Campus de São Carlos

DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA DO RIO
PIRACICABA - UTILIZAÇÃO DO MODELO
MODSIMP-32

AUTORA: CELIMAR AZAMBUJA

ORIENTADOR: PROF.DR. ANTÔNIO MAROZZI RIGHETTO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA DO RIO PIRACICABA - UTILIZAÇÃO DO MODELO MODSIMP32

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP
EXEMPLAR REVISADO
Data de entrada no Serviço: 28.8./00
Ass.:

Celimar Azambuja

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Hidráulica e Saneamento

Orientador: Prof. Dr. Antonio Marozzi Righetto

São Carlos
2000

Class.	TESE
Curt.	0546
Tombo	T017000

st 1100265

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC – USP

Azambuja, Celimar
A991d Disponibilidade hídrica da bacia do rio
Piracicaba : utilização do modelo Modimp32 / Celimar
Azambuja. -- São Carlos, 2000.

Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia
de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2000.

Área: Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Marozzi Righetto.

1. Modsimp32. 2. Modsim. 3. Modelo de Simulação.
4. Otimização. 5. Gerenciamento. 6. Disponibilidade
hídrica. 7. Bacia do Piracicaba. 8. Geração de Séries
Sintéticas. 9. Séries Temporais. I. Título

À Deus,
que sempre está presente
na minha vida

Possa hoje, a paz, habitar dentro de ti.....

Confia.....

E reconhece que estás exatamente onde Deus te quer, neste momento.

Não esqueças nunca, as infinitas possibilidades da fé.

Que possas sempre usar em favor do teu irmão, os dons que recebestes

e multipliques infinitamente o amor que te foi dado

Contenta-te por saberes que és um Filho de Deus.

Permita que a sua presença preencha todo o ter ser,

e dá a tua alma a liberdade de cantar, dançar e aquecer-se ao sol...

Que esta aí para todos e cada um de vós.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Antonio Marozzi Righetto, pela orientação.

Ao Professor Rubem La Laina Porto, pela valiosa contribuição.

Aos Professores Fazal, Luiza Fernada Reis e Kokei Uehara, pelos ensinamentos e pela generosa atenção.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de estudo concedida.

Aos colegas, professores e funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP pela colaboração.

À amiga Flávia Fanchin, pela calorosa acolhida na cidade de São Carlos.

À amiga Dirlane, pelas surpreendentes demonstrações de amizade.

Às amigas Carla Cristine Kanunfre e Kelly Aparecida Kanunfre, pela amizade, apoio e companheirismo.

À minha irmã Mirela Azambuja, pelo amor, incentivo e compreensão.

À Sidnei Helder Cardoso Teixeira, porque muito mais do que um namorado é um amigo para todas as horas.

Aos meus pais, Celi Maria e Wilmar Azambuja, que por mais que eu me esforço em agradecer, ainda será pouco para compensar a dedicação e principalmente pelo infinito amor.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Aspectos Gerais da bacia do rio Piracicaba.....	3
2.1.1 Demandas de água.....	6
2.1.2 Barragens.....	8
2.1.2.1 Características Físicas dos Reservatórios.....	11
2.1.3 Disponibilidade Hídrica.....	14
2.1.4 Águas Subterrâneas.....	14
2.1.5 Autodepuração e Condições dos corpos d'água.....	16
2.2 Coleta e Análise de dados do Sistema.....	19
2.2.1 Localização dos Postos Fluviométricos.....	20
2.2.2 Localização dos Postos Pluviométricos.....	21
2.3 Modelos Matemáticos.....	22
2.3.1 Modelos de Simulação.....	23
2.3.2 O Modelo ModsimP32.....	24
2.4 Modelagem de Séries Temporais.....	28
2.4.1 Descrição dos Modelos Autoregressivos (AR).....	33
3 METODOLOGIA.....	37
3.1 O Modelo ModsimP32.....	37
3.1.1 Definições Gerais para aplicação do ModsimP32.....	46
3.1.2 Tipos de Simulação.....	46
3.1.2.1 Simulação Contínua.....	46
3.1.2.2 Planejamento Tático.....	48

3.1.3 Opções de Cálculo.....	49
3.1.4 Modelo de Interação Rio-Aquífero.....	50
3.2 Adaptação do ModsimP32 ao caso em estudo.....	56
3.2.1 Prioridade das Demandas.....	58
3.3 Geração das Séries Temporais.....	64
3.3.1 Utilização do modelo AR(1).....	67
3.3.2 Normalização dos dados.....	67
3.3.3 Modelo Multivariado AR(1).....	69
4 RESULTADOS.....	81
4.1 Séries de Vazões.....	81
4.1.1 Parâmetros Necessários ao Modelo Multivariado AR(1).....	82
4.1.2 Análise dos Resíduos do Modelo Multivariado AR(1).....	84
4.1.3 Geração das Séries.....	92
4.2 Resultados das Simulações.....	101
4.2.1 Calibração do Modelo ModsimP32.....	102
4.3 Arquivos de Simulação.....	114
5 CONCLUSÕES.....	175
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	178
ANEXO A	
Projeção das demandas de água a jusante do Cantareira – ano 1990.....	181
Projeção das demandas de água a jusante do Cantareira – ano 2000.....	182
Projeção das demandas de água a jusante do Cantareira – ano 2010.....	183
ANEXO B	
Gráficos de correlação cruzada entre os postos.....	184

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01	Localização da bacia do Rio Piracicaba.....	3
FIGURA 02	Divisão da bacia do rio Piracicaba em compartimentos ambientais.....	5
FIGURA 03	Classificação dos corpos d'água dentro da bacia do rio Piracicaba...	18
FIGURA 04	Localização dos Postos Fluviométricos.....	20
FIGURA 05	Localização dos Postos Pluviométricos.....	21
FIGURA 06	Representação de uma rede de fluxo.....	25
FIGURA 6.1	Representação de uma rede de fluxo.....	37
FIGURA 6.2	Rede de fluxo com as ligações entre os nós artificiais.....	40
FIGURA 07	Prioridades operacionais dos reservatórios.....	44
FIGURA 08	Tela do modelo para Simulação Contínua.....	48
FIGURA 09	Tela do modelo para Planejamento Tático.....	49
FIGURA 10	Tela do modelo dos Estados Hidrológicos.....	50
FIGURA 11	Tela do modelo para especificar a demanda efetiva.....	55
FIGURA 12	Tela do modelo para os coeficientes das vazões de retorno.....	55
FIGURA 13	Representação da bacia do rio Piracicaba como rede de fluxo.....	63
FIGURA 14	Todos os gráficos relacionados aos histogramas dos resíduos.....	85
FIGURA 15	Todos os gráficos relacionados aos correlogramas dos resíduos.....	85
FIGURA 16	Gráfico das séries de vazões do Reservatório Jaguari-Jacareí.....	93
FIGURA 17	Gráfico das séries de vazões do Reservatório Cachoeira.....	94
FIGURA 18	Gráfico das séries de vazões do Reservatório Atibainha.....	94
FIGURA 19	Gráfico das séries de vazões do Posto 3D-006.....	95
FIGURA 20	Gráfico das séries de vazões do Posto 3D-009.....	96
FIGURA 21	Gráfico das séries de vazões do Posto 3D-003.....	96
FIGURA 22	Gráfico das séries de vazões do Posto 3D-001.....	97
FIGURA 23	Gráfico das séries de vazões do Posto 4D-009.....	98
FIGURA 24	Gráfico das séries de vazões do Posto 4D-001.....	98
FIGURA 25	Gráfico das séries de vazões do Posto Piracicaba.....	99
FIGURA 26	Gráfico das séries de vazões do Posto 4D-021.....	100
FIGURA 27	Gráfico das séries de vazões do Posto 4D-007.....	100

FIGURA 28	Localização dos Postos Fluviométricos.....	106
FIGURA 29	Representação da bacia do rio Piracicaba como rede de fluxo.....	106
FIGURA 30	Gráfico referente ao Reservatório Jaguari-Jacareí.....	109
FIGURA 30.1	Gráfico referente ao Reservatório Cachoeira.....	109
FIGURA 30.2	Gráfico referente ao Reservatório Atibainha.....	110
FIGURA 31	Gráfico comparativo entre as vazões reais observadas na bacia x.....	111
	vazões simuladas na rede de fluxo do arquivo de calibração	
FIGURA 32	Gráfico de vazões do Link 60 correspondente a região de Paulínea..	112
FIGURA 33	Gráfico de vazões do Link 13 e 16 referente a região a montante....	112
	e a jusante de Piracicaba	
FIGURA 34	Curva de “Trade-off” de demandas alocadas C.PAN+C.ITA x.....	116
	Q Paulínea (AS2000)	
FIGURA 35	Curva de “Trade-off” de vazões defluentes do Sistema Cantareira..	117
	x volume total do Sistema Cantareira (AS2000)	
FIGURA 36	Curva de “Trade-off” de vazões defluentes da UHE Americana.....	119
	x Q mínima em Piracicaba (AS200)	
FIGURA 37	Curva de “Trade-off” de demandas alocadas C.PAN+C.ITA x.....	121
	Q Paulínea (AS2010)	
FIGURA 38	Curva de “Trade-off” de vazões defluentes do Sistema Cantareira..	122
	x volume total do Sistema Cantareira (AS2010)	
FIGURA 39	Curva de “Trade-off” de vazões defluentes da UHE Americana.....	140
	x Q mínima em Piracicaba (AS2010)	
FIGURA 40	Curva de permanência In PAN (AS1-1).....	127
FIGURA 41	Curva de permanência em Paulínea (AS1-1).....	128
FIGURA 42	Curva de permanência em Piracicaba (AS1-1).....	129
FIGURA 43	Variação do Reservatório R1(AS1-1).....	129
FIGURA 44	Variação do Reservatório R2(AS1-1).....	130
FIGURA 45	Variação do Reservatório R3(AS1-1).....	130
FIGURA 46	Curva de permanência em Paulínea (AS1-2).....	132
FIGURA 47	Curva de permanência em Piracicaba (AS1-2).....	132
FIGURA 48	Variação do Reservatório R1(AS1-2).....	133
FIGURA 49	Variação do Reservatório R2(AS1-2).....	134

FIGURA 50	Variação do Reservatório R3(AS1-2).....	134
FIGURA 51	Curva de permanência em Paulínea (AS1-3).....	136
FIGURA 52	Curva de permanência em Piracicaba (AS1-3).....	136
FIGURA 53	Variação do Reservatório R1(AS1-3).....	137
FIGURA 54	Variação do Reservatório R2(AS1-3).....	138
FIGURA 55	Variação do Reservatório R3(AS1-3).....	140
FIGURA 56	Curva de permanência em Paulínea (AS2-1).....	140
FIGURA 57	Curva de permanência em Piracicaba (AS2-1).....	141
FIGURA 58	Variação do Reservatório R1(AS2-1).....	142
FIGURA 59	Variação do Reservatório R2(AS2-1).....	142
FIGURA 60	Variação do Reservatório R3(AS2-1).....	144
FIGURA 61	Curva de permanência em Paulínea (AS2-2).....	144
FIGURA 62	Curva de permanência em Piracicaba (AS2-2).....	145
FIGURA 63	Variação do Reservatório R1(AS2-2).....	146
FIGURA 64	Variação do Reservatório R2(AS2-2).....	146
FIGURA 65	Variação do Reservatório R3(AS2-2).....	148
FIGURA 66	Curva de permanência em Paulínea (AS3-1).....	148
FIGURA 67	Curva de permanência em Piracicaba (AS3-1).....	149
FIGURA 68	Variação do Reservatório R1(AS3-1).....	150
FIGURA 69	Variação do Reservatório R2(AS3-1).....	150
FIGURA 70	Variação do Reservatório R3(AS3-1).....	153
FIGURA 71	Curva de permanência In PAN (AS4-1).....	154
FIGURA 72	Curva de permanência em Paulínea (AS4-1).....	154
FIGURA 73	Curva de permanência em Piracicaba (AS4-1).....	155
FIGURA 74	Variação do Reservatório R1(AS4-1).....	156
FIGURA 75	Variação do Reservatório R2(AS4-1).....	156
FIGURA 76	Variação do Reservatório R3(AS4-1).....	158
FIGURA 77	Variação na vazão em Paulínea em relação as demandas (1 x 2)....	158
FIGURA 78	Variação na vazão em Piracicaba em relação as demandas (1x 2)...	159
FIGURA 79	Variação na vazão em Paulínea em relação as demandas (3 x 4)....	160
FIGURA 80	Variação na vazão em Piracicaba em relação as demandas (3x 4)...	161
FIGURA 81	Gráfico do volume do SC (AS1-2PT).....	164

FIGURA 82	Gráfico Paulínea (AS1-2PT).....	164
FIGURA 83	Gráfico Piracicaba (AS1-2PT).....	165
FIGURA 84	Gráfico do volume do SC (AS2-1PT).....	167
FIGURA 85	Gráfico Paulínea (AS2-1PT).....	168
FIGURA 86	Gráfico Piracicaba (AS2-1PT).....	168
FIGURA 87	Gráfico do volume do SC (AS3-1PT).....	170
FIGURA 88	Gráfico Paulínea (AS3-1PT).....	171
FIGURA 89	Gráfico Piracicaba (AS3-1PT).....	171
FIGURA 90	Gráfico do volume do SC (AS4-1PT).....	173
FIGURA 91	Gráfico Paulínea (AS4-1PT).....	174
FIGURA 92	Gráfico Piracicaba (AS4-1PT).....	174

LISTA DE TABELAS

TABELA 01	Valores Populacionais na bacia do rio Piracicaba.....	7
TABELA 02	Barragens existentes na bacia do rio Piracicaba.....	10
TABELA 03	Características Físicas do Reservatório Jaguari.....	11
TABELA 04	Características Físicas do Reservatório Jacareí.....	12
TABELA 05	Características Físicas do Reservatório Cachoeira.....	12
TABELA 06	Características Físicas do Reservatório Atibainha.....	12
TABELA 07	Características Físicas do Reservatório Paiva Castro.....	13
TABELA 08	Características Físicas do Reservatório da UHE Amricana.....	13
TABELA 09	Prioridade das demandas.....	59
TABELA 10	Demandas de irrigação.....	59
TABELA 11	Descrição detalhada da Bacia do Rio Piracicaba.....	60
TABELA 12	Relação entre os postos fluviométricos e os nós da rede de fluxo.....	65
TABELA 13	Análise estatística dos resíduos das séries $Z1(t), \dots, Z12(t)$	84
TABELA 14	Características estatísticas da série de vazões do Reservatório.....	93
	Jaguari-Jacareí	
TABELA 15	Características estatísticas da série de vazões do Reservatório.....	93
	Cachoeira	
TABELA 16	Características estatísticas da série de vazões do Reservatório.....	94
	Atibainha	
TABELA 17	Características estatísticas da série de vazões do Posto 3D-006.....	95
TABELA 18	Características estatísticas da série de vazões do Posto 3D-009.....	95
TABELA 19	Características estatísticas da série de vazões do Posto 3D-003.....	96
TABELA 20	Características estatísticas da série de vazões do Posto 3D-001.....	97
TABELA 21	Características estatísticas da série de vazões do Posto 4D-009.....	97
TABELA 22	Características estatísticas da série de vazões do Posto 4D-001.....	98
TABELA 23	Características estatísticas da série de vazões do Posto Piracicaba.....	99
TABELA 24	Características estatísticas da série de vazões do Posto 4D-021.....	99
TABELA 25	Características estatísticas da série de vazões do Posto 4D-007.....	100
TABELA 26	Pontos de captação e lançamento de efluentes na bacia do rio.....	103

Piracicaba

TABELA 26.1	Postos Fluviométricos com os respectivos nós da rede de fluxo.....	105
e os dados de entrada das vazões afluentes nos nós da rede de fluxo		
TABELA 27	Tabela relacionando os valores de vazões nos principais pontos.....	110
da bacia e da rede de fluxo		
TABELA 28	Descrição dos arquivos de Simulação.....	114
TABELA 29	Tabela contendo os resultados das simulações.....	125
TABELA 30	Planejamento Tático (AS1-2PT).....	163
TABELA 30	Planejamento Tático (AS2-1PT).....	166
TABELA 30	Planejamento Tático (AS3-1PT).....	169
TABELA 30	Planejamento Tático (AS4-1PT).....	172

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SMA-SP : Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo

RMSP : Região Metropolitana de São Paulo

DAEE : Departamento de Água e Energia Elétrica

SC : Sistema Cantareira

CESP : Centrais Elétricas do Estado de São Paulo

IAC : Instituto Agronômico de Campinas

ESALQ : Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz

UHE : Usina Hidrelétrica

CBH-PCJ : Comitê da Bacia Hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí

SEADE : Fundação SEADE para estudos de consumo de água

C. urb : Captação urbana

L. ind : Lançamento industrial

L. urb : Lançamento urbano

LISTA DE SÍMBOLOS

μ : média

τ : desvio padrão

ϕ : coeficientes autoregressivos

$\mu_p(y)$: função de pertinência para a demanda

$\mu_D^{(S)}$: função de pertinência para o déficit

u : número aleatório uniformemente distribuído

t : número aleatório com distribuição normal

RESUMO

AZAMBUJA, C. (2000). *Disponibilidade hídrica da bacia do rio Piracicaba - Utilização do Modelo ModsimP32*. São Carlos, 2000. 195p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Atualmente, a água tornou-se motivo de conflitos dentro da sociedade, em virtude do aumento das demandas e do comprometimento do seu aspecto qualitativo.

A bacia do rio Piracicaba é uma região altamente desenvolvida, com altos índices populacionais e que apresenta disputa de água entre os diversos usuários. Portanto, realizou-se um estudo para determinar a disponibilidade hídrica da bacia, relacionando as demandas de água atuais e futuras. Para isso foi utilizado o modelo ModSimP32, que é basicamente um modelo de simulação e otimização em rede de fluxo.

Como dados de entrada do ModsimP32, estão as séries de vazões históricas ou sintéticas e os valores das demandas existentes na bacia.

Como se pretendia realizar um estudo a longo prazo, foi necessário a obtenção de séries hidrológicas mais longas, portanto utilizou-se um modelo multivariado AR(1) para gerar novas séries.

Para as simulações realizadas, verificou-se que em períodos secos não é possível atender a todas as demandas integralmente e ainda manter as vazões ecológicas no rio, para as regiões de Paulínea e Piracicaba.

Palavras-chave : Modsimp32, Modsim, modelo de simulação, otimização, gerenciamento, disponibilidade hídrica, bacia do Piracicaba, geração de séries sintéticas, modelagem de séries temporais.

ABSTRACT

AZAMBUJA, C. (2000). *Amount of water of the basin of the river Piracicaba – Using the Model ModsimP32*. São Carlos, 2000. 195p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Nowadays, the water became the reason of conflicts of the society, due to the increase of the demands and the implicated qualitative aspect.

The basin of the river Piracicaba is a highly developed area, with high indexes populations and it presents dispute of water among several users. Therefore it took place an analysis to verify the amount of water of the basin, relating the demands of water, current and future. For that the model ModSimP32 was used, that is basically a simulation and optimization model in supply network.

Among the data of entrance of the ModsimP32, they are the hydrologic series. Therefore it was used of a multivariate model AR(1) to generate new series.

For the accomplished simulations, it was verified that is not possible to assist the whole ones integrally the demands in dry periods and still to maintain the ecological flow in the river, for the areas of Paulínea and Piracicaba.

Keywords: Modsimp32, Modsim, simulation model, otimization, planning, management, basin of Piracicaba, modeling of hidrologic time series.

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso valioso, pois dela depende todo o tipo de vida existente no planeta. Seu uso deve ser racional para que as gerações futuras possam desfrutar desse benefício.

Devido às crescentes taxas de desenvolvimento e, conseqüentemente, do aumento nas demandas de água associado ao comprometimento do seu aspecto qualitativo, este recurso tem se tornado alvo de conflitos e preocupações dentro da sociedade.

O gerenciamento de recursos hídricos é um processo complexo, principalmente quando há disputa entre os usuários, devido a situações de escassez quantitativa e qualitativa de água. Tal situação requer a utilização de técnicas capazes de fornecerem aos responsáveis pela análise, operação e planejamento de recursos hídricos, subsídios para o processo de tomada de decisão.

Um dos maiores desafios da atualidade para os técnicos responsáveis pelo gerenciamento de recursos hídricos, é o de fornecer quantidades suficientes de água com qualidade adequada e no momento certo para atender aos seus múltiplos usos.

Portanto, dentro deste contexto, o objetivo desta pesquisa foi a elaboração de um balanço hídrico para determinar a quantidade de água disponível na bacia do rio Piracicaba, relacionando as diferentes demandas encontradas.

A bacia hidrográfica do rio Piracicaba está localizada no Estado de São Paulo, numa das regiões de maior crescimento econômico do país, cujo

desenvolvimento sócio – econômico dá origem a diversos problemas, principalmente por constituir um pólo de atração a diversas atividades altamente consumidoras e degradadoras dos recursos hídricos. Portanto, a bacia do rio Piracicaba tornou-se o cenário ideal para a aplicação do modelo ModSimP32.

O modelo ModSimP32 é basicamente um modelo matemático que associa duas técnicas utilizadas em recursos hídricos: a simulação numérica e a modelagem em rede de fluxo.

A simulação numérica tem como principal vantagem a flexibilidade, permitindo que qualquer sistema seja representado por modelos matemáticos, e a grande desvantagem de não oferecer aos usuários a oportunidade de restringir o espaço decisório e, por consequência, a solução de problemas é alcançada através do processo de tentativa e erro. A modelagem em rede de fluxo oferece a possibilidade de restringir o espaço decisório a um conjunto de soluções viáveis, que podem ser otimizadas através de técnicas de programação linear.

O modelo ModSimP32 é um modelo de domínio público, que apresenta-se como uma ferramenta útil para o gerenciamento de recursos hídricos, através de um cenário de rede de fluxo, possibilita realizar um balanço de massa determinando a quantidade de água nos vários pontos da rede. O modelo ModSimP32 utiliza-se do critério de prioridades, que são definidas pelo usuário do modelo. De acordo com essas prioridades o modelo realiza a simulação otimizada em cada intervalo de tempo, fornecendo quantidades necessárias de água para suprir as demandas, de acordo com a disponibilidade física, procurando minimizando o custo de alocação de água na rede.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GERAIS DA BACIA DO PIRACICABA

A bacia do Piracicaba tem uma área de drenagem de cerca de 12700 Km², 90% de sua superfície está situada no estado de São Paulo e os outros 10% no Estado de Minas Gerais. A bacia é formada principalmente pelos rios Jaguari e Atibaia, que se juntam para formar o rio Piracicaba. Próximo à cidade de Piracicaba deságua o rio Corumbataí, um dos mais importantes afluentes do rio Piracicaba. Na cabeceira da bacia, localiza-se um conjunto de reservatórios, denominado de Sistema Cantareira, que é responsável pelo abastecimento de mais da metade do suprimento de água para a cidade de São Paulo, com uma derivação máxima da ordem de 31 m³/s (AZEVEDO & PORTO, 1998).

FIGURA 01 – Localização da bacia do rio Piracicaba (Fonte – PROJETO PIRACENA)

A bacia do rio Piracicaba está dividida em três sub-bacias e cada sub-bacia está dividida em compartimentos ambientais, conforme relacionados a seguir:

- Sub-bacia do Atibaia:
 - C. ATI – Compartimento Atibaia
 - C. ITA – Compartimento Itatiba
 - C. PAN – Compartimento Pinheiros/Anhumas
 - C. SGR – Compartimento Salto Grande
- Sub-bacia do Jaguari:
 - C. SCA – Compartimento Sistema Cantareira
 - C. JAG – Compartimento Jaguari
 - C. CAM – Compartimento Camanducaia
 - C. PPI – Compartimento Pires/Pirapitingui
- Sub-bacia do Piracicaba:
 - C. TQU – Compartimento Tatu/Quilombo
 - C. COR – Compartimento Corumbataí
 - C. PIR – Compartimento Piracicaba
 - C. BBO – Compartimento Barra Bonita

De acordo com a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA – SP, 1994) para melhor precisar a localização espacial dos problemas da bacia, foi proposta sua subdivisão em compartimentos ambientais, que são na realidade, trechos de uma sub-bacia que guardam certa homogeneidade em termos de uso do solo e da água, e também, as áreas urbanas encontram-se, em sua totalidade, dentro de um mesmo compartimento. Apenas na cidade de Campinas isso não foi possível, pois sua área urbana localiza-se no divisor de águas entre as sub-bacias dos rios Piracicaba, Atibaia e Capivari. A delimitação destes compartimentos é relevante não apenas para fins analíticos, mas também para dar suporte à definição de políticas de intervenção.

Compartimentos Ambientais

FIGURA 02 - Divisão da bacia do rio Piracicaba em compartimentos ambientais.
Fonte - SMA - SP (1994)

Segundo a SMA – SP (1994), numa primeira avaliação ambiental, é possível identificar na bacia duas categorias de municípios:

- os produtores de água, localizados na Sub-bacia do Rio Jaguari, nas nascentes do Atibaia e do Corumbataí. Alguns desses municípios abastecem não só as cidades da bacia, mas ainda parte da RMSP, através do Sistema Cantareira. Cabe destacar que esses municípios são os que apresentam as melhores condições ambientais de toda a bacia;
- os que apresentam intensa atividade urbana, industrial e agrícola, localizados principalmente na Sub-bacia do Piracicaba e parte da Sub-bacia do Atibaia, esses municípios são os que apresentam os mais complexos problemas ambientais.

