico t	Volume Inicial = 80% VU		
	Peso		
	w = 0,6	w = 0,7	w = 0,9
<b>Mai</b>	100,00	100,00	100,00
<b>Jun</b>	67,61	67,61	67,61
<b>Jul</b>	100,00	100,00	100,00
<b>Ago</b>	100,00	100,00	100,00
<b>Set</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Out</b>	57,58	57,58	57,58
<b>Nov</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Dez</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Jan</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Fev</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Mar</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Abri</b>	21,39	0,00	0,00
<b>Mai</b>	64,50	43,11	43,11
<b>Jun</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Jul</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Ago</b>	58,13	51,58	51,58
<b>Set</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Out</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Nov</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Dez</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Jan</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Fev</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Mar</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Abr</b>	80,00	80,00	80,00



**TABELA 6.20**

Variação do Volume (80% do VU) no Arco 19 do Reservatório de Morungaba  
Biênio 1971/1972 - VU = 207 hm<sup>3</sup>

Mes do Ano Hidrológico t	Volume Inicial = 80% VU		
	Peso		
	w = 0,6	w = 0,7	w = 0,9
Mai	99,94	99,94	99,94
Jun	0,00	0,00	0,00
Jul	0,00	0,00	0,00
Ago	1,45	1,45	1,45
Set	0,00	0,00	0,00
Out	0,13	0,13	0,13
Nov	0,00	0,00	0,00
Dez	0,00	0,00	0,00
Jan	0,00	0,00	0,00
Fev	8,87	12,80	12,80
Mar	21,48	25,41	25,41
Abri	26,41	30,33	30,33
Mai	27,58	31,51	31,51
Jun	26,95	26,95	26,95
Jul	28,02	28,02	28,02
Ago	28,95	28,95	28,95
Set	26,85	26,85	26,85
Out	38,17	38,17	38,17
Nov	45,36	45,36	45,36
Dez	47,15	47,15	47,15
Jan	55,66	55,66	55,66
Fev	63,50	63,50	63,50
Mar	70,77	70,77	70,77
Abr	80,00	80,00	80,00

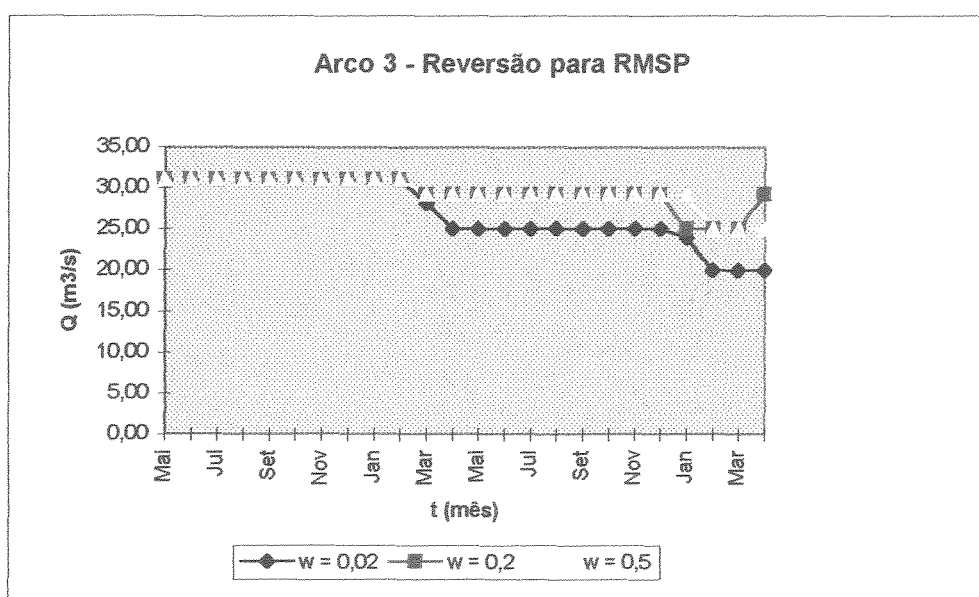




**TABELA 6.21**

Varição da Vazão (80% do VU) no Arco 3 da Reversão para RMSP  
Biênio 1962/1963

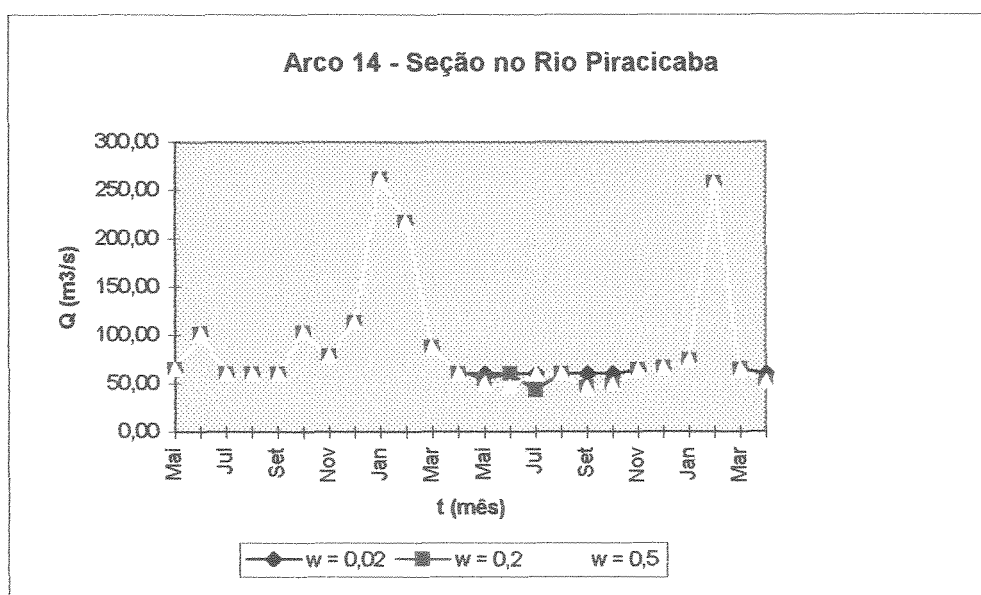
Mês do Ano Hidroológico t	Vazão (m <sup>3</sup> /s)		
	Peso		
	w = 0,02	w = 0,2	w = 0,5
Mai	31,02	31,02	31,02
Jun	31,02	31,02	31,02
Jul	31,02	31,02	31,02
Ago	31,02	31,02	31,02
Set	31,02	31,02	31,02
Out	31,02	31,02	31,02
Nov	31,02	31,02	31,02
Dez	31,02	31,02	31,02
Jan	31,02	31,02	31,02
Fev	31,02	31,02	31,02
Mar	28,14	29,21	29,21
Abr	25,00	29,21	29,21
Mai	25,00	29,21	29,21
Jun	25,00	29,21	29,21
Jul	25,00	29,21	29,21
Ago	25,00	29,21	29,21
Set	25,00	29,21	29,21
Out	25,00	29,21	29,21
Nov	25,00	29,21	29,21
Dez	25,00	29,21	29,21
Jan	23,92	25,06	29,21
Fev	19,98	25,00	25,06
Mar	19,98	25,00	25,00
Abr	19,98	29,21	25,00



**TABELA 6.22**

Variação da Vazão 80% do VU) no Arco 14 da Seção no Rio Piracicaba  
Biênio 1962/1963

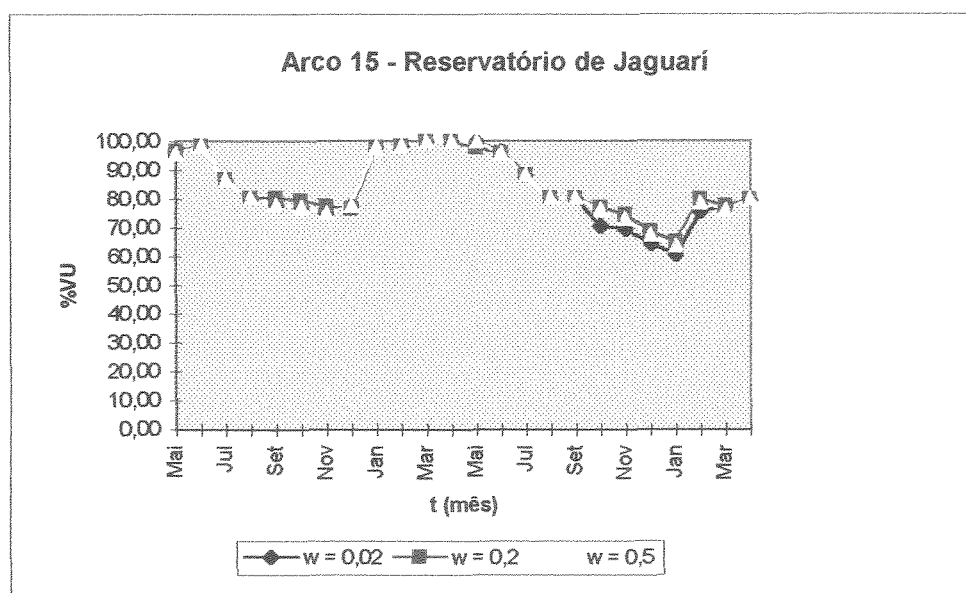
Mês do Ano Hidrológico t	Vazão (m <sup>3</sup> /s)		
	Peso		
	w = 0,02	w = 0,2	w = 0,5
Mai	64,39	64,39	64,39
Jun	100,80	100,80	100,80
Jul	59,99	59,99	59,99
Ago	59,99	59,99	59,99
Set	59,99	59,99	59,99
Out	101,93	101,93	101,93
Nov	78,20	78,20	78,20
Dez	112,75	112,75	112,75
Jan	261,23	261,23	261,23
Fev	216,54	216,54	216,54
Mar	87,03	87,03	87,03
Abr	59,99	59,99	59,99
Mai	59,99	54,14	50,05
Jun	59,99	59,99	46,40
Jul	59,99	42,31	59,99
Ago	59,99	59,99	59,99
Set	59,99	45,01	45,01
Out	59,99	48,15	48,15
Nov	63,61	63,61	63,61
Dez	65,58	65,58	65,58
Jan	73,69	73,69	73,69
Fev	256,58	256,58	256,58
Mar	63,86	63,86	63,86
Abr	59,99	51,04	51,04



**TABELA 6.23**

Variação do Volume (80% do VU) no Arco 15 do Reservatório de Jaguarí  
Biênio 1962/1963 - VU = 783 hm<sup>3</sup>

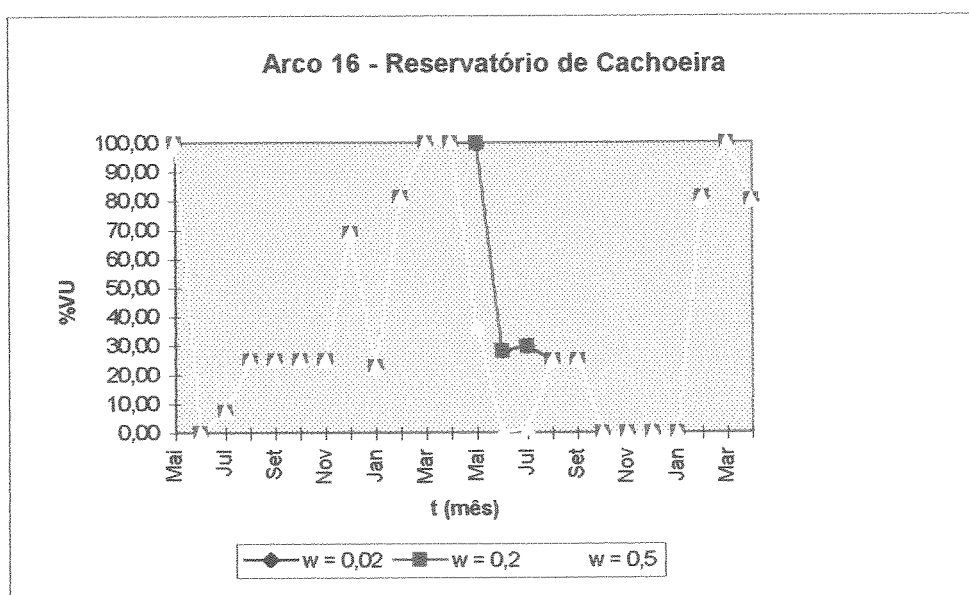
Mes do Ano Hidrológico t	Volume Inicial = 80% VU		
	Peso		
	w = 0,02	w = 0,2	w = 0,5
Mai	96,70	96,70	95,78
Jun	98,40	98,40	98,40
Jul	86,89	86,89	86,89
Ago	80,33	80,33	80,33
Set	77,93	80,33	77,93
Out	77,18	79,59	77,18
Nov	75,23	77,64	75,23
Dez	77,73	76,64	77,73
Jan	97,89	97,89	97,89
Fev	98,47	98,47	98,47
Mar	100,00	100,00	100,00
Abr	100,00	100,00	100,00
Mai	100,00	97,86	100,00
Jun	96,51	95,88	95,88
Jul	88,37	88,37	88,37
Ago	80,33	80,33	80,33
Set	80,33	80,33	80,33
Out	70,60	77,17	76,42
Nov	69,50	74,52	73,12
Dez	64,38	68,86	67,47
Jan	60,55	65,03	63,64
Fev	75,42	79,90	78,51
Mar	77,41	77,50	76,10
Abr	80,00	80,00	80,00



**TABELA 6.24**

Variação do Volume (80% do VU) no Arco 16 do Reservatório de Cachoeira  
Biênio 1962/1963 - VU = 48 hm<sup>3</sup>

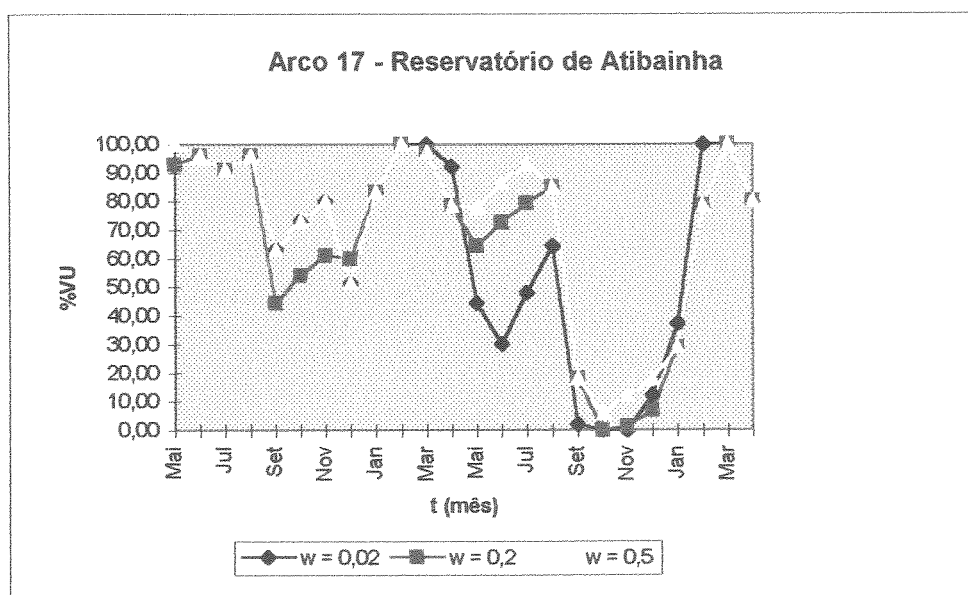
Mes do Ano Hidrológico t	Volume Inicial = 80% VU		
	Peso		
	w = 0,02	w = 0,2	w = 0,5
Mai	100,00	100,00	100,00
Jun	0,00	0,00	0,00
Jul	7,33	7,33	7,33
Ago	25,00	25,00	25,00
Set	25,00	25,00	25,00
Out	25,00	25,00	25,00
Nov	25,00	25,00	25,00
Dez	68,75	68,75	68,75
Jan	22,69	22,69	22,69
Fev	81,25	81,25	81,25
Mar	100,00	100,00	100,00
Abr	100,00	100,00	100,00
Mai	100,00	100,00	36,73
Jun	28,33	28,33	0,00
Jul	29,90	29,90	1,56
Ago	25,00	25,00	25,00
Set	25,00	25,00	25,00
Out	0,00	0,00	0,00
Nov	0,00	0,00	0,00
Dez	0,00	0,00	0,00
Jan	0,00	0,00	0,00
Fev	81,25	81,25	81,25
Mar	100,00	100,00	100,00
Abr	80,00	80,00	80,00



**TABELA 6.25**

Variação do Volume (80% do VU) no Arco 17 do Reservatório de Atibainha  
Biênio 1962/1963 - VU = 100 hm<sup>3</sup>

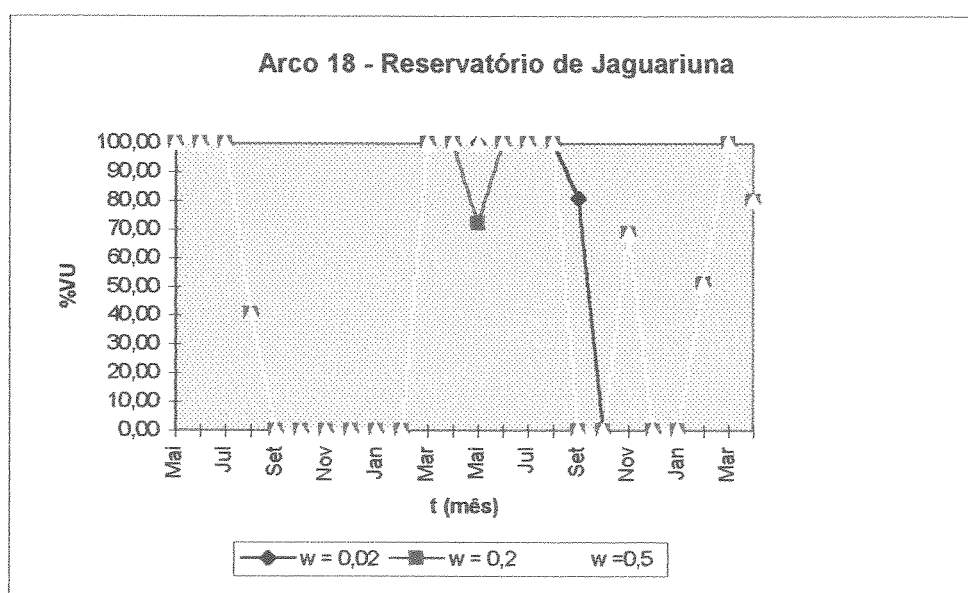
Mes do Ano Hidrológico t	Volume Inicial =100% VU		
	Peso		
	w = 0,02	w = 0,2	w = 0,5
Mai	92,80	92,80	100,00
Jun	96,00	96,00	96,00
Jul	91,04	91,04	91,04
Ago	96,00	96,00	96,00
Set	63,26	44,42	63,26
Out	73,07	54,23	73,07
Nov	80,00	61,16	80,00
Dez	51,56	60,04	51,56
Jan	83,30	83,30	83,30
Fev	100,00	100,00	100,00
Mar	100,00	97,23	97,23
Abr	92,22	78,55	78,55
Mai	44,56	64,37	77,97
Jun	30,25	72,68	86,28
Jul	47,99	79,52	93,12
Ago	64,48	85,11	85,11
Set	2,00	18,18	18,18
Out	0,00	0,00	5,88
Nov	0,00	1,27	12,17
Dez	12,40	6,96	17,86
Jan	37,31	28,92	29,08
Fev	100,00	78,61	78,61
Mar	100,00	100,00	100,00
Abr	80,00	80,00	80,00



**TABELA 6.26**

Variação do Volume (80% do VU) no Arco 18 do Reservatório de Jaguariuna  
Biênio 1962/1963 - VU = 38 hm<sup>3</sup>

Mes do Ano Hidrológico t	Volume Inicial = 80% VU		
	Peso		
	w = 0,02	w = 0,2	w = 0,5
Mai	100,00	100,00	100,00
Jun	100,00	100,00	100,00
Jul	100,00	100,00	100,00
Ago	40,58	40,58	40,58
Set	0,00	0,00	0,00
Out	0,00	0,00	0,00
Nov	0,00	0,00	0,00
Dez	0,00	0,00	0,00
Jan	0,00	0,00	0,00
Fev	0,00	0,00	0,00
Mar	100,00	100,00	100,00
Abr	100,00	100,00	100,00
Mai	100,00	72,11	100,00
Jun	100,00	100,00	100,00
Jul	100,00	100,00	100,00
Ago	100,00	100,00	100,00
Set	80,76	0,00	0,00
Out	0,00	0,00	0,00
Nov	68,68	68,68	68,68
Dez	0,00	0,00	0,00
Jan	0,00	0,00	0,00
Fev	51,08	51,08	51,08
Mar	100,00	100,00	100,00
Abr	80,00	80,00	80,00



**TABELA 6.27**

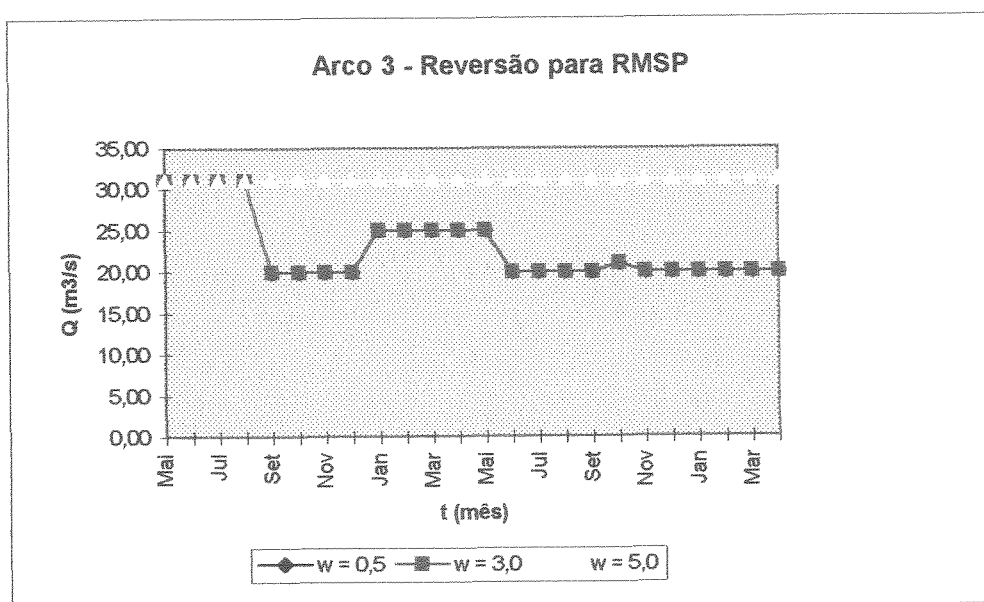
Variação do Volume (80% do VU) no Arco 19 do Reservatório de Morungaba  
Biênio 1962/1963 - VU = 207 hm<sup>3</sup>