2.1.1 DEMANDAS DE ÁGUA

Para cada compartimento ambiental, a SMA – SP, Série Relatórios (1994), realizou um diagnóstico da demanda de água e da carga poluidora das atividades urbanas, industriais e agrícolas. A falta de informações sobre os aspectos ambientais dos compartimentos, levou à utilização de dados organizados por municípios e ajustados a essa nova unidade de planejamento.

As estimativas da população urbana na bacia do rio Piracicaba apresentadas na TABELA 01, referem-se aos dados do “Estudo das Tendências de Urbanização e de Consumo de Água para Abastecimento Público da Bacia do Rio Piracicaba” (SEADE, 1992 apud SMA – SP, 1994).

ANO	POPULAÇÃO TOTAL (habitantes)
1990	2.213.609
2000	2.922.687
2010	3.645.167

TABELA 01 – Valores Populacionais na bacia do rio Piracicaba

Praticamente todos os centros urbanos existentes na bacia são servidos por sistemas de abastecimento de água superficial e potável, com taxa de cobertura da ordem de 95% da população urbana. Por outro lado, 75% da população é servida por sistema de coleta de esgotos. A derivação de 31 m³/s para a cidade de São Paulo foi calculada, de forma a manter uma vazão mínima de 15 m³/s em Paulínea e 40 m³/s na cidade de Piracicaba. A fixação destes valores, no entanto, não levou em conta o aumento na taxa de uso consuntivo devido à expansão da agricultura irrigada e ao crescimento industrial. As tendências atuais indicam que será cada vez mais difícil manter as vazões mínimas em Paulínea e Piracicaba concomitantemente com as derivações para São Paulo e Jundiaí, esta última de 1,8 m³/s. (AZEVEDO & PORTO, 1998).

De acordo com SMA – SP (1994), apesar da crise pela qual passa o país desde o começo da década de 80, a industrialização, a urbanização e a modernização da agricultura, nos municípios economicamente mais fortes da bacia, mantiveram índices de crescimento superiores à média do Estado. A quantidade de água captada na bacia do rio Piracicaba à jusante do Sistema Cantareira é estimada em 26,679 m³/s, sendo que 49% deste total, destina-se ao setor industrial, 37% ao urbano e 14% para a irrigação. Desse total, parte

significativa não retorna aos corpos d'água; essa parcela foi estimada em 14,204 m³/s, sendo 41% do setor industrial, 33% do urbano e 26% do agropecuário. A sub-bacia do rio Piracicaba destaca-se como sendo a maior consumidora industrial, tanto na vazão de captação quanto no uso consuntivo; a do Atibaia como maior consumidora do setor urbano e a do Jaguari como principal consumidora do setor agropecuário.

Estudos realizados pela SMA – SP (1994) revelaram que 33,5% da vazão captada por todas as indústrias da bacia é exclusiva do setor alcooleiro e que 71,3% do uso consuntivo do setor industrial se deve ao elevado consumo dessas usinas na fertirrigação. Os despejos das usinas de açúcar e álcool que não retornam aos corpos d'água e são dispostos no solo através da fertirrigação, foram computados como uso consuntivo. A análise por sub-bacia revela demanda e consumo elevado na sub-bacia do Piracicaba. Na sub-bacia do Jaguari, apesar do setor industrial utilizar menos água que a da sub-bacia do Atibaia, apresenta uso consuntivo maior devido às usinas ali instaladas.

As tabelas com os dados de demandas dos diversos setores para o ano de 1990 e também, os dados estimados para os anos de 2000 e 2010, estão presentes no Anexo A.

2.1.2 BARRAGENS

O atendimento das demandas vem sendo satisfeito prioritariamente através de obras de armazenamento de água. Uma das conseqüências foi a construção de um grande número de barragens e lagos artificiais, para geração de energia

elétrica, abastecimento urbano e irrigação. Cabe destacar que das 18 principais barragens construídas, 13 privilegiam o setor elétrico.(SMA – SP, 1994).

Todas essas obras foram executadas sem que fossem estabelecidos mecanismos de gestão ambiental que considerassem em conjunto, os complexos hídricos da Bacia do Rio Piracicaba, Alto Tietê e Baixada Santista ou as normas necessárias à gestão integrada dos múltiplos usos da água. Essa situação atingiu tamanha complexidade que levou o Governo do Estado de São Paulo a criar, em 1985, um grupo de técnicos para garantir as condições mínimas de qualidade e quantidade, no período de estiagem. Esse grupo, cujo trabalho ficou conhecido como “Operação Estiagem”, foi recentemente aberto à participação dos municípios, com ação ampliada para todo o ano.

Segundo SMA – SP Série Relatórios (1994), é fundamental proceder à revisão das normas de operação dos reservatórios e integrar os principais usuários privados neste processo.

Estão relacionadas, a seguir, as barragens e usinas que exercem influência significativa no escoamento natural dos rios nos períodos de estiagem severa. (SMA – SP, 1994).

- Barragens do Sistema Cantareira, operadas pela SABESP e utilizadas para abastecimento público da Região Metropolitana de São Paulo. São as que mais afetam o escoamento natural dos rios, visto que reverterem 31 m³/s. A operação normal de descarga a jusante desse sistema é de no mínimo 1 m³/s (barragens dos rios Jaguari/Jacareí), 2 m³/s (barragem do rio Cachoeira) e 1 m³/s (barragem do rio Atibainha),

desde que as vazões em Paulínea e Piracicaba não sejam inferiores a 15 m³/s e 40 m³/s respectivamente; caso contrário a SABESP aumenta as descargas, dependendo do volume do sistema.

- Usina Hidrelétrica de Americana, no Rio Atibaia, operada pela CPFL, gera energia ininterruptamente. Porém, em época de estiagem severa, a geração de energia pode ser interrompida por um período de até 6 horas.

A TABELA 02 apresentada, a seguir, relaciona as barragens existentes na Bacia do Piracicaba.

Obra	Município	Concessionária	Uso
Rio Cachoeira			
Barragem Cachoeira	Piracaia	SABESP	Abastecimento
Rio Atibainha			
Barragem Atibainha	Nazaré Paulista	SABESP	Abastecimento
Rio Atibaia			
UHE Atibaia	Atibaia	PM Atibais/EE Bragantina	Geração
UHE Salto Grande	Campinas	CPFL	Geração
UHE Americana	Americana	CPFL	Geração
Rio Camanducaia			
UHE Feixos (1)	Amparo	CPFL	Geração
UHE Faz. Santa Tereza	Pedreira/Amparo	Brandi	Geração
Rio Pirapitingui			
UHE Ester	Cosmópolis	Us. Açúcar Ester	Geração - abastecimento
Ribeirão Pinhal			
UHE Tatu	Limeira	CESP	Geração
Rio Jacaré			
Barragem Jacaré	Bragança Paulista	SABESP	Abastecimento
Rio Jaguari			
Barragem Jaguari	Bragança Paulista	SABESP	Abastecimento
UHE Geraldo Tosta	Bragança Paulista	EE Bragantina	Geração
UHE Jaguari	Pedreira	CPFL	Geração
UHE Macaco Branco	Pedreira	CPEE	Geração
UHE Eng. Bernardo	Pedreira	Ind. Nadir Figueiredo	Geração
UHE Cachoeira (1)	Cosmópolis	Us. Açúcar Ester	Geração
Rio Quilombo			
UHE Cariobinha (1)	Americana	CPFL	Geração
Rio Piracicaba			
UHE Boyes	Piracicaba	Cia. Ind.e Agr. Boyes	Geração

TABELA 02 – Barragens existentes na bacia do rio Piracicaba.

2.1.2.1 CARACTERÍSTICAS DOS RESERVATÓRIOS

Segundo AZEVEDO (1994), o Sistema Cantareira é um conjunto de reservatórios, adutoras, canais, estações de bombeamento e outras estruturas hidráulicas, responsáveis por mais da metade do total da água alocada para o abastecimento da cidade de São Paulo.

O Sistema Cantareira é composto pelos reservatórios Jaguari, Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro.

- RESERVATÓRIO JAGUARI

O reservatório Jaguari é o mais importante do sistema. Está situado, aproximadamente, a 79 Km da RMSP e foi concluído em 1981. Esse reservatório está conectado ao Reservatório Jacareí através de canais controlados por barramentos, e são operados como um grande reservatório.

Precipitação média anual na bacia	1600 mm
Vazão afluyente média	20,60 m ³ /s
Área de drenagem	1057 Km ²
Volume total	134 * 10 ⁶ m ³
Volume morto	39 * 10 ⁶ m ³

TABELA 03 – Características Principais do Reservatório Jaguari.

- **RESERVATÓRIO JACAREÍ**

Precipitação média anual na bacia	1600 mm
Vazão afluente média	3,80 m ³ /s
Área de drenagem	195 Km ²
Volume total	917 * 10 ⁶ m ³
Volume morto	204 * 10 ⁶ m ³

TABELA 04 – Características Principais do Reservatório Jacareí.

- **RESERVATÓRIO CACHOEIRA**

O Reservatório Cachoeira foi concluído em 1974 e está localizado perto da cidade de Piracaia, aproximadamente, a 65 Km da área metropolitana.

Precipitação média anual na bacia	1700 mm
Vazão afluente média	9,10 m ³ /s
Área de drenagem	410 Km ²
Volume total	114.60 * 10 ⁶ m ³
Volume morto	41.10 * 10 ⁶ m ³

TABELA 05 – Características Principais do Reservatório Cachoeira.

- **RESERVATÓRIO ATIBAINHA**

O Reservatório Atibainha começou a ser operado em 1974.

Precipitação média anual na bacia	1500 mm
Vazão afluente média	6,10 m ³ /s
Área de drenagem	305 Km ²
Volume total	301 * 10 ⁶ m ³
Volume morto	197 * 10 ⁶ m ³

TABELA 06 – Características Principais do Reservatório Atibainha.

- RESERVATÓRIO PAIVA CASTRO

O Reservatório Paiva Castro está localizado fora dos limites da bacia do rio Piracicaba, e portanto não foi incluído nas simulações do modelo ModSimp32.

Precipitação média anual na bacia	1400 mm
Vazão afluente média	4,40 m ³ /s
Área de drenagem	314 Km ²
Volume total	35,80 * 10 ⁶ m ³
Volume morto	25,80 * 10 ⁶ m ³

TABELA 07 – Características Principais do Reservatório Paiva Castro.

A Usina Hidrelétrica de Americana localiza-se no rio Atibaia, aproximadamente a 300 m a montante da união do rio Atibaia com o rio Jaguari e início do rio Piracicaba. A UHE Americana dificilmente trabalha com a cota mínima de operação, normalmente trabalha com a cota igual a 1,02 m abaixo do nível máximo do reservatório, FREITAS* (2000).

- UHE AMERICANA

Volume máx. de operação do reservatório	106 * 10 ⁶ m ³
Volume mín. de operação do reservatório	67 * 10 ⁶ m ³
Cota máxima de operação do reservatório	501,30 m
Cota mínima de operação do reservatório	498,00 m
Cota normal de operação do reservatório	500,28 m

TABELA 08 – Características Principais do Reservatório da UHE Americana.

2.1.3 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Estudos realizados pela SMA – SP (1994), revelaram que a disponibilidade média na bacia, próxima a cidade de Piracicaba é de $165 \text{ m}^3/\text{s}$, mas durante períodos de estiagem, este valor cai para cerca de 24% , ou seja, $40 \text{ m}^3/\text{s}$. Agravando o quadro de escassez, retira-se da bacia para o abastecimento da RMSP, $31 \text{ m}^3/\text{s}$ de água através do Sistema Cantareira.

Por causa da transposição de água para a RMSP, nos meses mais secos, a disponibilidade hídrica na bacia atinge a vazão média de $128 \text{ m}^3/\text{s}$ e nas estiagens mais severas, a vazão mínima reduz-se a $34 \text{ m}^3/\text{s}$.

Deve-se ressaltar, no entanto, que a vazão disponível é superior a $50 \text{ m}^3/\text{s}$ em cerca de 95% do tempo, sendo, portanto, inferior em somente 5% do tempo. Para fins práticos, a disponibilidade de água na bacia situa-se entre $34 \text{ m}^3/\text{s}$ e $50 \text{ m}^3/\text{s}$ nos meses mais secos do ano, coincidindo com a época de maior consumo de água do setor industrial e agrícola referentes as usinas de açúcar e de álcool.

Esse estudo, realizado pela SMA-SP, serviu como referência no processo de verificação do modelo ModsimP32.

2.1.4 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

De acordo com estudos realizados na sub-bacia do Atibaia por WATERSHED MANAGEMENT 2000 (1999) – equipe de pesquisadores canadenses e brasileiros, demonstrou-se que a dinâmica de desenvolvimento

*FREITAS (2000). Funcionário da Usina Hidrelétrica de Americana - Comunicação pessoal.

populacional, econômico e do uso do solo e da água, na bacia do Atibaia, propicia um entendimento dos problemas ambientais nela verificados, já que as atividades econômicas são transformadoras e causadoras de impactos ao meio ambiente. Com o Sistema Cantareira servindo como fonte de abastecimento para a cidade de São Paulo, a sub-bacia do Atibaia é um exemplo da necessidade permanente de um planejamento regional, que defina as diretrizes e os meios destinados a preservá-la, no sentido da melhor qualidade de vida e manutenção dos recursos naturais, associados ao desenvolvimento harmônico global. Desta forma, verifica-se a necessidade do estudo para a exploração das águas subterrâneas existentes na bacia.

De acordo com a avaliação realizada pelo DAEE (1981) apud WATERSHED MANAGEMENT (1999), em relação aos aquíferos existentes, o Sistema Aquífero Cristalino apresenta valores de capacidade específica entre 0,002 a 7,0 m³/h/m e transmissividade entre 1 a 100 m²/dia. A capacidade específica do Sistema Aquífero Tubarão varia entre 0,002 a 7,5 m³/h/m e sua transmissividade entre 1 a 40 m²/dia. Os fluxos da água subterrânea no Aquífero Itararé fluem rumo às principais redes de drenagens da região (Rio Atibaia, Ribeirão Quilombo, Rio Jaguari e Ribeirão da Cachoeira). O Sistema Aquífero Diabásico apresenta valores de capacidade específica entre 0,002 a 3,9 m³/h/m e transmissividade entre 0,25 a 29 m²/dia. Embora a disponibilidade das águas subterrâneas na região não possa ser considerada tão expressiva, quando comparada com a de outras regiões do Estado, porém existe um potencial cujo aproveitamento vem sendo incrementado nos últimos anos, através da abertura de um número crescente de novos poços, principalmente para o abastecimento

industrial. Quanto ao abastecimento público, as águas subterrâneas ainda não são usadas de maneira intensiva nesta região, embora haja a tendência de aumento nos próximos anos, face às restrições cada vez maiores à captação superficial.

Segundo o relatório do Instituto Geológico – IG (1995) apud WATERSHED MANAGEMENT (1999), a utilização da água subterrânea para fins industriais é intensa nos municípios de Americana, Nova Odessa e Paulínea. O uso particular de água subterrânea para abastecimento é importante nos municípios de Americana, Paulínea e Jaguariuna. Os principais usuários são chácaras de veraneio, residências e condomínios em Americana, estabelecimentos comerciais em Paulínea e chácaras em Jaguariuna.

2.1.5 CONDIÇÃO DOS CORPOS D'ÁGUA

Os rios e lagos têm capacidade de recuperação ou autodepuração decorrentes de fatores naturais, como velocidade das águas, vazão, profundidade, quantidade de oxigênio dissolvido e cascadeamentos. Essa capacidade natural pode ser alterada para melhor ou pior através de barramentos, obras de retificação, derivação e outras obras. A qualidade dos corpos d'água é resultante da capacidade de autodepuração (fatores naturais) e da intervenção humana, (SMA – SP, 1994). A resolução CONAMA 20/86 separou as águas doces em cinco classes preponderantes. Para cada uma delas foram estabelecidos limites e/ou condições de quantidade e qualidade de substâncias químicas e orgânicas, permitidas nos corpos d'água, para que sua utilização seja compatível com sua qualidade. Essas classes são:

CLASSE ESPECIAL – enquadram-se as águas destinadas ao abastecimento domésticos sem prévia desinfecção, ou com desinfecção simples, e à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas. Os corpos d'água enquadrados nessa classe são os mais protegidos, pois não se permite o lançamento de efluente.

CLASSE 1 – enquadram-se os corpos d'água destinados ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário (natação, esqui, e mergulho), à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e são ingeridas cruas e sem a remoção de película e à criação natural e/ou intensiva (agricultura) de espécies destinadas à alimentação humana. (DBO até 3 mg/l e OD não inferior a 6 mg/l).

CLASSE 2 – enquadram-se as águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à proteção de comunidades aquáticas, à recreação de contato primário (esqui, natação e mergulho), à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e à criação natural e/ou intensiva (agricultura) de espécies destinadas à alimentação humana. (DBO até 5 mg/l e OD não inferior a 5 mg/l).

CLASSE 3 – enquadram-se os corpos d'água destinados ao abastecimento urbano após tratamento convencional, à irrigação de culturas arbóreas, cerealistas e forrageiras e à dessedentação de animais.(DBO até 10mg/l e OD não inferior 4mg/l).

CLASSE 4 – os corpos d'água assim classificados destinam-se somente à navegação, à harmonia paisagística e a usos menos exigentes. Nesses corpos d'água são permitidos lançamentos de efluentes urbanos e industriais em quantidade tal, que torna imprópria sua utilização para muitas atividades, sendo vetados usos como abastecimento público, irrigação, etc. (OD superior a 2 mg/l).

FIGURA 03- Condições ambientais dos principais corpos d'água - ano 1990

Fonte: SMA - SP (1994)

2.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS DO SISTEMA

De acordo com AZEVEDO et al. (1998-a), a disponibilidade e a qualidade dos dados influem diretamente no grau de precisão com que se poderá representar o sistema.

Basicamente, para a utilização do modelo ModSimP32 são necessários três tipos de informações: dados hidrológicos, dados de especificação de critérios operacionais e dados de demandas do sistema.

Em se tratando de dados hidrológicos, para se completar as lacunas de algumas séries, são necessários estudos de correlação espacial ou a aplicação de modelos de simulação do ciclo hidrológico para transformar dados pluviométricos nas vazões de interesse. Quando se considera uma simulação estocástica, deve-se aplicar um modelo de geração de vazões compatível com o intervalo de tempo desejado, (AZEVEDO et al., 1998)

Dentro do Projeto Piracena* (1998), encontra-se um banco de dados relacionando 10 postos fluviométricos e 61 postos pluviométricos, sendo que nos postos fluviométricos as médias mensais de descarga (m^3/s) foram obtidas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) e Centrais Elétricas do Estado de São Paulo (CESP), e nos postos pluviométricos os valores de precipitação média mensal (mm) foram obtidos pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), Instituto Agrônomo de

* *PROJETO PIRACENA* : é um projeto multidisciplinar e multiinstitucional que visa conhecer os processos hidrológicos e biogeoquímicos que regem o funcionamento da bacia hidrográfica do rio Piracicaba; conta com o apoio da FAPESP, CNPQ/PADCT E RHAE, ESSO Brasileira de Petróleo, CBH-PCJ E FEHIDRO.

Campinas (IAC) e Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), sendo que as correções das falhas existentes numa determinada estação fluviométrica ou pluviométrica foram realizadas através de um método descrito de acordo com UNESCO (1982), Fill (1987) e Dunne (1978) apud “Projeto Piracena” e que usa os registros de três estações vizinhas mais próximas e uniformemente espaçadas.

2.2.1 LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS

FIGURA 04: Localização dos Postos Fluviométricos (Fonte – PROJETO PIRACENA, 1998)

2.2.2 LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS

FIGURA 05: Localização dos Postos Pluviométricos (Fonte – PROJETO PIRACENA, 1998)

De acordo com DAEE (1985) apud PROJETO PIRACENA (1998), a partir de 1968 começaram a haver alterações significativas no regime fluvial da bacia, devido às barragens do Sistema Cantareira, embora outras obras mais antigas não tivessem causado alterações sensíveis.

As alterações de vazões dos rios devido ao Sistema Cantareira têm sido muito discutidas nos últimos anos, porém sem uma análise embasada em metodologia científica. Para preencher esta lacuna, realizou-se através do PROJETO PIRACENA (1998), um estudo estatístico das séries de vazões dos rios Atibaia, Jaguari e Piracicaba através dos dados das estações 3D-006 e 3D-009 (DAEE) e CESP-Piracicaba respectivamente, no período entre 1930 e 1995.

Inicialmente foi feito um estudo exploratório das séries anuais de vazão e precipitação, com o intuito de se verificar as eventuais mudanças de comportamento histórico das séries e, posteriormente, foi elaborado um modelo estocástico da série de vazões.

2.3 MODELOS MATEMÁTICOS

Os modelos são uma representação de sistemas reais, já que os fenômenos envolvidos são muitas vezes complexos, o que exige simplificações para se iniciar o processo de modelagem. Os modelos devem ser vistos como ferramentas de compreensão dos fenômenos e de decisão sobre alterações dos sistemas, que se pretende analisar (AZEVEDO et al., 1998).

Segundo MOREIRA (1992), modelos de simulação de sistemas ambientais são modelos matemáticos destinados a representar, tanto quanto possível, a estrutura e o funcionamento dos sistemas, explorando a partir de um conjunto de hipóteses e pressupostos, os processos e as relações entre seus fatores físicos, bióticos e culturais, ante as ações introduzidas por um projeto que se deseja avaliar, são capazes de processar variáveis quantitativas e qualitativas, incorporar as medidas de magnitude e importância dos impactos e considerar as interações dos fatores ambientais, os modelos de simulação são usados principalmente nos estudos de impacto ambiental de grandes projetos. Surgiram na década de 70 e a principal restrição a seu uso eram as dificuldades e os custos computacionais. Atualmente, com a difusão e a disponibilidade dos computadores e a familiaridade das linguagens de processamento, tais dificuldades parecem superadas. Outra crítica que se faz a

esse tipo de método é o de que a simulação matemática representa em muitos casos uma inadequada simplificação da realidade.

De acordo com AZEVEDO & PORTO (1998-b), modelos matemáticos são uma representação simplificada do sistema real que se deseja analisar. As situações reais são demasiadamente complexas para serem representadas na sua íntegra; no entanto, em geral, grande parte desta complexidade é irrelevante para o problema que se quer resolver. Por esta razão, procura-se conceber um modelo da realidade que considere apenas a essência do sistema, ou seja, apenas os aspectos relevantes para a solução do problema em questão. Modelar e simplificar são conceitos indissociáveis. A simplificação é necessária, entretanto, com prejuízo da representatividade e se levada a níveis inadequados pode comprometer a utilização do modelo para os fins pretendidos.

2.3.1 MODELOS DE SIMULAÇÃO

A experiência operacional de reservatórios pelo DAEE-SP, originou-se com o modelo SIMRES, desenvolvido com a finalidade didática de demonstrar uma metodologia alternativa para o dimensionamento do volume útil de um reservatório, quando comparada com a técnica clássica de Rippl, servindo também para estudar a escolha de regras de operação de um sistema com reservatório único. A versão original do SIMRES foi utilizada no estudo do reservatório de Guarapiranga-SP, mas pode ser adaptada a outros sistemas.

A partir da versão básica foram criados três outros modelos específicos para aplicações práticas, nos estudos da operação do reservatório Guarapiranga, em São

Paulo e dos reservatórios de Santa Juana e Puclaro, no Chile. Nos dois últimos estudos, sua aplicação se deu de forma conjunta com um modelo de rede de fluxo (MODSIM). O modelo de rede de fluxo teve por objetivo básico estabelecer uma estratégia operacional, enquanto os modelos de simulação (SEMBSJ e SEMBPUC) foram direcionados aos planos táticos de operação de anos específicos. (AZEVEDO et al., 1998).

2.3.2 O MODELO MODSIMP32

O modelo ModSimP32 é uma versão atualizada do modelo MODSIM, com uma interface amigável desenvolvida na Escola Politécnica da USP, foi testado, documentado e é de domínio público, é uma ferramenta de apoio a tomada de decisões, utilizada no gerenciamento de recursos hídricos. O MODSIM é um modelo de simulação e otimização em rede de fluxo, desenvolvido na “*Colorado State University*” por JOHN LABADIE (1988).

O modelo MODSIM foi utilizado por AZEVEDO (1994), em seu trabalho de doutorado na Bacia do Rio Piracicaba.

De acordo com AZEVEDO & PORTO (1998-a), a capacidade de combinar simulação e otimização é um dos pontos fortes do MODSIM, em relação a outros modelos freqüentemente utilizados para a simulação de sistemas complexos em recursos hídricos (ex: HEC-5, MITSIM e SSARR, entre outros), nos quais as soluções “ótimas” devem ser determinadas por tentativas e erros. Este processo de tentativa e erro, embora muito utilizado, depende da experiência e perfil profissional de cada usuário e em sistemas mais complexos, o processo de seleção de alternativas

aceitáveis pode tornar-se lento e trabalhoso; além disso, os resultados são sempre subjetivos.

Segundo AZEVEDO, PORTO & ZAHED (1998), os modelos de rede de fluxo representam sistemas de recursos hídricos por uma rede formada de “nós” e “arcos”, como está representado pela FIGURA 6. Os nós representam reservatórios, demandas, reversões, confluências e outros pontos importantes do sistema. Os arcos são elos de ligação entre os nós e representam trechos de rios, adutoras, canais e outras estruturas semelhantes.

FIGURA 06 – Representação de uma Rede de Fluxo.

Segundo LABADIE, BODE & PINEDA (1986), o MODSIM é uma versão modificada e mais avançada de um modelo de rede chamado SIMYLD II, originalmente desenvolvido pelo Texas Water Development Board em 1972. Duas versões anteriores ao MODSIM foram desenvolvidas por Labadie e Shafer (1979), Labadie (1983) e Faux (1983). A primeira versão é essencialmente um modelo de transporte de água. Com o MODSIM - versão 3, desenvolvimentos substanciais foram acrescentados no que diz respeito a considerações de direito de uso da água,

regras de operação de reservatórios, utilização de menor capacidade de memória de computador e um modelo de saída de resultados de cálculos. A versão 2 foi primeiramente usada para estudos de projetos hidrelétricos em uma bacia hidrográfica. Um outro algoritmo similar ao MODSIM versão 3 é o programa WBSM (for Water Balance Simulation Model – Modelo de simulação para balanço de massa) (Bercha, 1981), desenvolvido em Alberta – Canadá pelo Departamento de Meio Ambiente.

Segundo AZEVEDO, PORTO & ZAHED (1998), o modelo MODSIM visa à obtenção de diretrizes gerenciais semanais, quinzenais ou mensais para toda uma bacia hidrográfica ou sub-bacia. O modelo é capaz de gerar planos operacionais a fim de satisfazer metas, prioridades e limitações específicas. Pode também ser usado para avaliar compensações (*trade-offs*) entre usos conflitantes durante períodos de baixa disponibilidade hídrica, servindo de apoio ao “Sistema de Suporte a Decisões – SSD”.

Segundo PORTO (1998), num sentido amplo, “qualquer coisa” que ajude numa tomada de decisão pode ser considerado um SSD; definição semelhante é adotada por inúmeros autores, entre outros, Sprague e Carlson (1982), Klein e Methle (1990), Sprague e Watson (1993), Sage (1991), Guariso (1984) e Turban (1993): SSD são sistemas computacionais que tem por objetivo ajudar indivíduos a tomar decisões na solução de problemas não estruturados ou parcialmente estruturados.

Um dos conceitos centrais para o projeto de SSD é a descrição do processo da tomada de decisões, dividida em três fases: inteligência, projeto e escolha (SIMON apud AZEVEDO & PORTO, 1998b).

Na fase de inteligência, procura-se compreender o problema em questão, identificar as variáveis significativas, coletar dados, formular os objetivos. Na fase de projeto, procura-se formular os modelos que representem adequadamente o problema; e, na fase de escolha, seleciona-se a melhor alternativa, procede-se à análise de sensibilidade e de cenários e, eventualmente, traçam-se os planos para implementação da linha de ação escolhida.

Segundo LABADIE et al. (1988), com o modelo MODSIM, busca-se, através de um processo prático, a redução de custos e maximização dos benefícios, considerando:

- 1- a integração do transporte e fornecimento de água;
- 2- a demanda anual de água relacionada aos vários usos;
- 3- as diferentes necessidades de tratamento de água;
- 4- a generalização da família de soluções para facilitar as considerações de objetivos não econômicos.

O MODSIM inclui a capacidade de otimizar a operação de sistemas mediante a utilização de um algoritmo de rede de fluxo chamado “*out-of-kilter*”. Trata-se essencialmente de um algoritmo de programação linear que foi desenvolvido especificamente para a solução eficiente de problemas de minimização de custo, em redes de fluxo. Os custos, neste caso, não precisam ser custos econômicos, podendo representar fatores hierárquicos ou de ponderação que sirvam para colocar as alternativas operacionais em ordem de prioridade. Deve-se notar que, internamente, os cálculos do MODSIM envolvem, em geral, números inteiros. (AZEVEDO et al., 1998)

Uma vez definido um determinado cenário operativo, o MODSIM é utilizado para simular a performance do sistema, obedecendo às condições de contorno e restrições impostas pelo usuário. O programa é alimentado com uma série de arquivos de dados em que estão contidas informações sobre as características do cenário que se deseja analisar (ex: demandas, prioridades, condições hidrológicas, volumes nos reservatórios, etc).

Segundo FREDERICKS et al. (1998), a simulação em larga escala, de sistemas complexos de recursos hídricos, requer metodologias eficientes para analisar os componentes do sistema de maneira integrada. A generalização de uso do modelo de rede de fluxo MODSIM, comprova o valor do algoritmo de otimização em rede de fluxo. Versões anteriores ao MODSIM, foram aplicadas com sucesso em um número de sistema complexos de bacias hidrográficas, como a bacia hidrográfica do Rio Grande (GRAHAM et al., 1986), a bacia hidrográfica Poudre no Colorado (LABADIE et al., 1986), a bacia hidrográfica Upper Colorado (LAW & BROWN, 1989) e a bacia hidrográfica Upper Snake (FREVERT et al., 1994). Em todos esse casos, algumas formas de prioridades para alocação de água, basearam-se no gerenciamento do sistema.

2.4 MODELAGEM DE SÉRIES TEMPORAIS

Segundo LANNA (1998), a incerteza ou aleatoriedade do futuro é a maior dificuldade com que qualquer processo de tomada de decisão em recursos hídricos se defronta. Tudo o que se conhece é o passado e tudo o que importa no processo decisório é o futuro. Nos sistemas de recursos hídricos existe a aleatoriedade básica

dos processos hidrológicos, ou a incerteza hidrológica, que estabelecem a disponibilidade de água.

O problema de tomada de decisão em recursos hídricos é resolvido supondo que os eventos hidrológicos futuros são conhecidos. Duas grandes alternativas existem: a mais imediata é adotar a própria série hidrológica amostral disponível, como resultado das observações históricas de chuvas, vazões, temperatura, etc. Na outra alternativa, mais refinada, seriam desenvolvidos modelos estocásticos de simulação destas séries hidrológicas, que gerariam diversas séries hidrológicas, chamadas sintéticas. O problema decisório seria resolvido tantas vezes quanto fossem as séries sintéticas geradas. Na primeira alternativa haveria uma série hidrológica para a análise, a histórica; na segunda, tantas quantas queira o analista. Portanto, para cada série hidrológica utilizada é produzida uma sequência temporal de decisões, ótimas para esta série considerada (LANNA, 1998).

Para a utilização do ModsimP32 é necessária a inclusão de séries hidrológicas de vazões como dados de entrada. O modelo ModsimP32 estabelece que o período das séries consideradas nos diversos pontos da rede de fluxo deve ser o mesmo para todos os pontos.

O período comum entre os postos da bacia do Piracicaba foi de 21 anos de dados e, como se pretendia realizar um planejamento a longo prazo, houve a necessidade de gerar séries sintéticas de vazões.

Segundo SALAS (1980), para modelar séries temporais, é necessário dispor-se de uma amostra $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ de tamanho N , e para modelar essa série é preciso definir um modelo matemático que represente séries com propriedades semelhantes.

Modelar séries temporais é um processo que pode ser simples ou complexo, dependendo das características de avaliação da série amostral. A princípio, séries com características estatísticas que não variam com o tempo usualmente conduzem a modelos e técnicas de modelagem que são mais simples que aquelas com séries com características variando com tempo. (SALAS, 1980)

Em geral, a modelagem de séries temporais pode ser organizada nos estágios a seguir. (BOX & JENKINS, 1970):

- 1 – seleção do tipo do modelo;
- 2 – identificação da forma do modelo;
- 3 – estimação dos parâmetros do modelo;
- 4 – diagnóstico de checagem do modelo.

De acordo com SALAS (1980), os modelos matemáticos exatos de séries temporais hidrológicas nunca são conhecidos, pois, incertezas sempre estão presentes. A inferência populacional dos modelos são apenas aproximações. Os parâmetros dos modelos devem ser estimados em geral por dados limitados. O modelista deve decidir sobre o tipo de modelo a utilizar, em geral, dentre os seguintes: AR- Modelo Autoregressivo, ARMA- Modelo Autoregressivo Média Móvel, ARIMA- Modelo Autoregressivo Integrado Média Móvel, FGN- Fraction Gaussian Noise, BL- Broken Line ou SL- Shifting Level.

Para essa decisão três fatores são importantes; as características dos processos físicos hidrológicos, as características das séries temporais hidrológicas e os inputs (dados de entrada).

Modelagem de séries temporais tem, principalmente, dois usos em hidrologia e recursos hídricos: geração de séries temporais hidrológicas sintéticas e previsões futuras de séries hidrológicas.

Segundo SALAS (1980), os tipos de séries mais comuns encontradas em hidrologia são basicamente unidimensional (univariado) no tempo ou número de séries e multidimensional ("multipoint"), multisite ou multivariado, no tempo ou número de séries. Entretanto a referência principal é a sequência cronológica da série, e portanto a série é chamada de série temporal.

Séries univariadas são geralmente descritas por estimar suas características estatísticas como a média, desvio padrão, coeficiente de assimetria, distribuição de probabilidade e estrutura de dependência no tempo. Já as séries multivariadas requerem, além das características de cada série individual, a estimativa da inter-relação entre as séries.

Ainda, segundo SALAS (1980), características hidrológicas são geralmente sujeitas a mudanças devido à não-homogeneidade e inconsistência. Não-homogeneidade nos dados é comum em séries temporais hidrológicas, isto é, induzida pela ação do homem, ou produzida por fatores naturais significativos, evolução ou repentino (como desastres naturais). Além disso, dados hidrológicos podem conter erros sistemáticos significativos, produzindo séries inconsistentes. Várias características das séries temporais como a média, desvio padrão e correlação devem ser afetados sempre que a tendência e/ou um salto positivo ou negativo são produzidos numa série hidrológica por não-homogeneidade e inconsistência.

A identificação, descrição e remoção da não-homogeneidade e inconsistência são aspectos importantes da análise de séries temporais.

De acordo com SALAS (1980) a identificação e descrição das características de mudanças nas séries temporais hidrológicas (devido a inconsistência e não-homogeneidade) são baseados em:

- Função de tendência apropriada e testes com o objetivo de verificar se esses parâmetros são significativamente diferentes de zero;
- Teste das características estatísticas das sub-séries da série amostral são estatisticamente diferentes delas mesmas.

A análise de tendência assume a função:

$$X_t = b_0 + b_1t + b_2t^2 + \dots + b_nt^n \quad (1)$$

Sendo:

$b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$ os parâmetros que devem ser estimados. Apenas quando alguns dos parâmetros $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$ são significativamente diferentes de zero, com b_0 sendo uma constante ou zero, então uma tendência linear ou não linear torna-se uma característica da série.

A verificação do processo de tendência deve averiguar a história da coleção de dados (várias origens dos erros sistemáticos), e a história do desenvolvimento da bacia hidrográfica ou outros fatores naturais (várias origens da não-homogeneidade), deve suportar e justificar a aceitação final da inferência de tendência.

Segundo SALAS (1980) as características estatísticas das séries periódicas são identificadas, assumindo que alguma inconsistência e não-homogeneidade são primeiro identificados e removidos das séries originais.

Muitos fenômenos da natureza (ciclo natural) apresentam-se como séries periódicas, com comportamento periódico na média, desvio padrão e no coeficiente

de assimetria. Além dessas periodicidades, mostram uma estrutura de correlação no tempo.

As técnicas estatísticas para a modelagem de séries temporais mais comuns são; o método dos momentos, o método dos mínimos quadrados e o método da máxima verossimilhança, SALAS (1980).

Quando uma série periódica tem distribuição não-uniforme, utiliza-se de uma função para transformá-la em uniforme. SALAS (1980) propõem a utilização da função log normal para transformar a série original em uma série uniforme. Uma vez feita a transformação, os parâmetros periódicos da média e desvio padrão são estimados e removidos das séries temporais. Em seguida, a estrutura de dependência da série residual é analisada e os parâmetros do modelo correspondente são então estimados.

2.4.1 DESCRIÇÃO DOS MODELOS AUTOREGRESSIVOS

De acordo com SALAS (1980), modelos autoregressivos devem ter parâmetros constantes ou parâmetros que variam com o tempo ou ainda, uma combinação de ambos.

Considerando-se uma série temporal estacionária, uniformemente distribuída, com média μ e desvio padrão τ , que tem uma correlação autoregressiva (Markoviana ou estrutura de dependência temporal) com parâmetros constantes. Então o modelo autoregressivo de ordem p , denominado por $AR(p)$, representando a variabilidade de Y_t , é geralmente escrito como:

$$Y_t = \mu + \phi_1 (Y_{t-1} - \mu) + \dots + \phi_p (Y_{t-p} - \mu) + \varepsilon_t \quad (2)$$

ou

$$Y_t = \mu + \sum_{j=1}^p \phi_j (Y_{t-j} - \mu) + \varepsilon_t \quad (3)$$

Sendo Y_t uma série dependente no tempo (variável) e ε_t uma série independente no tempo, normalmente distribuída com média zero e desvio padrão igual a um. Os coeficientes $\phi_1, \dots, \phi_p$ são coeficientes autoregressivos.

Ainda, segundo SALAS (1980), modelos autoregressivos com parâmetros periódicos são aqueles modelos no qual parte ou todo os seus parâmetros variam ao longo do ano, por exemplo dados mensais. Estes modelos são freqüentemente referidos como modelos AR periódicos. A periodicidade deve estar na média, desvio padrão e/ou em coeficientes autoregressivos. Além disso, um modelo AR(p) com média e desvio padrão periódicos, mas com coeficientes autoregressivos constantes deve ser representado por:

$$Y_{v,t} = \mu_t + \tau_t * Z_{v,t} \quad (4)$$

$$e Z_{v,t} = \sum_{j=1}^p \phi_j Z_{v,t-j} + \varepsilon_{v,t} \quad (5)$$

Sendo $Y_{v,t}$ a variável dependente no tempo para ano v e tempo t (mensal, semanal, etc) com $t = 1, \dots, w$, sendo w o número total de intervalos no tempo dentro do ano. A variável $Y_{v,t}$, assume distribuição normal com média μ_t e desvio padrão τ_t .

Séries hidrológicas periódicas tem periodicidade na média e no desvio padrão. A série periódica $X_{v,t}$, primeiramente deve ser transformada em distribuição normal. Neste caso, o modelo consiste nas seguintes equações:

$$Y_{v,t} = g_t(X_{v,t}) \quad (6)$$

$$Y_{v,t} = \mu_t + \tau_t * Z_{v,t} \quad (7)$$

Sendo que a série $Z_{v,t}$, representa uma série dependente no tempo com média zero e desvio padrão igual a um.

Portanto a transformação para a normalidade dos dados originais $X_{v,t}$ deve ser feita (se necessário) à priori para a estimação dos parâmetros, pela necessidade do modelo.

Parte-se para o processo de estimativa dos parâmetros do modelo, em seguida deve se verificar a adequação do modelo, verificando-se se os resíduos apresentam independência temporal e distribuição normal, ou seja média zero, desvio padrão igual a um e coeficiente de assimetria igual a zero.

Para chegar aos resultados finais é necessário fazer a transformação inversa das funções utilizadas no processo, ou seja:

$$X_{v,t} = g^{-1}_t(Y_{v,t}) \quad (8)$$

De acordo com SALAS (1980), os modelos autoregressivos são aplicados tanto para séries univariadas como para séries multivariadas. Porém, para séries multivariadas trabalha-se com matrizes, sendo o modelo AR(1) (modelo

autoregressivo multivariado com passo um) das séries $Z^{(i)}_t$, $i = 1, \dots, n$, expresso por:

$$Z_t = A_1 Z_{t-1} + B \underline{\varepsilon}_t \quad (9)$$

Em que Z_t é um vetor ($n \times 1$) dos elementos $Z^{(i)}_t$, A_1 e B são matrizes ($n \times n$) contendo os parâmetros do modelo e $\underline{\varepsilon}_t$ é um vetor independente, com distribuição normal com média zero e desvio padrão igual a um.

3 0METODOLOGIA

3.1 O MODELO MODSIMP 32

A ferramenta utilizada para determinar a disponibilidade hídrica na bacia do rio Piracicaba foi o modelo ModsimP32, é um modelo versátil e robusto que permite definir estratégias de planejamento na área de recursos hídricos.

O ModsimP32 tem a capacidade de representar uma bacia hidrográfica ou uma sub-bacia, através de uma rede de fluxo composta por nós e arcos, que pode ser aplicado a sistemas extremamente complexos, com grande número de nós e arcos. Os nós podem representar reservatórios, demandas, pontos de confluência entre os rios, pontos de importação de água de uma bacia para outra, ou apenas pontos de passagem de água na rede. Os arcos são os elos de ligação entre os nós e representam trechos de rios, canais naturais ou artificiais.

FIGURA 6.1 – Representação de uma rede de fluxo.

A FIGURA 6.1 , apresenta a tela principal do modelo onde pode ser montada e/ou editada a representação física de uma rede de fluxo.

O ModsimP32 tem como objetivo realizar o balanço de massa na rede, através da simulação otimizada em cada intervalo de tempo minimizando o "custo" de alocação de água na rede.

Este custo não precisa obrigatoriamente ser um custo econômico, podendo basear-se em uma estrutura de prioridades, dependendo dos diversos usos da água. Por exemplo: na bacia do Piracicaba, a Secretaria do Meio Ambiente estipulou a necessidade de uma vazão mínima no rio, para a região de Paulínea igual a $15 \text{ m}^3/\text{s}$; visto que é uma região altamente industrializada, com grande quantidade de efluentes lançados pelas indústrias no corpo d'água, e portanto o valor desta vazão tornou-se uma prioridade para os técnicos responsáveis.

O ModsimP32 pode ser utilizado para a análise de problemas de curto ou longo prazo, com intervalos de tempo semanais ou mensais. É capaz de gerar planos operacionais a fim de satisfazer metas, prioridades e limitações específicas e também pode ser usado para avaliar compensações ou permutas "*trade-offs*" entre usos conflitantes durante períodos de escassez de água.

Como dados de entrada para o ModsimP32, devem ser fornecidas séries de vazões, visto que não há no modelo um algoritmo para simular a transformação chuva/vazão. O modelo é indicado para simulações de longos períodos, através da utilização de séries históricas ou sintéticas. Vale ressaltar que o período da série temporal deve ser o mesmo para todos os nós da rede de fluxo.

O ModsimP32 executa a otimização, podendo ser tratado como um modelo de simulação. Os resultados do modelo, tais como os índices de confiabilidade de

abastecimento de água e o déficit das demandas podem então ser analisados por métodos estatísticos, possibilitando o cálculo da probabilidade de se alcançar certas metas de abastecimento de água, de acordo com várias alternativas operacionais e de utilização de recursos hídricos (Azevedo, Porto & Zahed – 1998).

Na rede de fluxo, os arcos são caracterizados por três parâmetros, capacidade máxima, capacidade mínima e "custo" por unidade de fluxo. Como já mencionado anteriormente, este custo não significa necessariamente um custo monetário. Cada arco deve ser unidirecional no que diz respeito ao sentido do fluxo e pode apresentar uma perda de água por unidade de comprimento, que poderá ou não, retornar ao sistema através do aquífero subterrâneo, dependendo da situação física. Essas perdas devem se acumular nos nós a jusante do respectivo arco.

Os nós podem definir vários elementos do sistema, como reservatórios, demandas, importações, etc. Se o nó é um reservatório, ele deve conter as relações cota-área-volume, os volumes máximos e mínimos de armazenamento, o volume que se deseja atingir (volume meta), taxas de infiltração e evaporação.

Os nós que representam as demandas devem conter o valor da respectiva demanda. Para os nós de importação é necessário estipular o valor de importação de água.

O modelo cria automaticamente reservatórios, nós e arcos artificiais com o propósito de realizar o balanço de massa em toda a rede, conforme demonstra a FIGURA 6.2.

FIGURA 6.2 – Rede de Fluxo com as ligações entre todos os nós artificiais.

Em resumo, pode-se ver que na FIGURA 6.2 há um total de cinco nós artificiais para acúmulo de água: o volume total do reservatório armazenado no sistema (nó S); as demandas (nó D); os vertimentos (nó SP); o volume total de vazões afluentes e o volume de água armazenado nos reservatórios no início do período de simulação (nó I); e (e) um nó artificial de equilíbrio de massa (nó M), que garante que o influxo total (vazão afluente total) seja igual ao total do fluxo de saída (vazão efluente total) mais a variação do volume armazenado no sistema. Esses nós são vinculados a cada nó real na rede por meio de arcos artificiais que são mostrados como linhas interrompidas na FIGURA 6.2.

É recomendável colocar ao final da rede de fluxo uma demanda fictícia (DF), também denominada de DRENO. Esta demanda deve conter as seguintes características; valor muito alto para absorver águas de cheia e de extravasamento e prioridade muito baixa (menor do que todas as outras prioridades do sistema), para não absorver água destinada às outras demandas.

Com o artifício da introdução da demanda final, consegue-se que as águas que seriam extravasadas, corram pela bacia, o que representa a situação real e evita-se que o modelo entregue água em excesso para as demandas reais, pois as águas excedentes serão encaminhadas para o nó final (DRENO).

Para minimizar o “custo” de alocação de água na rede e maximizar os benefícios associados ao seu uso, o modelo ModsimP32 utiliza o algoritmo “Out-of-Kilter” (OKM) – (AZEVEDO & PORTO, 1998-b), que é uma variação do método Simplex e utiliza a técnica primal-dual para minimizar o custo na rede de fluxo.

O problema de otimização toma então a seguinte forma:

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N C_{ij} \times Q_{ij} \quad (10)$$

sujeito:

- ao balanço de massa em todos os nós $j = 1, \dots, N$ (inclusive todos os nós artificiais) – REDE CONSERVATIVA, isto é,

$$\sum_{i \in I_j} Q_{ij} - \sum_{k \in O_j} Q_{ik} = 0 \quad (11)$$

e

- às vazões mínimas e máximas em todos os arcos (i,j) , para todos $i, j = 1, \dots, N$, - REDE CAPACITADA, ou seja,

$$I_{ij} \leq Q_{ij} \leq S_{ij} \quad (12)$$

sendo Q_{ij} = vazão que transita do nó i ao nó j ; C_{ij} = custo (prioridade) da unidade de vazão que transita entre os nós i e j , N = número total de nós da rede; I_{ij} = limite inferior da vazão no arco ij ; S_{ij} = limite superior da vazão no arco ij e I_j = conjunto de todos os nós com arcos que terminam no nó j ; ($i \in I_j$ significa que todos os nós i sejam elementos do conjunto I_j) e O_j = o conjunto de todos os nós com os arcos que se originam no nó j .

Desta forma, o modelo determina as vazões que devem passar pelos diversos arcos, os volumes dos reservatórios em cada período, os déficits eventualmente

ocorridos e a necessidade de importação de água de outras bacias, atendendo às condições de custo mínimo.

Nós deste tipo podem ser um nó de afluxo, ou seja, ponto de entrada de vazões afluentes. Tais nós são conectados por arcos artificiais que ligam um nó de afluxo artificial a um nó real de afluxo da rede. Vale ressaltar que a adição de nós e arcos artificiais serve para manter o balanço de massa na rede de fluxo e é feita automaticamente pelo ModsimP32.

Para os nós de reservatório, os arcos de afluxo artificiais incluem os volumes S_j transportados no mês ou semana anterior (*carry over storage* – termo em inglês utilizado para definir o volume de água armazenado ao final de um ciclo de operação, e que pode ser utilizado como volume inicial para operação do período subsequente), isto é, a água disponível para o período atual é $I_j + S_j$, onde I_j é vazão afluente no respectivo período (inflow).

Os custos “Cis” nos arcos artificiais de volume são calculados de forma a refletir as prioridades associadas ao volume meta ou aos direitos de armazenamento de água. Para o reservatório “i” são selecionadas duas prioridades; $OPRPL_i$ e $OPRPH_i$ com números inteiros entre 1 e 99. O parâmetro $OPRPH_i$ representa o valor dado à prioridade para o reservatório, se o volume inicial estiver no nível desejado (volume meta). Enquanto que $OPRPL_i$ é o número da prioridade se o volume estiver no nível mínimo; à medida que os volumes armazenados diminuem, dá-se mais peso à manutenção do volume para evitar o esvaziamento de um reservatório enquanto outros permaneceriam cheios.

FIGURA 07 - Prioridades operacionais de reservatórios para operação "equilibrada"

Sendo que SiMin: volume mínimo, qiS: volume que o reservatório apresenta naquele mês e Ti: volume meta.

O Modsimp32 então calcula um custo Cis como sendo:

$$Cis = - [1000 - (OPRPi \cdot 10)] \quad (13)$$

Cis é um número negativo, que representa um benefício vinculado ao volume meta e OPRPi representa uma penalidade. Os custos nos arcos de vertimento recebem os maiores valores.

A evaporação nos reservatórios é calculada por meio de um processo iterativo implícito, fazendo estimativas sucessivas da área média do reservatório, durante o intervalo de tempo adotado. Como opção, pode-se inserir o valor total de evaporação líquida no período.

Os volumes metas T_i para cada reservatório podem ser especificados para cada período da simulação, ou podem ser condicionados ao estado hidrológico do sistema, definido por:

$$R = \sum_{i \in H} (S_i + I_i) \quad (14)$$

O símbolo H representa o conjunto de reservatórios para os quais se deseja computar um estado hidrológico, S_i é o volume inicial e I_i é a vazão afluente. Como o estado hidrológico é baseado no volume inicial, este valor é fixado no início do período.

Podem ser definidos no modelo como demandas terminais o volume de água legalmente outorgado, retiradas históricas, demandas agrícolas previstas com base em cálculos de evapotranspiração, ou projeção de demandas municipais e industriais.

Demandas de passagem são aquelas que não estão associadas à utilização de um volume de água (não são demandas consuntivas), mas sim à manutenção de um nível de vazão em locais pré-determinados do sistema. Um bom exemplo disso são os requisitos de vazões mínimas em um rio, quando há uma certa demanda estabelecida para peixes, fauna e controle de qualidade de água ou recreação.