Mes do Ano Hidrológico t	Volume Inicial = 80% VU		
	Peso		
	w = 0,02	w = 0,2	w = 0,5
<b>Mai</b>	100,00	100,00	100,00
<b>Jun</b>	39,87	39,87	39,87
<b>Jul</b>	48,23	48,23	48,23
<b>Ago</b>	46,89	46,89	46,89
<b>Set</b>	27,18	27,18	27,18
<b>Out</b>	33,83	33,83	33,83
<b>Nov</b>	38,00	38,00	38,00
<b>Dez</b>	44,12	44,12	44,12
<b>Jan</b>	80,61	80,61	80,61
<b>Fev</b>	94,33	94,33	94,33
<b>Mar</b>	99,76	99,76	99,76
<b>Abr</b>	100,00	100,00	100,00
<b>Mai</b>	100,00	99,11	99,11
<b>Jun</b>	100,00	72,09	94,23
<b>Jul</b>	72,61	64,44	64,44
<b>Ago</b>	35,96	27,80	27,80
<b>Set</b>	0,00	22,30	22,30
<b>Out</b>	19,64	19,64	19,64
<b>Nov</b>	25,39	25,39	25,39
<b>Dez</b>	24,32	24,32	24,32
<b>Jan</b>	26,89	26,89	26,89
<b>Fev</b>	73,78	73,78	73,78
<b>Mar</b>	78,93	78,93	78,93
<b>Abr</b>	80,00	80,00	80,00

**TABELA 6.28**

Variação da Vazão (100% do VU) no Arco 3 da Reversão para RMSP  
Biênio 1954/1955

Mês do Ano Hidrológico t	Vazão (m <sup>3</sup> /s)		
	Peso		
	w = 0,5	w = 3,0	w = 5,0
Mai	31,02	31,02	31,02
Jun	31,02	31,02	31,02
Jul	31,02	31,02	31,02
Ago	31,02	31,02	31,02
Set	19,98	19,98	31,02
Out	19,98	19,98	31,02
Nov	19,98	19,98	31,02
Dez	19,98	19,98	31,02
Jan	25,00	25,00	31,02
Fev	25,00	25,00	31,02
Mar	25,00	25,00	31,02
Abr	25,00	25,00	31,02
Mai	25,00	25,00	31,02
Jun	19,98	19,98	31,02
Jul	19,98	19,98	31,02
Ago	19,98	19,98	31,02
Set	19,98	19,98	31,02
Out	20,99	20,99	31,02
Nov	19,98	19,98	31,02
Dez	19,98	19,98	31,02
Jan	19,98	19,98	31,02
Fev	19,98	19,98	31,02
Mar	19,98	19,98	31,02
Abr	19,98	19,98	31,02

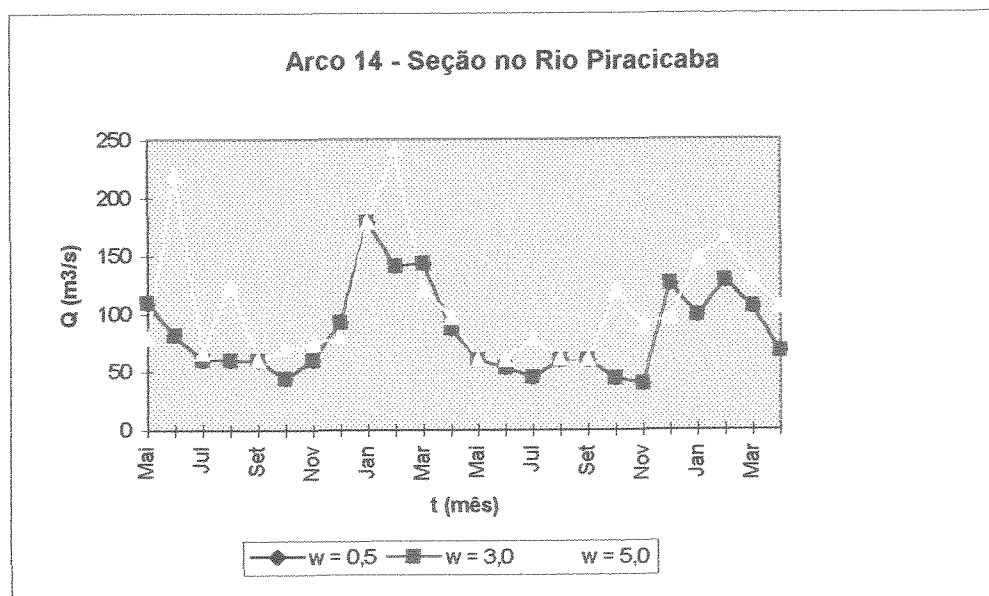




**TABELA 6.29**

Variação da Vazão (100% do VU) no Arco 14 da Seção do Rio Piracicaba  
Biênio 1954/1955

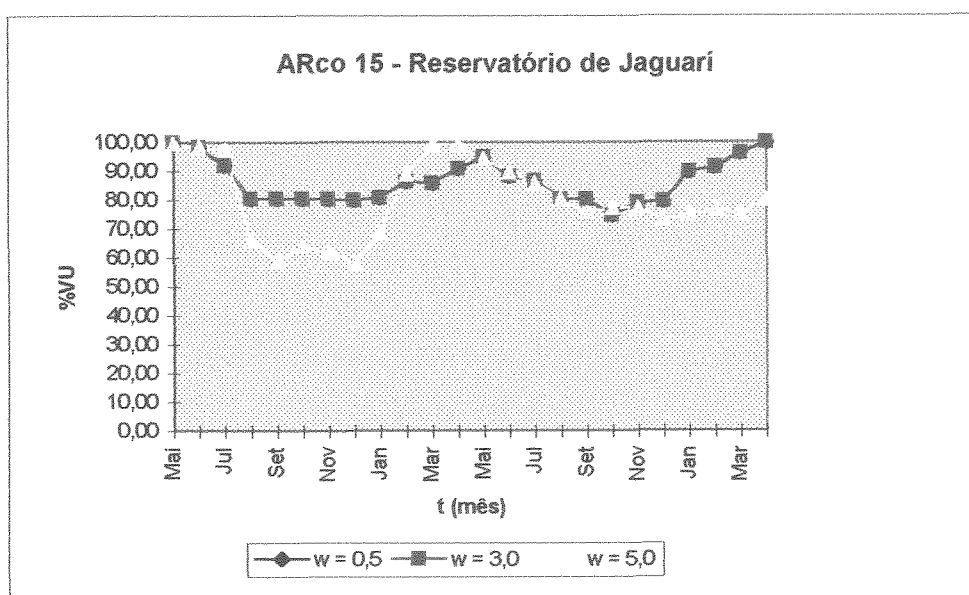
Mês do Ano Hidrológico t	Vazão (m <sup>3</sup> /s)		
	Peso		
	w = 0,5	w = 3,0	w = 5,0
Mai	109,79	109,79	78,66
Jun	81,67	81,67	220,29
Jul	59,99	59,99	66,05
Ago	59,99	59,99	125,85
Set	59,72	59,72	59,99
Out	43,9	43,9	68,92
Nov	59,99	59,99	74,1
Dez	92,93	92,93	79,97
Jan	179,04	179,04	178,55
Fev	141,44	141,44	241,23
Mar	143,71	143,71	121,67
Abr	87,31	87,31	96,82
Mai	59,99	59,99	59,99
Jun	53,78	53,78	59,99
Jul	45,28	45,28	79,74
Ago	59,99	59,99	61,41
Set	59,99	59,99	60,95
Out	43,97	43,97	119,24
Nov	40,01	40,01	90,73
Dez	125,83	125,83	96,62
Jan	98,82	98,82	146,79
Fev	128,84	128,84	166,66
Mar	105,87	105,87	128,88
Abr	67,21	67,21	105,46



**TABELA 6.30**

Variação do Volume (100% do VU) no Arco 15 do Reservatório de Jaguariuna  
Biênio 1954/1955 - VU = 783 hm<sup>3</sup>

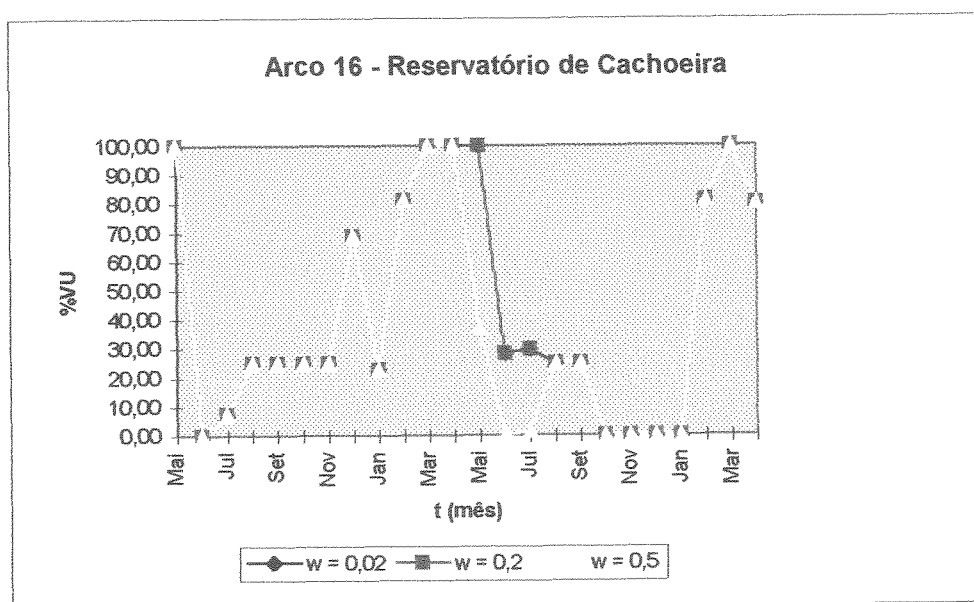
Mes do Ano Hidrológico t	Volume Inicial = 100% VU		
	Peso		
	w = 0,5	w = 3,0	w = 5,0
Mai	100,00	100,00	99,59
Jun	98,47	98,47	98,47
Jul	92,09	92,09	97,62
Ago	80,33	80,33	66,00
Set	80,33	80,33	59,40
Out	80,33	80,33	63,93
Nov	80,33	80,33	61,60
Dez	80,00	80,00	58,48
Jan	80,81	80,81	69,02
Fev	86,49	86,49	88,80
Mar	85,84	85,84	99,28
Abr	90,81	90,81	99,02
Mai	94,91	94,91	94,15
Jun	88,28	88,28	89,48
Jul	86,73	86,73	85,76
Ago	80,33	80,33	80,33
Set	80,33	80,33	75,63
Out	74,69	74,69	77,03
Nov	78,79	78,79	77,22
Dez	79,56	79,56	72,97
Jan	89,89	89,89	74,93
Fev	91,35	91,35	76,74
Mar	96,20	96,20	75,34
Abr	100,00	100,00	80,00



**TABELA 6.31**

Varição do Volume (80% do VU) no Arco 16 do Reservatório de Cachoeira  
 Biênio 1962/1963 - VU = 48 hm<sup>3</sup>

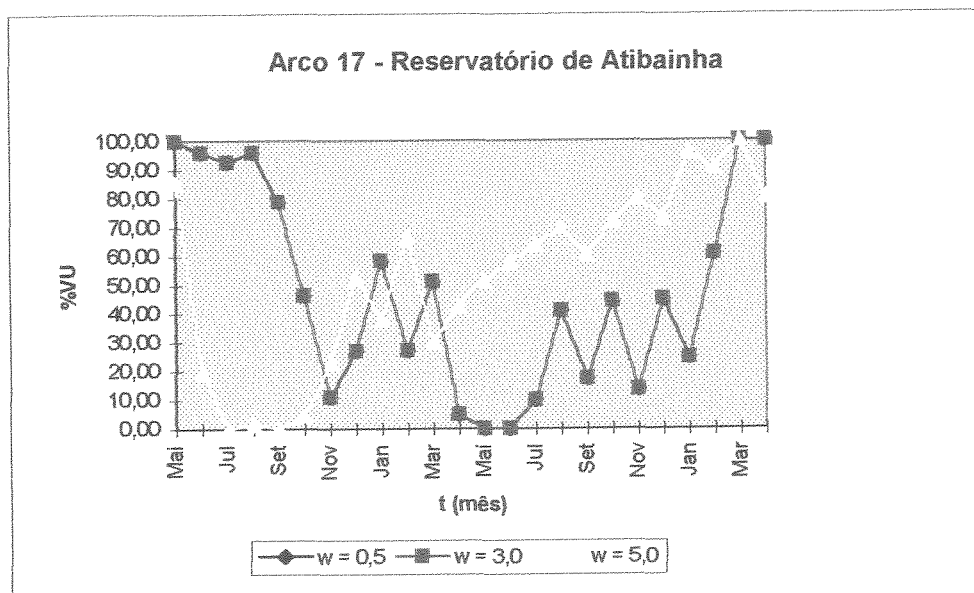
Mes do Ano Hidrológico t	Volume Inicial = 80% VU		
	Peso		
	w = 0,02	w = 0,2	w = 0,5
Mai	100,00	100,00	100,00
Jun	0,00	0,00	0,00
Jul	7,33	7,33	7,33
Ago	25,00	25,00	25,00
Set	25,00	25,00	25,00
Out	25,00	25,00	25,00
Nov	25,00	25,00	25,00
Dez	68,75	68,75	68,75
Jan	22,69	22,69	22,69
Fev	81,25	81,25	81,25
Mar	100,00	100,00	100,00
Abr	100,00	100,00	100,00
Mai	100,00	100,00	36,73
Jun	28,33	28,33	0,00
Jul	29,90	29,90	1,56
Ago	25,00	25,00	25,00
Set	25,00	25,00	25,00
Out	0,00	0,00	0,00
Nov	0,00	0,00	0,00
Dez	0,00	0,00	0,00
Jan	0,00	0,00	0,00
Fev	81,25	81,25	81,25
Mar	100,00	100,00	100,00
Abr	80,00	80,00	80,00



**TABELA 6.32**

Varição do Volume (100% do VU) no Arco 17 do Reservatório de Atibainha  
Biênio 1954/1955 - VU = 100 hm<sup>3</sup>

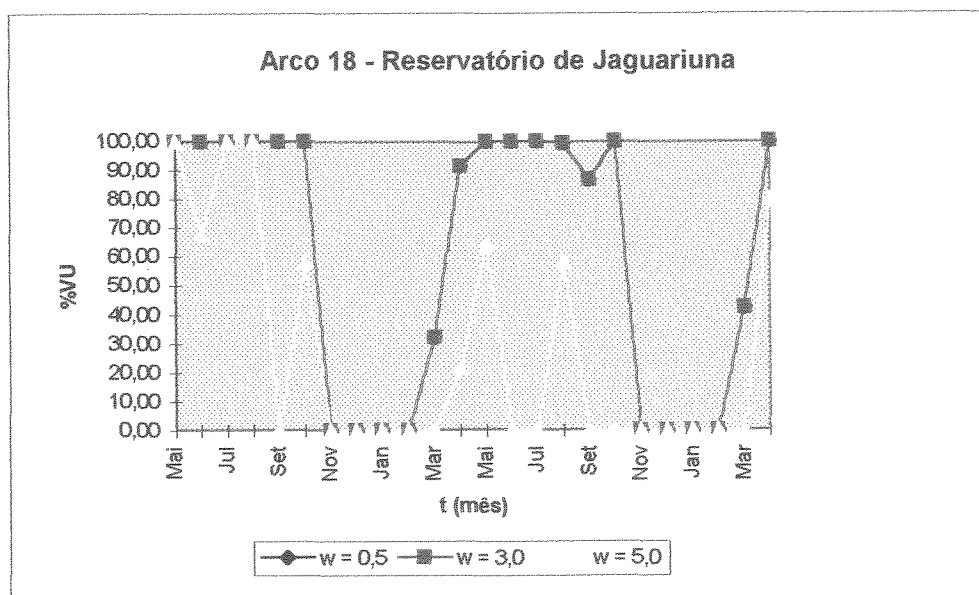
Mes do Ano Hidrológico t	Volume Inicial = % VU		
	Peso		
	w = 0,5	w = 3,0	w = 5,0
Mai	100,00	100,00	85,22
Jun	96,00	96,00	19,46
Jul	92,57	92,57	0,00
Ago	96,00	96,00	1,27
Set	78,79	78,79	0,00
Out	46,32	46,32	4,50
Nov	10,96	10,96	22,65
Dez	26,84	26,84	52,29
Jan	58,42	58,42	38,27
Fev	27,14	27,14	66,61
Mar	51,25	51,25	30,12
Abri	4,94	4,94	42,70
Mai	0,00	0,00	51,21
Jun	0,00	0,00	57,65
Jul	10,06	10,06	63,73
Ago	41,03	41,03	69,70
Set	17,37	17,37	60,28
Out	44,36	44,36	71,64
Nov	13,51	13,51	80,00
Dez	45,03	45,03	73,05
Jan	24,64	24,64	96,00
Fev	60,87	60,87	90,53
Mar	100,00	100,00	100,00
Abr	100,00	100,00	80,00



**TABELA 6.33**

Varição do Volume (100% do VU) no Arco 18 do Reservatório de Jaguariuna  
Biênio 1954/1955 - VU = 38 hm<sup>3</sup>

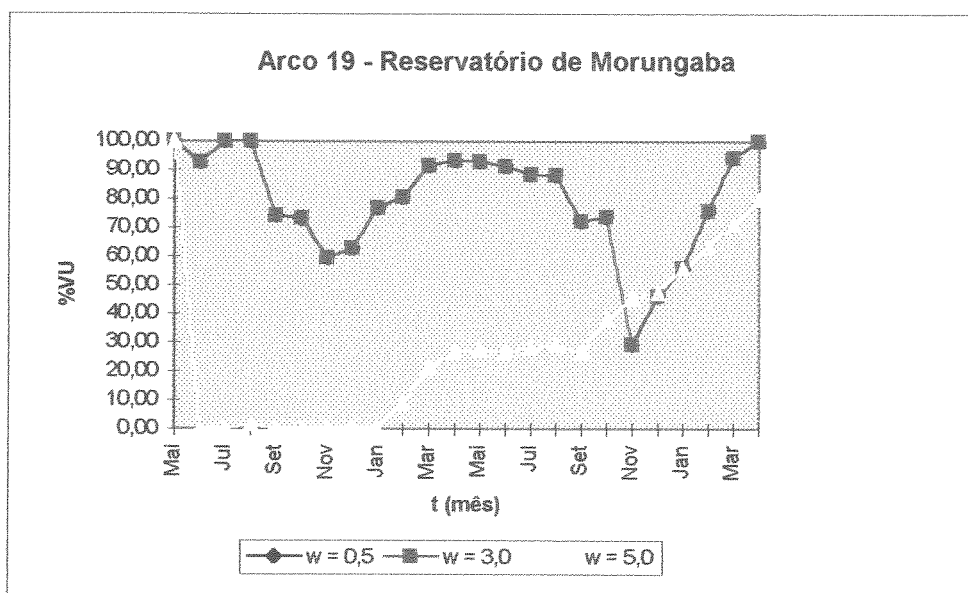
Mes do Ano Hidroológico t	Volume Inicial = 100% VU		
	Peso		
	w = 0,5	w = 3,0	w = 5,0
Mai	100,00	100,00	100,00
Jun	100,00	100,00	67,61
Jul	100,00	100,00	100,00
Ago	100,00	100,00	100,00
Set	100,00	100,00	0,00
Out	100,00	100,00	57,58
Nov	0,00	0,00	0,00
Dez	0,00	0,00	0,00
Jan	0,00	0,00	0,00
Fev	0,00	0,00	0,00
Mar	32,08	32,08	0,00
Abr	91,55	91,55	21,39
Mai	100,00	100,00	64,50
Jun	100,00	100,00	0,00
Jul	100,00	100,00	0,00
Ago	99,42	99,42	58,13
Set	86,68	86,68	0,00
Out	100,00	100,00	0,00
Nov	0,00	0,00	0,00
Dez	0,00	0,00	0,00
Jan	0,00	0,00	0,00
Fev	0,00	0,00	0,00
Mar	42,37	42,37	0,00
Abr	100,00	100,00	80,00



**TABELA 6.34**

Varição do Volume (100% do VU) no Arco 19 do Reservatório de Morungaba  
Biênio 1954/1955 - VU = 207 hm<sup>3</sup>

Mes do Ano Hidrológico t	Volume Inicial = 100% VU		
	Peso		
	w = 0,5	w = 3,0	w = 5,0
<b>Mai</b>	100,00	100,00	99,94
<b>Jun</b>	92,60	92,60	0,00
<b>Jul</b>	100,00	100,00	0,00
<b>Ago</b>	100,00	100,00	1,45
<b>Set</b>	74,16	74,16	0,00
<b>Out</b>	73,16	73,16	0,13
<b>Nov</b>	59,38	59,38	0,00
<b>Dez</b>	62,75	62,75	0,00
<b>Jan</b>	76,82	76,82	0,00
<b>Fev</b>	80,52	80,52	8,87
<b>Mar</b>	91,61	91,61	21,48
<b>Abri</b>	93,32	93,32	26,41
<b>Mai</b>	92,98	92,98	27,58
<b>Jun</b>	91,38	91,38	26,95
<b>Jul</b>	88,39	88,39	28,02
<b>Ago</b>	88,14	88,14	28,95
<b>Set</b>	72,06	72,06	26,85
<b>Out</b>	73,81	73,81	38,17
<b>Nov</b>	29,47	29,47	45,36
<b>Dez</b>	46,02	46,02	47,15
<b>Jan</b>	55,95	55,95	55,66
<b>Fev</b>	75,64	75,64	63,50
<b>Mar</b>	94,30	94,30	70,77
<b>Abr</b>	100,00	100,00	80,00



### 6.1.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através das **TABELAS 6.7 a 6.34**, é observado que o sistema atende satisfatoriamente aos dois objetivos propostos no modelo, desde que se conheçam as vazões no horizonte de 24 meses (vazões determinísticas), com a devida manipulação dos volumes e correspondente diferenciação na evolução dos volumes com o tempo.