De acordo com as demandas, os custos são calculados por:

$$C_{id} = - [1000 - (DEM_{Ri} \cdot 10)] \quad (15)$$

C_{id} é um número negativo que representa um benefício vinculado à demanda e DEM_{Ri} representa uma penalidade.

Da mesma forma como para os reservatórios, o usuário deve selecionar uma prioridade para as demandas, entre 1 e 99.

O ModsimP32 permite a importação de certo volume de água de uma bacia vizinha, quando não se consegue satisfazer as demandas prioritárias com a água proveniente da própria bacia. O custo de transferência de água, de uma bacia para outra é alto, o que garante que o modelo recorrerá a esta reserva estratégica apenas em anos hidrológicos críticos.

3.1.1 DEFINIÇÕES GERAIS PARA APLICAÇÃO DO MODSIMP 32

Ao iniciar uma simulação, o usuário deve fornecer ao modelo diversas informações, que servirão de base para a entrada de dados, o cálculo e os resultados. Para isto, existe a tela *Definições Gerais*, na qual é escolhido; o tipo de simulação, as opções de cálculo e os valores relacionados com estas opções (ROBERTO, 1999).

3.1.2 TIPOS DE SIMULAÇÃO

3.1.2.1 SIMULAÇÃO CONTÍNUA

Na simulação contínua, o valor mais importante é o número total de anos de simulação (chamado aqui de NT). O usuário deve fornecer séries de vazões afluentes mensais (aos reservatórios, importações, etc.) com duração igual a NT. O modelo

ModSimP32 irá efetuar os cálculos continuamente, para todos os NT anos existentes.

Ao final do cálculo, os resultados serão fornecidos mensalmente para todos os anos.

A simulação é dita contínua porque o modelo executa os cálculos da seguinte maneira:

- i. no primeiro ano, o modelo parte com os volumes iniciais dos reservatórios fornecidos pelo usuário e efetua os cálculos até o final deste ano.
- ii. no segundo ano, parte-se com os volumes iniciais iguais aos volumes finais do ano anterior
- iii. o procedimento é repetido até o ano NT
- iv. os resultados da simulação são fornecidos de forma contínua, do primeiro ao último ano.

Quando as séries de vazões são relativamente longas, percebe-se que os volumes iniciais dos reservatórios passam a ter pequena influência nos resultados. Assim, este tipo de simulação é recomendado para se obter uma idéia inicial do comportamento do sistema em estudo, das prioridades a serem adotadas, etc., bem como uma idéia do comportamento do sistema ao longo do tempo, (ROBERTO, 1999).

Definições gerais

Tipo de simulação

Simulação Contínua
Planejamento Estratégico
Planejamento Tático

Opções de cálculo

Estados Hidrológicos
Calibração

Dados gerais

Mês inicial da simulação: Jan

Título do projeto: Sem título

Observações: Nada consta

Simulação Contínua

Número total de anos de simulação: 1

Ano inicial de simulação (ex: 1970): 1970

Ok Cancelar

FIGURA 08 – Tela do modelo para Simulação Contínua.

3.1.2.2 PLANEJAMENTO TÁTICO

No *Planejamento Tático* o usuário deve fornecer, além do número total de anos de simulação (NT), o número de anos do horizonte de simulação (NH). O horizonte de simulação é o número de anos durante os quais pretende-se estudar o comportamento do sistema em análise. Neste tipo de simulação, o ModSimP32 efetua os cálculos da seguinte maneira:

- i. partindo, no primeiro ano, com os volumes iniciais dos reservatórios fornecidos pelo usuário, o modelo efetua os cálculos sequencialmente para NH anos. Por exemplo, se NH=3 o primeiro período simulado irá do ano 1 ao ano 3.

- ii. no segundo período parte-se novamente dos mesmos volumes iniciais anteriormente fornecidos e simula-se o período que vai do ano 2 ao ano 4.
- iii. o procedimento acima é repetido até que seja efetuado o cálculo partindo-se do ano (NT-NH+1)
- iv. os resultados obtidos são apresentados em forma de curva de frequência para todos os meses do horizonte de simulação.

Esta opção de cálculo é a mais recomendada quando o objetivo é fazer o planejamento e/ou a operação de reservatórios, (ROBERTO, 1999).

Definições gerais

Tipo de simulação

Simulação Contínua

Planejamento Estratégico

Planejamento Tático

Opções de cálculo

Estados Hidrológicos

Calibração

Planejamento Tático

Horizonte de simulação (anos): 2

Número de anos da série de vazões: 100

Ano inicial da série de vazões (ex: 1970): 1970

Dados gerais

Mês inicial da simulação: Jan

Título do projeto: Sem título

Observações: Nada consta

Ok Cancelar

FIGURA 09 – Tela do modelo para Planejamento Tático.

3.1.3 OPÇÕES DE CÁLCULO

As duas opções de cálculo existentes no ModSimP32 são: *Estados Hidrológicos* e *Calibração*. As diferenças entre as duas opções estão na entrada de dados e na maneira como o modelo irá efetuar os cálculos.

Quando a opção selecionada for *Calibração*, o usuário deve entrar com os valores das prioridades do armazenamento nos reservatórios, armazenamento meta e prioridades das demandas, para todos os anos. Se a opção escolhida for *Estados Hidrológicos*, o usuário deve entrar com esses valores para os estados hidrológicos médio, seco e úmido. A definição dos estados é feita dividindo-se os reservatórios em três faixas, úmido, médio e seco, (ROBERTO, 1999).

FIGURA 10 – Tela do modelo dos Estados Hidrológicos.

3.1.4 MODELO DE INTERAÇÃO RIO-AQUÍFERO

O modelo Modsimp32 apresenta um módulo interno que relaciona o aquífero subterrâneo, permitindo considerar a infiltração proveniente dos reservatórios, perdas nos canais, vazões de retorno e depleção nos rios devido ao bombeamento (FREDERICKS et al., 1998).

Para a demanda no nó i e, decorrido algum tempo do período considerado, o valor da vazão de retorno definido por IRF_i é calculado como sendo:

$$IRF_{ik} = \sum_{t=i}^k I_{it} * \delta_{i, k-t+1} \quad (16)$$

$$\delta_{i, k-t+1} = 0 \quad \text{para } k-t+1 > N \quad (17)$$

Sendo:

I_{it} : infiltração que chega ao nó i , no tempo t

$\delta_{i, k-t+1}$: coeficiente kernel definido pelo nó i , no período $k - t + 1$

O fluxo de retorno total IRF_k durante o intervalo de tempo k é a soma dos fluxos de retorno atribuídos pelos eventos de recarga $I_1, I_2, \dots, I_k$.

A resposta δ_k é essencialmente um “*discrete kernel*”, e pode ser predeterminada para qualquer horizonte operacional escolhido, consistindo de N intervalos de tempo.

No caso de retirada de água subterrânea, o mesmo princípio descrito acima é aplicável. Contudo, as perdas do rio são consideradas ao invés dos fluxos de retorno para o rio. O total das perdas do rio para o aquífero PSD_k durante o intervalo k para bombeamentos de água subterrânea $P_1, P_2, \dots, P_k$ é:

$$PSD_k = \sum_{t=1}^k P_t * \alpha_{k-t+1} \quad (18)$$

$$\alpha_{k-t+1} = 0 \quad \text{para } k-t+1 > N \quad (19)$$

sendo P_t o bombeamento de água subterrânea durante o intervalo de tempo t .

O coeficiente kernel é calculado internamente no ModsimP32 usando o equacionamento Glover ou o método SDF (Stream depletion factor), ou eles podem ser calculados externamente por um modelo como o MDRSP e podem ser lidos pelo ModsimP32 como um arquivo de dados externos.

O método SDF (Stream depletion factor) – fator de depleção do escoamento é dado por:

$$SDF = \frac{a^2 S}{T} \quad (20)$$

Sendo:

a: distância perpendicular do poço de bombeamento ao escoamento (L);

S: armazenamento específico do aquífero,

T: transmissividade (L^2/T)

Segundo GLOVER (1968) apud FREDERICKS et al. (1998), o processo analítico para resolver a equação de conservação de massa e determinar a depleção do fluxo causada pelo poço de bombeamento, próximo ao escoamento, é feito através da equação diferencial parcial não linear para o fluxo unidimensional de água subterrânea:

$$T * (\partial^2 h / \partial x^2 + \partial^2 h / \partial y^2) + Q = S \partial h / \partial t \quad (21)$$

Sendo:

T: transmissividade – conservação de massa ($L^2 t^{-1}$);

K: condutividade hidráulica ($L t^{-1}$);

b: espessura saturada (L);

h: altura potencial (L);

Q: retirada de água do solo por unidade de área ($L t^{-1}$);

S: coeficiente de armazenamento (L^{-1});

t: tempo (t).

Em geral essa equação pode ser resolvida numericamente pelo método dos elementos finitos ou o método das diferenças finitas.

O modelo MDRSP é uma ferramenta numérica apropriada para reproduzir o comportamento de um sistema de escoamento multiaqüífero como um sistema linear, admitindo limites de área irregular, qualquer transmissividade não homogênea, assim como o armazenamento específico. Usando o MDRSP, os resultados geralmente correspondem à distribuição espacial de percolação, e podem ser usados para alocação de retorno de água no solo, fluxos de depleção para retornos múltiplos e fluxos de depleção em algum nó da rede de fluxo que representa uma bacia hidrográfica.

Segundo FREDERICKS et al. (1998), a equação geral da condutância hidráulica de um aqüífero usada no MODFLOW/MDRSP é a equação sugerida por MOREL-SEYTOUX & RESTREPO (1987) e ZHANG (1990), e baseia-se no método de redes de fluxo:

$$condutância = \frac{T}{e} * L * \frac{(W_p + 2e)}{(e + 10W_p)} \quad (22)$$

Sendo:

T: transmissividade do aqüífero;

e: espessura média saturada do aqüífero ao longo do trecho;

L: distância do trecho;

W_p : perímetro molhado da equação do escoamento para a largura do trecho.

Para as simulações realizadas com o ModsimP32 foram consideradas as vazões de retorno via aquífero, com os coeficientes de produção específica igual a 1, transmissividade também igual a 1 e distância ao canal principal igual 0,1m e a taxa de infiltração foi calculada para cada nó de demanda, levando-se em consideração a demanda que é retirada do rio em relação a vazão que retorna ao corpo d'água.

Para calcular o coeficiente da taxa de infiltração procede-se da seguinte forma:

- Admitindo que um setor tenha uma demanda $D=10 \text{ m}^3/\text{s}$ e um coeficiente de retorno R ($R=0.3$), por exemplo.
- Com estes dados temos a vazão de retorno $Q_r = R * D = 3 \text{ m}^3/\text{s}$ e uma demanda efetiva $D_e = (1 - R) * D = 7 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Portanto deve-se considerar a demanda média no período igual ao da demanda efetiva, é necessário corrigir o valor original de R , para manter a vazão de retorno igual a $3 \text{ m}^3/\text{s}$.
- O valor corrigido de R deverá ser $R_c = R/(1-R) = 0.3/(1-0.3) = 0.4285$
- Portanto verifica-se que $D_e * R_c = 7 * 0.4285 = 2.999 \text{ m}^3/\text{s} \cong 3.00 \text{ m}^3/\text{s}$.

O modelo calcula corretamente todas as vazões dos links e vazões de retorno, podendo ocorrer pequenos erros de arredondamento.

A seguir são apresentadas as janelas do modelo em que são definidos os parâmetros para as vazões de retorno.

Dados de demanda

Demanda variável		RESULTADOS		Vazão	
Descrição / Demanda		Fluxo de retorno / Prioridades		Demanda média mensal (m³/s)	
Número do nó:	8			Jan	7.00
Nome do nó:	Qmin			Fev	7.00
Demanda				Mar	7.00
Demanda média anual (m³/s):	7.00			Abr	7.00
Volume anual da demanda (1000 * m³):	220752.000			Mai	7.00
☐ Entrar com valores de demanda variáveis ao longo dos anos (Demanda variável)				Jun	7.00
				Jul	7.00
				Ago	7.00
				Set	7.00
				Out	7.00
				Nov	7.00
				Dez	7.00
Fluxo de retorno					
Nó para onde retorna o fluxo (0 se é demanda conjuntiva)		0			

Nó 8-Qmin Ok Cancelar

FIGURA 11 – Tela do modelo para especificar a demanda efetiva.

Dados de demanda

Demanda variável		RESULTADOS		RESULTADOS	
Descrição / Demanda		Fluxo de retorno / Prioridades		Vazão	
Fluxo de retorno e valores relacionados					
Taxa de infiltração (l/s/m²):	0.428			Prioridades	
Capacidade de bombeamento (m³/s):	0.00			Estados hidrológicos:	
Prioridade de bombeamento:	99			Estado médio:	
Produção específica:	1.00000			Estado seco:	
Transmissividade ((m³/s) / m):	1.00000			Estado úmido:	
Distância ao canal principal (m):	0.1				
Nó de depleção do rio:	0				
Nó para onde retorna o fluxo da infiltração:	4				

Nó 8-Qmin Ok Cancelar

FIGURA 12 – Tela do modelo para especificar os coeficientes para a vazão de retorno

3.2 ADAPTAÇÃO DO MODSIMP32 AO CASO EM ESTUDO

A bacia do Piracicaba é uma região bem complexa em termos de gerenciamento de recursos hídricos e dispõe de informações e dados necessários para a aplicação do modelo.

Na representação da bacia do Piracicaba como rede de fluxo, foram obedecidas as reversões para São Paulo e Jundiaí e os valores de demandas utilizadas pelos usuários de água estão apresentados no Anexo A.

Na construção da rede de fluxo da bacia do Piracicaba, utilizou-se a classificação feita pela Secretaria do Meio Ambiente, em que se divide a bacia em compartimentos ambientais, descritos no capítulo 2.1. Na cabeceira da bacia situa-se o Sistema Cantareira composto por 5 reservatórios, sendo que 4 estão dentro dos limites da bacia e contribuem com 31 m³/s para o abastecimento da cidade de São Paulo. São os seguintes: reservatório Jaguari, Jacareí, Cachoeira e Atibainha, sendo que os reservatórios Jaguari e Jacareí foram representados na rede de fluxo como sendo apenas um reservatório, porque na realidade existe uma ligação direta entre eles.

Foi estabelecido que as demandas seriam determinadas ao final de cada compartimento ambiental, e seus valores correspondem aos dados estimados pela SMA-SP, para os anos 2000 e 2010. Os valores de vazões de retorno foram considerados via aquífero conforme metodologia descrita anteriormente.

As séries de vazões foram obtidas através do site do “Cena” – Centro de Estudos Nucleares aplicados a Agronomia da ESALQ (Escola de Agronomia Luiz de Queiroz) em Piracicaba –SP. Todos os nós da rede de fluxo em que ocorre entrada de água foram considerados como nós de importação.

As demandas foram determinadas ao final de cada compartimento ambiental, de acordo com a finalidade.

O modelo trabalha com a determinação da rede de fluxo e com os dados dos respectivos nós fornecidos pelo usuário. Com isso, o usuário pode ir alterando os possíveis cenários que ele pretende simular, como por exemplo, aumentar as demandas na rede e observar a resposta do modelo, verificar se há capacidade de atender essa demanda e observar a vazão no corpo d’água a jusante.

A rede de fluxo da bacia do Piracicaba considerada neste trabalho está apresentada na FIGURA 13 – PÁGINA 63.

Comparando a disponibilidade hídrica com as retiradas de água dos diversos setores (abastecimento urbano, industrial, irrigação e para as usinas de cana de açúcar), observa-se que os compartimentos ambientais Pinheiros/Anhumas, Tatu/Quilombo, Piracicaba e Pires/Pirapitingui demandam mais água para os diversos usos do que a água neles produzida, indicando elevada utilização dos recursos hídricos superficiais, alto índice de reutilização da água e sua escassez. Nos compartimentos ambientais mencionados, torna-se necessária a importação de água de outros compartimentos da bacia.

Considerando as limitações físicas do sistema, ou seja, déficits de água para suprir todas as demandas, atribuiu-se prioridades maiores àquelas demandas mais nobres, obtendo-se um melhor gerenciamento do recurso disponível. Vale ressaltar

que, apesar dessa situação, as perdas e o desperdício de água nos setores são significativos. Existem dados da Secretaria do Meio Ambiente que revelam que no setor urbano as perdas na rede de distribuição de água chegam, em muitos casos, a 40% e o uso individual ultrapassa 250 l/dia.hab. Na irrigação e na indústria também é freqüente o uso inadequado, com perdas elevadas de água.

Procurou-se reproduzir a rede de fluxo de forma a aproximar-se das condições atuais da bacia do Piracicaba. Portanto, também foi considerada a Usina Hidrelétrica de Americana, que está situada no rio Atibaia, aproximadamente a 300m antes do encontro dos rios Atibaia e Jaguari, formando o rio Piracicaba .

3.2.1 PRIORIDADES DE DEMANDAS

Com relação às prioridades de demandas, estabeleceu-se o seguinte:

- As maiores prioridades estabelecidas são para as demandas de abastecimento urbano dos compartimentos ambientais.
- Em segundo lugar vêm as demandas para irrigação e demandas industriais.
- E posteriormente uma prioridade para atender o volume meta dos reservatórios.

Procurou-se determinar a rede de fluxo de acordo com a realidade atual da bacia. Dessa forma, estabeleceu-se uma prioridade para o armazenamento da UHE Americana maior do que a prioridade para a demanda ecológica na região de Piracicaba.

A tabela, a seguir, relaciona as prioridades das demandas e dos reservatórios

Demandas e Reservatórios	Prioridades
Abastecimento	1
Irrigação	2
Industrial e Usinas de cana de açúcar	3
Vazão ecológica em Paulínea	5
Vazão ecológica em Piracicaba	10
UHE	5
Armazenamento dos reservatórios do Sistema Cantareira	99

TABELA 09: Prioridades das demandas.

As demandas de abastecimento urbano e demandas industriais foram consideradas constantes nos diferentes meses do ano, ou seja, não se consideram variações percentuais nas vazões alocadas de um mês para outro.

Já as demandas de irrigação tiveram percentuais diferenciados nos diversos meses do ano. Os percentuais adotados para as demandas de irrigação foram obtidos através do “Consórcio Hidroplan* (1995)” e são os seguintes:

Mês	% do total anual
Jan	5
Fev	5.7
Mar	5.9
Abr	9.5
Mai	7.6
Jun	3
Jul	3.1
Ago	7.9
Set	14.1
Out	15.1
Nov	13.8
Dez	9.3

TABELA 10 – Demandas de irrigação-ano 1993 (FONTE –Consórcio HIDROPLAN)

DESCRIÇÃO DETALHADA DA REDE DE FLUXO DA BACIA DO RIO PIRACICABA

Nó da Rede de Fluxo	Ponto correspondente na Bacia do Rio Piracicaba	Símbolo na Rede de Fluxo	Nó com entrada de vazões afluentes	Posto Fluviométrico correspondente
1	Reservatório Jaguari-Jacareí	1-R.J-J	X	P1
2	Reservatório Cachoeira	2-R.Cach	X	P2
3	Reservatório Atibainha	3-R.Ati	X	P3
4	UHE Americana	4-UHE Am	-	-
5	Nó de Passagem 2	5-Pass 2	-	-
6	Nó de Passagem 1	6-Pass 1	-	P5
7	Compartimento Ambiental Atibaia	7-C.ATI	X	P4
8	Compartimento Ambiental Itatiba	8-C.ITA	X	P6-P4
9	Compartimento Ambiental Pinheiros/Anhumas	9-C.PAN	X	P8-P6
10	Início do Rio Camanducaia - Monte Alegre do Sul	10-Monte A	-	-
11	Compartimentos Ambientais Camanducaia e Jaguari	11-C.CAMJA	X	P7
12	Nó de Passagem 3	12-Pass 3	X	P9-(P7+P5)
13	Piracicaba	13-Piracic	-	P10-(P8+P9)
14	Início do Rio Corumbataí - Analândia	14-Analând	-	-
15	Compartimento Ambiental Corumbataí	15-C.COR	X	P11
16	Compartimento Ambiental Barra Bonita	16-C.BBO	X	P12-(P10+P11)
17	Reversão para São Paulo	17-RMSP	-	-
18	Demanda de abastecimento urbano do C. Amb. Camanducaia	18-A .CAM	-	-
19	Demanda de irrigação do C. Amb. Camanducaia	19-I.CAM	-	-
20	Demanda industrial do C. Amb. Camanducaia	20-In.CAM	-	-
21	Demanda de abastecimento urbano do C. Amb. Jaguari	21-A .JAG	-	-
22	Demanda de irrigação do C. Amb. Jaguari	22-I.JAG	-	-
23	Demanda industrial do C. Amb. Jaguari	23-In.JAG	-	-
24	Reversão para Jundiá	24-Jundiá	-	-
25	Demanda de abastecimento urbano do C. Amb. Atibaia	25-A .ATI	-	-
26	Demanda de irrigação do C. Amb. Atibaia	26-I.ATI	-	-

27	Demanda industrial do C. Amb. Atibaia	27-In.ATI	-	-
28	Demanda de abastecimento urbano do C. Amb. Itatiba	28-A .ITA	-	-
29	Demanda de irrigação do C. Amb. Itatiba	29-I.ITA	-	-
30	Demanda industrial do C. Amb. Itatiba	30-In.ITA	-	-
31	Demanda de abastecimento urbano do C. Amb. Pinheiros/Anhumas	31-A .PAN	-	-
32	Demanda de irrigação do C. Amb. Pinheiros/Anhumas	32-I.PAN	-	-
33	Demanda industrial do C. Amb. Pinheiros/Anhumas	33-In.PAN	-	-
34	Demanda Ecológica em Paulínea	34-Paulínea	-	-
35	Demanda de irrigação do C. Amb. Salto Grande	35-I.SGR	-	-
36	Demanda de abastecimento urbano do C. Amb. Pires/Pirapitingui	36-A .PPI	-	-
37	Demanda de irrigação do C. Amb. Pires/Pirapitingui	37-I.PPI	-	-
38	Demanda industrial do C. Amb. Pires/Pirapitingui	38-In.PPI	-	-
39	Demanda para usinas de cana de açúcar do C. Amb. Pires/Pirapitingui	39-U.PPI	-	-
40	Demanda de abastecimento urbano do C. Amb. Tatu/Quilombo	40-A .TQU	-	-
41	Demanda de irrigação do C. Amb. Tatu/Quilombo	41-I.TQU	-	-
42	Demanda industrial do C. Amb. Tatu/Quilombo	42-In.TQU	-	-
43	Demanda para usinas de cana de açúcar do C. Amb. Tatu/Quilombo	43-U.TQU	-	-
44	Demanda de abastecimento urbano do C. Amb. Piracicaba	44-A .PIR	-	-
45	Demanda de irrigação do C. Amb. Piracicaba	45-I.PIR	-	-
46	Demanda industrial do C. Amb. Piracicaba	46-In.PIR	-	-
47	Demanda para usinas de cana de açúcar do C. Amb. Piracicaba	47-U.PIR	-	-

48	Demanda de abastecimento urbano do C. Amb. Corumbataí	48-A .COR	-	-
49	Demanda industrial do C. Amb. Corumbataí	49-In.COR	-	-
50	Demanda para usinas de cana de açúcar do C. Amb. Corumbataí	50-U.COR	-	-
51	Demanda de abastecimento urbano do C. Barra Bonita	51-A .BBO	-	-
52	Demanda de irrigação do C. Amb. Barra Bonita	52-I.BBO	-	-
53	Demanda para usinas de cana de açúcar do C. Amb. Barra Bonita	53-U.BBO	-	-
54	Demanda de irrigação do C. Amb. Corumbataí	54-I.COR	-	-
55	Nó de Passagem final	55-F	-	-
56	Demanda Final (DRENO)	56-DF	-	-
57	Compartimento Ambiental Pires/Pirapitingui e Salto Grande	57-C.PPISG	-	-
58	Compartimento Ambiental Tatu/Quilombo	58-C.TQU	-	-
59	Retorno da demanda ecológica em Paulínea	59-R.Paulí	Retorno da demanda ecológica atendida em Paulínea	-
60	Demanda Ecológica em Piracicaba	60-Piracic	-	-
61	Retorno da demanda ecológica em Piracicaba	61-xxx	Retorno da demanda ecológica atendida em Piracicaba	-

TABELA 11 – Descrição detalhada da bacia do rio Piracicaba.

FIGURA 13 -Representação da bacia do rio Piracicaba como rede de fluxo, relacionando todas as demandas existentes no sistema

3.3 GERAÇÃO DE SÉRIES TEMPORAIS

A utilização do modelo ModsimP32 requer como dados principais, séries de vazões. Para as simulações na bacia do rio Piracicaba, utilizou-se de vazões mensais nos pontos correspondentes aos compartimentos ambientais, já que se pretendia realizar um planejamento em longo prazo.

Para o processo de verificação e testes com o modelo foram feitas simulações, utilizando-se de um ano médio de vazões mensais. Também foi realizado um planejamento para curto prazo, utilizando-se também de um ano médio de vazões mensais. Esse planejamento teve por objetivo analisar as relações de compromisso entre os usos conflitantes existentes na bacia do Piracicaba.

Em virtude da proximidade dos limites de cada compartimento ambiental com postos fluviométricos existentes, considerou-se cada posto fluviométrico coincidente com um determinado nó na rede de fluxo, de acordo com a TABELA 12.

RELAÇÃO ENTRE POSTOS FLUVIOMÉTRICOS E NÓS DA REDE DE FLUXO.

Nó da rede de fluxo	Posto fluviométrico correspondente	Classificação do Posto (Período de dados existentes)
Nó 1 - R. Jaguari-Jacareí	3D-015	P1 (1930-1993)
Nó 2 - R. Cachoeira	3E-088	P2 (1930-1993)
Nó 3 - R. Atibainha	3E-089	P3 (1930-1993)
Nó 7 - C. ATI	3D-006	P4 (1930-1993)
Nó 6 - Pass 1	3D-009	P5 (1930-1993)
Nó 8 - C. ITA	3D-003	P6 (1944-1993)
Nó 9 - C. PAN	4D-009	P8 (1947-1993)
Nó 11 - C. CAMJAG	3D-001	P7 (1943-1993)
Nó 12 - Pass 3	4D-001	P9 (1943-1993)
Nó 13 - Piracicaba	Piracicaba/CESP	P10 (1930-1995)
Nó 15 - C. COR	4D-021	P11 (1973-1993)
Nó 16 - C. BBO	4D-007	P12 (1944-1993)
Nó 59 - C. TQU	4D-010	P13 (1930-1979)

TABELA 12 - Relação entre postos fluviométricos e nós da rede de fluxo.

O posto 4D-010 (P13 – Nó 59 – C.TQU) foi desprezado devido às falhas de dados, há dados de 1930 a 1958 e também de 1971 a 1979, deixando uma lacuna de 13 anos, entre 1958 a 1971.

Pela exigência de uso do modelo ModSimP32, que o período de dados de vazão mensais seja o mesmo para todos os nós da rede de fluxo, o período em

comum encontrado foi de 21 anos, compreendendo os anos de 1973 a 1993, imposto pelo posto 4D-021, com o menor período de dados observados.

De acordo com DAEE (1985) apud PROJETO PIRACENA (1998), a partir de 1968, começaram a haver alterações significativas no regime fluvial da bacia, devido às barragens do Sistema Cantareira. Dessa forma, o período de dados entre 1973 a 1993 foi utilizado para a modelagem de séries sintéticas, compreendendo o período após a operação do Sistema Cantareira.

Porém, para o gerenciamento da bacia do rio Piracicaba e também pela importância da problemática já mencionada que a bacia apresenta, optou-se por realizar um planejamento para longo prazo. Para isso, tornou-se necessária a geração de valores de vazões mensais, para os postos relacionados dentro dos limites da bacia.

A geração de vazões mensais foi realizada através de um modelo de séries temporais mensais. A geração de vazões foi realizada em planilha EXCEL.

A geração dos dados de vazão dos postos P1 a P12, foi feita através de um modelo estacionário multivariado autoregressivo de 1ª ordem AR(1).

SALAS (1980) propõem para problemas multivariados com dados sazonais (mensais, quinzenais ou mensais), que esses dados sejam transformados em dados anuais, e seja ajustado um modelo multivariado e, em seguida seja realizada a desagregação em valores mensais. Não foi utilizada a desagregação e nem a transformação dos dados mensais em anuais, porque foi preferido utilizar a técnica descrita a seguir.

Para a aplicação da técnica de modelos multivariados para geração de vazões mensais, foi necessário organizar os dados de todos os postos, lado a lado, nas

planilhas do EXCEL e numa sequência cronológica, ou seja, foi feito a desazonalização dos dados. Esta técnica estabelece que a utilização dos parâmetros como média e desvio padrão sejam mensais.

3.3.1. UTILIZAÇÃO DO MODELO AR(1)

Para a determinação dos parâmetros do modelo AR(1), foi necessário o ajuste de funções para normalizar as séries históricas disponíveis, com a finalidade de se obter séries estacionárias. No processo, foram utilizadas as séries correspondentes aos postos P1 a P12, descritos na TABELA 12, referentes ao período comum de 1973 a 1993, totalizando 21 anos de dados de vazões mensais.

As principais etapas para a modelagem e geração de séries temporais são as seguintes:

1- normalização dos dados fluviométricos;

$$[X(t) \rightarrow Y(t) \rightarrow Z(t)]$$

2- cálculo dos coeficientes do modelo AR(1);

3- análise estatística dos resíduos;

4- geração das séries.

3.3.2 NORMALIZAÇÃO DOS DADOS

Segundo PAIVA (1996) apud PEITER (1998), a seleção do modelo depende das características das séries em avaliação. Dentre estas características, pode-se destacar a estacionariedade, pois em um processo estocástico estacionário, as

propriedades estatísticas não se alteram com o tempo, embora as séries temporais correspondentes possam ser diferentes entre si.

Utilizou-se da função $\ln$ para obter séries uniformes, $Y(t) = \ln X(t)$, e posteriormente realizou-se a normalização das séries, com a seguinte expressão:

$$Z(t) = \frac{Y(t) - \overline{Y(t)}}{\tau(t)} \quad (25)$$

em que $X(t)$ corresponde à série histórica observada, $Y(t)$ à série uniforme e $\overline{Y(t)}$ é a média das variáveis uniformes pela função $\ln$, e $\tau(t)$ é o desvio padrão das variáveis uniformes obtidas através da função $\ln$.

Esse processo foi aplicado a todos os postos relacionados no trabalho, ou seja, P1 a P12. Vale ressaltar que esses dados de vazões são dados mensais, pois é uma característica exigida pelo modelo ModSimP32.

Portanto, as características estatísticas de todos os postos se alteram de um mês para outro, e com isso, a média e desvio padrão também são diferentes para cada mês.

Cada posto terá, para cada mês, média $\overline{Y(t)}$ e desvio padrão $\tau(t)$. Assim cada $Y(t)$, será normalizado, subtraindo-se da média e dividindo-se pelo desvio padrão correspondente àquele mês da variável $Y(t)$.

Os valores de $Z(t)$ para os doze postos, ou seja, $Z_1(t)$, $Z_2(t)$, $Z_3(t)$, $Z_4(t)$, $Z_5(t)$, $Z_6(t)$, $Z_7(t)$, $Z_8(t)$, $Z_9(t)$, $Z_{10}(t)$, $Z_{11}(t)$ e $Z_{12}(t)$ são as variáveis normalizadas de vazões mensais dos doze postos a serem utilizados no modelo estacionário multivariado AR(1).

3.3.3 MODELO MULTIVARIADO AR(1)

O uso dos modelos multivariados vem sendo largamente explorado por pesquisadores e técnicos da área de recursos hídricos (MATALAS, 1967; COOPER 7 WOOD, 1982; FIERING, 1964; SALAS et al., 1980 e HEYDER et al., 1991 apud PEITER, 1998) pois, na maioria dos casos práticos necessita-se da geração simultânea de duas ou mais variáveis.

Segundo MATALAS (1967) apud PEITER (1998), o modelo AR(1) pode ser expresso por:

$$Z(t) = A * Z(t-1) + B * \varepsilon(t) \quad (26)$$

sendo:

$$Z^T(t) = [Z_1(t), \dots, Z_n(t)] \quad (27)$$

$$\varepsilon(t) = [\varepsilon_1(t), \dots, \varepsilon_n(t)] \quad (28)$$

A e B matrizes de parâmetros (n x n), onde n é o número de variáveis, neste caso os postos fluviométricos.

O vetor aleatório $\varepsilon(t)$ é um vetor (n x 1) independente no tempo e no espaço, normalmente distribuído com média zero e desvio padrão igual a um.

Os números aleatórios (u) foram gerados pela planilha do EXCEL, esses números apresentam distribuição uniforme, com limites entre 0 e 1. Para transformar os números aleatórios com distribuição uniforme em outros com distribuição normal utilizam-se às expressões:

$$t_1 = (-2 \ln u_1)^{1/2} \times \cos(2\pi u_2) \quad (29)$$

$$t_2 = (-2 \ln u_1)^{1/2} \times \sin(2\pi u_2) \quad (30)$$

Para gerar números aleatórios com distribuição normal, utiliza-se de dois valores de u , que são números aleatórios com distribuição uniforme, e com isso são gerados dois números pertencentes a uma distribuição normal padrão.

Os parâmetros matriciais A e B foram obtidos usando-se o método dos momentos.

Multiplicando-se a eq. (26) pela transposta de $Z(t)$ e rearranjando os termos, a seguinte expressão é obtida:

$$E[Z(t) * Z^T(t)] = A * E[Z(t-1) * Z^T(t)] + B * E[\varepsilon(t) [Z^T(t-1) * A^T + \varepsilon^T(t) * B^T]] \quad (31)$$

Definindo-se a matriz de covariância como M_0 :

$$M_0 = E[Z(t) * Z^T(t)] \quad (32)$$

e, M_1^T como:

$$M_1^T = E[Z(t-1) * Z^T(t)] \quad (33)$$

Explorando-se as propriedades dos resíduos $\varepsilon(t)$, reduz-se a eq. (31) em:

$$M_0 = A M_1^T + B B^T \quad (34)$$

A eq. (34) relaciona os momentos M_0 e M_1^T com as matrizes de parâmetros A e B . Multiplicando-se a eq. (26) por $Z^T(t-1)$, os valores esperados definem a covariância de atraso 1:

$$E[Z(t) * Z^T(t-1)] = A * E[Z(t-1) * Z^T(t-1)] + B * E[\varepsilon(t) Z^T(t-1)] \quad (35)$$

Novamente, utilizando-se as propriedades de $\varepsilon(t)$ sobre a eq. (25), obtém-se:

$$M_1 = A M_0 \quad (36)$$

e, considerando, agora a estacionariedade do sistema, obtém-se que:

$$E[Z(t) * Z^T(t)] = E[Z(t-1) * Z^T(t-1)] = M_0 \quad (37)$$

Assim, a matriz A pode ser determinada por:

$$A = M_1 * M_0^{-1} \quad (38)$$

Após a determinação da matriz A a partir da eq. (38), deve-se determinar os parâmetros da matriz B . Para isso utilizou-se a metodologia descrita por BRAS & RODRIGUEZ-ITURBE (1984) apud PEITER (1998).

Seja:

$$BB^T = M_0 - A M_1^T = D \quad (39)$$

onde B é uma matriz triangular inferior:

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (40)$$

Multiplicando-se B pela sua transposta, ter-se-á:

$$D = \begin{bmatrix} b_{11}^2 & b_{11}b_{21} & \cdots & b_{11}b_{n1} \\ b_{21}b_{11} & b_{21}^2 + b_{22}^2 & \cdots & b_{21}b_{n1} + b_{22}b_{n2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{n1}b_{11} & b_{n1}b_{21} + b_{22}b_{n2} & \cdots & \sum_{i=1}^n b_{ni}^2 \end{bmatrix} \quad (41)$$

As expressões da matriz D estão detalhadas a seguir

- Quando $i = j$

$$b_{ij} = [d_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} (b_{jk})^2]^{1/2} \quad (42)$$

- Quando $i < j$

$$b_{ij} = 0 \quad (43)$$

- Quando $i > j$

$$b_{ij} = [d_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} (b_{jk} b_{ik})] / b_{jj} \quad (44)$$

A partir da matriz descrita na eq. (41), os valores de B foram obtidos através de uma seqüência de equações algébricas.

Após a determinação das matrizes de parâmetros A e B, determinaram-se os resíduos das séries para os 12 postos, através das expressões:

$$\varepsilon_1(t) = [Z_1(t) - a_{11}Z_1(t-1) - a_{12}Z_2(t-1) - a_{13}Z_3(t-1) - a_{14}Z_4(t-1) - a_{15}Z_5(t-1) - a_{16}Z_6(t-1) - a_{17}Z_7(t-1) - a_{18}Z_8(t-1) - a_{19}Z_9(t-1) - a_{110}Z_{10}(t-1) - a_{111}Z_{11}(t-1) + a_{112}Z_{12}(t-1)] / b_{11} \quad (45)$$

$$\varepsilon_2(t) = [Z_2(t) - a_{21}Z_1(t-1) - a_{22}Z_2(t-1) - a_{23}Z_3(t-1) - a_{24}Z_4(t-1) - a_{25}Z_5(t-1) - a_{26}Z_6(t-1) - a_{27}Z_7(t-1) - a_{28}Z_8(t-1) - a_{29}Z_9(t-1) - a_{210}Z_{10}(t-1) - a_{211}Z_{11}(t-1) + a_{212}Z_{12}(t-1) - b_{21}\xi_1(t)] / b_{22} \quad (46)$$

$$\varepsilon_3(t) = [Z_3(t) - a_{31}Z_1(t-1) - a_{32}Z_2(t-1) - a_{33}Z_3(t-1) - a_{34}Z_4(t-1) - a_{35}Z_5(t-1) - a_{36}Z_6(t-1) - a_{37}Z_7(t-1) - a_{38}Z_8(t-1) - a_{39}Z_9(t-1) - a_{310}Z_{10}(t-1) - a_{311}Z_{11}(t-1) + a_{312}Z_{12}(t-1) - b_{31}\xi_1(t) - b_{32}\xi_2(t)] / b_{33} \quad (47)$$

$$\varepsilon_4(t) = [Z_4(t) - a_{41}Z_1(t-1) - a_{42}Z_2(t-1) - a_{43}Z_3(t-1) - a_{44}Z_4(t-1) - a_{45}Z_5(t-1) - a_{46}Z_6(t-1) - a_{47}Z_7(t-1) - a_{48}Z_8(t-1) - a_{49}Z_9(t-1) - a_{410}Z_{10}(t-1) - a_{411}Z_{11}(t-1) + a_{412}Z_{12}(t-1) - b_{41}\xi_1(t) - b_{42}\xi_2(t) - b_{43}\xi_3(t)] / b_{44} \quad (48)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_5(t) = [Z_5(t) - a_{51}Z_1(t-1) - a_{52}Z_2(t-1) - a_{53}Z_3(t-1) - a_{54}Z_4(t-1) - a_{55}Z_5(t-1) - a_{56}Z_6(t-1) \\ - a_{57}Z_7(t-1) - a_{58}Z_8(t-1) - a_{59}Z_9(t-1) - a_{510}Z_{10}(t-1) - a_{511}Z_{11}(t-1) + a_{512}Z_{12}(t-1) - b_{51}\xi_1(t) - \\ b_{52}\xi_2(t) - b_{53}\xi_3(t) - b_{54}\xi_4(t)] / b_{55} \end{aligned} \quad (49)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_6(t) = [Z_6(t) - a_{61}Z_1(t-1) - a_{62}Z_2(t-1) - a_{63}Z_3(t-1) - a_{64}Z_4(t-1) - a_{65}Z_5(t-1) - a_{66}Z_6(t-1) \\ - a_{67}Z_7(t-1) - a_{68}Z_8(t-1) - a_{69}Z_9(t-1) - a_{610}Z_{10}(t-1) - a_{611}Z_{11}(t-1) + a_{612}Z_{12}(t-1) - b_{61}\xi_1(t) - \\ b_{62}\xi_2(t) - b_{63}\xi_3(t) - b_{64}\xi_4(t) - b_{65}\xi_5(t)] / b_{66} \end{aligned} \quad (50)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_7(t) = [Z_7(t) - a_{71}Z_1(t-1) - a_{72}Z_2(t-1) - a_{73}Z_3(t-1) - a_{74}Z_4(t-1) - a_{75}Z_5(t-1) - a_{76}Z_6(t-1) \\ - a_{77}Z_7(t-1) - a_{78}Z_8(t-1) - a_{79}Z_9(t-1) - a_{710}Z_{10}(t-1) - a_{711}Z_{11}(t-1) + a_{712}Z_{12}(t-1) - b_{71}\xi_1(t) - \\ b_{72}\xi_2(t) - b_{73}\xi_3(t) - b_{74}\xi_4(t) - b_{75}\xi_5(t) - b_{76}\xi_6(t)] / b_{77} \end{aligned} \quad (51)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_8(t) = [Z_8(t) - a_{81}Z_1(t-1) - a_{82}Z_2(t-1) - a_{83}Z_3(t-1) - a_{84}Z_4(t-1) - a_{85}Z_5(t-1) - a_{86}Z_6(t-1) \\ - a_{87}Z_7(t-1) - a_{88}Z_8(t-1) - a_{89}Z_9(t-1) - a_{810}Z_{10}(t-1) - a_{811}Z_{11}(t-1) + a_{812}Z_{12}(t-1) - b_{81}\xi_1(t) - \\ b_{82}\xi_2(t) - b_{83}\xi_3(t) - b_{84}\xi_4(t) - b_{85}\xi_5(t) - b_{86}\xi_6(t) - b_{87}\xi_7(t)] / b_{88} \end{aligned} \quad (52)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_9(t) = [Z_9(t) - a_{91}Z_1(t-1) - a_{92}Z_2(t-1) - a_{93}Z_3(t-1) - a_{94}Z_4(t-1) - a_{95}Z_5(t-1) - a_{96}Z_6(t-1) \\ - a_{97}Z_7(t-1) - a_{98}Z_8(t-1) - a_{99}Z_9(t-1) - a_{910}Z_{10}(t-1) - a_{911}Z_{11}(t-1) + a_{912}Z_{12}(t-1) - b_{91}\xi_1(t) - \\ b_{92}\xi_2(t) - b_{93}\xi_3(t) - b_{94}\xi_4(t) - b_{95}\xi_5(t) - b_{96}\xi_6(t) - b_{97}\xi_7(t) - b_{98}\xi_8(t)] / b_{99} \end{aligned} \quad (53)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{10}(t) = [Z_{10}(t) - a_{101}Z_1(t-1) - a_{102}Z_2(t-1) - a_{103}Z_3(t-1) - a_{104}Z_4(t-1) - a_{105}Z_5(t-1) - \\ a_{106}Z_6(t-1) - a_{107}Z_7(t-1) - a_{108}Z_8(t-1) - a_{109}Z_9(t-1) - a_{1010}Z_{10}(t-1) - a_{1011}Z_{11}(t-1) + a_{1012}Z_{12}(t-1) \end{aligned}$$

$$1)- b_{101}\xi_1(t)- b_{102}\xi_2(t)- b_{103}\xi_3(t)- b_{104}\xi_4(t)- b_{105}\xi_5(t)- b_{106}\xi_6(t)- b_{107}\xi_7(t)- b_{108}\xi_8(t)- b_{109}\xi_9(t)] / b_{1010} \quad (54)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11}(t) = [Z_{11}(t) - a_{111}Z_1(t-1) - a_{112}Z_2(t-1) - a_{113}Z_3(t-1) - a_{114}Z_4(t-1) - a_{115}Z_5(t-1) - \\ a_{116}Z_6(t-1)-a_{117}Z_7(t-1) - a_{118}Z_8(t-1)- a_{119}Z_9(t-1)- a_{1110}Z_{10}(t-1)- a_{1111}Z_{11}(t-1)+ a_{1112}Z_{12}(t- \\ 1)- b_{111}\xi_1(t)- b_{112}\xi_2(t)- b_{113}\xi_3(t)- b_{114}\xi_4(t)- b_{115}\xi_5(t)- b_{116}\xi_6(t)- b_{117}\xi_7(t)- b_{118}\xi_8(t)- \\ b_{119}\xi_9(t)- b_{1110}\xi_{10}(t)] / b_{1111} \end{aligned} \quad (55)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{12}(t) = [Z_{12}(t) - a_{121}Z_1(t-1) - a_{122}Z_2(t-1) - a_{123}Z_3(t-1) - a_{124}Z_4(t-1) - a_{125}Z_5(t-1) - \\ a_{126}Z_6(t-1)-a_{127}Z_7(t-1) - a_{128}Z_8(t-1)- a_{129}Z_9(t-1)- a_{1210}Z_{10}(t-1)- a_{1211}Z_{11}(t-1)+ a_{1212}Z_{12}(t- \\ 1)- b_{121}\xi_1(t)- b_{122}\xi_2(t)- b_{123}\xi_3(t)- b_{124}\xi_4(t)- b_{125}\xi_5(t)- b_{126}\xi_6(t)- b_{127}\xi_7(t)- b_{128}\xi_8(t)- \\ b_{129}\xi_9(t)- b_{1210}\xi_{10}(t)- b_{1211}\xi_{11}(t)] / b_{1212} \end{aligned} \quad (56)$$

SALAS (1980) apresenta testes para assegurar a fidelidade do modelo. Os testes baseiam-se na análise de correlação e na verificação de que os resíduos apresentam distribuição normal.

Quando o objetivo é gerar séries temporais sintéticas, é necessário não apenas preservar as características estatísticas de cada das séries, mas também preservar a dependência mútua entre as n séries temporais (SALAS, 1980).

Nos correlogramas, leva-se em consideração a estrutura de dependência das n séries temporais, que pode ser determinada pela análise da correlação cruzada entre as séries, com tempo de atraso “k” definido pela equação a seguir:

$$r_{k}^{ij} = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (x_t^{(i)} - \bar{x}_t^{(i)})(x_{t+k}^{(j)} - \bar{x}_{t+k}^{(j)})}{\left[\left(\sum_{t=1}^{N-k} (x_t^{(i)} - \bar{x}_t^{(i)})^2 \cdot \sum_{t=1}^{N-k} (x_{t+k}^{(j)} - \bar{x}_{t+k}^{(j)})^2 \right)^{1/2} \right]} \quad (57)$$

Em que: $\bar{x}_t^{(i)}$ é a média dos primeiros valores de N-k da série *i* e $\bar{x}_{t+k}^{(j)}$ é a média dos últimos valores de N-k da série *j*.

Para *n* séries temporais é comum representar a estrutura de correlação pela seguinte matriz:

$$M_K = \begin{vmatrix} r_k^{11} & r_k^{12} & \dots & r_k^{1n} \\ r_k^{21} & r_k^{22} & \dots & r_k^{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_k^{n1} & r_k^{n2} & \dots & r_k^{nn} \end{vmatrix} \quad (57.1)$$

Para um nível de probabilidade de 95%, seus limites são definidos pela seguinte expressão:

$$r_{95\%} = \frac{-1 \pm 1,646 \cdot \sqrt{N-k-1}}{N-k} \quad (58)$$

Quando o valor de r_{k}^{ij} da correlação cruzada estiver dentro dos limites $r_{95\%}$, da equação (58), isso significa que as séries que estão sendo relacionadas são independentes, caso contrário, são dependentes.

Os resíduos calculados foram testados quanto à sua normalidade, através de cálculos dos seus coeficientes de assimetrias, médias e desvios padrões.