Avaliando a variação das vazões otimizadas, é verificado na **TABELA 6.7** que no período úmido (1976/1977), existe água em abundância no sistema, qualquer que seja o peso para os objetivos. Logo, a capacidade otimizante do modelo, consegue manipular os volumes atendendo aos objetivos, não provocando conflitos.

Mesmo com a otimização, o período crítico (mai-set) é confirmado no estudo das variações das vazões na seção do rio Piracicaba - arco 14, principalmente no biênio mais seco, 1954/1955, onde a vazão mínima chega a 40,01 m<sup>3</sup>/s, aproximadamente igual ao limite mínimo de 40,0 m<sup>3</sup>/s nesta seção.

Reservatórios com grande volume útil possuem grande "inércia". É o caso do reservatório do Jaguari - 783 hm<sup>3</sup> de volume útil, em que se verifica a sua insensibilidade às necessidades operacionais no período de 1976/1977 - **TABELA 6.9**, (são pequenas as necessidades do reservatório), uma vez que a disponibilidade das vazões naturais é grande. Os reservatórios de pequeno volume útil, já apresentam sensibilidade à ponderação nos objetivos, como é o caso dos reservatórios de Cachoeira - 48 hm<sup>3</sup> (**TABELA 6.10**) e Atibainha - 100 hm<sup>3</sup> (**TABELA 6.11**).

No biênio 1962/1963, o segundo mais seco, verificando o comportamento das vazões para o arco 3 - Reversão para RMSP, (**TABELA 6.21**), observa-se que a partir de março de 1963 há uma redução da vazão de reversão, com a finalidade de recuperar o volume útil dos reservatórios do Sistema Cantareira, para atingir o estado final requerido. Esta diferenciação é também vista de maneira mais acentuada no biênio 1954/1955, que é o mais seco do período estudado (**TABELA 6.28**). Para ambos os períodos há uma nítida situação de conflito entre os objetivos, sendo sacrificado o abastecimento para RMSP.

Já na seção do rio Piracicaba - arco 14, para os dois biênios mais secos, nota-se que mesmo com a mudança dos pesos, o efeito na variação de vazão foi menos intenso que no arco 3. A razão está no fato de que esta seção - arco 14, está no exutório (ponto mais a jusante) da Bacia, logo, existem mais alternativas de gerenciamento para atender aos objetivos relativos à esta variável, bem como disponibilidade hídrica na bacia incremental (**TABELAS 6.22 e 6.29**).

Outro aspecto relevante verificado na **TABELA 6.23**, para o biênio 1962/1963, é que no reservatório de Jaguarí verifica-se a tendência de recuperação do volume útil proximamente ao final do horizonte de planejamento (Jan/63). Isto porque exigiu-se na modelagem um estado final (volume) maior ou igual a 80% VU. Esta exigência, necessária para assegurar confiabilidade na operação futura, é também um dos fatores que provoca conflito entre os objetivos. Observa-se pois, que trata-se de um problema com conflitos de ordem espacial (RMSP x seção no rio Piracicaba) e também temporal (atender agora x atendimento futuro).

A tomada de decisão é função de um modelo de previsão de vazões mensais. Dentre os mais usados sugere-se o emprego dos Modelos de Séries Temporais, em que as vazões são calculadas a partir da ocorrência de valores atuais. BARRETO (1987) apresentou um modelo hidrológico aplicado a estudos de operações a longo prazo de um sistema hidrelétrico, onde este permite *“...a geração de seqüências invariáveis preservando as características estáticas (média e desvio padrão e distribuição de probabilidade) e temporais da série histórica”*.

O esquema para a utilização do modelo aplicado ao estudo de caso, para uma situação real onde se quer considerar as incertezas futuras das vazões é:

1. Gerar o modelo de previsão em função de uma série histórica;
2. Otimização com base na previsão de vazões do modelo de séries temporais;
3. Implementar a solução ótima apenas para o primeiro mês em vigor;
4. Ao final do primeiro mês, atualizar os volumes dos reservatórios com base na vazão observada neste mês, e
5. Voltar ao passo 2.



---

## **CAPÍTULO 7**

### **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

#### **7.1 CONCLUSÕES**

Foi estudado nesta dissertação, o problema do gerenciamento de recursos hídricos de bacias hidrográficas de grande complexidade, quanto aos aspectos técnicos-operacionais e institucionais. Tomou-se para estudo de caso a bacia do rio Piracicaba, a qual contempla um nível de complexidade bastante acentuado para avaliar a metodologia proposta.

As conclusões que seguirão à diante, estão baseadas nos reconhecimentos dos seguintes aspectos determinantes dos problemas da Bacia.

Os problemas que se manifestaram nas alterações de quantidade e qualidade dos recursos hídricos da Bacia, provenientes do crescimento industrial acelerado juntamente com a urbanização, foram objeto de estudos para fins de planejamento. Em termos históricos verifica-se, que a eficácia dos planos implementados na bacia ficou comprometida em virtude dos mecanismos governamentais de decisão, os quais foram marcados pela centralização e pela excessiva setorização dos órgãos públicos. Não foram incorporadas as posições dos agentes sociais nas decisões, com isto desconsiderando os conflitos sociais, econômicos e políticos. Isto demonstra que, para alcançar as metas propostas nos planos é necessário, também, uma intensa articulação política.

Atualmente a descentralização dos processos decisórios, está garantida pela estrutura formada pelos Comitês de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, que é um fórum institucional para a discussão pública dos problemas relacionados à região, com base no Plano de Bacias.

São feitas nestas conclusões algumas observações relativas aos resultados do modelo proposto, comparando-os com conclusões de estudos anteriores, citados em relatórios no decorrer do texto.

Os resultados do modelo estudado poderão subsidiar a análise da viabilidade de uma das soluções alternativas propostas pela JPE (1994), que é de construir as 2 (duas) barragens de regularização de vazões - Jaguariuna e Morungaba - para manter o abastecimento público das bacias do Piracicaba e Capivari.

A referida Empresa executou o balanço da disponibilidade hídrica - elaborado em função das condições mais desfavoráveis: menor disponibilidade hídrica e maior demanda - separadamente (para o semestre úmido e seco) na tentativa de verificar se as maiores demandas ocorrem nos períodos de maior disponibilidade, como no caso da utilização da água para fins de abastecimento público nas cidades com atrações turísticas (demandas maiores da população flutuante nas temporadas de verão, quando se dão as maiores precipitações). Neste estudo, as maiores demandas de forma geral não ocorrem nos períodos de maior disponibilidade hídrica, conforme as razões expostas a seguir:

1. Consumo público - Maiores demandas ocorrem no semestre úmido (verão), as variações em relação às médias observadas no semestre seco (inverno) são pouco significativas, da ordem de 10%.
2. Consumo industrial - Com relação as usinas sucro-alcooleiras as quais operam apenas nos períodos de safra (abril a novembro ou dezembro), o pico de consumo ocorre predominantemente no semestre seco, enquanto as demais indústrias não apresentam variação significativa ao longo do ano.
3. Consumo para irrigação - A maior demanda de água na agricultura, ocorre principalmente nos períodos de menor pluviosidade, ou seja, no semestre seco.

Considerando-se a construção de duas barragens de regularização previstas pelo DAEE nos rios Camanducaia e Jaguari, as quais fazem parte da otimização simulada no estudo de caso, a análise dos resultados mostrou que para a Bacia, considerando a vazão  $Q_{7,10}$ <sup>1</sup> (condição mais restritiva), nenhuma das sub-bacias apresentarão problemas até o ano 2005, enquanto que em 2010 algumas apresentarão deficiências, principalmente nas grandes captações para abastecimento público e industrial. O estudo ainda faz referência a necessidade da construção das barragens previstas pelo DAEE e a operação iniciando entre o quinquênio de 2005 a 2010, no propósito de sanear as deficiências observadas.

Os rios Camanducaia com a barragem de Jaguariuna, Jaguari com os reservatórios de Jaguariuna ou Morungaba, Atibaia, Corumbataí e Piracicaba não apresentam problemas de disponibilidade hídrica até o final do plano;

É feita uma ressalva pela JPE (1994) quanto ao rio principal da Bacia, o Piracicaba. A disponibilidade, na situação atual, é igual as necessidades, embora seja necessário restringir as captações industriais e de irrigação a montante de algumas seções em rios secundários, que apresentam vazões necessárias de captação maiores que as disponíveis na seção<sup>2</sup>, para garantir a manutenção dessas condições até o final do plano.

A Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos (COBRAPE), sob contrato do Consórcio (CONSÓRCIO, 1993) elaborou e desenvolveu um programa sistematizado de conservação e recuperação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba e Capivari. Fazem parte planos e programas de recuperação sanitária, desenvolvimento da oferta e proteção dos recursos hídricos e, estruturação dos instrumentos de ordem técnica, administrativa, legal, financeira e institucional necessários ao gerenciamento, na qualidade e quantidade, destes recursos hídricos. Destacamos aqueles programas voltados a garantir a disponibilidade hídrica nas bacias em referência, através das barragens de

---

<sup>1</sup>  $Q_{7,10}$  - É a descarga mínima de 7 dias consecutivos, com período de retorno igual a 10 anos.

<sup>2</sup> Captação de Sumaré (represa do Marcelo, represa do Horto) e Nova Odessa (ribeirão dos Lopes e córrego Recanto) - a capacidade de regularização dos sistemas são iguais às vazões atualmente captadas nos mesmos; vazão hoje captada pela Limeira Indústria de Papel no ribeirão do Tatu que é maior que a disponibilidade hídrica atual na seção; captações das Usinas Ometto (córregos Paramirim e Boa Vista); captação de Rio das Pedras no rio Paracica-Mirim, e captação da Usina Modelo (ribeirão Guamiun) (JPE, 1992).

regularização de vazões, aos sistemas de informação apresentando como componentes o cadastro e monitoramento das fontes (pontuais e difusas) de poluição hídrica justificado pela “...*consolidação de um dos instrumentos chaves para a gestão dos recursos hídricos das bacias, e subsídio fundamental para a instituição de tarifas incidentes em função dos níveis de emissão de poluentes*”.

A visão de conjunto que o modelo estudado proporciona, a qual através da interpretação dos benefícios de maneira conjunta, contrapõe-se aos estudos tradicionais dentre aqueles que avaliam o benefício das obras hidráulicas de maneira pontual. Além disso, consegue-se avaliar as alternativas de planejamento sobre diferentes cenários hidrológicos (média, árido e úmido), o que constitui-se em componente de grande valor para subsidiar alguns programas que objetivam a conservação e recuperação dos mananciais da Bacia.

O modelo foi aplicado em torno de um problema específico - estudo de caso - mas a flexibilidade de sua estrutura computacional, permite a sua adaptação em diferentes sistemas hídricos e atualização e/ou modificação de cada módulo dos programas que o compõe, bem como na alteração do horizonte de planejamento proposto pelos tomadores de decisão.

## **7.2 RECOMENDAÇÕES**

Na perspectiva de auxiliar aos tomadores de decisão e, particularmente, atender aos programas previstos no Plano de Bacias, recomenda-se a complementação deste estudo com a formulação de um estudo integrado de otimização de quantidade de água acoplado à um modelo de simulação de qualidade de água. Os dados de entrada para o modelo de simulação serão as vazões otimizadas. Esta metodologia - Integrated Quantity and Quality Simulator (IQQS), já foi desenvolvida por AZEVEDO (1994), usando como área de estudo o Sistema Cantareira (otimização) e a bacia do rio Piracicaba (simulação). Essa metodologia difere deste trabalho de dissertação, quanto sistema e a técnica de

otimização - modelo MODSIM (algoritmo out-of-kiltter) - que trata-se de um pacote pronto. A integração possui a vantagem de auxiliar os tomadores de decisão a avaliar a difícil e complexa tarefa de estimar as respostas do sistema às alternativas do planejamento estratégico. Tais alternativas incluem: medidas estruturais e não-estruturais para operação de reservatórios, aumento de liberação de vazão, níveis de tratamento de efluentes ou a combinação de cada alternativa - com mais rapidez que as técnicas tradicionais.

Reconhece-se como válidas e de grande importância a necessidade de implementar rede de informações atualizadas de fontes poluidoras e o reenquadramento de forma atualizada dos corpos d'água (SMA,1994) como instrumentos para alcançar as metas previstas no Plano de Bacias, com vistas à melhoria da qualidade desses recursos hídricos.

Quanto ao aspecto de monitoramento dos corpos d'águas, é necessário rever os pontos de amostragem da rede, com relação aos parâmetros que serão analisados, na perspectivas não só de melhorar o ajuste entre a localização e a finalidade destes, mas como também de obter dados mais confiáveis, para os fins a que se destinam. Ao mesmo tempo centralizar a origem das informações geradas pela rede de monitoramento, com vistas a facilitar ao usuário a obtenção e manipulação dos dados.

Dentre os programas concebidos para a Bacia, existem aqueles que tem preocupação voltada ao controle do uso dos recursos hídricos e divulgação de informação (monitoramento hidrológico), os quais trazem como benefício o conhecimento em tempo real da situação de qualidade e quantidade das águas na Bacia, permitindo extrapolações e tomadas de decisão. Isto poderá se efetivar através de modelos com interfaces que aproximem ainda mais o usuário, na medida em que facilidades na manipulação e compreensão dos resultados sejam desenvolvidas, objetivando maior rapidez na tomada de decisão. Esta medida é muito necessária na implementação a nível operacional para o gerenciamento e projetos de engenharia de sistemas de recursos hídricos.

Embora várias medidas já estejam contempladas no Plano de Bacias, em termos de alternativas para o gerenciamento e/ou melhoria da qualidade de água

da Bacia, com base nos resultados finais do modelo e com base na sistematização sugerida por RINALDI et al (1979), recomendamos algumas medidas de controles. O investimento no tratamento de águas residuárias é essencial, sem o que alternativa alguma de gerenciamento poderá ser eficaz, principalmente em horizonte de longo prazo. Pode-se também melhorar o potencial de auto-depuração dos mananciais através da construção de reservatórios regularizadores; reduzir a descarga sólida através de técnicas alternativas de processamento e/ou pela redução de resíduos gerados. Finalmente, objetivando a política de usuário-pagador, já tratada pelas Entidades voltadas à questão da qualidade do sistema fluvial, implementar meios de cobrança sobre o uso da água e aplicar os insumos pagos em programas e obras de melhoria da qualidade do sistema natural.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE FILHO, Marinho et al. Midterm Operation Planning of a Multipurpose Reservoir System. In: **Water Resource Systems Application**. Proceedings: International Symposium on Water Resource Systems Application. Winnipeg: S. P. Simonovic et al, 1990. p. 536-545.

AZEVEDO, Luis Gabriel Todt de. **Integration of water quantity and quality in multi-sector river basin planning**. Fort Collins: Colorado State University, 1993. 364p. Tese (Doutorado), Department of Civil Engineering, Colorado State University, 1994.

BARRETO, L. A. e GUERREIRO, Pedro. **Modelagem para estudos de operação a longo prazo de sistemas hidrelétricos**. Rio de Janeiro: COOPPE-UFRJ/ELETROBRAS, 1987. 18p. (xerog.)

BARTH, Flávio Terra e POMPEU, Cid Tomanik. Fundamentos para gestão de recursos hídricos. In: BARTH, Flávio Terra et al. **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel: ABRH, 1987. v.1, cap. 1, p. 1-86.

BARBOSA, Paulo, S.F. e BRAGA JR, Benedito P.F. The use of network flow optimization in water control and management. In: **Advances in hydro-science and engineering**. Washington: Sans S. Y. Wang, 1993, vol. I, p. 399-405.

BARROS, Luiz Gustavo Oran, BARBOSA, Paulo Sérgio Franco. **A modelagem dos recursos hídricos do sistema Cantareira e bacia do Piracicaba através da técnica de fluxo em rede**. Relatório de Projeto. CNPq/PIBIC. Campinas: Unicamp, jul, 1994, 19 p.

- CARON, Dalcio. Agricultura e recursos hídricos em São Paulo. **São Paulo em perspectiva - o agrário paulista**. São Paulo: SEADE, v.7, n.3, Jul/Set, 1993, 158p., p.72-78.
- CHAPRA, Steven C.; BYARS, Morgan S. e BRANDÃO, Marcos. **Stream water modeling with QUAL2EU**. Colorado: University of Colorado, 1994. 189p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Diagnóstico da poluição ambiental no interior do estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, dex/1994, 302p.
- \_\_\_\_\_. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 1992. 251p.
- CONEJO, João Gilberto Lotufo. Política Estadual de Recursos Hídricos. In: **Semana de debates sobre recursos hídricos e meio ambiente**. Piracicaba: DAEE/FUNDAP, 1992. p. 69-81.
- CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CERH) (São Paulo). **Plano estadual de recursos hídricos: primeiro plano estadual de recursos hídricos**. São Paulo: DAEE, 1990. 137p.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resoluções do CONAMA - 1984/86**. Brasília: SEMA, 1986. 96p.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). Balanço hídrico do Estado de São Paulo. **Águas e energia elétrica**, São Paulo, n.12, p. 18-27, 1987.
- \_\_\_\_\_. Bacia do Piracicaba - proposta de programas prioritários. **Águas e energia elétrica**, São Paulo, n.13, p. 5-13, 1988.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA (DNAEE). **Boletim fluviométrico nº 24**. São Paulo: DNAEE, 1970, 465p.



DIMINUI consumo de água em São Paulo. *Folha de São Paulo*, São Paulo, 29 set. 1994. p. 3, c. 7.

FASSO, Constantino A. Characteristic of complex water systems. In: *Operation of complex water systems*. Netherlands: Martinus Nijhoff, 1983. 504p. p. 3-20.

FOWLER, Lloyd C. Improved methods of water systems operation. In: *Operation of complex water systems*. Netherlands: Martinus Nijhoff, 1983. 504 p. p.26-31.

GALLO, Zildo. *A proteção das água, um compromisso do presente com o futuro: o caso da bacia do rio Piracicaba*. Campinas: UNICAMP, 1995. 151p. Dissertação (Mestrado em Administração e Política de Recursos Hídricos) - Instituto de Geociência, Universidade Estadual de Campinas, 1995.

HERMANN, Roberto Max. Planejamento e operação de sistemas de recursos hídricos. In: *Curso de engenharia hidrológica*. São Paulo: EDUSP/DAEE/ABRH, 1983. 2v. v2: Hidrologia Operacional. p. 11-110.

IANNI, Otávio. *O planejamento econômico no Brasil*. 4a.ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira S.A., 1986. 316 p.

JAAKKO PÖYRY ENGENHARIA Ltda (JPE). *Plano diretor de captação de água para abastecimento público nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari*. São Paulo, 1992. 212 p.

KENNINGTN, Jeff L. e HELGASON, Richard V. *Algorithms for network programming*. New York: John Wiley & Sons, 1980, 291p.

LABADIE, John W., BODE, Dennis A. e PINEDA, Andrew M. Network model for decision-support in municipal raw water supply. *Water resourcer bulletin*. v.22, n. 6, p. 927-940, dec./1986.

MARINS, Fernando A. Silva. *Estudos de programas em redes lineares por parte*. Campinas: UNICAMP, 1987. 144 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, 1987.

MARKS, David H. & COHON, Jared L. An Applications of Linear Programming to the Preliminary analysis of River Basin Planning Alternatives. In: SALKIN, Harvey M. & SAHA, Jahar. **Studies in management science and systems**. New York: Burton V. Dean, 1975. Vol. 2, cap. 12, p. 251-271.

NEGRI, Barjas; GONÇALVES, Maria Flora e CANO, Wilson. **A interiorização do desenvolvimento econômico no Estado de São Paulo, 1920-1980**. São Paulo: SEADE, v.1, n. 1, 157 p., 1988 . Coleção Economia Paulista. (a).

\_\_\_\_\_. **A interiorização do desenvolvimento econômico no Estado de São Paulo, 1920-1980**. São Paulo: SEADE, v.1, n. 2, 144 p., 1988. Coleção Economia Paulista. (b).

NEGRI, Barjas. Urbanização e demanda de recursos hídricos na bacia do rio Piracicaba no Estado de São Paulo. In: DAEE/FUNDAP. **Semana de debates sobre recursos hídricos e meio ambiente - Etapa Piracicaba**. Piracicaba: Édile, 1992. p. 27-37.

PERIN, Clóvis. **Introdução à programação linear - notas de aulas**. Campinas: UNICAMP/IMEC, 1992. 102p.(xerogr.)

PONNAMBALAM, K. et al. **An application of Karmarkar's interior-point linear programming algorithm for multi-reservoir operationsd optimization**. Canadá, Otário: University of Waterloo, 1989. 28p. (xerogr.)

PORTO, Rubens La Laina. O Ciclo hidrológico como um sistema. In: **Curso de engenharia hidrológica**. São Paulo: EDUSP/DAEE/ABRH, 1983. 2v. v1: Hidrologia Dinâmica. p. A1- A21.

RINALDI, S., SONSINI-SESSA, R., STEHFEST, H. e TAMURA, H. Management of river basin. In: **Modeling and control of river quality**. Great Britain: McGraw-Hill, 1979, 10 cap., cap. 10, p. 309-367.

- RODRIGUES, Nelson de Souza. Campanha ano 2000 - Redenção ecológica da bacia do Piracicaba. **Águas e energia elétrica**. n. 13, p. 11, 1988.
- ROSSI, Giuseppe. The Systems Approach to Water Management. In: **Operation of complex water systems**. Netherlands: Martinus Nijhoff, 1983. 504p. p. xv-xxvi.
- SANTOS, Rosely Ferreira dos. **Estudos da avaliação e alternativas de recuperação das formações vegetais em reservatórios da sub-bacia do rio Atibaia - 2º relatório**. 1991, 99p. (xerog.)
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SMA) (São Paulo). **Estabelecimento de metas e reenquadramento dos corpos d'água: bacia do rio Piracicaba**. São Paulo: CETESB, dez/1994, 302p.
- SHAFER, John M., LABADIE, John W. e JONES, E. Bruce. Analysis of firm water supply under complex institutional constraints. **Water resources bulletin**. New York: American Water Resources Associations, v.17, n.3, june 1981, p. 373-380.
- SOMLYÓDY, L. e PINTÉR, J. Optimization models in water quality control. In: **Systems analysis in quality management**. Proceeding of Symposium held in London, U.K., 30 June-2 July 1987. Oxford: Pergamon Press, 1987, p. 201-210.
- STROBEL, Orlando Maciel. Programação Linear e Método de Restrições Probabilísticas: um Exemplo de Aplicação. In: **Curso de engenharia hidrológica**. São Paulo: EDUSP/DAEE/ABRH, 1983. 2v. v2: Hidrologia Operacional. p. N1-N49.
- TEIXEIRA, Alexandre Coelho. **A avaliação de alternativas de projeto em recursos hídricos: a abordagem multicriterial e o paradigma analítico-racional**. Campinas: UNICAMP, 1994. 154p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 1994.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA. São Paulo: DAEE, 1989, n. 15 apud FRICK, Gracir Terezinha. ***Vulnerabilidade do sistema de abastecimento de água de Campinas a acidentes com transporte de produtos perigosos***. Campinas: UNICAMP, 1992. 115p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Campinas, 1992.

BARBOSA, Paulo Sérgio Franco. ***Contribuição ao estudo do controle de cheias em sistemas de reservatórios com finalidades múltiplas***. São Paulo: USP, 1990. 182p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1990.

BAZARAA, Mokhtar S. e JARVIS, John L. ***Linear programming and network flow***. New York: Jonh Wiley & Sons, 1977, 562 p.

BRAGA Jr, Benedito Pinto Ferreira. Noções de programação dinâmica aplicada ao planejamento e operação de sistemas de recursos hídricos. In: ***Curso engenharia hidrológica***. São Paulo: EDUSP/DAEE/ABRH,1983. 2v. v2: Hidrologia Operacional. M1-M14.

\_\_\_\_\_. Técnicas de otimização e simulação em sistemas de recursos hídricos. In: BARTH, Flávio Terra et al. ***Modelos para gerenciamento de recursos hídricos***. Sao Paulo: Nobel: ABRH, v. 1, cap. 5, p. 427-518.

- BROWN, Linfield C. e BERNWELL, Thomas O. Jr. The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: documentation and user manual. In: CHAPRA, Steven. **Modelagem de qualidade da água em rios**. Procedente do Curso realizado no CTH em junho de 1994. São Paulo: CNPq/Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 1994.
- CAMPOS, Rogério. **Estudo do assoreamento e da qualidade d'água do reservatório de Cariobinha**. Campinas: UNICAMP, 1993. 94p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 1993.
- CARON, Dalcio, STURION, Antônio Celso e QUEDA, Oriowaldo. **Evolução da agropecuária na bacia do rio Piracicaba e o consumo de água**. São Paulo: SEADE, julho/1992, Relatório Final, 3v., v.1, 71p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Ação integrada de controle da poluição na bacia do rio Piracicaba**. São Paulo: Superintendência de Apoio ao Controle de Poluição Ambiental, 1986, Relatório Anual, 41p.
- CONEJO, João Gilberto Lotufo. Simulação de sistemas e recursos hídricos. In: **Curso de engenharia hidrológica**. São Paulo: EDUSP/DAEE/ABRH, 1983. 2v. v2: Hidrologia Operacional. p. L1-L25.
- CORBITT, Robert A. Air and water quality standard. In: CORBITT, Robert A. **Standard handbook of environmental engineering**. New York: McGraw-Hill, 1990, 10 cap., cap. 3, p. 3.1-3.15.
- COSTA, J. R. da e LOUCKS, D.P. Water quality management in the ave river: from research to practice. In: **Systems analysis in water quality managements**. Proceeding of a Symposium held in London, U.K., 30 June-2 July 1987. Oxford: Pergamon Press, 1987, p. 389-399.

- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA (DNAEE). Divisão de Controle de Recursos Hídricos. ***Inventário das estações fluviométricas***. Brasília: DANEE, 1987, 112p.
- FONTANE, Darrell G., BRAGA, Benedito P.F. e PORTO, Rubem L.L. ***Análise de sistemas de recursos hídricos - aplicações práticas em microcomputadores***. São Paulo: USP/CTH, 1991, 250p.
- FRICKE, Glacir Terezinha. ***Vulnerabilidade do sistema de abastecimento de água de Campinas a acidentes com o transporte de produtos perigosos***. Campinas: UNICAMP, 1992.115p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 1992.
- GUGGINO, Emanuele, ROSSI, Giuseppe e HENDRICKS, David. ***Operation of complex water systems***. Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers, 1983, 503 p.
- HARRIS, Virgínia. ***Análise multicriterial na determinação de sítios potenciais para aproveitamento hidrelétrico***. Campinas: UNICAMP, 1992, 117 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 1992.
- HENDRICKS, David W. Water Quality Modeling. In: ***Operation of complex water systems***. Netherlands: Martinus Nijhoff, 1983. 504p. p. 120-138.
- \_\_\_\_\_. Simulação Hidrológica: Aplicações. In: ***Curso de engenharia hidrológica***. São Paulo: EDUSP/DAEE/ABRH, 1983. 2v. v1: Hidrologia Dinâmica. p. C1-C10.
- HOBSBAWM, Eric J. ***A era das revoluções: Europa 1787-1848***. 1977, Rio de Janeiro. 6.ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1988. 366p.
- HOGAN, Daniel Joseph e VIERA, Paulo Freire. ***Dilemas socioambientais e desenvolvimento sustentável***. Campinas: Editora da UNICAMP, 1992, 234p.

HOGAN, Daniel Joseph. **Desenvolvimento sustentável na bacia hidrográfica do Piracicaba: limites e possibilidades**. Trabalho apresentado no XVIII Encontro anualda ANPOCS em Caxambú- Minas Gerais, 1994 (mimeo).

INDELICATO, Salvatore. Practical Aspects of Water Resource Systems Operation. In: **Operation of complex water systems**. Netherlands: Martinus Nijhoff, 1983. 504p. p. 21-25.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (RJ). **Censo comercial/FIBGE**. Rio de Janeiro: IBGE, v.4, 1984.

\_\_\_\_\_. **Censo demográfico: dados distritais/FIBGE**. Rio de Janeiro: IBGE, v.1, t.3, 1982.

\_\_\_\_\_. **Censo econômico/FIBGE**. Rio de Janeiro: IBGE, v.3, 5v., 1991.

\_\_\_\_\_. **Censo industrial: dados gerais, Brasil/FIBG**. Rio de Janeiro: IBGE, v.3, t.3, pt.1, 1984.

\_\_\_\_\_. **Censo dos serviços/FIBGE**. Rio de Janeiro: IBGE, v.5, 1984.

\_\_\_\_\_. **Sinopse preliminar do censo demográfico/FIBGE**. Rio de Janeiro: IBGE, v.1, 1991.

KELMAN, Jerson. Programação dinâmica estocástica para operação otimizada de sistemas hidrotérmicos. In: **Curso de engenharia hidrológica**. São Paulo: EDUSP/DAEE/ABRH, 1983. 2v. v2: Hidrologia Operacional. p. O1-O11.

LIBOVICH, Gabriela Edith e NELLI, Gabriel Eduardo Caamaño. Modelagem matemática de qualidade de água em rios. X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e 1º Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul, Gramado, RS, 7-12 Nov. 1993. **Anais**. Rio de Janeiro: ABRH, 1993, 5 v., v. 4, p. 363-372.

- LIU, C.C. K. Water quality modeling by a linear system approach. In: **Systems analysis in water quality management**. Proceeding of a Symposium held in London, U.K., 30 June-2 July 1987. Oxford: Pergamon Press, 1987, p.119-125.
- LOUCKS, Daniel P., STEDINGER, Jerry R. e HAITH, Douglas A. **Water resources systems planning and analysis**. New Jersey: Prentice-Hill, 1981, 558 p.
- MAJOR, David C. e LENTON, Roberto L. **Applied water resource systems planning**. New Jersey: Prentice-Hall, INC., 1979, 248 p.
- MARTINS, Rosa Helena de O.; BLUM, José Roberto Coppini e EIGER, Sérgio. BIDIM - modelo hidrodinâmico de qualidade de d'água. X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e 1º Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul, Gramado, RS, 7-12 Nov. 1993. **Anais**. Rio de Janeiro: ABRH, 1993, 5 v., v. 4, p. 353-362.
- RAMOS, Fábio; FERNANDES, Critóvão Vicente Scapulatempo; MELIM, Rafael Takeda e MARTINS, Roberto Robrigues. Qualidade da água e aspectos aleatórios. X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e 1º simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul, Gramado, RS, 7-12 Nov, 1993. **Anais**. Rio de Janeiro: ABRH, 1993, 5 v., V. 4, p. 333-342.
- SEMANA DE DEBATES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE, 1992, Piracicaba. **Atas do seminário - Etapa Piracicaba em 04 a 06 de maio**. Piracicaba: Édile, 1992. 213p.
- SOCIEDADE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SANEAMENTO S.A. (SANASA). **Programa de coleta e tratamento de esgoto do município de Campinas - Bacia do Quilombo**. Campinas: SANASA/Diretoria Técnica - Gerência de Planejamento Técnico, 1994. 4v.
- STEFAN, Heinz G. **Curso internacional sobre análise e modelação de meios ambientais aquáticos**. São Paulo: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 26-30 Mar, 1990. Parte 1 e 2. (mimeo).



---

TUCCI, Carlos Eduardo M. Modelos Determinísticos. In: BARTH, Flávio Terra et al. ***Modelos para gerenciamento de recursos hídricos***. São Paulo: Nobel: ABRH, 1987. v.1, cap. 3, p. 203-324.

VISSMAN Jr, Warren & HAMMER, Mark J. Water management: institutions and technology. In: ***Water supply and pollution control***. 4.ed. New York: Harper & Row, 1985. cap. 2. p. 6-17.

\_\_\_\_\_. Water management: environmental considerations. In: ***Water supply and pollution control***. 4.ed. New York: Harper & Row, 1985. cap. 3. p. 18-26.

YEVJEVICH, Vujica. Design of objective functions for water resources systems. In: ***Operation of complex water systems***. Netherlands: Martinus Nijhoff, 1983. 504p.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO**

**MASTER OF SCIENCE DISSERTATION**

**ABSTRACT**

**CONTRIBUTION TO THE MANAGEMENT OF THE PIRACICABA RIVER BASIN  
WATER RESOURCES**

**ANA ROSA BAGANHA BARP**

This work deals with a network flow optimization problem applied to the Piracicaba river system. A mathematical optimization method which gives great computational efficiency was selected. The aim is to help the management and operation of hydrografic basins geared to the control of the quality and quantity of the water. Computational mathematical models were chosen due to their speedy and efficient aid to decision making. The problem was handled by adopting the multiobjective formulation of the Weight Method and a networks flow optimization algorithm coupled with a piece-wise linear objective function. It was verified that the river system responds satisfactorily as long as the flow of a twenty-four month's period is known in advance (deterministic flows) and with due manipulation of the storages and differentiation of the storages with time. The systemic vision the models provides is an alternative approach to the traditional studies that evaluate the benefits the hydraulic structures in the punctual form.

## **APÊNDICE A**

### **Listagem do Arquivo das Vazões Médias Mensais na Bacia do Rio Piracicaba**

**ARQUIVO DAS VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (M<sup>3</sup>/S)  
POSTOS FLUVIOMÉTRICOS - BACIA DO RIO PIRACICABA**

Periodo Inicial Mai/1949 a Abr/1978

2 10

1 Res. Jaguari            783.00  
 19.69 15.80 12.22 10.28 8.40 7.49 10.69 25.18 29.66 57.10 52.85 29.41  
 16.36 16.26 14.59 10.99 9.05 12.48 14.76 54.26 69.78 42.22 34.36 19.61  
 15.44 12.96 12.10 10.27 7.74 10.45 15.40 27.79 23.29 57.73 31.50 19.02  
 13.02 21.23 11.61 10.91 9.48 10.66 23.73 11.06 12.52 28.18 19.65 18.69  
 11.44 11.40 8.57 8.10 7.42 8.94 18.67 14.06 29.54 43.85 20.21 16.60  
 22.87 17.10 11.38 9.85 8.14 11.35 7.66 17.64 33.48 18.16 29.06 16.00  
 13.40 11.00 8.98 11.68 9.88 13.97 13.40 32.43 32.19 35.44 41.91 21.60  
 26.37 26.53 17.62 21.16 16.89 16.64 14.11 26.40 50.08 54.89 71.73 30.67  
 20.96 19.27 17.17 17.36 22.03 15.42 23.25 19.40 42.61 50.32 39.59 35.29  
 36.03 32.66 22.85 15.94 19.27 15.54 16.42 29.63 31.39 20.90 36.98 44.45  
 17.87 14.51 12.34 12.49 8.91 11.37 13.09 34.67 53.99 64.34 47.10 23.58  
 21.81 20.29 15.13 13.49 10.36 11.20 19.30 93.58 69.52 47.74 31.08 32.56  
 25.74 16.38 13.88 11.74 9.59 8.19 10.11 11.40 16.77 40.24 54.64 14.02  
 16.49 12.00 10.75 11.21 8.22 21.89 19.47 18.85 66.10 32.76 22.72 14.36  
 12.04 10.12 8.34 6.73 5.39 9.13 20.37 13.16 15.11 71.54 22.12 18.02  
 15.57 11.47 11.26 8.90 9.57 13.23 13.87 38.66 50.20 48.58 4.01 17.64  
 37.28 18.92 22.02 14.07 14.45 17.59 31.26 40.38 30.14 71.44 64.67 20.21  
 18.17 14.47 12.21 12.03 9.23 15.58 17.21 63.31 59.15 35.11 32.53 22.51  
 15.92 24.39 13.46 11.38 12.51 14.49 32.49 23.18 36.66 19.39 28.22 21.41  
 15.52 12.83 10.41 10.64 7.67 14.74 7.84 21.65 25.51 15.85 13.65 22.47  
 10.50 11.55 8.32 8.93 6.20 15.33 22.08 20.37 56.23 98.00 36.21 19.54  
 15.60 16.24 12.16 12.02 17.23 13.63 19.66 14.97 20.77 11.43 15.97 13.07  
 13.32 20.58 12.94 9.73 11.07 20.07 12.80 17.13 32.85 60.75 32.66 21.18  
 14.87 12.47 14.80 14.62 10.28 27.49 25.39 15.73 25.41 24.73 23.34 23.69  
 17.52 13.09 15.86 10.92 10.10 14.57 23.36 20.83 43.08 27.04 21.45 16.81  
 11.89 15.62 11.07 8.52 9.77 9.51 11.34 21.81 20.04 32.67 30.85 16.66  
 12.29 10.25 11.90 7.84 6.47 7.50 11.40 53.18 30.61 94.52 74.28 39.91  
 30.80 43.27 46.52 27.07 44.80 29.84 35.51 37.09 36.41 30.94 27.17 55.25  
 21.87 24.29 15.74 13.22 20.43 15.88 17.31 28.40 23.93 14.76 25.62 11.13

2 Res. Cachoeira        48.00  
 9.82 8.60 7.09 5.94 4.88 4.12 5.29 16.92 16.79 28.96 16.47 14.79  
 10.32 9.62 8.36 6.74 5.60 5.64 6.25 7.90 12.92 15.87 10.68 9.59  
 7.08 6.04 5.56 4.85 3.80 4.49 7.59 11.37 16.31 26.42 16.34 10.64  
 8.75 10.81 7.43 6.39 6.37 5.91 11.72 6.93 8.54 12.81 8.10 7.36  
 6.22 5.91 4.81 4.24 4.14 3.99 7.41 9.55 13.94 16.52 13.14 8.87  
 9.58 7.57 6.54 5.47 4.52 4.54 3.61 7.23 12.02 8.36 8.30 6.36  
 5.65 5.01 4.24 4.64 3.58 3.87 6.77 8.54 8.53 7.79 9.23 7.68  
 8.28 7.73 6.51 7.16 6.03 5.98 4.50 6.63 24.04 19.37 15.09 9.86  
 8.96 7.93 6.73 6.59 10.24 7.87 8.96 10.60 17.73 13.71 19.07 11.24  
 15.57 11.60 9.76 8.04 7.43 8.59 7.66 12.01 14.06 11.21 11.18 16.57  
 9.19 7.77 6.61 6.25 4.97 5.76 7.35 11.65 12.67 18.67 16.43 13.03  
 11.52 10.28 8.48 7.41 6.22 6.25 6.44 33.10 25.86 11.14 18.04 12.55  
 11.62 9.04 7.62 6.42 5.26 4.62 7.07 9.25 13.23 21.31 19.74 9.91  
 9.61 7.64 6.65 6.29 5.30 8.88 7.67 12.47 20.22 12.85 10.72 7.97  
 6.79 5.67 4.68 3.85 3.12 3.29 4.24 3.93 7.06 21.45 7.10 7.22  
 7.44 5.57 5.31 4.49 4.11 5.16 4.76 12.13 22.51 17.18 11.43 8.81  
 10.45 7.44 7.27 5.91 5.51 6.42 6.70 14.32 13.93 15.02 17.60 9.25  
 8.85 7.08 5.98 5.62 4.75 6.82 26.95 10.95 20.75 18.40 15.58 11.16  
 9.24 10.36 7.83 6.55 6.17 6.95 10.24 11.32 16.62 9.40 9.42 9.00  
 7.63 6.51 5.45 4.88 4.04 5.05 4.73 9.38 9.92 7.59 8.97 10.17  
 6.60 6.96 5.36 5.19 4.34 6.18 8.63 5.94 23.51 11.83 10.33 7.57  
 6.82 6.66 5.93 7.79 8.23 7.00 7.68 5.94 8.56 8.25 11.11 8.92  
 8.01 10.06 7.71 6.39 5.80 15.79 13.18 19.22 17.21 18.84 12.29 11.05  
 8.82 7.44 6.98 6.86 5.54 9.76 8.21 7.32 15.85 8.47 8.95 9.80  
 7.25 6.17 6.60 5.27 5.08 8.24 9.05 10.79 10.51 9.06 11.05 9.62  
 6.94 8.01 6.18 5.24 5.15 4.40 5.73 9.84 6.08 17.86 10.97 7.46  
 6.61 5.46 4.94 3.93 3.24 2.94 3.56 9.72 9.28 16.52 9.81 9.82  
 9.83 11.06 14.20 10.56 14.11 10.01 10.59 11.92 15.70 12.69 14.39 18.37

**ARQUIVO DAS VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (M<sup>3</sup>/S)  
POSTOS FLUVIOMÉTRICOS - BACIA DO RIO PIRACICABA**

9.91 9.74 7.72 6.53 7.58 6.73 7.95 15.53 13.44 13.50 12.88 9.17

**3 Res. Atibainha 100.00**

5.87 5.11 4.17 3.53 2.92 2.48 3.32 11.54 11.73 21.21 11.17 9.66  
 6.12 5.87 5.11 4.07 3.40 3.53 3.92 5.07 8.70 11.06 6.88 6.03  
 4.17 3.60 3.44 3.00 2.31 2.81 4.87 7.64 11.47 19.05 11.22 6.43  
 5.11 6.99 4.41 3.82 3.98 2.89 3.65 4.21 5.45 8.67 5.00 4.47  
 3.70 3.62 2.89 2.60 2.59 2.47 4.82 6.31 9.59 11.53 8.82 5.31  
 6.07 4.58 3.95 3.33 2.76 2.85 2.23 4.64 8.17 5.33 5.29 3.78  
 3.36 3.00 2.53 2.92 2.21 2.39 4.32 5.61 4.09 4.95 6.07 4.80  
 5.31 4.92 3.96 4.59 3.78 3.78 2.71 4.27 16.61 13.98 10.38 5.99  
 5.44 4.87 4.11 4.16 6.76 4.95 5.84 6.91 11.99 9.36 13.32 7.04  
 10.56 7.44 6.03 4.88 4.65 5.49 4.84 8.02 9.50 7.33 7.26 11.29  
 5.57 4.65 4.01 3.94 3.07 3.67 4.73 7.82 8.63 12.87 11.43 8.52  
 7.29 6.43 5.19 4.55 3.82 3.96 4.02 23.02 18.88 6.89 12.33 7.99  
 7.35 5.44 4.59 3.91 3.22 2.86 4.49 6.08 9.05 15.24 13.97 5.80  
 5.85 4.52 4.01 3.92 3.27 5.79 4.68 8.37 14.25 8.45 6.81 4.69  
 4.04 3.40 2.83 2.35 1.90 2.05 2.62 2.39 4.52 15.16 4.24 4.41  
 4.64 3.26 3.23 2.71 2.51 3.26 2.94 8.12 16.16 11.92 7.24 5.23  
 6.78 4.41 4.49 3.58 3.41 4.09 4.27 9.76 9.47 10.25 12.12 5.47  
 5.43 4.24 3.62 3.51 2.93 4.38 18.73 7.34 14.56 12.74 10.35 6.94  
 5.53 6.66 4.76 3.96 3.85 4.39 6.75 7.57 11.53 5.82 5.93 5.63  
 4.67 3.93 3.27 2.99 2.46 3.19 2.95 6.19 6.57 4.80 5.79 6.69  
 3.91 4.39 3.20 3.21 2.65 3.97 5.66 3.65 16.54 7.93 6.62 4.47  
 4.08 4.15 3.67 5.00 5.38 4.39 4.90 3.58 5.56 5.24 7.40 5.75  
 4.98 6.65 4.77 3.86 3.59 10.80 9.01 13.44 11.86 12.94 7.66 6.86  
 5.29 4.49 4.35 4.31 3.37 6.39 5.23 4.56 10.86 5.18 5.66 6.35  
 4.39 3.69 4.19 3.23 3.16 5.43 5.95 7.20 6.86 5.80 7.23 6.17  
 4.07 5.09 3.76 3.15 3.22 2.72 3.63 6.49 3.72 12.47 7.24 4.40  
 3.95 3.25 3.02 2.37 1.97 1.82 2.21 6.39 6.18 11.61 6.28 6.32  
 6.30 7.34 9.72 6.81 9.54 6.98 6.70 7.80 10.63 8.29 9.49 12.70  
 5.89 6.05 4.65 3.97 4.88 4.23 5.12 10.65 9.11 9.01 8.49 5.56