No caso em estudo, com doze variáveis (doze postos), as equações para a geração das séries foram deduzidas da eq. (26) em sua forma matricial, de onde se obtém as seguintes equações:

$$\begin{aligned} Z_1(t) = & a_{11}Z_1(t-1) + a_{12}Z_2(t-1) + a_{13}Z_3(t-1) + a_{14}Z_4(t-1) + a_{15}Z_5(t-1) + a_{16}Z_6(t-1) \\ & + a_{17}Z_7(t-1) + a_{18}Z_8(t-1) + a_{19}Z_9(t-1) + a_{110}Z_{10}(t-1) + a_{111}Z_{11}(t-1) + a_{112}Z_{12}(t-1) + \\ & b_{11}\xi_1(t) \end{aligned} \quad (59)$$

$$\begin{aligned} Z_2(t) = & a_{21}Z_1(t-1) + a_{22}Z_2(t-1) + a_{23}Z_3(t-1) + a_{24}Z_4(t-1) + a_{25}Z_5(t-1) + a_{26}Z_6(t-1) + \\ & a_{27}Z_7(t-1) + a_{28}Z_8(t-1) + a_{29}Z_9(t-1) + a_{210}Z_{10}(t-1) + a_{211}Z_{11}(t-1) + a_{212}Z_{12}(t-1) + \\ & b_{21}\xi_1(t) + b_{22}\xi_2(t) \end{aligned} \quad (60)$$

$$\begin{aligned} Z_3(t) = & a_{31}Z_1(t-1) + a_{32}Z_2(t-1) + a_{33}Z_3(t-1) + a_{34}Z_4(t-1) + a_{35}Z_5(t-1) + a_{36}Z_6(t-1) + \\ & a_{37}Z_7(t-1) + a_{38}Z_8(t-1) + a_{39}Z_9(t-1) + a_{310}Z_{10}(t-1) + a_{311}Z_{11}(t-1) + a_{312}Z_{12}(t-1) + \\ & b_{31}\xi_1(t) + b_{32}\xi_2(t) + b_{33}\xi_3(t) \end{aligned} \quad (61)$$

$$\begin{aligned} Z_4(t) = & a_{41}Z_1(t-1) + a_{42}Z_2(t-1) + a_{43}Z_3(t-1) + a_{44}Z_4(t-1) + a_{45}Z_5(t-1) + a_{46}Z_6(t-1) + \\ & a_{47}Z_7(t-1) + a_{48}Z_8(t-1) + a_{49}Z_9(t-1) + a_{410}Z_{10}(t-1) + a_{411}Z_{11}(t-1) + a_{412}Z_{12}(t-1) + \\ & b_{41}\xi_1(t) + b_{42}\xi_2(t) + b_{43}\xi_3(t) + b_{44}\xi_4(t) \end{aligned} \quad (62)$$

$$\begin{aligned}
Z_5(t) = & a_{51}Z_1(t-1) + a_{52}Z_2(t-1) + a_{53}Z_3(t-1) + a_{54}Z_4(t-1) + a_{55}Z_5(t-1) + a_{56}Z_6(t-1) + \\
& a_{57}Z_7(t-1) + a_{58}Z_8(t-1) + a_{59}Z_9(t-1) + a_{510}Z_{10}(t-1) + a_{511}Z_{11}(t-1) + a_{512}Z_{12}(t-1) + \\
& b_{51}\xi_1(t) + b_{52}\xi_2(t) + b_{53}\xi_3(t) + b_{54}\xi_4(t) + b_{55}\xi_5(t)
\end{aligned} \tag{63}$$

$$\begin{aligned}
Z_6(t) = & a_{61}Z_1(t-1) + a_{62}Z_2(t-1) + a_{63}Z_3(t-1) + a_{64}Z_4(t-1) + a_{65}Z_5(t-1) + a_{66}Z_6(t-1) + \\
& a_{67}Z_7(t-1) + a_{68}Z_8(t-1) + a_{69}Z_9(t-1) + a_{610}Z_{10}(t-1) + a_{611}Z_{11}(t-1) + a_{612}Z_{12}(t-1) + \\
& b_{61}\xi_1(t) + b_{62}\xi_2(t) + b_{63}\xi_3(t) + b_{64}\xi_4(t) + b_{65}\xi_5(t) + b_{66}\xi_6(t)
\end{aligned} \tag{64}$$

$$\begin{aligned}
Z_7(t) = & a_{71}Z_1(t-1) + a_{72}Z_2(t-1) + a_{73}Z_3(t-1) + a_{74}Z_4(t-1) + a_{75}Z_5(t-1) + a_{76}Z_6(t-1) + \\
& a_{77}Z_7(t-1) + a_{78}Z_8(t-1) + a_{79}Z_9(t-1) + a_{710}Z_{10}(t-1) + a_{711}Z_{11}(t-1) + a_{712}Z_{12}(t-1) + \\
& b_{71}\xi_1(t) + b_{72}\xi_2(t) + b_{73}\xi_3(t) + b_{74}\xi_4(t) + b_{75}\xi_5(t) + b_{76}\xi_6(t) + b_{77}\xi_7(t)
\end{aligned} \tag{65}$$

$$\begin{aligned}
Z_8(t) = & a_{81}Z_1(t-1) + a_{82}Z_2(t-1) + a_{83}Z_3(t-1) + a_{84}Z_4(t-1) + a_{85}Z_5(t-1) + a_{86}Z_6(t-1) + \\
& a_{87}Z_7(t-1) + a_{88}Z_8(t-1) + a_{89}Z_9(t-1) + a_{810}Z_{10}(t-1) + a_{811}Z_{11}(t-1) + a_{812}Z_{12}(t-1) + \\
& b_{81}\xi_1(t) + b_{82}\xi_2(t) + b_{83}\xi_3(t) + b_{84}\xi_4(t) + b_{85}\xi_5(t) + b_{86}\xi_6(t) + b_{87}\xi_7(t) + b_{88}\xi_8(t)
\end{aligned} \tag{66}$$

$$\begin{aligned}
Z_9(t) = & a_{91}Z_1(t-1) + a_{92}Z_2(t-1) + a_{93}Z_3(t-1) + a_{94}Z_4(t-1) + a_{95}Z_5(t-1) + a_{96}Z_6(t-1) + \\
& a_{97}Z_7(t-1) + a_{98}Z_8(t-1) + a_{99}Z_9(t-1) + a_{910}Z_{10}(t-1) + a_{911}Z_{11}(t-1) + a_{912}Z_{12}(t-1) + \\
& b_{91}\xi_1(t) + b_{92}\xi_2(t) + b_{93}\xi_3(t) + b_{94}\xi_4(t) + b_{95}\xi_5(t) + b_{96}\xi_6(t) + b_{97}\xi_7(t) + b_{98}\xi_8(t) + \\
& b_{99}\xi_9(t)
\end{aligned} \tag{67}$$

$$\begin{aligned}
Z_{10}(t) = & a_{101}Z_1(t-1) + a_{102}Z_2(t-1) + a_{103}Z_3(t-1) + a_{104}Z_4(t-1) + a_{105}Z_5(t-1) + a_{106}Z_6(t-1) + \\
& a_{107}Z_7(t-1) + a_{108}Z_8(t-1) + a_{109}Z_9(t-1) + a_{1010}Z_{10}(t-1) + a_{1011}Z_{11}(t-1) + a_{1012}Z_{12}(t-1) +
\end{aligned}$$

$$b_{101}\xi_1(t) + b_{102}\xi_2(t) + b_{103}\xi_3(t) + b_{104}\xi_4(t) + b_{105}\xi_5(t) + b_{106}\xi_6(t) + b_{107}\xi_7(t) + b_{108}\xi_8(t) \\ + b_{109}\xi_9(t) + b_{1010}\xi_{10}(t) \quad (68)$$

$$Z_{11}(t) = a_{111}Z_1(t-1) + a_{112}Z_2(t-1) + a_{113}Z_3(t-1) + a_{114}Z_4(t-1) + a_{115}Z_5(t-1) + a_{116}Z_6(t-1) \\ + a_{117}Z_7(t-1) + a_{118}Z_8(t-1) + a_{119}Z_9(t-1) + a_{1110}Z_{10}(t-1) + a_{1111}Z_{11}(t-1) + a_{1112}Z_{12}(t-1) + \\ b_{111}\xi_1(t) + b_{112}\xi_2(t) + b_{113}\xi_3(t) + b_{114}\xi_4(t) + b_{115}\xi_5(t) + b_{116}\xi_6(t) + b_{117}\xi_7(t) + b_{118}\xi_8(t) \\ + b_{119}\xi_9(t) + b_{1110}\xi_{10}(t) + b_{1111}\xi_{11}(t) \quad (69)$$

$$Z_{12}(t) = a_{121}Z_1(t-1) + a_{122}Z_2(t-1) + a_{123}Z_3(t-1) + a_{124}Z_4(t-1) + a_{125}Z_5(t-1) + a_{126}Z_6(t-1) \\ + a_{127}Z_7(t-1) + a_{128}Z_8(t-1) + a_{129}Z_9(t-1) + a_{1210}Z_{10}(t-1) + a_{1211}Z_{11}(t-1) + a_{1212}Z_{12}(t-1) + \\ b_{121}\xi_1(t) + b_{122}\xi_2(t) + b_{123}\xi_3(t) + b_{124}\xi_4(t) + b_{125}\xi_5(t) + b_{126}\xi_6(t) + b_{127}\xi_7(t) + b_{128}\xi_8(t) \\ + b_{129}\xi_9(t) + b_{1210}\xi_{10}(t) + b_{1211}\xi_{11}(t) + b_{1212}\xi_{12}(t) \quad (70)$$

Os parâmetros $\xi_1(t)$, $\xi_2(t)$, $\xi_3(t)$, $\xi_4(t)$, $\xi_5(t)$, $\xi_6(t)$, $\xi_7(t)$, $\xi_8(t)$, $\xi_9(t)$, $\xi_{10}(t)$, $\xi_{11}(t)$ e $\xi_{12}(t)$ são variáveis aleatórias, normalmente distribuídas, com média zero e desvio padrão igual a um, e foram geradas pelo EXCEL.

Após a determinação dos parâmetros do modelo e posteriormente a geração das séries, é necessário fazer a transformação inversa referente a normalização.

Como foi utilizada a expressão:

$$Z(t) = \frac{Y(t) - \overline{Y}(t)}{\tau(t)} \quad (71)$$

Em que $\overline{Y}(t)$ e $\tau(t)$ (média e desvio padrão, respectivamente) são parâmetros mensais, relacionados com a variável referente àquele mesmo mês da média e desvio padrão em questão.

Então para fazer a transformação inversa da normalização, utilizou-se:

$$Y(t) = [Z(t) * \tau(t)] + \overline{Y}(t) \quad (72)$$

Vale ressaltar que a média e o desvio padrão, $\overline{Y}(t)$ e $\tau(t)$ são parâmetros mensais da variável transformada; posteriormente é necessário fazer a transformação inversa; como a função utilizada de transformação foi a função ln, sua função inversa é a função exponencial:

$$X(t) = \text{EXP } Y(t) \quad (73)$$

Dessa forma, obteve-se os valores das vazões geradas.

Foram geradas as séries para os doze postos simultaneamente para períodos de 100 anos. As séries geradas foram comparadas com as séries observadas através das características estatísticas, como média e desvio padrão, a fim de analisar e verificar a adequação do modelo.

4 RESULTADOS

Conforme mencionado anteriormente, os dados de entrada para a rede de fluxo do rio Piracicaba no modelo ModSimp32, são os seguintes:

- dados de demandas presentes no Anexo A;
- séries de vazões mensais, que devem conter o mesmo período de dados para todos os respectivos nós;
- a hierarquia de prioridades definidas pelo usuário do modelo.

4.1 SÉRIES SINTÉTICAS DE VAZÕES

O período comum encontrado para os postos fluviométricos da bacia do rio Piracicaba foi de 21 anos de dados observados.

Como pensou-se em realizar um planejamento a longo prazo, o período de 21 anos das séries históricas, tornou-se insatisfatório, e portanto foi necessária a geração de dados de vazões.

Na bacia do rio Piracicaba, existem 10 postos fluviométricos convencionais, conforme mostra a FIGURA 04 (página 19). Além deste, existem mais três postos correspondentes aos reservatórios Jaguari-Jacareí, Cachoeira e Atibainha de competência da SABESP, totalizando assim 13 postos fluviométricos.

O posto 4D-010 foi desprezado por existir falhas de leitura durante um longo período de meses.

4.1.1 PARÂMETROS NECESSÁRIOS AO MODELO MULTIVARIADO AR(1)

Para geração de vazões utilizou-se de um modelo multivariado auto regressivo de ordem 1. O número total de postos correlacionados no modelo multivariado AR(1) foi de 12 postos fluviométricos.

Após os procedimentos para normalização das variáveis, calcularam-se as covariâncias das séries com atraso zero e com atraso um, para montagem das matrizes M_0 e M_1 . Assim, os valores obtidos dos elementos das matrizes M_0 e M_1 foram os seguintes:

$M_0 =$

0.996	-0.097	0.0748	0.4241	0.9167	0.4301	0.4032	0.3633	0.7709	0.5591	0.4959	0.6245
-0.097	0.996	0.7821	0.0198	-0.085	0.0406	-0.095	-0.039	-0.156	-0.106	-0.213	-0.151
0.0748	0.7821	0.996	-0.038	0.0349	-0.016	-0.142	-0.069	-0.066	-0.098	-0.196	-0.102
0.4241	0.0198	-0.038	0.996	0.6145	0.9545	0.7939	0.8783	0.7508	0.8963	0.671	0.8558
0.9167	-0.085	0.0349	0.6145	0.996	0.6359	0.6368	0.5351	0.9058	0.7643	0.6342	0.7942
0.4301	0.0406	-0.016	0.9545	0.6359	0.996	0.8261	0.8555	0.77	0.9093	0.6801	0.8623
0.4032	-0.095	-0.142	0.7939	0.6368	0.8261	0.996	0.7484	0.8385	0.9109	0.7616	0.892
0.3633	-0.039	-0.069	0.8783	0.5351	0.8555	0.7484	0.996	0.6889	0.8186	0.6338	0.7937
0.7709	-0.156	-0.066	0.7508	0.9058	0.77	0.8385	0.6889	0.996	0.9124	0.777	0.9311
0.5591	-0.106	-0.098	0.8963	0.7643	0.9093	0.9109	0.8186	0.9124	0.996	0.804	0.9623
0.4959	-0.213	-0.196	0.671	0.6342	0.6801	0.7616	0.6338	0.777	0.804	0.996	0.8508
0.6245	-0.151	-0.102	0.8558	0.7942	0.8623	0.892	0.7937	0.9311	0.9623	0.8508	0.996

e

$M_1 =$

0.8297	-0.106	0.0701	0.2761	0.739	0.2865	0.2607	0.2254	0.6072	0.4033	0.3278	0.4643
-0.131	0.8057	0.7237	-0.052	-0.126	-0.04	-0.17	-0.102	-0.205	-0.168	-0.246	-0.205
0.0572	0.6832	0.847	-0.07	0.0157	-0.052	-0.18	-0.086	-0.085	-0.133	-0.209	-0.126
0.3548	0.0301	-0.002	0.741	0.4721	0.702	0.5724	0.6077	0.5593	0.6787	0.4701	0.6436
0.7773	-0.084	0.0438	0.4402	0.7884	0.4584	0.4508	0.3551	0.7148	0.5749	0.4354	0.6052
0.364	0.0588	0.0219	0.7008	0.4863	0.7123	0.5907	0.5725	0.5715	0.6718	0.4569	0.6388
0.363	-0.083	-0.116	0.6104	0.5194	0.6232	0.6814	0.5113	0.6379	0.6963	0.5303	0.683
0.3305	-0.019	-0.045	0.6616	0.4331	0.6269	0.5389	0.6436	0.5228	0.613	0.4561	0.6106
0.6536	-0.147	-0.048	0.5356	0.718	0.5431	0.5731	0.446	0.7409	0.6669	0.5208	0.6868
0.4814	-0.085	-0.073	0.6766	0.6057	0.6706	0.6446	0.5538	0.683	0.7338	0.5507	0.7187
0.4489	-0.206	-0.183	0.4915	0.5234	0.4796	0.5172	0.429	0.5841	0.5825	0.545	0.6003
0.5482	-0.132	-0.086	0.6333	0.6405	0.6267	0.6239	0.5373	0.7017	0.7132	0.5616	0.7359

Para a matriz A obteve-se:

$A =$

0.8351	-0.026	0.0052	-0.135	-0.137	0.0714	-0.172	-0.053	0.2331	0.0188	-0.174	0.2117
-0.207	0.5619	0.2782	0.1425	0.2246	-0.033	-0.044	-0.033	-0.042	-0.049	0.0454	-0.122
-0.174	0.0929	0.7595	-0.037	0.1197	0.0565	-0.204	0.0534	0.2543	-0.322	-0.037	0.2072
0.3062	0.025	-0.003	0.8007	-0.27	-0.157	-0.057	-0.214	-0.344	0.6092	-0.163	0.2145
0.3816	0.0025	-0.008	-0.076	0.208	0.0542	-0.125	-0.153	0.2197	0.2422	-0.218	0.2011
0.3062	0.0574	-0.022	0.2419	-0.3	0.4428	0.0062	-0.255	-0.215	0.3972	-0.21	0.2985
0.0139	0.0789	-0.113	0.0653	-0.039	-0.043	0.2412	-0.266	-0.13	0.4823	-0.237	0.5437
0.2085	0.0521	-0.056	0.3979	-0.15	-0.168	-0.022	0.2532	-0.291	0.0568	-0.166	0.5852
0.2618	-0.033	-0.013	0.0434	-0.072	-0.083	-0.077	-0.205	0.3268	0.3833	-0.229	0.3635
0.1972	0.0081	-0.046	0.2998	-0.082	-0.092	-0.025	-0.279	-0.216	0.7333	-0.2	0.3905
0.2251	-0.011	-0.118	0.1807	-0.069	-0.228	-0.021	-0.121	-0.112	0.4204	0.0818	0.2881
0.2908	0.0117	-0.067	0.1436	-0.125	-0.119	-0.052	-0.208	-0.286	0.3852	-0.273	0.9718

E para a matriz D,

$D =$

0.2848	0.0242	0.0136	0.1763	0.2668	0.1683	0.1379	0.1345	0.2358	0.1927	0.153	0.1932
0.0242	0.3079	0.1524	0.0474	0.03	0.05	0.0431	0.0324	0.0192	0.0252	0.0136	0.021
0.0136	0.1524	0.2628	-0.001	0.0076	-0.001	-0.006	-0.008	-0.003	-4E-04	-0.014	0.0003
0.1763	0.0474	-0.001	0.4112	0.2495	0.4046	0.3171	0.3813	0.3186	0.3565	0.2885	0.3462
0.2668	0.03	0.0076	0.2495	0.3322	0.2549	0.235	0.214	0.3093	0.2823	0.2234	0.2733
0.1683	0.05	-0.001	0.4046	0.2549	0.4465	0.3438	0.3902	0.3318	0.3802	0.3121	0.3608
0.1379	0.0431	-0.006	0.3171	0.235	0.3438	0.4649	0.3308	0.3573	0.3776	0.3472	0.3685
0.1345	0.0324	-0.008	0.3813	0.214	0.3902	0.3308	0.5177	0.3059	0.3552	0.2836	0.3353
0.2358	0.0192	-0.003	0.3186	0.3093	0.3318	0.3573	0.3059	0.4007	0.3763	0.327	0.3696
0.1927	0.0252	-4E-04	0.3565	0.2823	0.3802	0.3776	0.3552	0.3763	0.4162	0.3545	0.3904
0.153	0.0136	-0.014	0.2885	0.2234	0.3121	0.3472	0.2836	0.327	0.3545	0.5932	0.3869
0.1932	0.021	0.0003	0.3462	0.2733	0.3608	0.3685	0.3353	0.3696	0.3904	0.3869	0.4048

A decomposição da matriz D produz a matriz B, igual a:

B =

0.5337	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0453	0.553	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0256	0.2735	0.4328	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.3303	0.0586	-0.06	0.5432	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.4999	0.0133	-0.02	0.1517	0.2424	0	0	0	0	0	0	0	0
0.3154	0.0647	-0.063	0.5391	0.0548	0.2128	0	0	0	0	0	0	0
0.2584	0.0567	-0.064	0.4136	0.1693	0.1052	0.4243	0	0	0	0	0	0
0.252	0.038	-0.057	0.5383	0.0194	0.0628	0.0644	0.3888	0	0	0	0	0
0.4418	-0.001	-0.032	0.3146	0.1656	0.0558	0.1818	0.0129	0.2043	0	0	0	0
0.361	0.0159	-0.032	0.4315	0.1467	0.1065	0.1575	0.0252	0.1022	0.1721	0	0	0
0.2868	0.001	-0.051	0.3511	0.106	0.1096	0.2242	-0.01	0.1169	0.1368	0.5283	0	0
0.362	0.0083	-0.026	0.4135	0.1195	0.0706	0.1747	0.0043	0.1136	0.0932	0.0965	0.1458	0

4.1.2 ANÁLISE DOS RESÍDUOS PARA O MODELO MULTIVARIADO AR(1)

Com os parâmetros apresentados no item 4.1.1, os resíduos das séries $Z_1(t)$, $Z_2(t)$, $Z_3(t)$, ..., $Z_{12}(t)$, denominados $\varepsilon_1(t)$, $\varepsilon_2(t)$, $\varepsilon_3(t)$, ..., $\varepsilon_{12}(t)$ foram calculados de acordo com a metodologia descrita no capítulo 3.3.3.

Segundo SALAS (1980), a verificação da adequação do modelo em relação às variáveis em estudo pode ser analisada através dos resultados da média, desvio padrão e coeficiente de assimetria das séries dos resíduos, que são apresentados na tabela a seguir:

Parâ-Metros	$\varepsilon_1(t)$	$\varepsilon_2(t)$	$\varepsilon_3(t)$	$\varepsilon_4(t)$	$\varepsilon_5(t)$	$\varepsilon_6(t)$	$\varepsilon_7(t)$	$\varepsilon_8(t)$	$\varepsilon_9(t)$	$\varepsilon_{10}(t)$	$\varepsilon_{11}(t)$	$\varepsilon_{12}(t)$
Média	-0.001	0.0054	0.0577	-0.069	-0.127	0.0653	0.1491	0.034	-0.062	0.0895	-0.003	-0.097
Dv.Pd	1.3413	1.3302	1.056	1.5185	1.1028	1.577	1.3808	1.4598	1.459	1.227	1.0636	1.562
Cf. Assim.	-0.035	0.0057	-0.242	-0.281	-0.139	0.1189	0.2569	0.1851	0.4572	0.1096	0.0542	0.582

TABELA 13 – Análise estatística dos resíduos das séries $Z_1(t)$, $Z_2(t)$, $Z_3(t)$, ..., $Z_{12}(t)$.

Pelos resultados apresentados na TABELA 13, verifica-se que os resíduos das doze séries em análise apresentam tendência à normalidade, pois seus coeficientes de assimetria tendem a zero e, além disso, verifica-se que as médias das séries e os seus desvios padrões tendem a zero e um, respectivamente, como idealizado no modelo. Para visualizar a tendência de que os resíduos obedecem a uma distribuição normal, os gráficos a seguir apresentam os histogramas de frequência correspondentes às doze séries de resíduos em estudo.

FIGURA 12 – Todos os gráficos relacionados acima referem-se aos histogramas dos resíduos das respectivas séries $Z1(t)$, $Z2(t)$, $Z3(t)$, ..., $Z12(t)$.

A análise de autocorrelação também é utilizada para avaliar as variáveis em relação a sua independência. Para tanto, foram elaborados os correlogramas para as variáveis $\varepsilon1(t)$, $\varepsilon2(t)$, $\varepsilon3(t)$, ..., $\varepsilon12(t)$. Os gráficos de auto-correlação apresentados a seguir foram analisados sob o intervalo de confiança de 95%.

Gráfico de autocorrelação Z3

Gráfico de autocorrelação Z4

Gráfico de autocorrelação Z5

Gráfico de autocorrelação Z6

Gráfico de autocorrelação Z7

Gráfico de autocorrelação Z8

Gráfico de correlação Z9

Gráfico de autocorrelação Z10

FIGURA 13 – Todos os gráficos relacionados acima referem-se aos autocorrelogramas dos resíduos das séries $Z1(t)$, $Z2(t)$, $Z3(t)$, ..., $Z12(t)$.

Os gráficos de correlação cruzada entre os postos, com intervalo de confiança de 95%, estão no Anexo B.

De acordo com os testes realizados com os resíduos das séries, pode-se concluir que o modelo multivariado AR(1) se ajusta adequadamente às séries observadas e, portanto, possui a capacidade de gerar séries sintéticas de vazões, com as mesmas características estatísticas das séries observadas.

4.1.1 GERAÇÃO DAS SÉRIES

Foi gerado para cada posto um período de 100 anos de vazões mensais, sendo que esse período corresponde ao período máximo de vazões que o modelo ModSimp32 pode aceitar.

As características estatísticas das séries geradas coincidem com as características estatísticas das séries observadas, conforme mostram as tabelas e os gráficos a seguir.

Nos gráficos a seguir, o eixo das ordenadas refere-se ao tempo, o número antes do ponto refere-se ao mês e o número depois do ponto refere-se ao ano. Por exemplo, o número 03.87 determina o mês de março do ano de 1987.

- Posto 1 (Reservatório Jaguari-Jacareí):

Características da série gerada

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	15.73	19.74	23.75	35.01	42.65	40.16	38.2	30.48	23.58	22.51	17.15	14.55
Desvi Pd.	13.551	10.63	14.16	19.08	15.42	15.78	16.4	12.55	11	23.53	8.908	6.891

Características da série original

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	17.31	19.96	22.7	34.12	40.24	38.77	38.08	30.34	23.58	24.16	17.6	15.29
Desvi Pd.	14.63	12.67	15.03	19.92	14.48	16.6	15.7	13.71	11.07	22.78	9.88	7.536

TABELA 14 - Características estatísticas da série de vazões do Reservatório Jaguari-Jacareí.

FIGURA 16 – Gráfico das séries de vazões do Reservatório Jaguari-Jacareí.

- Posto 2 (Reservatório Cachoeira):

Características da série gerada

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	6.374	6.632	7.74	9.869	13.02	12.61	13.01	11.02	9.788	9.035	7.072	6.199
Desv. Pd.	2.591	2.186	2.492	3.567	4.621	4.1	4.586	3.843	3.161	3.951	2.168	1.575

Características da série original

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	6.517	6.597	7.755	9.952	12.79	12.81	13.26	11.11	9.612	8.962	7.201	6.123
Desv. Pd.	3.656	2.499	2.436	3.733	3.997	4.78	5.24	3.591	3.231	5.008	2.719	1.871

TABELA 15 - Características estatísticas da série de vazões do Reservatório Cachoeira.

FIGURA 17 – Gráfico das séries de vazões do Reservatório Cachoeira.

- Posto 3 (Reservatório Atibainha):

Características da série gerada

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	4.685	5.265	5.906	7.156	8.701	7.92	8.005	6.534	6.187	5.328	4.475	3.91
Desv. Pd.	1.952	1.761	1.811	2.493	3.023	2.054	2.498	4.201	4.236	2.582	1.507	1.376

Características da série original

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	4.683	5.099	5.645	7.252	8.586	8.084	8.076	6.389	5.859	5.562	4.653	4.037
Desv. Pd.	2.527	1.745	1.779	2.958	2.73	2.221	2.628	2.729	2.574	3.555	2.002	1.567

TABELA 16 - Características estatísticas da série de vazões do Reservatório Atibainha.

FIGURA 18 – Gráfico das séries de vazões do Reservatório Atibainha.

- Posto 4 (Posto 3D-006):

Características da série gerada

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	33.1	32.02	32.08	25.24	22.63	23.27	18.35	16.47	19.18	20.1	23.6	29.48
Desv. Pd.	13.58	14.03	13.68	12.32	10.46	22.85	11.975	7.66	11.29	9.535	10.23	14.86

Características da série original

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	35.41	32.94	32.06	24.51	21.97	24.88	19.37	16.92	19.45	20.92	23.3	29.76
Desv. Pd.	14.79	15.97	14.87	13.72	11.72	24.58	13.35	8.976	13.13	11.42	9.989	12.69

TABELA 17 - Características estatísticas da série de vazões do Posto 3D-006.

FIGURA 19 – Gráfico das vazões dos Posto 3D-006.

- Posto 5 (3D-009):

Características da série gerada

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	39.36	42.91	42.2	33.22	27.1	26.84	18.23	17.43	17.9	21.2	24.38	32.04
Desv. Pd.	24.64	25.89	22.23	23.53	13.99	29.99	9.051	9.057	15.47	16.99	15.89	17.27

Características da série original

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	40.96	41.96	40.21	30.98	24.83	27.6	19.26	18.07	19.59	22.92	24.69	32.56
Desv. Pd.	19.83	22.98	21.01	19.46	13.17	32.15	13.05	12	17.69	18.16	16.25	18.19

TABELA 18 – Características estatísticas das séries de vazões do posto 3D-009.

FIGURA 20 – Gráfico das séries de vazões do posto 3D-009.

- Posto 6 (3D-003):

Características da série gerada

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	44.16	41.43	41.75	30.32	26.88	28.03	22.09	18.75	22.09	24.06	29.54	37.12
Desv. Pd.	20.82	21.05	19.36	14.64	12.58	25.52	14.45	9.051	14.95	12.41	15.09	18.67

Características da série original

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	46.44	41.89	41.46	29.68	25.81	29.34	23.5	19.77	22.81	25.1	28.52	37.14
Desv. Pd.	21.02	20.19	19.4	16.6	13.87	26.14	16.84	10.96	16.95	14.28	13.54	17

TABELA 19 – Características estatísticas das séries de vazões do posto 3D-003.

FIGURA 21 – Gráfico das séries de vazões do posto 3D-003.

- Posto 7 (3D-001):

Características da série gerada

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	25	24.19	22.05	17.43	14.54	13.09	9.502	8.322	8.814	10.87	12.25	21.35
Desv. Pd.	11.39	12.78	9.656	8.379	7.282	7.506	4.032	2.831	4.612	6.263	6.188	13.11

Características da série original

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	26.28	24.45	21.46	16.76	13.96	13.29	10.12	8.732	9.401	11.32	11.93	20.51
Desv. Pd.	11.7	13.8	10.04	7.555	7.276	10.12	5.626	3.894	7.444	6.678	6.055	9.383

TABELA 20 – Características estatísticas das séries de vazões do posto 3D-001.

FIGURA 22 – Gráfico das séries de vazões do posto 3D-001.

- Posto 8 (4D-009):

Características da série gerada

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	50.32	44.77	46.38	32.68	31.02	31.3	24.09	20.8	22.86	25.85	30.59	44.92
Desv. Pd.	19.49	20.15	18.4	14.69	15.64	23.67	11.41	8.952	15.12	13.55	14.17	21.28

Características da série original

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	52.75	46.59	46.06	31.39	29.48	32.63	24.77	21.44	23.2	25.93	30	44.92
Desv. Pd.	20.38	20.28	19.79	13.19	15.18	26.81	15.74	10.75	15.51	13.59	13.29	19.37

TABELA 21 – Características das séries de vazões do posto 4D-009.

FIGURA 23 – Gráfico das séries de vazões do posto 4D-009.

- Posto 9 (Posto 4D-001):

Características da série gerada

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	80.1	79.67	74.79	59.69	47.25	46.43	32.09	29.28	29.9	35.23	41.44	63.3
Desv. Pd.	37.22	37.94	29.24	27.99	19.28	24.1	13.48	12.23	18.38	18.64	24.12	32.51

Características da série original

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	82.43	77.96	71.37	56.64	45.26	50.19	34.62	30.27	32.63	37.75	41.57	63.03
Desv. Pd.	32.5	41.27	30.73	28.08	21.65	49.13	21.59	16.19	26.75	24.48	22.48	29.46

TABELA 22 – Características estatísticas das séries de vazões do posto 4D-001.

FIGURA 24 – Gráfico das séries de vazões do posto 4D-001.

- Posto 10 (Posto Piracicaba):

Características da série gerada

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	183.4	186.9	175.7	131.5	107.6	104.3	74.99	65.88	72.01	82.46	103.9	155.2
Desv. Pd.	76.4	95.86	70.62	66.14	48.84	96.21	32.23	27.49	41.91	44.5	55.19	79.53

Características da série original

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	190	185.5	171.4	126.7	104.3	113.5	81.18	68.19	77.62	88.94	102.2	152.5
Desv. Pd.	72.24	98.54	82.76	69.27	60.66	117.7	56.67	36.47	63.25	57.43	51.81	68.05

TABELA 23 – Características estatísticas das séries de vazões do posto Piracicaba.

FIGURA 25 – Gráfico das séries de vazões do posto Piracicaba.

- Posto 11 (4D-021):

Características da série gerada

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	40.92	42.67	42.83	28.14	20.38	17.56	12.99	10.63	11.74	15.87	21.48	37.12
Desv. Pd.	20.4	21.66	25.29	16.42	9.159	14.249	4.539	3.571	9.405	9.643	10.28	16.06

Características da série original

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	43.32	43.79	43.62	26.77	20.28	18.4	13.42	10.76	13.11	15.64	20.23	37.14
Desv. Pd.	21.84	24.51	27	15.43	11.84	16.79	7.741	4.132	11.84	9.386	9.277	14.87

TABELA 24 – Características estatísticas das séries de vazões do posto 4D-021.

FIGURA 26 – Gráfico das séries de vazões do posto 4D-021.

- Posto 12 (4D-007):

Características da série gerada

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	217.4	217.6	205.7	160.6	130.4	122.6	88.26	75.06	80.89	96.93	114.2	179.1
Desv. Pd.	89.97	100.6	82.82	75.85	52.74	81.44	47.91	29.61	44.34	50.49	58.21	87.7

Características da série original

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	224.7	218	201.4	153.4	126.9	132.2	94.65	77.66	87.38	101.6	112	176.9
Desv. Pd.	87.58	111.3	92.43	75.84	64.2	123	62.38	40.13	68.73	59.93	53.2	77.79

TABELA 25 – Características estatísticas das séries de vazões do posto 4D-007.

FIGURA 27 – Gráfico das séries de vazões do posto 4D-007.

4.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES COM O MODELO MODSIMP32

Todas as simulações realizadas na bacia do rio Piracicaba, através do modelo ModsimP32, tiveram como cenário de rede de fluxo a rede configurada na FIGURA – 13 (página 63). As alterações feitas para diferenciar as várias alternativas, ou cenários, foram as seguintes:

- Dados de demandas (Anexo A):
 - Valores estimados para o ano 2000
 - Valores estimados para o ano 2010
- Séries de vazões:
 - Séries Históricas (21 anos de dados observados)
 - Séries Sintéticas (100 anos de dados gerados)
- Alterações nos critérios de prioridades, definidos no capítulo 3.2.1.

4.2.1 TESTES COM O MODELO MODSIMP32

Apesar do ModsimP32 ser um modelo que apresenta eficácia comprovada, conforme exemplos citados na literatura atual, optou-se por testá-lo para a rede de fluxo da bacia do rio Piracicaba. O teste consistiu na aplicação do modelo a situações já estudadas.

Utilizou-se os estudos realizados pela CETESB e o DAEE apud SMA-SP (1994), que obtiveram um cenário representativo de vazões, para fins de planejamento e que consideraram:

- vazões mínimas a serem mantidas pelo Sistema Cantareira;
- usos significativos e conhecidos com impacto no balanço quantitativo (reversões e captações urbanas, industriais e agrícolas).

As vazões mínimas de referência da Bacia do Rio Piracicaba, mencionadas no estudo realizado pela CETESB e o DAEE apud SMA-SP (1994), se referem aos valores de vazões decorrentes de condicionantes legais (Resolução CONAMA 20/86), como as mínimas a serem mantidas no Sistema Cantareira e dos usos conhecidos da água com significativo impacto no balanço quantitativo dos recursos hídricos, SMA-SP (1994).

Para fins práticos, a disponibilidade de água na bacia situa-se entre 34 a 50 m³/s nos meses mais secos do ano o que, por sua vez, coincide com a época de maior consumo de água na indústria, como é o caso das usinas de açúcar e álcool e também com a irrigação.

Os dados desse estudo estão sintetizados na tabela a seguir:

*VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA A SEREM MANTIDAS NA BACIA DO RIO
PIRACICABA – DETERMINADAS PELO ESTUDO REALIZADO EM CONJUNTO
PELA CETESB E DAEE (1994).*

Ponto	Extensão do trecho – Km	Descrição	Rio	Comp. Ambiental	Uso	Q de referência (m³/s)
0	0	Foz do rio Camanducaia	Camanducaia	C. CAM	Foz	0.46
1	7.89	Monte Alegre do Sul	Camanducaia	C. CAM	C. urb./ L. ind./ L. urb.	3.02/0.46
2	11.19	Pinhalzinho	Camanducaia	C. CAM	L. urb.	3.34
3	13.39	Amparo	Camanducaia	C. CAM	C. urb.	5.38
4	44.37	Amparo	Camanducaia	C. CAM	L. ind./ L. urb.	5.74
13	0	Rio Jaguari	Camanducaia	C. CAM	União	7.01
Res.1	0	Res. Jaguari/Jacareí	Jaguari	C.JAG	Reservatório	1
5	20.29	Bragança Paulista	Jaguari	C.JAG	C. urb.	2.48
6	0.78	Bragança Paulista	Jaguari	C.JAG	L. urb./ L. ind.	2.5
7	14.7	Pedra Bela	Jaguari	C.JAG	L.urb.	2.92
8	37.84	Morungaba	Jaguari	C.JAG	L. urb.	4.94
9	30.57	Pedreira	Jaguari	C.JAG	C. urb.	5.88
10	3.04	Pedreira	Jaguari	C.JAG	L. urb./ L.ind.	5.88
11	8.43	Jaguariuna	Jaguari	C.JAG	C. urb.	6.22
12	1.29	Jaguariuna	Jaguari	C.JAG	L. urb./L.ind.	6.26
13	8.66	Foz do rio Camanducaia	Jaguari	C.JAG	União	13.54
14	25.09	Paulínia	Jaguari	C.PPI	C.Urb.	13.76
15	3.67	Coca-Cola	Jaguari	C.PPI	L.ind.	13.8
16	7.86	Cosmópolis	Jaguari	C.PPI	L.urb./L.ind.	16.52
17	14.84	Limeira	Jaguari	C.PPI	C.Urb.	16.78
18	0.06	Citrosuco S/A Ind. Com.	Jaguari	C.PPI	L. ind.	16.78
Res.2	36	Res. Cachoeira	Cachoeira	C.ATI	Res. C. urb.	3
Res.3	0	Res. Atibaína	Atibaína	C.ATI	Reservatório	3
19	0.08	Nazaré Paulista	Atibaína	C.ATI	L.urb.	3.02
20	0.02	Piracaia	Atibaína	C.ATI	L.urb.	5.44
21	21.8	Bom Jesus dos Perdões	Atibaína	C.ATI	L.urb/ L.ind	4.78
22	6.1	Foz do rio Cachoeira	Atibaína	C.ATI	União	
23	13.3	Atibaia	Atibaia	C.ATI	C. urb.	6.76
24	6.65	Atibaia	Atibaia	C.ATI	L. urb./ L.ind.	7.06
25	22.78	Jarinu	Atibaia	C.ATI	L. urb.	9.14
26	20.2	Jundiá	Atibaia	C.ITA	C. urb	10.78
27	10.89	Itatiba	Atibaia	C.ITA	C. urb	11.78
28	1.85	Itatiba	Atibaia	C.ITA	L. urb./ L.ind.	11.84
29	27.82	Valinhos/Vinhedo/ Campinas	Atibaia	C.ITA	L. urb./ L.ind.	12.66
30	2.07	Campinas	Atibaia	C.ITA	C. urb.	12.72
31	48.78	Campinas	Atibaia	C.ITA	L.urb./L.ind.	14.14
32	0.41	Rodhia Ind. Química	Atibaia	C.ITA	L.ind.	14.16
33	1.42	Bann Química	Atibaia	C.ITA	L.ind.	14.16
34	2.19	Replan Refin. do Planalto	Atibaia	C.ITA	L.ind.	14.24
35	6.94	Paulínia	Atibaia	C.ITA	L.urb.	14.44
36	0.2	J. Bresler S/A Ind. Papel	Atibaia	C.ITA	L. ind.	14.46

37	1.5	Sumaré	Atibaia	C.ITA	C.Urb.	14.48
38	0	Foz do rio Corumbataí	Corumbataí	C.PIR	União	8.96
39	1.29	Salusa S/A - (Ex Pirapel)	Corumbataí	C.PIR	L. ind.	8.92
40	6.5	Usina Costa Pinto	Corumbataí	C.PIR	L. ind.	8.64
41	1.69	Piracicaba	Corumbataí	C.PIR	C. urb.	8.56
42	19.41	Charqueada/Parai solândia	Corumbataí	C.COR	L. urb.	8.18
43	5.46	Ipeuna	Corumbataí	C.COR	L. urb.	7.76
44	20.55	Santa Gertrudes/ Rio Claro	Corumbataí	C.COR	L. urb./ L.ind.	2.66
45	33.79	Rio Claro	Corumbataí	C.COR	C. urb.	1.78
46	14.07	Análândia	Corumbataí	C.COR	C.urb./L.ind.	1.28
47	19.46	Corumbataí	Corumbataí	C.COR	L.urb.	0.9
48	0	Rio Atibaia + Rio Jaguari	Piracicaba	C.TQU	União	33.5
49	1.1	Tecidos Tatuape S/A	Piracicaba	C.TQU	L. ind.	33.58
50	5.48	Americana	Piracicaba	C.TQU	C. Urb.	33.94
51	1.27	Sumaré/Americ./C amp./N.Odessá	Piracicaba	C.TQU	L.urb./L.ind.	34.02
52	0.01	Ripasa S/A	Piracicaba	C.TQU	L.ind.	34.02
53	2.19	Fiação Braz Rayon S/A	Piracicaba	C.TQU	L.ind.	34.24
54	3.04	Limeira/Cordeirópolis	Piracicaba	C.TQU	L.urb./L.ind./ C.urb	34.44
55	11.73	St. Barbará D'Oeste	Piracicaba	C.TQU	L.urb/ L.ind	35.34
56	4.12	Miori S/A	Piracicaba	C.TQU	L. ind.	35.66
57	7.41	Reinaldo Jose Malavazzi	Piracicaba	C.TQU	L.ind.	36.28
58	2.5	Rio das Pedras	Piracicaba	C.PIR	L. urb./ L.ind.	36.42
59	9.6	Iracemópolis	Piracicaba	C.PIR	L. urb./ L.ind.	37.18
60	3.02	Papel Piracicaba (Sima)	Piracicaba	C.PIR	L. ind.	37.4
61	5.48	Piracicaba	Piracicaba	C.PIR	L.urb./L.ind.	37.84
62	1.15	Piracicaba	Piracicaba	C.PIR	C. urb.	37.98
38	7.53	Foz do rio Corumbataí	Piracicaba	C.BBO	União	47.46
63	33.65	Águas de São Pedro	Piracicaba	C.BBO	L. urb.	50.5
64	4.55	São Pedro	Piracicaba	C.BBO	L. urb.	50.9
65	52.04	St Maria da Serra	Piracicaba	C.BBO	L. urb./ L.ind.	55.62
66	22.68	Foz do Rio Piracicaba	Piracicaba	C.BBO	Limite da bacia	57.99

TABELA 26 – Tabela relacionando os pontos de captação de água e lançamentos de efluentes na bacia do rio Piracicaba

No processo de teste para as simulações com o ModsimP32 na bacia do Piracicaba, utilizou-se como vazão afluente de cada compartimento ambiental, a vazão média mensal dos postos fluviométricos existentes ao final de cada compartimento, menos a vazão média do mesmo mês, do posto a montante desse compartimento. Dessa forma, a vazão afluente de cada nó na rede de fluxo, coincide com a vazão de contribuição da área contida entre os nós da rede de fluxo.

Quanto às demandas, foram utilizados os dados para o ano de 1990, apresentados no Anexo A.

Na TABELA 26.1 estão relacionados os postos fluviométricos correspondente ao nó da rede de fluxo.

Nó da rede de fluxo	Posto fluviométrico correspondente	Postos relacionados ao nó da rede
Nó 1 – R. J-J	P1 – R. Jaguari-Jacaré	P1
Nó 2 – R. Cach.	P2 – R. Cachoeira	P2
Nó 3 – R. Ati..	P3 – R. Atibainha	P3
Nó 7 – C.ATI	P4 – Posto 3D-006	P4
Nó 6 – Pass 1	P5 – Posto 3D-009	P5
Nó 8 – C.ITA	P6 – Posto 3D-003	P6 – P4
Nó 11 – CAMJA	P7 – Posto 3D-001	P7
Nó 9 – C.PAN	P8 – Posto 4D-009	P8 – P6
Nó 12 – Pass3	P9 – Posto 4D-001	P9 – (P7 + P5)
Nó 13 – Piracicaba	P10 – Piracicaba/CESP	P10 – (P8 + P9)
Nó 15 – C.COR	P11 – Posto 4D-021	P11
Nó 16 – C.BBO	P12 – Posto 4D-007	P12 – (P10 + P11)

TABELA 26.1 – Relação dos postos fluviométricos com os respectivos nós da rede de fluxo, e a relação entre eles para determinar os dados de entrada das vazões afluentes nos nós da rede de fluxo.

Para melhor visualizar a localização dos postos fluviométricos em relação a rede de fluxo, apresentam-se a seguir as FIGURAS 28 e 29 .

A simulação realizada para testar o modelo na bacia do Piracicaba demonstrou que as demandas para o ano de 1990 foram supridas integralmente e as vazões mínimas nos vários trechos do rio foram semelhantes com os valores observados no estudo realizados pela CETESB e o DAEE apud SMA-SP (1994).

Com relação aos reservatórios, estipulou-se uma prioridade igual a 99, sendo menor do que a prioridade para as demandas. Estipulou-se também que a vazão liberada total do Sistema Cantareira para o interior da bacia foi de 4 m³/s, sendo 1 m³/s liberado pelo Reservatório Jaguari-Jacareí, 2 m³/s liberado pelo Reservatório Cachoeira e 1 m³/s liberado pelo Reservatório Atibainha, considerou-se que os reservatórios iniciaram as simulações com 100% da capacidade máxima e que o volume meta (volume desejado) foi de 50% do volume máximo.

Vale lembrar que o modelo ModsimP32 considera as prioridades, de modo que um número menor representa uma alta prioridade e um número maior uma baixa prioridade.

Utilizando-se um ano médio de vazões, como dados de entrada para as vazões afluentes do sistema, constatou-se que é possível manter as vazões nos diversos trechos do rio de forma semelhante as vazões de referência determinadas no estudo realizado pelo CETESB e DAEE.

Com o objetivo de verificar como o sistema se comportaria durante um ano crítico, optou-se por simular este mesmo cenário de demandas, porém utilizando-se um ano seco como dados de entrada para as vazões afluentes do sistema. Dentro das séries históricas dos postos fluviométricos, verificou-se que o ano mais seco foi o ano de 1978.

Para isso, realizou-se a simulação considerando as vazões observadas no ano de 1978, como sendo as vazões afluentes do sistema e os mesmos valores de demandas do cenário anterior, ou seja, os valores do ano de 1990 (Anexo A).

Com relação aos reservatórios, estipulou-se uma prioridade igual a 99, sendo menor do que a prioridade para as demandas. Estipulou-se também que a vazão liberada total do Sistema Cantareira para o interior da bacia deveria ser variável, já que pretendia-se reproduzir as vazões mínimas de referência e ainda atender às demandas. Considerou-se que, nas simulações, os reservatórios iniciaram com 100% da capacidade máxima.

Neste cenário procurou-se atender às demandas e ainda manter as vazões de referência nas principais seções do rio. Para que esse objetivo fosse alcançado, faz-se necessária a utilização da água armazenada nos reservatórios do Sistema Cantareira.

Portanto, verificou-se que a variação nos reservatórios para o cenário de vazões críticas (Ano de 1978) foi maior, se comparada com a variação no volume dos reservatórios para o cenário de vazões médias (Ano Médio).

As FIGURAS 30, 30.1 e 30.2 ilustram as alterações de volume dos reservatórios Jaguari-Jacareí, Cachoeira e Atibainha, respectivamente, ao longo do período de simulação. Esses gráficos foram fornecidos pelo ModsimP32, como saída gráfica de resultados, para análise de comparação entre os dois cenários simulados, Ano Médio x Ano Seco (1978).

FIGURA 30 - Gráfico referente ao reservatório Jaguari-Jacaré.

FIGURA 30.1 - Gráfico referente ao reservatório Cachoeira.

FIGURA 30.2 – Gráfico referente ao reservatório Atibainha.

A TABELA 27 apresenta os valores de vazões observados nos principais trechos do rio, bem como os valores de vazões nos respectivos links da rede de fluxo, para os cenários do Ano Médio e do Ano Seco.

Ponto da bacia correspondente a TABELA 19	Link da rede de fluxo	Vazões de referência nos pontos da bacia (Estudo CETESB)	Vazões Mínimas nos nós da rede de fluxo - Ano Médio	Vazões Mínimas nos nós da rede de fluxo - Ano Seco
C.CAMJAG	Link 7	16.78	16.58	15.46
C.ITA	Link 12	14.48	14.91	14.92
C.PPISGR	Link 54	33.5	30.85	26.1
C.TQU	Link 57	36.78	26.68	25.72
C.PIR	Link13	37.98	38.08	38
C.COR	Link 15	8.56	7.89	5.06
C.BBO	Link 16	47.46	44.03	44.09
Limite da bacia	Link 51	58	53.25	46.72

TABELA 27 – Tabela relacionando os valores de vazões nos principais pontos da bacia e da rede de fluxo.

FIGURA 31 – Gráfico comparativo entre as vazões reais observadas na bacia x vazões simuladas na rede de fluxo.

A FIGURA 31 refere-se aos dados apresentados na TABELA 27.

A seguir são apresentados, através das FIGURAS 32 e 33, os resultados gráficos fornecidos pelo ModsimP32, referentes às vazões nos principais links da rede de fluxo, Paulínea e Piracicaba, para o cenário referente ao Ano Médio.

Com relação ao cenário do Ano Seco, foi necessário criar as demandas ecológicas para a região de Paulínea e Piracicaba, forçando o modelo a liberar essas vazões dos reservatórios.

FIGURA 32 – Gráfico de vazões do link 60 correspondente, à região de Paulínea.

FIGURA 33 – Gráfico de vazões nos links 13 e 16, correspondente às regiões a montante e a jusante de Piracicaba.

No link 57, trecho referente ao compartimento Tatu/Quilombo (C.TQU), ocorreu a maior diferença entre a vazão simulada e a observada, pois não foram consideradas as vazões afluentes nesse trecho, porque o posto 4D-010, correspondente ao C.TQU, foi desprezado devido a irregularidade de seus dados. No link seguinte, entretanto, foram consideradas as vazões afluentes de toda a área referente aos compartimentos ambientais C.TQU e C.PIR e, portanto, a vazão simulada neste link correspondeu a vazão observada no estudo da SMA-SP.

4.3.2 ARQUIVOS DE SIMULAÇÃO

Várias simulações com o ModsimP32 foram realizadas, com o objetivo de obter resultados a partir de cenários bem elaborados.

A seguir são apresentados os resultados dos arquivos simulados, tendo sido fixada a rede de fluxo, definida pela FIGURA 13 (página 63).

Na TABELA 28, são definidos os cenários ou arquivos de simulação, bem como os dados de entrada e o tipo de simulação realizada em cada um desses cenários.

Arquivos das simulações	Demandas Utilizadas	Séries de vazões utilizadas	Tipo de simulação, definido através do ModsimP32
AS-2000	Ano 2000	Ano médio	Simulação Contínua
AS-2010	Ano 2010	Ano médio	Simulação Contínua
AS1	Ano 2000	Série histórica (21 anos)	Simulação Contínua
AS2	Ano 2010	Série histórica (21 anos)	Simulação Contínua
AS3	Ano 2000	Série Sintética (100 anos)	Simulação Contínua
AS4	Ano 2010	Série Sintética (100 anos)	Simulação Contínua
AS1-PT	Ano 2000	Série histórica (21 anos)	Planejamento Tático
AS2-PT	Ano 2010	Série histórica (21 anos)	Planejamento Tático
AS3-PT	Ano 2000	Série sintética (100 anos)	Planejamento Tático
AS4-PT	Ano 2010	Série sintética (100 anos)	Planejamento Tático

TABELA 28 – Descrição dos arquivos de simulação.

- Arquivo de Simulação AS-2000:

Nas simulações realizadas utilizando-se como vazões afluentes, um ano de vazões mensais médias, as demandas estimadas para o ano 2000 e sendo o volume inicial dos reservatórios igual a 50% da capacidade máxima, constatou-se que:

Com as limitações das vazões liberadas do Sistema Cantareira iguais a $1 \text{ m}^3/\text{s}$ para o R1-J-J, $2 \text{ m}^3/\text{s}$ para o R2-Cach. e $1 \text{ m}^3/\text{s}$ para o R3-Ati., lançados ao curso d'água, observou-se que não é possível manter a vazão no rio igual a $15 \text{ m}^3/\text{s}$ na região de Paulínea, conforme estabelece a SMA-SP, sem comprometer o abastecimento das diversas demandas (abastecimento urbano, irrigação e industrial) dos compartimentos ambientais Itatiba e Pinheiros/Anhumas (C.ITA e C.PAN.).

A FIGURA 34 ilustra as relações de compromisso entre o atendimento das demandas nos compartimentos C.PAN e C.ITA e a vazão mínima do rio na região de Paulínea.

FIGURA 34 – Curva “Trade-off” de demandas alocadas C.PAN + C.ITA x Q Paulínea (AS-2000).

Se não forem limitadas as vazões liberadas dos reservatórios do Sistema Cantareira, será possível atender a todas as demandas integralmente e ainda manter-se as vazões em Paulínea e Piracicaba iguais a 15 e 40 m³/s, respectivamente. Para que isso ocorra, a vazão liberada total do Sistema Cantareira deverá ser de 39.38 m³/s, já incluída a reversão de 31.00 m³/s para São Paulo. Esses valores foram obtidos através das simulações realizadas com o modelo ModsimP32.