**4 Us. Jaguari**

20.87 16.94 13.10 11.01 9.03 8.03 11.53 27.55 32.61 61.72 56.71 31.64  
 17.62 17.59 15.72 11.87 9.76 13.48 16.63 58.02 76.05 44.89 37.19 21.07  
 16.69 14.04 13.07 11.13 8.37 11.35 17.36 29.42 25.28 65.31 33.27 20.49  
 14.04 22.99 12.51 11.80 10.26 11.61 25.69 11.80 13.78 30.30 21.80 19.52  
 12.36 12.31 9.26 8.77 8.02 9.93 19.99 15.20 32.00 47.37 21.95 17.67  
 24.79 18.40 12.28 10.64 8.80 12.36 8.18 19.15 36.18 19.72 31.44 17.21  
 14.34 11.88 9.71 12.92 10.38 15.49 31.13 36.03 33.75 40.22 44.88 23.42  
 28.45 28.47 19.34 22.51 18.25 18.03 15.32 28.60 54.14 60.31 77.02 32.60  
 22.59 20.83 18.59 18.78 23.80 16.80 24.96 21.06 47.19 53.45 42.67 37.89  
 39.31 34.88 24.64 17.21 20.97 16.84 17.71 32.00 33.94 22.78 40.88 46.87  
 19.30 15.66 13.33 13.52 9.65 12.32 14.24 37.75 58.21 73.29 49.81 25.23  
 23.52 22.03 16.24 14.60 11.19 12.13 21.49 102.22 73.70 51.51 33.38 35.42  
 27.59 17.71 14.97 12.69 10.34 8.89 10.96 12.36 18.22 43.82 58.69 15.05  
 17.81 12.96 11.61 12.13 8.84 23.86 20.99 21.06 70.94 35.42 24.19 15.47  
 12.99 10.96 9.00 7.28 5.83 9.93 22.26 13.93 16.73 80.48 23.60 19.25  
 16.58 12.30 12.17 9.60 10.45 14.56 14.66 42.79 54.58 51.88 42.56 19.10  
 40.25 20.37 23.75 15.20 15.86 18.97 34.03 43.27 34.95 75.52 69.15 21.64  
 19.64 15.62 13.29 12.88 9.99 17.10 18.33 69.18 63.69 37.37 35.32 24.23  
 17.14 26.39 14.52 12.28 13.54 15.79 35.30 24.90 39.56 21.62 30.47 23.15  
 16.73 13.89 11.24 11.50 8.30 16.05 8.45 23.52 27.74 16.74 14.75 24.27  
 11.39 12.42 9.00 9.67 6.71 16.65 24.31 21.50 61.04 107.51 37.41 21.41  
 16.84 17.59 13.07 13.33 16.36 14.71 21.22 16.35 30.91 12.36 17.29 14.12  
 14.37 22.30 13.89 10.49 12.00 21.66 13.89 18.78 36.59 66.92 35.02 22.72  
 16.09 13.47 16.02 15.79 11.11 30.17 27.05 17.02 27.48 26.66 25.31 25.50  
 18.89 14.20 17.10 11.76 10.92 15.83 25.23 23.07 46.67 28.52 23.15 17.59  
 12.81 17.01 11.84 9.22 9.57 10.34 12.31 23.75 21.28 35.84 33.08 17.75  
 13.29 11.07 12.88 8.48 6.98 8.10 12.77 57.57 33.38 105.99 79.90 42.48  
 34.95 45.95 50.25 29.27 49.11 31.62 38.50 40.14 39.61 33.07 29.76 59.45  
 23.33 26.27 16.99 14.34 22.07 17.10 18.75 30.76 25.84 15.87 27.70 12.00

**5 Us. Salto Grande**

**ARQUIVO DAS VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (M<sup>3</sup>/S)  
POSTOS FLUVIOMÉTRICOS - BACIA DO RIO PIRACICABA**

27.67 22.49 17.92 15.12 12.46 10.79 14.31 53.54 46.07 112.52 55.41 51.27  
 26.92 27.01 23.26 17.55 14.62 16.91 20.37 31.21 73.63 86.31 76.50 39.16  
 25.50 18.75 19.90 15.39 11.96 13.44 30.94 40.66 54.62 90.98 69.33 29.55  
 21.95 33.29 19.00 16.24 15.43 14.60 27.74 21.02 26.02 47.91 30.02 31.06  
 18.52 17.28 13.44 12.73 12.35 13.70 28.05 35.81 68.92 63.45 36.40 22.80  
 29.50 21.03 17.32 14.34 11.92 14.37 11.03 32.71 41.97 34.60 46.00 25.08  
 17.58 14.81 13.25 17.36 12.00 15.35 34.65 34.42 22.25 34.56 41.62 28.78  
 30.54 30.56 21.06 25.43 22.68 26.96 16.78 31.33 102.34 96.97 78.70 41.40  
 25.91 25.15 21.32 23.71 40.35 27.67 34.30 41.14 82.85 70.11 79.64 44.21  
 53.73 47.11 34.91 23.41 24.54 31.17 35.65 48.76 66.05 53.99 43.35 54.51  
 27.11 21.60 18.48 20.35 13.97 18.03 29.09 43.30 70.68 83.66 58.13 40.28  
 37.34 35.84 24.49 22.10 17.13 19.38 24.03 132.24 108.35 38.61 55.59 40.66  
 33.19 23.61 19.71 16.99 13.95 12.40 21.18 36.33 45.55 77.50 95.32 27.20  
 26.25 19.99 18.22 18.89 14.55 34.12 31.64 55.46 80.35 54.52 37.11 21.80  
 18.15 15.24 12.66 10.45 8.45 12.13 18.75 12.69 23.45 85.44 25.91 18.79  
 20.61 14.08 14.78 12.26 13.93 20.87 22.84 52.94 96.44 79.16 44.73 27.97  
 35.69 20.87 24.27 17.02 18.94 25.61 26.81 54.21 45.06 59.40 72.39 28.51  
 24.64 18.87 16.13 14.82 13.70 20.05 54.28 42.97 81.69 49.23 42.67 28.97  
 23.15 30.21 20.61 16.13 17.44 22.77 45.22 37.63 65.52 38.44 59.29 39.93  
 24.53 19.56 16.05 14.90 11.96 16.99 14.27 28.04 32.78 19.64 23.93 27.97  
 16.28 19.68 12.58 12.62 10.61 20.61 36.07 27.67 144.45 135.33 59.62 25.23  
 22.07 23.42 17.81 24.49 28.28 23.60 22.69 25.05 31.47 21.78 41.40 34.45  
 25.20 40.05 22.55 17.44 16.26 41.14 39.51 57.61 80.72 91.87 44.58 39.89  
 25.09 20.33 23.97 21.99 17.21 43.72 31.48 20.82 56.71 59.36 37.04 38.89  
 25.69 19.44 21.13 16.13 15.20 24.90 31.21 41.44 72.25 31.37 38.98 28.86  
 16.63 28.70 18.82 14.37 14.27 13.93 25.31 49.96 32.48 93.87 54.92 23.76  
 19.75 15.70 15.35 11.46 9.45 11.87 22.92 84.23 31.55 87.71 46.37 44.52  
 39.31 48.07 68.92 43.53 59.22 42.23 40.82 47.01 56.38 62.46 44.35 61.46  
 27.03 28.90 20.91 21.47 25.81 21.17 29.36 69.26 44.47 38.32 44.20 22.18

6 Us. Americana

35.66 28.86 22.51 19.00 15.70 13.89 17.82 74.04 61.34 156.71 76.61 69.75  
 34.76 35.34 30.20 22.51 18.83 23.75 30.98 41.33 130.42 116.73 101.22 47.65  
 31.55 24.03 24.75 19.64 15.12 18.00 47.69 50.84 70.08 117.39 92.85 39.31  
 27.74 46.49 24.45 20.80 20.10 20.42 32.60 24.90 33.15 56.71 42.12 42.51  
 24.01 22.42 17.21 16.61 16.20 19.08 35.30 40.62 92.41 97.72 53.17 30.32  
 41.37 29.13 22.51 18.78 15.74 19.53 14.97 48.69 59.18 49.93 65.34 34.53  
 23.67 20.06 17.29 23.75 16.13 21.09 40.39 54.40 37.82 54.89 50.29 37.42  
 42.60 44.68 28.45 35.36 31.37 34.09 22.34 40.85 148.07 136.82 11.82 53.43  
 34.39 34.18 30.17 31.89 53.97 36.03 43.44 51.78 101.07 96.19 97.33 56.87  
 69.26 64.54 43.42 29.61 33.80 39.65 44.29 56.34 88.37 69.86 56.94 63.47  
 32.93 26.39 22.59 25.50 17.01 23.76 36.61 56.64 95.54 104.12 71.39 49.27  
 46.25 42.78 29.35 26.55 20.56 25.09 34.45 163.38 129.11 49.31 77.51 51.66  
 40.81 28.82 24.23 20.87 16.98 15.01 24.31 43.91 52.12 99.83 119.51 34.80  
 31.14 24.42 22.77 23.52 18.02 45.70 39.74 69.97 114.43 72.75 45.51 28.32  
 22.96 19.33 16.05 13.25 10.76 17.14 29.05 18.59 32.97 127.23 33.53 23.04  
 27.78 18.25 20.69 15.87 18.21 29.42 34.45 90.76 137.06 130.04 66.01 37.19  
 47.68 20.36 32.48 22.48 25.97 39.05 38.08 78.63 62.31 73.21 91.32 36.92  
 32.44 24.00 20.57 18.89 17.48 26.28 61.07 69.41 116.90 79.61 54.14 35.76  
 29.05 39.59 25.58 20.24 22.22 31.70 60.22 57.72 86.96 52.21 72.32 51.89  
 31.77 24.96 20.46 19.49 15.24 21.69 17.48 34.24 39.61 25.13 29.91 34.03  
 19.98 24.31 15.23 15.16 12.81 25.28 55.94 39.76 204.60 212.96 86.69 37.85  
 31.74 32.91 24.01 32.29 37.96 31.62 30.21 42.75 45.21 30.67 55.63 46.26  
 33.71 52.43 28.37 22.33 21.53 48.76 47.96 68.10 102.26 115.00 62.28 51.85  
 32.78 25.89 33.34 29.68 22.80 60.19 45.33 39.87 76.24 78.54 50.48 53.12  
 34.87 26.39 29.27 21.69 20.37 44.65 130.36 59.36 116.11 45.06 53.35 38.16  
 24.64 39.01 24.60 18.82 18.63 21.47 37.85 65.19 50.70 121.16 73.07 32.76  
 25.60 20.60 20.05 15.01 12.50 16.39 32.29 108.54 51.60 129.18 70.60 60.92  
 54.81 68.87 96.18 58.51 81.91 59.25 61.61 65.08 90.54 92.01 54.51 79.51  
 34.27 35.96 26.32 22.48 34.95 28.71 37.46 98.98 55.00 45.59 53.99 26.35

7 Rio Piracicaba

100.92 86.84 63.36 53.47 43.87 42.71 60.92 286.55 254.67 510.00 298.27 188.31  
 103.08 95.33 84.45 63.36 52.24 70.68 108.10 191.01 392.58 366.44 302.61 129.09  
 88.37 72.34 67.13 56.94 42.75 56.97 114.93 141.65 181.75 341.11 282.97 122.53

**ARQUIVO DAS VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (M<sup>3</sup>/S)  
POSTOS FLUVIOMÉTRICOS - BACIA DO RIO PIRACICABA**

76.61 142.01 69.00 60.00 56.21 64.74 118.36 65.60 112.98 147.32 128.10 128.93  
 69.59 65.89 50.70 47.12 52.55 66.08 93.67 135.23 266.50 302.83 215.54 108.37  
 145.01 100.89 69.52 58.92 48.80 56.19 41.67 122.12 240.93 172.66 196.91 120.53  
 78.93 66.32 53.35 74.82 55.90 63.92 11.42 182.61 147.59 189.73 181.19 112.69  
 160.02 147.38 98.90 119.44 97.76 93.68 69.91 124.74 356.71 338.29 338.67 172.11  
 103.20 99.73 101.11 97.11 143.17 95.95 115.24 172.86 334.98 343.09 299.58 243.87  
 253.14 211.96 135.68 92.74 108.03 109.39 121.95 171.18 264.11 212.71 203.40 191.90  
 96.14 77.66 65.52 69.93 47.49 67.61 88.77 189.33 327.70 341.02 237.23 121.80  
 132.77 120.72 82.55 74.49 56.64 67.17 108.91 482.75 373.80 210.15 244.44 166.82  
 148.86 86.96 73.59 62.76 50.93 43.24 63.50 100.06 119.85 295.59 384.41 96.91  
 93.34 72.65 63.36 67.61 50.42 140.79 110.34 154.31 387.02 278.56 143.26 83.18  
 67.61 56.67 46.67 37.89 30.35 55.03 100.96 69.97 98.72 406.66 105.59 75.31  
 82.77 54.44 60.04 44.92 52.62 85.95 90.16 280.05 396.36 456.60 326.13 120.72  
 172.30 97.07 102.56 72.25 75.35 131.01 141.90 246.15 213.07 285.80 363.12 106.44  
 106.59 74.65 64.40 60.56 52.47 95.95 141.24 337.22 443.55 282.28 199.78 115.39  
 87.25 121.99 72.21 59.62 67.48 91.25 164.62 175.29 255.19 130.95 153.67 116.59  
 77.88 64.16 51.93 50.07 37.59 64.03 41.86 94.65 122.35 77.13 80.98 93.06  
 50.10 59.18 38.83 40.25 30.56 78.26 144.60 145.76 610.59 782.90 281.33 133.10  
 101.85 100.19 73.63 86.58 112.11 92.41 104.21 135.30 148.41 80.48 159.05 112.00  
 101.78 147.03 77.73 63.99 59.55 121.12 97.53 126.75 237.46 337.84 181.34 139.97  
 87.85 70.45 103.72 92.93 65.24 168.91 132.29 122.65 202.70 208.29 169.62 159.22  
 104.69 77.66 92.52 65.15 62.69 97.37 227.51 195.41 376.12 181.38 242.46 120.87  
 77.25 120.10 77.06 56.90 54.58 64.67 89.93 210.87 271.80 347.30 193.25 104.40  
 74.45 61.19 62.24 44.32 36.33 45.66 101.62 305.44 212.78 510.09 317.09 198.57  
 181.34 253.86 290.73 164.91 237.19 179.23 201.93 199.56 285.81 294.89 173.20 276.51  
 106.56 118.06 79.56 67.73 98.53 88.86 90.70 233.61 141.65 105.20 138.18 67.25

**8 Rev. Jundiá**

19.98 16.86 13.66 11.50 9.49 8.10 10.69 37.49 34.91 72.42 37.60 34.07  
 20.24 19.68 17.02 13.25 11.03 11.95 13.85 19.49 40.06 47.99 38.42 24.00  
 16.35 12.92 12.92 10.57 8.22 9.52 19.06 26.77 37.41 62.87 42.45 21.60  
 16.80 23.38 14.45 12.40 12.23 11.39 32.57 14.71 18.33 30.92 18.07 17.48  
 13.03 12.38 9.74 8.96 8.64 8.55 19.60 29.23 37.56 42.04 26.88 17.44  
 19.64 15.32 12.77 10.72 8.87 9.03 6.98 20.09 30.50 17.40 19.64 15.74  
 11.87 10.11 8.77 10.72 8.02 9.93 22.53 21.73 15.94 21.45 31.59 17.90  
 18.52 19.10 14.11 17.36 14.70 14.52 9.84 17.17 59.77 59.77 46.22 26.89  
 18.52 17.48 14.71 15.38 25.19 18.78 21.03 23.90 47.98 37.24 45.89 26.93  
 35.92 28.82 22.29 16.58 16.36 19.30 19.33 33.38 41.03 27.78 24.12 36.96  
 19.98 15.66 13.37 13.78 10.19 12.99 17.98 32.18 39.69 47.25 40.17 28.70  
 25.16 24.03 17.73 15.64 12.65 14.56 14.43 78.63 69.33 27.74 43.35 27.70  
 24.72 17.98 15.16 12.88 10.57 9.37 14.51 26.17 30.35 50.72 54.85 19.87  
 20.61 15.16 13.52 13.48 11.19 21.24 18.90 33.34 52.16 33.52 22.66 15.93  
 13.52 11.34 9.41 7.73 6.29 7.17 9.61 9.45 15.16 56.19 15.68 14.39  
 15.53 10.80 11.05 8.92 9.45 14.00 13.97 34.01 59.74 48.94 31.14 20.02  
 24.19 15.55 17.55 12.43 13.16 18.15 19.60 32.52 33.34 42.16 44.50 22.30  
 18.48 14.51 12.32 11.46 10.11 14.19 48.76 22.48 49.66 39.02 33.19 21.57  
 17.77 21.99 15.31 12.58 12.86 15.57 26.39 24.45 41.70 22.94 31.70 22.95  
 17.06 13.73 11.39 10.38 8.64 10.94 9.49 19.34 20.05 14.92 18.59 20.49  
 12.84 15.28 10.15 10.04 8.84 14.75 21.18 14.52 73.66 53.57 29.94 16.01  
 15.72 14.78 12.51 16.47 18.33 14.15 16.05 15.98 22.29 16.62 32.07 21.26  
 17.14 25.15 15.76 13.14 11.92 34.24 29.09 44.32 54.32 53.99 28.34 26.24  
 18.33 15.24 15.87 14.93 11.50 23.67 20.49 19.30 41.78 29.56 21.58 27.35  
 16.61 13.54 14.78 11.39 10.84 16.99 18.63 26.28 41.67 21.66 25.16 20.64  
 13.89 18.75 13.14 10.60 10.53 9.15 14.39 25.95 15.49 57.62 31.21 15.82  
 13.78 11.19 10.57 8.14 6.71 8.21 14.16 34.05 20.83 45.92 24.01 25.77  
 24.12 27.62 39.50 27.55 34.49 26.25 23.61 27.89 38.72 38.57 32.74 41.78  
 19.90 20.60 15.49 13.14 16.63 14.26 19.44 41.07 26.84 26.79 27.25 17.25

**9 Res. Jaguariuna 38.00**

9.48 9.18 6.05 5.19 4.24 4.14 6.75 34.27 35.13 82.22 33.86 20.60  
 10.90 10.30 9.86 6.83 5.63 6.16 10.42 16.47 31.81 22.53 34.09 16.36  
 8.48 7.33 6.42 5.75 4.17 4.67 15.55 15.64 30.76 49.73 49.40 14.01  
 9.41 21.22 8.44 7.24 6.75 6.83 12.42 8.44 10.68 11.20 12.84 12.35  
 7.28 7.06 6.42 4.85 7.37 5.86 5.94 11.05 26.62 39.89 16.02 11.15  
 17.10 9.99 7.39 6.20 5.09 4.67 4.17 10.57 19.19 18.35 30.13 12.00

**ARQUIVO DAS VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (M<sup>3</sup>/S)  
POSTOS FLUVIOMÉTRICOS - BACIA DO RIO PIRACICABA**

9.71 8.10 6.05 7.69 5.56 5.23 6.67 28.08 21.80 34.02 14.78 11.73  
 14.52 13.89 11.69 13.70 9.76 9.71 7.02 8.92 27.89 28.98 26.92 13.16  
 10.23 9.91 10.83 10.42 15.12 10.08 9.03 25.54 39.39 29.93 31.89 29.20  
 27.07 24.23 17.55 10.12 11.81 12.55 11.73 13.37 23.45 18.10 19.26 15.51  
 10.83 7.45 6.38 6.68 4.47 7.91 14.16 36.81 40.06 36.58 26.14 10.80  
 13.07 12.27 8.14 7.47 5.67 5.86 20.56 53.39 31.51 16.29 22.22 20.25  
 16.09 8.68 7.50 6.24 5.05 4.11 5.94 8.21 13.59 37.74 54.66 10.15  
 12.55 8.33 7.43 8.81 5.40 23.04 12.31 18.48 67.65 50.51 24.31 10.80  
 8.89 7.37 5.97 4.74 3.70 7.47 13.35 7.50 16.39 53.74 10.45 6.98  
 8.66 5.79 5.68 4.48 4.82 11.95 12.77 48.76 59.55 48.40 35.36 13.23  
 16.50 9.53 9.63 7.13 7.22 18.85 19.99 32.33 24.60 27.78 44.02 11.73  
 10.19 7.68 6.53 6.35 4.94 8.70 13.00 38.27 60.00 42.53 19.98 11.19  
 9.48 14.70 7.32 6.46 7.68 8.81 18.71 17.51 28.19 12.48 13.37 9.76  
 7.24 6.29 4.89 4.85 3.43 3.96 4.01 6.87 14.23 10.95 1.65 9.76  
 5.71 7.10 4.37 4.93 3.28 12.88 20.18 26.84 53.09 110.57 24.83 11.42  
 9.45 10.65 7.13 7.95 9.61 11.57 12.23 16.28 18.11 9.67 18.26 9.80  
 10.19 16.43 8.03 8.21 6.02 11.72 9.84 12.36 26.93 38.65 24.16 15.70  
 9.60 7.79 12.17 11.80 6.64 17.14 13.81 19.68 34.65 31.13 27.85 17.89  
 11.84 9.80 11.80 7.69 6.91 9.82 21.49 31.81 37.93 27.86 22.81 12.35  
 9.07 12.73 7.88 6.16 5.67 7.77 12.65 26.92 43.79 66.88 18.03 13.31  
 8.66 7.06 6.35 4.82 3.82 4.63 18.60 31.36 35.02 65.52 28.64 22.34  
 20.65 24.85 27.48 19.83 27.93 18.15 36.19 31.59 45.51 30.09 27.29 36.23  
 12.13 14.27 9.11 7.73 9.10 8.51 7.60 23.56 19.15 11.57 17.44 7.10

10 Res. Morungaba 207.00

29.72 24.31 18.78 15.83 12.92 11.57 16.59 40.10 46.52 88.96 81.36 45.41  
 25.31 25.35 22.66 17.10 14.08 19.42 24.73 82.96 110.29 63.90 53.69 30.25  
 24.04 20.25 18.78 16.02 12.04 16.39 25.81 41.70 36.55 94.91 47.12 29.44  
 20.24 33.18 17.96 16.99 14.78 16.84 37.15 16.84 20.16 43.49 32.03 27.35  
 17.85 17.75 13.33 12.66 11.53 14.60 28.55 21.92 46.22 68.29 31.77 25.15  
 35.84 26.39 17.73 15.35 12.69 17.96 11.69 27.74 52.12 28.52 45.33 24.77  
 20.53 17.13 14.00 18.89 14.66 22.77 44.60 53.05 47.53 58.57 64.22 33.83  
 40.96 40.82 28.26 32.07 26.31 26.06 22.11 41.33 77.99 88.05 110.48 46.37  
 32.44 30.01 26.81 27.11 34.34 24.42 35.76 30.47 69.22 76.02 61.34 54.36  
 57.09 49.85 35.51 24.75 30.13 24.27 25.50 46.11 48.98 33.03 59.96 66.28  
 27.78 22.53 19.23 19.45 13.89 17.77 20.56 54.73 83.71 107.06 70.57 36.07  
 33.83 31.83 23.30 21.02 16.13 17.55 31.67 148.52 104.65 74.07 47.90 51.27  
 39.46 25.50 21.62 18.33 14.89 12.84 15.78 17.81 26.32 63.53 84.23 21.57  
 25.69 18.67 16.76 17.55 12.73 34.61 30.21 31.14 101.74 51.13 34.46 22.22  
 18.74 15.78 12.99 10.49 8.41 14.41 32.37 19.71 24.57 116.40 33.64 27.51  
 23.67 17.86 17.55 13.85 15.16 21.24 20.72 62.80 79.08 74.03 60.60 27.51  
 57.98 29.32 34.20 21.92 23.11 27.29 49.34 61.94 52.98 106.98 98.83 31.02  
 28.34 22.53 19.30 18.44 14.43 24.94 26.16 100.54 91.51 53.20 51.08 34.76  
 24.60 38.04 20.91 17.73 19.52 22.96 51.12 35.77 57.01 31.04 43.83 33.33  
 24.08 19.99 16.20 16.58 11.92 23.22 12.19 34.01 40.14 23.69 21.28 34.95  
 16.43 17.86 12.95 13.93 9.68 24.12 35.49 30.47 88.22 156.75 52.01 30.48  
 24.23 25.46 18.78 19.56 26.16 21.17 30.59 23.78 44.39 17.82 24.90 20.33  
 20.68 32.22 19.94 15.12 17.32 31.21 20.10 27.33 53.91 95.32 50.14 32.52  
 23.22 19.37 23.07 22.77 16.01 43.94 38.54 24.57 39.61 38.40 36.55 36.65  
 27.18 20.52 24.60 16.91 15.74 22.85 36.34 33.90 67.39 40.34 33.27 25.31  
 18.44 24.69 16.91 13.25 13.89 15.01 17.78 34.39 30.28 52.21 47.42 25.31  
 19.12 15.97 18.56 12.21 10.07 11.69 18.94 83.07 48.46 153.03 114.73 60.49  
 49.84 65.36 72.47 42.23 71.53 44.92 55.59 57.91 57.38 47.21 43.35 85.39  
 33.30 37.89 24.45 20.76 31.79 24.60 27.05 44.47 37.19 22.78 39.91 17.28



## **APÊNDICE B**

### **Listagem do Programa Montador de Rede**

# PROGRAMA MONTADOR DE REDE

```
*****  
{  
  Programa Montador de Rede  
  Versao Turbo Pascal 7.0  
  Monta a Rede do Sistema Hidrico da Bacia  
  do Rio Piracicaba  
}  
*****
```

Program rede;

uses dos, crt, printer;

const infinito = 9999;

```
var ch:char;  
    cc,  
    ls      : array[1..7,1..456] of real;  
    ord_calda,  
    ord_cabeca,  
    num_intac,  
    num_int,  
    no,  
    nd      : array[1..456] of integer;  
    dem     : array[1..241] of real;  
    gext,  
    gint    : array[1..241] of integer;  
    inc_vaz : array[1..10,1..24] of real;  
    j,l,i,  
    t,k,n,  
    auxk,  
    auxn,  
    taux,  
    naux,  
    kmax,  
    tmax,  
    nmax,  
    raiz,  
    ano_in,  
    w,  
    j1,  
    gaux    : integer;  
    fator1,  
    fator2,  
    fator3,  
    fator4,  
    fator5,  
    peso,  
    demaux  : real;  
    chaux1,  
    chaux2  : char;  
    chave1,  
    chave2  : boolean;
```

```
*****  
{  
  Ler Dados da Rede  
}  
*****
```

procedure ler;

```
begin  
  clrscr;  
  gotoxy(1,3);  
  write('      *** Entre com os Dados da Rede *** ');  
  writeln;  
  writeln;write('Ano Inicial, ano_in = ');readln(ano_in);  
  writeln;write('Horizonte, tmax = ');readln(tmax);  
  writeln;write('Num. de Arcos, kmax = ');readln(kmax);  
  writeln;write('Num. de Nos, nmax = ');readln(nmax);  
  writeln;writeln;writeln;  
  writeln;write('      *** Entre com os Dados do Problema *** ');  
  writeln;  *  
  writeln;write('Jaguari, % V.U. = ');readln(fator1);
```

```
writeln;write('Cachoeira, % V.U. = ');readln(fator2);
writeln;write('Atibainha, % V.U. = ');readln(fator3);
writeln;write('Morungaba, % V.U. = ');readln(fator4);
writeln;write('Jaguariuna, % V.U. = ');readln(fator5);
writeln;write('peso para o abastecimento, peso = ');readln(peso);
```

```
clrscr;
gotoxy(1,3);
writeln;write('Deseja Saida na Impressora (S/N) ? ');readln(chaux1);
writeln;
writeln;write('Deseja Gravar em Arquivo (S/N) ? ');readln(chaux2);
if chaux1 in ['S','s'] then chave1:= true else chave1:=false;
if chaux2 in ['S','s'] then chave2:= true else chave2:=false;
end;
```

```
{*****}
{ Sub-rotina para Calculo das Vazoes Incrementais }
{*****}
```

```
procedure vazao;
```

```
var nome_arq : string[30];
    arq       : text;
    titulo1   : string[10];
    titulo2   : string[10];
    nome      : array[1..10] of string[20];
    posto     : array[1..10] of integer;
    volin     : array[1..10] of real;
    num_posto,
    num_ano,
    i,j,k     : integer;
    vazao     : array[1..10,1..60] of real;
```

```
{*****}
{ Leitura de Dados de Arquivo - medioXX.can }
{*****}
```

```
procedure ler_vaz;
```

```
var i,j,k,j1,w,w1: integer;
```

```
begin
  clrscr;
  gotoxy(1,3);
  writeln;write('Digite o Numero do Arquivo de Vazoes Medias Mensais: ');
  readln(nome_arq);
  nome_arq := 'c:\piral\medio'+nome_arq+'.can';
  assign(arq, nome_arq);
```

```
reset(arq);
readln(arq,titulo1);
readln;readln;
readln(arq,num_ano,num_posto);
readln;
```

```
for j := 1 to num_posto do
```

```
begin
```

```
case j of
```

```
1..3: begin
```

```
  read(arq, posto[j],nome[j],volin[j]);
  w := ano_in - 1948;
  for j1 := 1 to w do {***para pular as vazoes iniciais para o ano_in***}
    begin
      readln(arq);
    end;
  for i := 1 to num_ano do
    begin
      for k:= 12*i-11 to 12*i do
        read(arq, vazao[j,k]);
```

```

        end;
        w1 := 28 - w;
        readln(arq);          {***para pular as vazoes restantes - w1***}
        for i := 1 to w1 do
            begin
                readln(arq, vazao[j,k]);
            end;
        readln(arq);
        end;

4.8: begin
    w := ano_in - 1948;
    for j1 := 1 to w do
        begin
            readln(arq);
            end;
        for i := 1 to num_ano do
            begin
                for k:= 12*i-11 to 12*i do
                    read(arq, vazao[j,k]);

                    end;
                readln(arq);
                for i := 1 to w1 do
                    begin
                        readln(arq);
                    end;
                end;
            readln(arq);
        end;

9..10: begin
    read(arq, posto[j],nome[j],volin[j]);
    w := ano_in - 1948;
    for j1 := 1 to w do
        begin
            readln(arq);
            end;
        for i := 1 to num_ano do
            begin
                for k:= 12*i-11 to 12*i do
                    read(arq, vazao[j,k]);

                    end;
                for i:= 1 to w1 do
                    begin
                        readln(arq);
                    end;
                readln(arq);
            end;
        end {fim do case}
    end;
    close(arq);
end;

```

```

{*****}
{ Imprime Dados de Entrada }
{*****}

```

```

procedure imprime_vaz ;

var lst : text;
    i,j,k : integer;

begin
    clrscr;
    gotoxy(1,3);
    writeln(titulo1);writeln;
    writeln(,write)('Horizonte de Estudo (anos)   : ',num_ano:6);
    writeln(titulo2);writeln;
    writeln(,write)('Numero de Postos Fluiometricos : ', num_posto:6);

    writeln(lst);writeln(lst,titulo1);writeln(lst);
    writeln(lst,'Horizonte de Estudo (anos)   : ',num_ano:6);
    writeln(lst);writeln(lst,titulo2);writeln(lst);
    writeln(lst,'Numero de Postos Fluiometricos : ', num_posto:6);

```

```

for j := 1 to num_posto do
begin
  writeln(lst);writeln(lst);

  writeln;writeln;
  writeln{,write}('Posto: ',posto[j]:3,' Controle: ',nome[j]:15,
    ' Vol. Inic.',volin[j]:6:2);

  writeln(lst,'Posto: ',posto[j]:3,' Controle: ',nome[j]:15,
    ' Vol. Inic.',volin[j]:6:2);

  for i := 1 to num_ano do
    begin
      for k:= 12*i-11 to 12*i do
        write(vazao[j],k):8:2);
        writeln;

      for k:= 12*i-11 to 12*i do
        write(lst,vazao[j],k):8:2);
        writeln(lst);
      end;
    end;
  end;
end;

```

```

{*****}
{ Imprime Vazoes Incrementais Calculadas }
{ Opcao para arquivo e impressora }
{*****}

```

```

procedure imprime_inc_vaz ;
var lst : text;
    i,j,k : integer;

begin
  clrscr;
  gotoxy(1,3);
  writeln;writeln;writeln;
  writeln(titulo1);writeln;
  writeln{,write}('Horizonte de Estudo (anos) : ',num_ano:6);
  writeln(titulo2);writeln;
  writeln{,write}('Numero de Postos Fluviometricos : ', num_posto:6);

  writeln(lst);writeln(lst);writeln(lst);
  writeln(lst,titulo1);writeln(lst);
  writeln(lst,'Horizonte de Estudo (anos) : ',num_ano:6);
  writeln(lst,titulo2);writeln(lst);
  writeln(lst,'Numero de Postos Fluviometricos : ', num_posto:6);

  writeln;writeln{,write}('Vazoes Incrementais Calculadas (m3/s)');

  writeln(lst);writeln(lst,'Vazoes Incrementais Calculadas (m3/s)');

  for j := 1 to num_posto do
    begin
      writeln(lst);writeln(lst);
      writeln;writeln;

      writeln{,write}('Posto: ',posto[j]:3,' Controle:',nome[j]:15);
      writeln(lst,posto[j]:3, nome[j]:15);

      for i := 1 to num_ano do
        begin
          for k:= 12*i-11 to 12*i do
            write(inc_vaz[j],k):8:2);
            writeln;

          for k:= 12*i-11 to 12*i do

```

```

write(1st,inc_vaz[j],k):8:2);
writeln(1st);
end;
end;
end;

```

```

{*****}
{ Calculo das Vazoes Incrementais }
{*****}
{***Periodo de i de leitura: 2 em 2 anos ate o horizonte de estudo***}

```

```
begin
```

```
ler_vaz;
```

```
if chave1 = true then
```

```
  imprime_vaz;
```

```
for j:= 1 to num_posto do
```

```
  case j of
```

```
    1.3 : begin { res. Jaguarí - res. Cachoeira - res. Atibaia }
```

```
      for i:= 1 to num_ano do
```

```
        begin
```

```
          for k:= 12*i-11 to 12*i do
```

```
            begin
```

```
              inc_vaz[j],k]:= 2.592*vazao[j],k];
```

```
              if k = 1 then
```

```
                inc_vaz[j],k := inc_vaz[j],k + volin[j];
```

```
              end;
```

```
            end;
```

```
          end;
```

```
    4 : begin { Us. Jaguarí }
```

```
      for i:= 1 to num_ano do
```

```
        begin
```

```
          for k:= 12*i-11 to 12*i do
```

```
            inc_vaz[j],k := 2.592*(vazao[j],k - vazao[1],k);
```

```
          end;
```

```
        end;
```

```
    5 : begin { Us. Salto Grande }
```

```
      for i:= 1 to num_ano do
```

```
        begin
```

```
          for k:= 12*i-11 to 12*i do
```

```
            inc_vaz[j],k := 2.592*(vazao[j],k-vazao[8],k);
```

```
          end;
```

```
        end;
```

```
    6 : begin { Us. Americana }
```

```
      for i:= 1 to num_ano do
```

```
        begin
```

```
          for k:= 12*i-11 to 12*i do
```

```
            inc_vaz[j],k := 2.592*(vazao[j],k - vazao[5],k);
```

```
          end;
```

```
        end;
```

```
    7 : begin { Rio Piracicaba }
```

```
      for i:= 1 to num_ano do
```

```
        begin
```

```
          for k:= 12*i-11 to 12*i do
```

```
            inc_vaz[j],k := 2.592*(vazao[j],k-vazao[6],k-vazao[9],k-vazao[10],k);
```

```
          end;
```

```
        end;
```

```
    8 : begin { Reversao p/ Abastecimento de Agua p/ Jundiá }
```

```
      for i:= 1 to num_ano do
```

```
        begin
```

```
          for k:= 12*i-11 to 12*i do
```

```
            inc_vaz[j],k := 2.592*(vazao[j],k-vazao[3],k-vazao[2],k);
```

```
          end;
```

```
        end;
```

```
    9 : begin { Barragem de Jaguariuna }
```

```

for i:= 1 to num_ano do
begin
for k:= 12*i-11 to 12*i do
begin
inc_vaz[j,k] := 2.592*(vazao[j,k]);
if k = 1 then
inc_vaz[j,k] := inc_vaz[j,k] + volin[j];
end;
end;
end;

10 : begin { Barragem de Morungaba }
for i:= 1 to num_ano do
begin
for k:= 12*i-11 to 12*i do
begin
inc_vaz[j,k] := 2.592*(vazao[j,k] - vazao[4,k]);
if k=1 then
inc_vaz [j,k]:= inc_vaz [j,k] + volin [j];
end;
end;
end;
end;

if chave1 = true then imprime_inc_vaz;
end;

{*****}
{ Imprime Rede Montada - Informacoes por Arcos }
{*****}

procedure imprime_arco;

var lst : text;
i,j,k : integer;

{***Opcao para arquivo***}

begin
clrscr;
writeln('horizonte - tmax = ',tmax:5);
writeln;
writeln('num. de arcos - kmax = ',kmax:5);
writeln;
writeln('num. de nos - nmax = ',nmax:5);
writeln;writeln;
writeln(' arco no nd ord.calda ord.cabeça num.int.ac');
writeln;

for t:=1 to tmax do
for k:=1 to kmax do

begin
auxk:= k + (t-1)*kmax;
write(auxk:5,no[auxk]:9,nd[auxk]:9);
write(ord_calda[auxk]:7,ord_cabeça[auxk]:7,num_intac[auxk]:7);
writeln;
end;

writeln;
writeln;
writeln(' lim. sup. custo');
writeln;

for t:= 1 to tmax do
for k:= 1 to kmax do

begin
auxk:= k + (t-1)*kmax;
for l:=1 to num_int[auxk] do
writeln(l:10:1,' ',cc[l,auxk]:13:6);
end;

```

```

    {***Opcao para impressao***}

    writeln(lst,'horizonte - tmax = ',tmax:5);
    writeln(lst);
    writeln(lst,'num. de arcos - kmax =',kmax:5);
    writeln(lst);
    writeln(lst,'num. de nos - nmax = ',nmax:5);
    writeln(lst);writeln(lst);
    writeln(lst,' arco no nd ord.calda ord.cabeca num.int.ac. ');
    writeln(lst);

    for t:=1 to tmax do
      for k:=1 to kmax do

        begin
          auxk:= k + (t-1)*kmax;
          write(lst,auxk:4,no[auxk]:7,nd[auxk]:7);
          write(lst,ord_calda[auxk]:9,ord_cabeca[auxk]:12,num_intac[auxk]:14);
          writeln(lst);
        end;

    writeln(lst);
    writeln(lst);
    writeln(lst,' lim. sup. custo');
    writeln(lst);

    for t:=1 to tmax do
      for k:=1 to kmax do

        begin
          auxk:= k + (t-1)*kmax;
          for l:=1 to num_int[auxk] do
            writeln(lst,ls[l,auxk]:10:1,' ',cc[l,auxk]:13:6);
          end;
        end;
    end;

    {*****}
    { Imprime a Rede Montada - Informacoes por No }
    {*****}

procedure imprime_no;

var lst : text;
    t,k,n : integer;

    {***Opcao para arquivo***}

begin
  writeln;writeln;
  writeln({write}(' no dem g.ext.acm g.int.acm ');
  writeln;

  for t:=1 to tmax do
    for n:=1 to nmax do

      begin
        auxn:= n + (t-1)*nmax;
        write(auxn:5,dem[auxn]:8:2,gext[auxn]:12,gint[auxn]:12);
        writeln;
      end;

    auxn:=auxn+1;
    write(auxn:5,dem[auxn]:8:2,gext[auxn]:12,gint[auxn]:12);
    writeln;
    writeln;

    {***Opcao para impressao***}

    writeln(lst);writeln(lst);
    writeln(lst,' no dem g.ext.acm g.int.acm ');
    writeln(lst);

```



```

for t:=1 to tmax do
  for n:=1 to nmax do

    begin
      auxn:= n + (t-1)*nmax;
      write(lst,auxn:5,dem[auxn]:8:2,gext[auxn]:12,gint[auxn]:12);
      writeln(lst);
    end;

  auxn:=auxn+1;
  write(lst,auxn:5,dem[auxn]:8:2,gext[auxn]:12,gint[auxn]:12);
  writeln(lst);
  writeln(lst);
end;

```

```

{*****}
{ Ordena Calda/Cabeca do Arco por No }
{*****}

```

```

procedure ordena;

var t,
    k : integer;

begin
  for k:=1 to tmax*kmax do
    begin
      auxk:= k;
      if auxn = no[auxk] then
        begin
          i:= i+1;
          ord_calda[i]:= auxk;
        end;
      if auxn = nd[auxk] then
        begin
          j:= j+1;
          ord_cabeca[j]:= auxk;
        end;
    end;
  end;
end;

```

```

{*****}
{ Grava Dados no Arquivo - nome_arq: redeXX.dat }
{*****}

```

```

procedure grava_arq;

var nome_arq : string[30];
    arq : text;

begin
  clrscr;
  gotoxy(1,3);
  write( 'Digite o Ano Inicial do Arquivo para Gravacao: ' );
  readln(nome_arq);
  nome_arq:= 'c:\pira\rede'+nome_arq+'.dat';
  assign(arq, nome_arq);
  rewrite(arq);
  writeln(arq,tmax*10+1,' ',tmax*19,' ',num_intac[tmax*19]);

  for t:=1 to tmax do
    for n:=1 to nmax do

      begin
        auxn:= n + (t-1)*nmax;
        write(arq,dem[auxn]:8:2,gext[auxn]:12,gint[auxn]:12);
        writeln(arq);
      end;

    auxn:=auxn+1;
    write(arq,dem[auxn]:8:2,gext[auxn]:12,gint[auxn]:12);

```

```
writeln(arq);

for t:=1 to tmax do
  for k:=1 to kmax do

    begin
      auxk:= k + (t-1)*kmax;
      write(arq,no[auxk]:7,nd[auxk]:7);
      write(arq,ord_calda[auxk]:9,ord_cabeca[auxk]:12,num_intac[auxk]:14);
      writeln(arq);
    end;

for t:=1 to tmax do
  for k:=1 to kmax do

    begin
      auxk:= k + (t-1)*kmax;
      for l:=1 to num_int[auxk] do
        writeln(arq,ls[l],auxk]:10:1,' ',cc[l],auxk]:13:6);
      end;

close(arq);
end;
```

```
{*****}
{ Programa Principal }
{*****}
```

```
{*****}
{ Arcos }
{*****}
```

```
begin
  clrscr;
  demaux:=0.0;
  i:= 0;
  j:= 0;
  ler;
  vazao;
  for t:=1 to tmax do
    for k:=1 to kmax do

      begin
        auxk:= k + (t-1)*kmax;

        case k of

          {Res. Jaguarí para Res. Cachoeira}

          1: begin
            no[auxk]:= t*nmax - 9;
            nd[auxk]:= t*nmax - 8;
            cc[1,auxk]:= -infinito;
            ls[1,auxk]:= -infinito;
            cc[2,auxk]:= 0.0;
            ls[2,auxk]:= 0.0;
            cc[3,auxk]:= infinito;
            ls[3,auxk]:= 77.76;
            cc[4,auxk]:= infinito;
            ls[4,auxk]:= infinito;
            num_int[auxk]:= 4;
            if auxk = 1 then num_intac[auxk]:= 4
              else num_intac[auxk]:= 4 + num_intac[auxk-1];
            end;

          {Res. Cachoeira para Res. Atibainha}

          2:begin
            no[auxk]:= t*nmax - 8;
            nd[auxk]:= t*nmax - 7;
            ls[1,auxk]:= -infinito;
            cc[1,auxk]:= -infinito;
```

```

ls[2,auxk]:= 0.0;
cc[2,auxk]:= 0.0;
ls[3,auxk]:= 77.76;
cc[3,auxk]:= infinito;
ls[4,auxk]:= infinito;
cc[4,auxk]:= infinito;
num_int[auxk]:= 4;
num_intac[auxk]:= 4 + num_intac[auxk-1];
end;

```

{Res. Atibainha para Raiz}

```

3:begin
no[auxk]:= t*nmax - 7;
nd[auxk]:= tmax*nmax + 1;
ls[1,auxk]:= -infinito;
cc[1,auxk]:= -infinito;
ls[2,auxk]:= 0.0;
cc[2,auxk]:= -infinito;
ls[3,auxk]:= 51.84;
cc[3,auxk]:= -1.4*peso;
ls[4,auxk]:= 64.80;
cc[4,auxk]:= -0.625*peso;
ls[5,auxk]:= 75.68;
cc[5,auxk]:= -0.25*peso;
ls[6,auxk]:= 85.53;
cc[6,auxk]:= infinito;
ls[7,auxk]:= infinito;
cc[7,auxk]:= infinito;
num_int[auxk]:= 7;
num_intac[auxk]:= 7 + num_intac[auxk-1];
end;

```

{Res. Cachoeira para Reversao para Jundiai}

```

4:begin
no[auxk]:= t*nmax - 8;
nd[auxk]:= t*nmax - 2;
ls[1,auxk]:= -infinito;
cc[1,auxk]:= -infinito;
ls[2,auxk]:= 0.0;
cc[2,auxk]:= -infinito;
ls[3,auxk]:= 5.18;
cc[3,auxk]:= 0.0;
ls[4,auxk]:= 59.62;
cc[4,auxk]:= infinito;
ls[5,auxk]:= infinito;
cc[5,auxk]:= infinito;
num_int[auxk]:= 5;
num_intac[auxk]:= 5 + num_intac[auxk-1];
end;

```

{Res. Atibainha para Reversao para Jundiai}

```

5:begin
no[auxk]:= t*nmax - 7;
nd[auxk]:= t*nmax - 2;
ls[1,auxk]:= -infinito;
cc[1,auxk]:= -infinito;
ls[2,auxk]:= 0.0;
cc[2,auxk]:= -infinito;
ls[3,auxk]:= 2.59;
cc[3,auxk]:= 0.0;
ls[4,auxk]:= 18.14;
cc[4,auxk]:= infinito;
ls[5,auxk]:= infinito;
cc[5,auxk]:= infinito;
num_int[auxk]:= 5;
num_intac[auxk]:= 5 + num_intac[auxk-1];
end;

```

{Res. Jaguarí para UHE Jaguarí}

```

6:begin
no[auxk]:= t*nmax - 9;

```

```

nd[auxk]:= t*nmax - 6;
ls[1,auxk]:= -infinito;
cc[1,auxk]:= -infinito;
ls[2,auxk]:= 0.0;
cc[2,auxk]:= -infinito;
ls[3,auxk]:= 2.59;
cc[3,auxk]:= 0.0;
ls[4,auxk]:= 196.99;
cc[4,auxk]:= infinito;
ls[5,auxk]:= infinito;
cc[5,auxk]:= infinito;
num_int[auxk]:= 5;
num_intac[auxk]:= 5 + num_intac[auxk-1];
end;

```

{Reversao para Jundiari para UHE Salto Grande}

```

7:begin
no[auxk]:= t*nmax - 2;
nd[auxk]:= t*nmax - 5;
ls[1,auxk]:= -infinito;
cc[1,auxk]:= -infinito;
ls[2,auxk]:= 0.0;
cc[2,auxk]:= -infinito;
ls[3,auxk]:= 16.30;
cc[3,auxk]:= 0.0;
ls[4,auxk]:= 1000.0;
cc[4,auxk]:= infinito;
ls[5,auxk]:= infinito;
cc[5,auxk]:= infinito;
num_int[auxk]:= 5;
num_intac[auxk]:= 5 + num_intac[auxk-1];
end;

```

{Reversao para Jundiari para Raiz}

```

8:begin
no[auxk]:= t*nmax - 2;
nd[auxk]:= tmax*nmax + 1;
ls[1,auxk]:= -infinito;
cc[1,auxk]:= -infinito;
ls[2,auxk]:= 0.0;
cc[2,auxk]:= -infinito;
ls[3,auxk]:= 2.59;
cc[3,auxk]:= 0.0;
ls[4,auxk]:= 5.59;
cc[4,auxk]:= infinito;
ls[5,auxk]:= infinito;
cc[5,auxk]:= infinito;
num_int[auxk]:= 5;
num_intac[auxk]:= 5 + num_intac[auxk-1];
end;

```

{UHE Jaguarí para Bar. Morungaba}

```

9:begin
no[auxk]:= t*nmax - 6;
nd[auxk]:= t*nmax;
ls[1,auxk]:= -infinito;
cc[1,auxk]:= -infinito;
ls[2,auxk]:= 0.0;
cc[2,auxk]:= -infinito;
ls[3,auxk]:= 2.59;
cc[3,auxk]:= 0.0;
ls[4,auxk]:= 196.99;
cc[4,auxk]:= infinito;
ls[5,auxk]:= infinito;
cc[5,auxk]:= infinito;
num_int[auxk]:= 5;
num_intac[auxk]:= 5 + num_intac[auxk-1];
end;

```

{UHE Salto Grande para UHE Americana}

```

10:begin

```

```

no[auxk]:= t*nmax - 5;
nd[auxk]:= t*nmax - 4;
ls[1,auxk]:= - infinito;
cc[1,auxk]:= - infinito;
ls[2,auxk]:= 0.0;
cc[2,auxk]:= 0.0;
ls[3,auxk]:= infinito;
cc[3,auxk]:= infinito;
num_int[auxk]:= 3;
num_intac[auxk]:= 3 + num_intac[auxk-1];
end;

```

{UHE de Americana para Junção Atibaia/Jaguari}

```

11:begin
no[auxk]:= t*nmax - 4;
nd[auxk]:= t*nmax - 3;
ls[1,auxk]:= - infinito;
cc[1,auxk]:= - infinito;
ls[2,auxk]:= 0.0;
cc[2,auxk]:= - infinito;
ls[3,auxk]:= 25.92;
cc[3,auxk]:= 0.0;
ls[4,auxk]:= 259.2;
cc[4,auxk]:= infinito;
ls[5,auxk]:= infinito;
cc[5,auxk]:= infinito;
num_int[auxk]:= 5;
num_intac[auxk]:= 5 + num_intac[auxk-1];
end;

```

{Bar. Morungaba para Juncao Atibaia/Jaguari}

```

12:begin
no[auxk]:= t*nmax;
nd[auxk]:= t*nmax - 3;
ls[1,auxk]:= - infinito;
cc[1,auxk]:= - infinito;
ls[2,auxk]:= 0.0;
cc[2,auxk]:= - infinito;
ls[3,auxk]:= 21.79;
cc[3,auxk]:= 0.0;
ls[4,auxk]:= 1000.00;
cc[5,auxk]:= infinito;
ls[5,auxk]:= infinito;
cc[5,auxk]:= infinito;
num_int[auxk]:= 5;
num_intac[auxk]:= 5 + num_intac[auxk-1];
end;

```

{Bar. Jaguariuna para Juncao Atibaia/Jaguari}

```

13:begin
no[auxk]:= t*nmax - 1;
nd[auxk]:= t*nmax - 3;
ls[1,auxk]:= - infinito;
cc[1,auxk]:= - infinito;
ls[2,auxk]:= 0.0;
cc[2,auxk]:= - infinito;
ls[3,auxk]:= 8.50;
cc[3,auxk]:= 0.0;
ls[4,auxk]:= infinito;
cc[4,auxk]:= infinito;
num_int[auxk]:= 4;
num_intac[auxk]:= 4 + num_intac[auxk-1];
end;

```

{Juncao Atibaia/Jaguari para Raiz}

```

14:begin
no[auxk]:= t*nmax - 3;
nd[auxk]:= tmax*nmax + 1;
ls[1,auxk]:= - infinito;
cc[1,auxk]:= - infinito;
ls[2,auxk]:= 0.0;

```

```

cc[2,auxk]:= -infinito;
ls[3,auxk]:= 103.68;
cc[3,auxk]:= -0.1;
ls[4,auxk]:= 155.52;
cc[4,auxk]:= -0.001852;
ls[5,auxk]:= 1555.2;
cc[5,auxk]:= infinito;
ls[6,auxk]:= infinito;
cc[6,auxk]:= infinito;
num_int[auxk]:= 6;
num_intac[auxk]:= 6 + num_intac[auxk-1];
end;

```

{Res. Jaguarí - tranferencia de volume}

```

15:begin
if t < tmax then
begin
no[auxk]:= t*nmax - 9;
nd[auxk]:= t*nmax + 1;
ls[1,auxk]:= -infinito;
cc[1,auxk]:= -infinito;
ls[2,auxk]:= 0.0;
cc[2,auxk]:= 0.0;
naux:= t div 12;
taux:= t - 12*naux;
if taux = 0 then taux:= 12;

case taux of

1 : ls[3,auxk]:= 783.0;
2..3 : ls[3,auxk]:= 771.0;
4..7 : ls[3,auxk]:= 629.0;
8 : ls[3,auxk]:= 769.0;
9..10: ls[3,auxk]:= 771.0;
11..12: ls[3,auxk]:= 783.0;
end;

cc[3,auxk]:= infinito;
ls[4,auxk]:= infinito;
cc[4,auxk]:= infinito;
num_int[auxk]:= 4;
num_intac[auxk]:= 4 + num_intac[auxk-1];
end;

if t = tmax then
begin
no[auxk]:= t*nmax - 9;
nd[auxk]:= t*nmax + 1;
ls[1,auxk]:= -infinito;
cc[1,auxk]:= -infinito;
ls[2,auxk]:= 0.0;
cc[2,auxk]:= -infinito;
ls[3,auxk]:= (fator1/100.0)*783.0;
cc[3,auxk]:= 0.0;
naux:= t div 12;
taux:= t - 12*naux;
if taux = 0 then taux:= 12;

case taux of

1 : ls[4,auxk]:= 783.0;
2..3 : ls[4,auxk]:= 771.0;
4..7 : ls[4,auxk]:= 629.0;
8 : ls[4,auxk]:= 769.0;
9..10: ls[4,auxk]:= 771.0;
11..12: ls[4,auxk]:= 783.0;
end;

cc[4,auxk]:= infinito;
ls[5,auxk]:= infinito;
cc[5,auxk]:= infinito;
num_int[auxk]:= 5;
num_intac[auxk]:= 5 + num_intac[auxk-1];
end;

```

```

end;

{Res. Cachoeira - transferencia de volume}

16:begin
  if t < tmax then
  begin
    no[auxk]:= t*nmax - 8;
    nd[auxk]:= t*nmax + 2;
    if t = tmax then nd[auxk]:= tmax*nmax + 1;
    ls[1,auxk]:= -infinito;
    cc[1,auxk]:= -infinito;
    ls[2,auxk]:= 0.0;
    cc[2,auxk]:= 0.0;
    naux:= t div 12;
    taux:= t - 12*naux;
    if taux = 0 then taux:= 12;

    case taux of

      1 : ls[3,auxk]:= 48.0;
      2..3 : ls[3,auxk]:= 39.0;
      4..7 : ls[3,auxk]:= 12.0;
      8 : ls[3,auxk]:= 33.0;
      9..10: ls[3,auxk]:= 39.0;
      11..12: ls[3,auxk]:= 48.0;
    end;

    cc[3,auxk]:= infinito;
    ls[4,auxk]:= infinito;
    cc[4,auxk]:= infinito;
    num_int[auxk]:= 4;
    num_intac[auxk]:= 4 + num_intac[auxk-1];
  end;

  if t = tmax then
  begin
    no[auxk]:= t*nmax - 8;
    nd[auxk]:= t*nmax + 2;
    if t = tmax then nd[auxk]:= tmax*nmax + 1;
    ls[1,auxk]:= -infinito;
    cc[1,auxk]:= -infinito;
    ls[2,auxk]:= 0.0;
    cc[2,auxk]:= -infinito;
    ls[3,auxk]:= (fator2/100.0)*48.0;
    cc[3,auxk]:= 0.0;
    naux:= t div 12;
    taux:= t - 12*naux;
    if taux = 0 then taux:= 12;

    case taux of

      1 : ls[4,auxk]:= 48.0;
      2..3 : ls[4,auxk]:= 39.0;
      4..7 : ls[4,auxk]:= 12.0;
      8 : ls[4,auxk]:= 33.0;
      9..10: ls[4,auxk]:= 39.0;
      11..12: ls[4,auxk]:= 48.0;
    end;

    cc[4,auxk]:= infinito;
    ls[5,auxk]:= infinito;
    cc[5,auxk]:= infinito;
    num_int[auxk]:= 5;
    num_intac[auxk]:= 5 + num_intac[auxk-1];
  end;
end;

{Res. Atibainha - transferencia de volume}

17:begin
  if t < tmax then
  begin
    no[auxk]:= t*nmax - 7;
    nd[auxk]:= t*nmax + 3;

```

```

if t = tmax then nd[auxk]:= tmax*nmax + 1;
ls[1,auxk]:= -infinito;
cc[1,auxk]:= -infinito;
ls[2,auxk]:= 0.0;
cc[2,auxk]:= 0.0;
naux:= t div 12;
taux:= t - 12*naux;
if taux = 0 then taux:= 12;

```

```

case taux of

```

```

  1 : ls[3,auxk]:= 100.0;
  2..4 : ls[3,auxk]:= 96.0;
  5..7 : ls[3,auxk]:= 80.0;
  8..9 : ls[3,auxk]:= 96.0;
  10..12: ls[3,auxk]:= 100.0;
end;

```

```

cc[3,auxk]:= infinito;
ls[4,auxk]:= infinito;
cc[4,auxk]:= infinito;
num_int[auxk]:= 4;
num_intac[auxk]:= 4 + num_intac[auxk-1];
end;

```

```

if t = tmax then
begin
no[auxk]:= t*nmax - 7;
nd[auxk]:= t*nmax + 1;
if t = tmax then nd[auxk]:= tmax*nmax + 1;
ls[1,auxk]:= -infinito;
cc[1,auxk]:= -infinito;
ls[2,auxk]:= 0.0;
cc[2,auxk]:= -infinito;
ls[3,auxk]:= (fator3/100.0)*100.0;
cc[3,auxk]:= 0.0;
naux:= t div 12;
taux:= t - 12*naux;
if taux = 0 then taux:= 12;

```

```

case taux of

```

```

  1 : ls[4,auxk]:= 100.0;
  2..4 : ls[4,auxk]:= 96.0;
  5..7 : ls[4,auxk]:= 80.0;
  8..9 : ls[4,auxk]:= 96.0;
  10..12: ls[4,auxk]:= 100.0;
end;

```

```

cc[4,auxk]:= infinito;
ls[5,auxk]:= infinito;
cc[5,auxk]:= infinito;
num_int[auxk]:= 5;
num_intac[auxk]:= 5 + num_intac[auxk-1];
end;
end;

```

```

{Bar. Jaguariuna - transferencia de volume}

```

```

18:begin
if t < tmax then
begin
no[auxk]:= t*nmax - 1;
nd[auxk]:= t*nmax + 9;
ls[1,auxk]:= -infinito;
cc[1,auxk]:= -infinito;
ls[2,auxk]:= 0.0;
cc[2,auxk]:= 0.0;
ls[3,auxk]:= 38.0;
cc[3,auxk]:= infinito;
ls[4,auxk]:= infinito;
cc[4,auxk]:= infinito;
num_int[auxk]:= 4;
num_intac[auxk]:= 4 + num_intac[auxk-1];
end;

```



```

if t = tmax then
begin
  no[auxk]:= t*nmax - 1;
  nd[auxk]:= t*nmax + 1;
  ls[1,auxk]:= -infinito;
  cc[1,auxk]:= -infinito;
  ls[2,auxk]:= 0.0;
  cc[2,auxk]:= -infinito;
  ls[3,auxk]:= (fator5/100.0)*38.0;
  cc[3,auxk]:= 0.0;
  ls[4,auxk]:= 38.0;
  cc[4,auxk]:= infinito;
  ls[5,auxk]:= infinito;
  cc[5,auxk]:= infinito;
  num_int[auxk]:= 5;
  num_intac[auxk]:= 5 + num_intac[auxk-1];
end;
end;

```

{Bar. Morungaba - tranferencia de volume}

```

19:begin
if t < tmax then
begin
  no[auxk]:= t*nmax;
  nd[auxk]:= t*nmax + 10;
  ls[1,auxk]:= -infinito;
  cc[1,auxk]:= -infinito;
  ls[2,auxk]:= 0.0;
  cc[2,auxk]:= 0.0;
  ls[3,auxk]:= 207.0;
  cc[3,auxk]:= infinito;
  ls[4,auxk]:= infinito;
  cc[4,auxk]:= infinito;
  num_int[auxk]:= 4;
  num_intac[auxk]:= 4 + num_intac[auxk-1];
end;
end;

```

```

if t = tmax then
begin
  no[auxk]:= t*nmax;
  nd[auxk]:= t*nmax + 1;
  ls[1,auxk]:= -infinito;
  cc[1,auxk]:= -infinito;
  ls[2,auxk]:= 0.0;
  cc[2,auxk]:= -infinito;
  ls[3,auxk]:= (fator4/100.0)*207.0;
  cc[3,auxk]:= 0.0;
  ls[4,auxk]:= 207.0;
  cc[4,auxk]:= infinito;
  ls[5,auxk]:= infinito;
  cc[5,auxk]:= infinito;
  num_int[auxk]:= 5;
  num_intac[auxk]:= 5 + num_intac[auxk-1];
end;
end;
end;
end;

```

```

{*****}
{ Nos }
{*****}

```

```

for t:= 1 to tmax do
for n:= 1 to nmax do
begin
  auxn:= n + (t-1)*nmax;

  case n of

    {Res. Jaguarí}

  1: begin

```

```

dem[auxn]:= -inc_vaz[n,t];
if auxn <> 1 then
  begin
    gext[auxn]:= 3 + gext[auxn-1];
    gint[auxn]:= 1 + gint[auxn-1];
  end;
if auxn = 1 then
  begin
    gint[auxn]:= 0;
    gext[auxn]:= 3;
  end;
ordena;
end;

{Res. Cachoeira}

2: begin
dem[auxn]:= -inc_vaz[n,t];
gext[auxn]:= gext[auxn-1] + 3;
gint[auxn]:= gint[auxn-1] + 2;
if auxn = 2 then gint[auxn]:= gint[auxn-1] + 1;
ordena;
end;

{Res. Atibainha}

3: begin
dem[auxn]:= -inc_vaz[n,t];
gext[auxn]:= gext[auxn-1] + 3;
gint[auxn]:= gint[auxn-1] + 2;
if auxn = 3 then gint[auxn]:= gint[auxn-1] + 1;
ordena;
end;

{UHE Jaguarí}

4: begin
dem[auxn]:= -inc_vaz[n,t];
gext[auxn]:= gext[auxn-1] + 1;
gint[auxn]:= gint[auxn-1] + 1;
ordena;
end;

{UHE Salto Grande}

5: begin
dem[auxn]:= -inc_vaz[n,t];
gext[auxn]:= gext[auxn-1] + 1;
gint[auxn]:= gint[auxn-1] + 1;
ordena;
end;

{UHE Americana}

6: begin
dem[auxn]:= -inc_vaz[n,t];
gext[auxn]:= gext[auxn-1] + 1;
gint[auxn]:= gint[auxn-1] + 1;
ordena;
end;

{Juncao Atibaia/Jaguari}

7: begin
dem[auxn]:= -inc_vaz[n,t];
gext[auxn]:= gext[auxn-1] + 1;
gint[auxn]:= gint[auxn-1] + 3;
ordena;
end;

{Reversao para Jundiai}

8: begin
dem[auxn]:= -inc_vaz[n,t];

```

```

gext[auxn]:= gext[auxn-1] + 2;
gint[auxn]:= gint[auxn-1] + 2;
ordena;
end;

```

```
{Bar. Jaguariuna}
```

```

9: begin
dem[auxn]:= -inc_vaz[n,t];
gext[auxn]:= gext[auxn-1] + 2;
gint[auxn]:= gint[auxn-1] + 1;
if auxn = 9 then gint[auxn]:= gint[auxn-1];
ordena;
end;

```

```
{Bar. Morungaba}
```

```

10: begin
dem[auxn]:= -inc_vaz[n,t];
gext[auxn]:= gext[auxn-1] + 2;
gint[auxn]:= gint[auxn-1] + 2;
if auxn = 10 then gint[auxn]:= gint[auxn-1] + 1;
ordena;
end;

```

```
end;
```

```
end;
```

```

{*****}
{ Raiz }
{*****}

```

```

for t:= 1 to tmax*nmax do demaux:=demaux+dem[t];
dem[tmax*nmax+1]:= -demaux;
raiz:= tmax*nmax+1;
gext[raiz]:= gext[raiz-1];
gint[raiz]:= gint[raiz-1] + 3*tmax + 5;
auxn:= raiz;
ordena;
if chave1 = true then imprime_no;
if chave1 = true then imprime_arco;
if chave2 = true then grava_arq;

```

```
end.
```

# PROGRAMA SIMPLEX

```
end;

inicio := false;

if n <> knot then
begin
  inicio := false;
  codg := 1;    {***rede desconectada***}
end
else
begin
  inicio := true;

  for j := 1 to m do
    x[j] := d[f[j]];
    no := v[root];
  repeat arci := w[no]; xr := b[no];

  for k := p[no-1]+1 to p[no] do
    if r[k] <> arci then
      xr := xr + x[r[k]];

  for k := q[no-1]+1 to q[no] do
    if s[k] <> arci then
      xr := xr - x[s[k]];
    if no = t[arci] then
      xr := -xr; x[arci] := xr; k := f[arci];

  while d[k] > xr do
    k := k - 1;
  while d[k+1] < xr do
    k := k + 1;
  f[arci] := k; no := v[no];
until
  no = root;
  y[root] := 0;
  i := u[root];
repeat
  j := w[i]; no := h[j] + t[j] - i;
if i = h[j] then
  y[i] := y[no] + c[f[j]]
else
  y[i] := y[no] - c[f[j]];
  i := u[i];
until
  i = root;
end;

writeln( clock-temp:25:2, ' [cpu]')
end;
```

```
{*****}
{*****}
{*****}
```

function noncandidate: boolean;

```
begin
j:= arco;
k := f[j];
dy := y[h[j]] - y[t[j]];

if c[k] < dy then
  cred := c[k] - dy
else
if c[k-1] > dy then
  cred := c[k-1] - dy
else
```

# PROGRAMA SIMPLEX

```
cred := 0;
noncandidate := ( abs(cred) < 6.0e-8 );
end;
```

```
{*****}
{*****}
{*****}
```

function candidate: boolean; label final;

```
begin
candidate := true;
arco := arci;

repeat arco := (arco mod m) + 1;
if ( (arco<>w[h[arco]])and(arco<>w[t[arco]]) ) then
if not noncandidate then
goto final;
until arco = arci;

candidate := false;
final: arci := arco;
end;
```

```
{*****}
{*****}
{*****}
```

procedure cycle;

```
begin
j := arci;
a := zero_in;
z := zero_re;

if cred < 0 then
begin
srce := h[j];
sink := t[j];
end
else
begin
srce := t[j];
sink := h[j];
end;

i := srce;
while i <> root do
begin
j := w[i];
a[i] := j;
i := h[j]+t[j]-i;
end;

a[root] := inft; j := arci; i := sink; k := 1;
while a[i] = 0 do
begin
a[i] := j;
j := w[i];
k := k+1;
i := h[j]+t[j]-i;
end;

a[i] := j; apex := i; nrco := k;
end;
```

## **APÊNDICE C**

### **Listagem do Programa Simplex**

# PROGRAMA SIMPLEX

```

*****
PROGRAMA SIMPLEX
Versão Turbo Pascal 7.0
Otimiza a Quantidade de Água na Bacia do Rio Piracicaba
*****
    
```

program simplex;

uses dos, crt, printer;

```

*****
Metodo simplex fortemente viavel para problemas de
fluxo de minimo custo em redes lineares por partes
*****
    
```

```

const n_nos = 241;
      n_arc = 856;
      n_int = 2500;
      inft = 9999;
    
```

```

type node = integer;
      arc = integer;
      intr = integer;
      cost = real;
      flow = real;
      vet_ni = array [0..n_nos] of integer;
      vet_nr = array [0..n_nos] of real;
      vet_ai = array [0..n_arc] of integer;
      vet_ar = array [0..n_arc] of real;
      vet_ir = array [0..n_int] of real;
    
```

```

var ch:char;
    b : vet_nr; { demanda [flow] }
    y : vet_nr; { preco [$] }
    z : vet_nr; { variacao de preco no ciclo [$] }
    a : vet_ni; { proximo [node] para no's do ciclo [ cabeca=apex ]
                { e lista auxiliar para push_pop e para last_suc } }
    u : vet_ni; { no' origem [node] }
    v : vet_ni; { no' destino [node] }
    w : vet_ni; { predecessor [arc] }
    p : vet_ni; { grau externo acumulado [intg=arc] }
    q : vet_ni; { grau interno acumulado [intg=arc] }
    r : vet_ai; { lista os arcos na ordem por calda [arc] }
    s : vet_ai; { lista os arcos na ordem por cabeca [arc] }
    e : vet_ai; { primeiro intervalo [int] }
    f : vet_ai; { intervalo corrente [int] }
    t : vet_ai; { calda [arc] }
    h : vet_ai; { cabeca [arc] }
    x : vet_ar; { vazao - otima [flow] }
    c : vet_ir; { custo [$] }
    d : vet_ir; { vazao [flow] }

    n : integer; { no. de nos }
    m : integer; { no. de arcos }
    l : integer; { no. de intervalos }
    root : node; { no 1: no' mais alto de um espaco de tempo de uma
                 { arvore } }
    apex : node; { no' mais alto de um ciclo }
    arci : arc; { arc_in = (srce,sink): arco entrando no no' }
    srce : node; { origem de arci (source) }
    sink : node; { destino de arci (sink) }
    arco : arc; { arc_out = (srce,sink): arco saindo do no' }
    nrco : arc; { indice do arco no ciclo }
    
```

# PROGRAMA SIMPLEX

```
knot : node; { arco = a[knot] }
cred : cost; { custo reduzido do arco }
dmin : flow; { ratio test flow }
no : node;
i : node;
i1 : node;
j : arc;
k : intr;
dy : cost;
xr : flow;
cx : real;
yb : real;
```

```
zero_in : vet_ni;
zero_re : vet_nr;
inft_in : vet_ni;
```

```
arqv : text;
nome : string [30];
temp : real;
nitr : integer;
npiv : integer;
codg : 1..5;
```

```
{*****}
{***Tempo e custo a ser calculado de CPU***}
{*****}
```

```
function clock: real; var rec: registers;
```

```
begin with rec do
begin
ax := $2c00; msdos(rec);
clock := 3600*hi(cx) + 60*lo(cx) + hi(dx) + lo(dx)*0.01
end;
end;
```

```
{*****}
{*** Identifica se no e origem ou destino ***}
{*****}
```

```
procedure push( var no: node );
```

```
begin
a[sink] := no;
sink := sink + 1
end;
```

```
function pop( var no: node): boolean;
```

```
begin
if sink = srce
then pop := false else
begin
pop := true;
no := a[srce];
srce := srce + 1
end;
end;
```

```
function min( r1, r2: real ): real;
```

```
begin
if r1 < r2
then min := r1 else
min := r2;
```





## PROGRAMA SIMPLEX

```
writeln('Arvore (no,pred,fluxo):');

for i := 1 to n do
  writeln(i:4,w[i]:2,x[w[i]]:8:2);
  z := b[1];
  write('no1',b[1]);

for k := p[0]+1 to p[1] do
begin
  j:=r[k];
  write('arco',j,x[j]);z := z + x[j];    {lista arco ordenando por calda, vazao,e}
end;                                  {preco por ciclo}

for k := q[0]+1 to q[1] do
begin
  j:=s[k];
  write('arco',j,x[j]);z := z - x[j];    {lista arco ordenando por calda, vazao, e}
end;                                  {preco por ciclo}

if z <> 0 then
begin
  gotoxy(1,23);
  write('no1', nitr:3, z:8:2); readln;
end;

end;
```

```
*****
{      *** Opcao para saida em arquivo      }
{      e/ou impressora      ***            }
*****
```

```
procedure fim;

var k,j,l      :integer;
    nome_arq   : string[30];
    arq        : text;
    chau1,     : char;
    chau2      : char;
    chave1,   : boolean;
    chave2

begin
  clrscr;
  writeln;
  write('Deseja Saida na Impressora (S/N) ? ');
  readln(chau1);
  writeln;
  write('Deseja Gravar em Arquivo (S/N) ? ');
  readln(chau2);
  writeln;

  if chau1 in ['S','s'] then
    chave1:= true else chave1:=false;
  if chau2 in ['S','s'] then
    chave2:= true else chave2:=false;
```

```
*****
{      Saida na Impressora      }
*****
```

```
if chave1 = true then

begin
  j:=1;
  writeln(lst,' VAZOES:');writeln(lst);writeln(lst);
```

PROGRAMA SIMPLEX

```

for l := 1 to 13 do          {***l= 24 intervalos (arcos) a percorrer***}
  write(lst,' ',l:3);
  writeln(lst);

for k := 1 to (m div 13) do  {***k= meses a percorrer para cada arco***}
  begin
    writeln(lst);write(lst,k:3,' ');
    for l := j to j+18 do
      begin                {***l= 19 arcos a percorrer***}
        write(lst,x[l]:6:2,' ');
        end;
      writeln(lst);
      j:=j+13;
    end;

    {***Alternativa de saida na impressora }
    { com as vazoes por arco e o custo ***}

{ for k := 1 to (m div 13) do  { ****k = meses a percorrer****
  begin
    writeln(lst,'MES: ',k:2);
    writeln(lst,'*****');writeln(lst);
    writeln(lst,'arco',j :3,' ',x[j] :6:2,' arco',j+ 7:3,' ',x[j+ 7]:6:2,' arco',j+14:3,' ',x[j+14]:6:2);
    writeln(lst,'arco',j+1:3,' ',x[j+1]:6:2,' arco',j+ 8:3,' ',x[j+ 8]:6:2,' arco',j+15:3,' ',x[j+15]:6:2);
    writeln(lst,'arco',j+2:3,' ',x[j+2]:6:2,' arco',j+ 9:3,' ',x[j+ 9]:6:2,' arco',j+16:3,' ',x[j+16]:6:2);
    writeln(lst,'arco',j+3:3,' ',x[j+3]:6:2,' arco',j+10:3,' ',x[j+10]:6:2,' arco',j+17:3,' ',x[j+17]:6:2);
    writeln(lst,'arco',j+4:3,' ',x[j+4]:6:2,' arco',j+11:3,' ',x[j+11]:6:2,' arco',j+18:3,' ',x[j+18]:6:2);
    writeln(lst,'arco',j+5:3,' ',x[j+5]:6:2,' arco',j+12:3,' ',x[j+12]:6:2);
    writeln(lst,'arco',j+6:3,' ',x[j+6]:6:2,' arco',j+13:3,' ',x[j+13]:6:2);
    writeln(lst);writeln(lst);
    j:= j + 19;
  end;

  writeln(lst);
  writeln(lst,'PRIMAL (cx): ',cx:8:1);writeln(lst);}

    {*** Alternativa de saida na impressora }
    { com as vazoes por no' e o custo ***}

{ j:=1;

  writeln(lst,'PRECOS:');writeln(lst);writeln(lst);

for k := 1 to ((n-1) div 10) do  {***k = nos a percorrer***
  begin
    writeln(lst,'MES: ',k:2);
    writeln(lst,'*****');writeln(lst);
    writeln(lst,'no',j :3,' ',y[j] :6:2,' no',j+4:3,' ',y[j+4]:6:2,' no',j+8:3,' ',y[j+8]:6:2);
    writeln(lst,'no',j+1:3,' ',y[j+1]:6:2,' no',j+5:3,' ',y[j+5]:6:2,' no',j+9:3,' ',y[j+9]:6:2);
    writeln(lst,'no',j+2:3,' ',y[j+2]:6:2,' no',j+6:3,' ',y[j+6]:6:2);
    writeln(lst,'no',j+3:3,' ',y[j+3]:6:2,' no',j+7:3,' ',y[j+7]:6:2);
    writeln(lst);writeln(lst);
    j:= j + 10;
  end;

  writeln(lst,'NO' RAIZ ',n:3,' ',y[n]:6:2);

  writeln(lst);
  writeln(lst,'DUAL (yb): ', yb:8:1); }

end;

{*****}
{ Saida para Arquivo - simpXX.out
{*****}

```

if chave2 = true then

## PROGRAMA SIMPLEX

```

begin
  {clrscr;}
  write( 'Digite o Ano Inicial do Arquivo para Gravacao: ' );
  readln(nome_arq);
  nome_arq := 'c:\final5\p04v80\simp'+nome_arq+'.out';
  { nome_arq := 'c:\pira\simp'+nome_arq+'.out';}
  assign(arq, nome_arq);
  rewrite(arq);

  j:=1;

  for k := 1 to (m div 13) do      {***meses a percorrer =k***}
    begin
      write (arq,k:3,' ');
      for l := j to j+18 do
        begin
          write(arq,x[l]:6:2,' ');      {***grava os fluxos otimos = x[l]***}
        end;
      writeln(arq);
      j:=j+19;
    end;

    {***Outra alternativa de saida em arquivo***}

  { for k := 1 to (m div 13) do      {***meses a percorrer = k***}
    begin
      for l := j to j+18 do
        begin
          {***ler os arcos = 19***}
          write(arq,l :3,' ',x[l]:6:2,' ');
        end;
      writeln(arq);
      j:=j+19;
    end; }
    { ***gravar mes=[l] com os fluxos otimos= x[l]***}

close(arq)
end;

end;

```

```

{*****}
{      ***  Leitura dos Dados no Programa      }
{      da Rede Montadora      ***      }
{*****}

```

```

function inicio: boolean;

begin
  clrscr;
  gotoxy(1,3);
  writeln(' == Strongly Feasible Simplex Method for PLP ==');
  writeln;writeln;
  write('Digite Ano do Arquivo da Rede Montadora: ');
  readln( nome );
  temp := clock;
  nome := 'c:\final1\p09v80\rede'+nome+'.dat';
  {nome := 'c:\pira\rede'+nome+'.dat';}
  assign( arqv, nome );
  reset( arqv );
  readln( arqv, n, m, l );

  gotoxy(1,3);
  write('ARQUIVO: ', nome, ' ');
  write(' ',n.no='n:4,' n.arcos='m:4,' n.interv='l:5,' ');

  for i := 1 to n do
    readln( arqv, b[i], p[i], q[i] ); p[0]:=0; q[0]:=0;

  for j := 1 to m do

```

## PROGRAMA SIMPLEX

```
readln( arqv, t[j], h[j], r[j], s[j], e[j] ); t[0]:=0; h[0]:=1; e[0]:=0;
```

```
for k := 1 to l do
  readln( arqv, d[k], c[k] );
```

```
{*****}
{          }
{  Saida dos Dados Lidos  }
{          }
{*****}
```

```
{*****
```

```
for i := 1 to n do
  writeln( 'no',i:3, ' ',b[i]:10:2, p[i]:4, q[i]:4 );
```

```
for j := 1 to m do
  writeln( 'arco',j:3, ' ',t[j]:4, h[j]:4, r[j]:4, s[j]:4, e[j]:4 );
```

```
for k := 1 to l do
  writeln( 'vazao',d[k]:10:2, ' ', ' custo',c[k]:13:6 );
*****}
```

```
for j := 1 to m do
  f[j] := e[j-1] + 2;
```

```
for i := 0 to n do
  begin
    zero_in[i]:=0; zero_re[i]:=0; inft_in[i]:=inft;
  end;
```

```
w := inft_in;
nitr := 0;
npiv := 0;
root := 1;
arci := 0;
sink := 0;
srce := 0;
push( root );
knot := n;
n := 1;
u[root] := root;
v[root] := root;
w[root] := 0;
```

```
while pop( no ) do
  begin
    i1 := u[no];
```

```
for k := p[no-1]+1 to p[no] do
  begin
    j := r[k];
    i := h[j];
    if w[i] = inft then
      begin
        u[i] := i1; v[i1] := i; w[i] := j;
        push( i ); n := n + 1; i1 := i;
      end;
  end;
```

```
for k := q[no-1]+1 to q[no] do
  begin
    j := s[k];
    i := t[j];
    if w[i] = inft then
      begin
        u[i] := i1; v[i1] := i; w[i] := j;
        push( i ); n := n + 1; i1 := i;
      end;
  end;
```

```
u[no] := i1;
v[i1] := no;
```

# PROGRAMA SIMPLEX

```
{*****}
{*****}
{*****}
```

```
function ratio_test: boolean;

var arca,
    nrca : arc;

begin
  if cred > 0 then
    f[arco] := f[arco] - 1; arca := arco; nrca := nrco;
    arco := 0; nrco := 0; knot := 0; dmin := inf; i := apex; k := 0;
    repeat j := a[i], k := k + 1;

  if i = t[j] then
    xr := d[f[j]+1] - x[j]
    else
    xr := x[j] - d[f[j]];

  if xr < 0 then
    writeln('xr<0: i,j,t,f,x,d,xr=',i:3,j:3,t[j]:3,f[j]:3,x[j],d[f[j]],xr);

  if dmin > xr then
    begin
      dmin := xr;
      arco := j;
      nrco := k;
      knot := i;
    end;

  i := h[j] + t[j] - i;
  until i = apex;

  if arco = 0 then
    begin
      ratio_test := true;
      codg := 3;      {***solucao ilimitada***}
    end
  else
    begin
      ratio_test := false;
      codg := 2;      {***problema infactive!***}
    end;

  i := apex;
  repeat j := a[i];
    if i = t[j] then
      x[j] := x[j] + dmin
      else
      x[j] := x[j] - dmin;

  i := h[j] + t[j] - i;
  until i = apex;

  if arco <> arca then
    begin
      if cred < 0 then
        i := t[arca]
        else
        i := h[arca]; {***i:= sink{(arca)***}
      if nrca < nrco then
        begin
          no := knot;
          i := i;
          dy := -abs(cred);
        end
      else
        begin
          no := i;

```

PROGRAMA SIMPLEX

```

    i := knot;
    dy := +abs(cred);
end;
repeat
  j := a[i]; i := h[j] + t[j] - i;
  y[i] := y[i] + dy; z[i] := z[i] + dy;
  until i = no;
end;

if knot = t[arco] then
  f[arco] := f[arco] + 1; x[arco] := d[f[arco]];
end;
end;

```

```

{*****}
{*****}
{*****}

```

procedure update;

function last\_suc( var no: node ): node;

```

var i, i1 : node;

begin
  i1 := no;
  repeat i := i1; a[i] := no; i1 := u[i];
  until a[pred(i1)] <> no;
  last_suc := i;
end;

```

```

{*****}
{*****}
{*****}

```

procedure move( var i, no : node );

```

var i1 : node;

begin
  i1 := last_suc( i );
  u[ v[i] ] := u[i1]; v[ u[i1] ] := v[i];
  v[ u[no] ] := i1; u[ i1 ] := u[no];
  u[ no ] := i; v[ i ] := no;
end;

begin
  i := u[apex];
  while i <> root do
    begin
      i1 := pred(i);
      if (z[i1] <> 0) and (z[i] = 0) then
        begin
          z[i] := z[i1]; y[i] := y[i] + z[i];
          if i=1 then
            writeln('update no 1?',i1:3);
          end;
          i := u[i];
        end;
    end;

  a := zero_in;
  if arco = w[knot] then
    begin
      i := srce;
      i1 := sink;
      no := h[arco]+t[arco]-knot;
    end;

```

# PROGRAMA SIMPLEX

```

end
else
begin
  i := sink;
  i1 := srce;
  no := knot;
end;

j := arci;
while i <> no do
begin
  move(i, i1); swap_in(j, w[i]);
  i1 := i; i := h[j] + t[j] - i;
end;
end;

```

```

{*****}
{  *** Solucao final para arquivo  }
{ da funcao objetivo      ***    }
{*****}

```

procedure meio; label final, sai;

```

begin
temp := clock;
gotoxy(1,10);
writeln('nitr npiv arci srce sink knot arco cred dmin');
while candidate do
begin
cycle; nitr := nitr + 1;      {***}
repeat
if keypressed then
begin
codg := 5;  {***programa parado pela tecla pressionada***}
goto sai;
end;

if ratio_test then
goto final;
npiv := npiv + 1;
gotoxy(1,11);
writeln(nitr:4,npiv:5,arci:5,srce:5,sink:5,knot:5,arco:5,cred,dmin);
until noncandidate;
update
end;

```

```

final:
codg := 4;      {***solucao otima***}
cx := 0; yb := 0;

```

```

for i := 1 to n do
yb := yb + y[i]*b[i];

```

```

for j := 1 to m do
begin
k := f[j];
if (((c[k]<=-inft) and (x[j]<d[k+1])) or ((c[k]>=inft) and (x[j]>d[k]))) then
begin
codg := 2;      {***problema infactivel***}
goto sai;
end;

```

```

k := e[j-1]+2;

```



## PROGRAMA SIMPLEX

```
while x[j] > d[k+1] do
begin
  cx := cx + c[k]*(d[k+1]-d[k]);
  k := k + 1;
end;

cx := cx + c[k]*(x[j]-d[k]);      {***primal***}

dy := y[h[j]] - y[t[j]]; k := e[j]-1+1;
while ((dy > c[k+1]) and (k+1<e[j])) do
begin
  yb := yb - d[k+1]*(c[k+1]-c[k]);
  k := k + 1;
end;

yb := yb - d[k+1]*(dy-c[k])      {***dual***}
end;

gotoxy(1,5); writeln('cx =',cx, ' yb =', yb);

sai:
temp := clock - temp;
fim
end;

begin
if inicio then
meio;
gotoxy(1,10);

case codg of

1: writeln(* rede desconectada *);

2: writeln(* problema infactivel *,nitr:6,' [nitr]',npiv:6,' [npiv]',temp:9:2,' [cpu]');

3: writeln(* solucao ilimitada *,nitr:6,' [nitr]',npiv:6,' [npiv]',temp:9:2,' [cpu]');

4: writeln(* solucao otima * ',nitr:6,' [nitr]',npiv:6,' [npiv]',temp:9:2,' [cpu]');

5: writeln(* program stopped from keyboard *);

end;

gotoxy(51,25);
write('precione qualquer tecla...');
readln;

end.
```