A FIGURA 35 ilustra as relações de compromisso entre a vazão liberada total do Sistema Cantareira e o total do volume mínimo armazenado pelos reservatórios do Sistema Cantareira que estão dentro dos limites da bacia do Piracicaba.

FIGURA 35 – Curva “Trade-off” de vazões liberadas do S.C. x volume total do S.C (AS-2000).

Vale lembrar que do valor total da vazão liberada do Sistema Cantareira, 31 m³/s são revertidos para a cidade de São Paulo e o restante é liberado ao curso d’água. Quanto aos volumes dos reservatórios, constatou-se que o volume do R2-Cach. e R3-Ati. atingiram o volume mínimo ao final das simulações, ou seja, 41.10 e 150.50 Mm³, respectivamente, e apenas o R1-J-J não atingiu o volume mínimo. Portanto subtraindo-se do volume total do Sistema Cantareira, os volumes mínimos dos reservatórios R2 e R3, representados na Figura 35, ter-se-á o volume alcançado pelo R1.

Segundo informações de funcionários da Usina Hidrelétrica de Americana, de responsabilidade da CPFL, existe um acordo extra-oficial entre a CPFL e a CETESB, de que a UHE Americana pode liberar a vazão de $7 \text{ m}^3/\text{s}$. Se por ventura a UHE Americana receber uma vazão inferior a $7 \text{ m}^3/\text{s}$, as operações são paralisadas e a usina passa a liberar a vazão que estaria recebendo. Isto porque a cota máxima da UHE Americana é de 501,00m e a cota operacional é de 500,28 m. Segundo os funcionários da usina, a UHE Americana não pode operar em cota inferior a cota operacional, sem que ocorram danos aos equipamentos da usina hidrelétrica.

Portanto se for fixada a vazão liberada da UHE Americana igual a $7 \text{ m}^3/\text{s}$, não é possível garantir a vazão do rio na região de Piracicaba igual a $40 \text{ m}^3/\text{s}$, em todos os meses do ano. No período seco, a UHE Americana tende a armazenar água e, com isso compromete a vazão do rio na região de Piracicaba.

A FIGURA 36 ilustra as relações de compromisso entre a vazão liberada da usina hidrelétrica de Americana e a vazão do rio na região de Piracicaba, a montante da confluência entre os rios Piracicaba e Corumbataí.

FIGURA 36 – Curva “Trade-off” de vazão liberada da UHE Americana x Q mínima Piracicaba (AS-2000)

- Arquivos Simulação AS-2010:

Submetendo-se a rede de fluxo às mesmas condições estabelecidas para o planejamento anterior (AS-2000), considerando como vazões afluentes apenas um ano com vazões mensais médias, para realização de um planejamento a curto prazo, e apenas alterando o valor das demandas para os valores estimados para o ano de 2010.

Limitando as vazões liberadas do Sistema Cantareira em $R1-J-J = 1 \text{ m}^3/\text{s}$, $R2\text{-Cach.} = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ e $R3 - \text{Ati.} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ para a bacia, observou-se que não é possível manter $15 \text{ m}^3/\text{s}$ na região de Paulínea, sem comprometer as diversas demandas dos compartimentos ambientais C.ITA e C. PAN.

A FIGURA 37 ilustra as relações de compromisso entre o atendimento das demandas nos compartimentos C.PAN e C.ITA e a vazão mínima do rio na região de Paulínea, para o arquivo de simulação AS-2010.

FIGURA 37 – Curva “Trade-off” de demandas alocadas C.PAN + C.IT Paulínea (AS-2010).

Se não forem limitadas as vazões liberadas dos reservatórios do Sistema Cantareira e procurando atender a todas as demandas integralmente e, ainda, mantendo as vazões em Paulínea e Piracicaba iguais a 15 e 40 m³/s, respectivamente, seria necessário que o Sistema Cantareira liberasse 39.38 m³/s.

A FIGURA 38 ilustra as relações de compromisso entre a vazão liberada total do Sistema Cantareira e o total do volume mínimo armazenado pelos reservatórios do Sistema Cantareira que estão dentro dos limites da bacia do Piracicaba, para o arquivo de simulação AS-2010.

FIGURA 38 – Curva “Trade-off” de vazões liberadas do S.C. x volume total do S.C (AS-2010).

Comparando-se os gráficos da Figura 35 com a Figura 38, nota-se que o volume mínimo armazenado pelo Sistema Cantareira diminuiu, isso se deu pelo aumento no valor das demandas, ou seja, mesmo em períodos chuvosos o volume armazenado foi menor, porque os valores das demandas do ano 2010 são maiores que os valores das demandas do ano 2000. Considerou-se que não houve aumento no valor da reversão para RMSP, mantendo-se os 31 m³/s para São Paulo, e o restante liberando para o curso d’água. Quanto aos volumes dos reservatórios, constatou-se que os volumes do R2-Cach. e R3-Ati. atingiram os respectivos volumes mínimos ao final das simulações, ou seja, 41,10 e 150,50 Mm³, respectivamente, e apenas o R1-J-J não atingiu o volume mínimo. Portanto se for subtraído os volumes mínimos dos reservatórios R2 e R3, do volume total do Sistema Cantareira, representado na Figura 38, ter-se-á o volume alcançado pelo R1.

Com os mesmos critérios de prioridades das simulações anteriores, do arquivo AS2000, se for fixada a vazão no link de saída da UHE Americana igual a 7 m^3/s , não poderá ser garantida a vazão de 40 m^3/s , na região de Piracicaba.

A FIGURA 39 ilustra as relações de compromisso entre a vazão liberada da usina hidrelétrica de Americana e a vazão do rio na região de Piracicaba, a montante da confluência entre os rios Piracicaba e Corumbataí, para o arquivo de simulação AS-2010.

FIGURA 39 – Curva “Trade-off” de vazão liberada da UHE Americana x Q mínima Piracicaba (AS-2010).

- **Arquivos de Simulação com Séries de Vazões:**

Nos arquivos de simulação do tipo AS1, AS2, AS3 e AS4 o período de dados hidrológicos é longo, visto que são consideradas as séries históricas e as séries sintéticas. Portanto, nesses arquivos, optou-se por não definir curvas de “trade-off”, pois os resultados encontrados dizem respeito a toda a série considerada, ou seja, compreende o período chuvoso e o período seco de vários anos. Nesses casos, os resultados foram analisados sob o ponto de vista da probabilidade de se atender determinada demanda em relação ao período da série considerada e, posteriormente foram comparadas as vazões nos principais pontos da bacia do rio Piracicaba.

Na TABELA 29, apresentam-se os resultados dos arquivos de simulação de forma resumida e, posteriormente, são apresentados comentários detalhados sobre cada arquivo isoladamente.

Alternativas das Simulações	Dados de Entrada	Liberação do SC para interior da bacia (Min,Máx) (m³/s)	Volume Mínimo dos reservat. Sistema Cantareira Mm³	Percentual do tempo em que o volume dos reservat. = Vmáx(%)	Demandas não supridas integralmente (m³/s)	Alocação Média e Mínima em Paulínea (m³/s)	Percentual do tempo em que a alocação em Paulínea ≥ 15,00 m³/s (%)	Alocação Média e Mínima em Piracicaba, a montante da confluência com o rio Corumbataí (m³/s)	Percentual do tempo em que a alocação em Piracicaba, a montante da confluência com o rio Corumbataí ≥ 40,00 m³/s (%)	Alocação Média e Mínima em Piracicaba, a jusante da confluência com o rio Corumbataí (m³/s)	Percentual do tempo em que a alocação em Piracicaba, a jusante da confluência com o rio Corumbataí ≥ 40,00 m³/s (%)
AS1-1	Demandas 2000 Séries Históricas	R1(1,1) R2(2,2) R3(1,1)	R1=768,50 R2=98,40 R3=221,12	R1=39,29 R2=32,19 R3=91,27	In PAN - Média=3,86 Mínima=1,40	Média=28,35 Mínima=0,00	67,46	Média=105,13 Mínima=10,49	80,56	Média=166,19 Mínima=17,73	97,62
AS1-2	Demandas 2000 Séries Históricas	R1(1,1) R2(2,5) R3(1,5)	R1=709,88 R2=41,10 R3=150,50	R1=34,92 R2=18,25 R3=78,97	Todas as demandas foram supridas integralmente	Média=31,72 Mínima=4,54	88,89	Média=108,51 Mínima=15,97	88,10	Média=131,87 Mínima=19,84	94,40
AS1-3	Demandas 2000 Séries Históricas	R1(1,1) R2(2,10) R3(1,10)	R1=525,50 R2=41,10 R3=150,50	R1=21,83 R2=7,54 R3=63,49	Todas as demandas foram supridas integralmente	Média=34,64 Mínima=14,94	100,00	Média=111,43 Mínima=26,37	94,44	Média=134,80 Mínima=30,24	97,62
AS2-1	Demandas 2010 Séries Históricas	R1(1,1) R2(2,5) R3(1,5)	R1=655,01 R2=41,10 R3=150,50	R1=23,81 R2=19,44 R3=67,46	Todas as demandas foram supridas integralmente	Média=28,40 Mínima=0,53	77,78	Média=103,33 Mínima=8,66	81,75	Média=126,32 Mínima=12,05	89,29
AS2-2	Demandas 2010 Séries Históricas	R1(1,1) R2(2,9) R3(1,9)	R1=322,07 R2=41,10 R3=150,50	R1=16,27 R2=13,89 R3=51,59	Todas as demandas foram supridas integralmente	Média=30,79 Mínima=8,53	96,03	Média=105,90 Mínima=16,43	89,68	Média=128,89 Mínima=19,82	94,05
AS3-1	Demandas 2000 Séries Sintéticas	R1(1,1) R2(2,5) R3(1,5)	R1=243,00 R2=41,10 R3=150,50	R1=21,83 R2=17,75 R3=60,58	Todas as demandas foram supridas integralmente	Média=22,56 Mínima=2,29	80,25	Média=81,63 Mínima=1,46	84,00	Média=91,72 Mínima=5,91	88,75
AS4-1	Demandas 2010 Séries Sintéticas	R1(1,1) R2(2,5) R3(1,5)	R1=243,00 R2=41,10 R3=150,51	R1=18,25 R2=15,08 R3=55,75	RMSP - Média=30,84 Mínima=13,22 31,00m³/s em 99,42%	Média=19,37 Mínima=0,00	66,00	Média=75,91 Mínima=0,00	77,83	Média=85,13 Mínima=3,96	83,42

TABELA29 - Tabela contendo os resultados dos arquivos de simulação.

- **Arquivos de Simulação do tipo AS1-1:**

No arquivo de simulação AS1-1, tem-se como dados de entrada, as séries históricas do vários postos fluviométricos encontrados na bacia. Observou-se que o período comum entre todos os postos, compreende os anos de 1973 a 1993, totalizando 21 anos de dados observados. As demandas consideradas nesse arquivo foram as demandas estimadas para o ano 2000 e o mesmo esquema da rede de fluxo (página 59) foi utilizado. A opção de simulação utilizada foi a Simulação Contínua.

Quando o Sistema Cantareira está liberando a vazão igual ao estudo da SMA de 1994, ou seja, 1 m³/s através do Reservatório Jaguari-Jacareí, 1 m³/s pelo R. Cachoeira e 2 m³/s pelo R. Atibainha., para abastecer as demandas para o ano 2000, observa-se que o sistema supre as demandas, exceto a demanda industrial do compartimento ambiental Pinheiros/Anhumas (In.PAN), que atingiu a alocação mínima de 1,40 m³/s, e alcançou a alocação necessária de 3,87 m³/s em 99,60% do tempo, como mostra a FIGURA 40.

A vazão em Paulínea chega a zero nos períodos mais secos da série analisada e atinge a vazão igual ou superior a 15,00 m³/s em 67,46 % do tempo, como mostra a FIGURA 41.

Na região de Piracicaba, a montante da confluência entre os rios Piracicaba e Corumbataí, a vazão chega a 10,49 m³/s em 100% do tempo, quando deveria atingir 40,00 m³/s, mas esse valor é alcançado em 80,56 % do tempo. Na região a jusante dessa confluência a vazão mínima observada, nos resultados de simulação foi de 17,73 m³/s e a vazão igual ou superior a 40,00 m³/s foi alcançada em 97,62 % do tempo, como demonstra o gráfico da FIGURA 42. Dessa forma torna-se necessária

uma liberação maior do Sistema Cantareira para melhorar as vazões do curso d'água, principalmente nos meses mais secos.

FIGURA 40 - Curva de Probabilidade referente a demanda industrial do compartimento ambiental Pinheiros/Anhumas (AS1-1)

FIGURA 41 - Curva de Probabilidade referente às vazões do rio na região de Paulínea (AS1-1)

FIGURA 42 - Curva de Probabilidade referente às vazões do rio na região de Piracicaba, a montante e a jusante da confluência entre os rios (AS1-1)

A FIGURA 41, ilustra a saída gráfica de resultados do ModsimP32, que relaciona a probabilidade da vazão no link da rede de fluxo, correspondente ao trecho do rio na região de Paulínea, ser atendida em função do tempo. A FIGURA 42 corresponde a região de Piracicaba em seção a montante e a jusante da confluência entre os rios, para o arquivo AS1-1.

As FIGURAS 43, 44 e 45, representam as variações dos volumes armazenados pelos reservatórios Jaguari-Jacareí, Cachoeira e Atibainha, respectivamente. O eixo das ordenadas refere-se ao tempo, o número antes do ponto refere-se ao mês e o número depois do ponto, refere-se ao ano. Por exemplo, o número 03.87 determina o mês de março do ano de 1987.

FIGURA 43 - Variação de volume do Reservatório Jaguari-Jacareí (arquivo AS1-1).

FIGURA 44 - Variação de volume do Reservatório Cachoeira (arquivo AS1-1).

FIGURA 45 - Variação de volume do Reservatório Atibainha (arquivo AS1-1).

- **Arquivos de Simulação AS1-2:**

No arquivo de simulação AS1-2, tem-se como dados de entrada e tipo de simulação, os mesmos do arquivo AS1-1. Apenas as vazões liberadas dos reservatórios do Sistema Cantareira são diferentes.

Nesse arquivo, o Sistema Cantareira está liberando a vazão de 1 m³/s através do Reservatório Jaguari-Jacareí, o R. Cachoeira libera a vazão que pode variar entre 2 e 5 m³/s, e o R. Atibainha libera a vazão que pode variar entre 1 e 5 m³/s.

Observa-se que o sistema supre todas as demandas integralmente. A vazão em Paulínea chega a 4,54 m³/s nos períodos mais secos da série analisada e atinge a vazão igual ou superior a 15,00 m³/s em 88,89 % do tempo, como mostra a FIGURA 46.

Na região de Piracicaba, a montante da confluência entre os rios Piracicaba e Corumbataí, a vazão chega a 15,97 m³/s em 100% do tempo, quando deveria atingir 40,00 m³/s, mas esse valor é alcançado em 88,10 % do tempo. Na região a jusante dessa confluência a vazão mínima observada, nos resultados de simulação foi de 19,84 m³/s e a vazão igual ou superior a 40,00 m³/s foi alcançada em 94,40 % do tempo, como demonstra o gráfico da FIGURA 47.

Esse arquivo de simulação, permite que as vazões liberadas do Sistema Cantareira sejam maiores, se comparadas com o arquivo AS1-1. Dessa forma as vazões no curso d'água, no interior da bacia, são mais satisfatórias, mas por outro lado, os volumes dos reservatórios foram menores se comparados com o arquivo AS1-1.

FIGURA 46 - Curva de Probabilidade referente as vazões do rio na região de Paulínea (AS1-2)

FIGURA 47 - Curva de Probabilidade referente as vazões do rio na região de Piracicaba, a montante e a jusante da confluência entre os rios (AS1-2).

As FIGURAS 46 e 47, ilustram a saída gráfica de resultados do ModsimP32 para o arquivo AS1-2. A FIGURA 46 relaciona a probabilidade da vazão no link da rede de fluxo, correspondente a região de Paulínea, ser atendida em função do tempo. A FIGURA 47 corresponde a região de Piracicaba em seção a montante e a jusante da confluência entre os rios.

As FIGURAS 48, 49 e 50 representam as variações dos volumes armazenados pelos reservatórios Jaguari-Jacareí, Cachoeira e Atibainha, respectivamente.

FIGURA 48 - Variação de volume do Reservatório Jaguari-Jacareí (arquivo AS1-2).

FIGURA 49 - Variação de volume do Reservatório Cachoeira (arquivo AS1-2).

FIGURA 50 - Variação de volume do Reservatório Atibainha (arquivo AS1-2).

- **Arquivos de Simulação do tipo AS1-3:**

No arquivo de simulação AS1-3, tem-se como dados de entrada e tipo de simulação, os mesmos dos arquivos AS1-1 e AS1-2. Apenas as vazões liberadas dos reservatórios do Sistema Cantareira são diferentes.

Nesse arquivo, o Sistema Cantareira está liberando a vazão de 1 m³/s através do Reservatório Jaguari-Jacareí, o R. Cachoeira libera a vazão que pode variar entre 2 e 10 m³/s, e o R. Atibainha libera a vazão que pode variar entre 1 e 10 m³/s, enquanto que nos arquivos anteriores, AS1-1 e AS1-2, as vazões liberadas eram menores.

Observa-se que o sistema supre todas as demandas integralmente. A vazão em Paulínea atinge 14,94 m³/s em 100 % do tempo, como mostra a FIGURA 51.

Na região de Piracicaba, em seção a montante da confluência entre os rios Piracicaba e Corumbataí, a vazão chega a 26,37 m³/s em 100% do tempo, e atinge a vazão maior ou igual a 40,00 m³/s em 94,44 % do tempo. Na seção a jusante dessa confluência a vazão mínima observada, nos resultados de simulação foi de 30,24 m³/s e a vazão igual ou superior a 40,00 m³/s foi alcançada em 97,62 % do tempo, como demonstra o gráfico da FIGURA 52.

Esse arquivo de simulação, permite que as vazões liberadas do Sistema Cantareira sejam maiores, se comparadas com o arquivo AS1-2. Dessa forma as vazões no curso d'água, no interior da bacia, são mais satisfatórias, mas por outro lado o volume dos reservatórios foram menores, se comparados com o arquivo AS1-2.

FIGURA 51 - Curva de Probabilidade referente as vazões do rio na região de Paulínea (ASI-3)

FIGURA 52 - Curva de Probabilidade referente as vazões do rio na região de Piracicaba, a montante e a jusante da confluência entre os rios (ASI-3).

As FIGURAS 51 e 52, ilustram a saída gráfica de resultados do ModsimP32 para o arquivo de simulação AS1-3, que relaciona a probabilidade da vazão no trecho do rio na região de Paulínea e a FIGURA 52 corresponde a região de Piracicaba em seção a montante e a jusante da confluência entre os rios, em função do tempo total de simulação.

As FIGURAS 53, 54 e 55 representam as variações dos volumes armazenados pelos reservatórios Jaguari-Jacareí, Cachoeira e Atibainha, respectivamente.

FIGURA 53 - Variação de volume do Reservatório Jaguari-Jacareí (arquivo AS1-3).

FIGURA 54 - Variação de volume do Reservatório Cachocira (arquivo AS1-3).

FIGURA 55 - Variação de volume do Reservatório Atibainha (arquivo AS1-3).

- **Arquivos de Simulação do tipo AS2-1:**

No arquivo de simulação AS2-1, tem-se como dados de entrada, as séries históricas do vários postos fluviométricos encontrados na bacia, porém as demandas consideradas nesse arquivo foram as demandas estimadas para o ano 2010. A opção de simulação utilizada foi a Simulação Contínua.

Nesse arquivo, o Sistema Cantareira está liberando a vazão de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ através do Reservatório Jaguari-Jacareí, o R. Cachoeira libera a vazão que pode variar entre $2 \text{ e } 5 \text{ m}^3/\text{s}$, e o R. Atibainha libera a vazão que pode variar entre $1 \text{ e } 5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Observa-se que o sistema supre todas as demandas integralmente. A vazão em Paulínea chega a $0,53 \text{ m}^3/\text{s}$ nos períodos mais secos da série analisada e atinge a vazão igual ou superior a $15,00 \text{ m}^3/\text{s}$ em $77,78 \%$ do tempo, como mostra a FIGURA 56.

Na região de Piracicaba, em seção montante da confluência entre os rios Piracicaba e Corumbataí, a vazão chega a $8,66 \text{ m}^3/\text{s}$ em 100% do tempo, quando deveria atingir $40,00 \text{ m}^3/\text{s}$, mas esse valor é alcançado em $81,75 \%$ do tempo. Na região a jusante dessa confluência a vazão mínima observada, nos resultados de simulação foi de $12,05 \text{ m}^3/\text{s}$ e a vazão igual ou superior a $40,00 \text{ m}^3/\text{s}$ foi alcançada em $89,29 \%$ do tempo, como demonstra o gráfico da FIGURA 57.

Como estão sendo analisados os atendimentos das demandas para o ano 2010, torna-se necessário uma liberação maior do Sistema Cantareira para aumentar as vazões no curso d'água.

FIGURA 56 - Curva de Probabilidade referente as vazões do rio na região de Paulínea (AS2-1)

FIGURA 57 - Curva de Probabilidade referente as vazões do rio na região de Piracicaba, a montante e a jusante da confluência entre os rios (AS2-1)

A FIGURA 56 relaciona a probabilidade da vazão no link da rede de fluxo, correspondente ao trecho do rio na região de Paulínea, ser atendida em função do tempo. A FIGURA 57 corresponde a região de Piracicaba em seção a montante e a jusante da confluência entre os rios.

As FIGURAS 58, 59 e 60, representam as variações dos volumes armazenados pelos reservatórios Jaguari-Jacareí, Cachoeira e Atibainha, respectivamente.

FIGURA 58 - Variação de volume do Reservatório Jaguari-Jacareí (arquivo AS2-1).

FIGURA 59 - Variação de volume do Reservatório Cachoeira (arquivo AS2-1).

FIGURA 60 - Variação de volume do Reservatório Atibainha (arquivo AS2-1).

- Arquivos de Simulação do tipo AS2-2:

No arquivo de simulação AS2-2, tem-se como dados de entrada e tipo de simulação, os mesmos dados do arquivo AS2-1. Apenas as vazões liberadas dos reservatórios do Sistema Cantareira são diferentes. Nesse arquivo, o Sistema Cantareira está liberando a vazão de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ através do Reservatório Jaguari-Jacareí, o R. Cachoeira libera a vazão que pode variar entre 2 e $9 \text{ m}^3/\text{s}$, e o R. Atibainha libera a vazão que pode variar entre 1 e $9 \text{ m}^3/\text{s}$. Observa-se que o sistema supre todas as demandas integralmente. A vazão em Paulínea chega a $8,53 \text{ m}^3/\text{s}$ nos períodos mais secos da série analisada e atinge a vazão igual ou superior a $15,00 \text{ m}^3/\text{s}$ em 96,03 % do tempo, como mostra a FIGURA 61. Na região de Piracicaba, a montante da confluência entre os rios Piracicaba e Corumbataí, a vazão chega a $16,43 \text{ m}^3/\text{s}$ em 100% do tempo, e atinge a vazão igual ou maior a $40,00 \text{ m}^3/\text{s}$ em 89,68 % do tempo. Na seção a jusante dessa confluência a vazão mínima observada, nos resultados de simulação foi de $19,82 \text{ m}^3/\text{s}$ e a vazão igual ou superior a $40,00 \text{ m}^3/\text{s}$ foi alcançada em 94,05 % do tempo, como demonstra o gráfico da FIGURA 62.

Esse arquivo de simulação, permite que as vazões liberadas do Sistema Cantareira sejam maiores, se comparados com o arquivo AS2-1, dessa forma as vazões no curso d'água no interior da bacia são mais satisfatórias, mas por outro lado o volume dos reservatórios foram menores.

Observa-se que, se as vazões liberadas do Sistema Cantareira ultrapassarem os limites determinados nesse arquivo e considerando-se as demandas estimadas para 2010, não é possível atender a reversão para a cidade de São Paulo de $31,00 \text{ m}^3/\text{s}$ em todos os anos da simulação.

FIGURA 61 - Curva de Probabilidade referente as vazões do rio na região de Paulínea (AS2-2)

FIGURA 62 - Curva de Probabilidade referente as vazões do rio na região de Piracicaba, a montante e a jusante da confluência entre os rios (AS2-2).

A FIGURA 61 relaciona a probabilidade da vazão no link da rede de fluxo, correspondente a região de Paulínea, ser atendida em função do tempo e A FIGURA 62 corresponde a região de Piracicaba, para o arquivo AS2-2.

As FIGURAS 63, 64 e 65, representam as variações dos volumes armazenados pelos reservatórios Jaguari-Jacareí, Cachoeira e Atibainha, respectivamente.

FIGURA 63 - Variação de volume do Reservatório Jaguari-Jacareí (arquivo AS2-2).

FIGURA 64 - Variação de volume do Reservatório Cachoeira (arquivo AS2-2).

FIGURA 65 - Variação de volume do Reservatório Atibainha (arquivo AS2-2).

- **Arquivos de Simulação do tipo AS3-1:**

No arquivo de simulação AS3-1, tem-se como dados de entrada, as séries sintéticas geradas para os vários postos fluviométricos encontrados na bacia. As demandas consideradas nesse arquivo foram as demandas para o ano 2000 e o mesmo esquema da rede de fluxo (página 59) foi utilizado. A opção de simulação utilizada foi a Simulação Contínua.

Nesse arquivo o Sistema Cantareira está liberando a vazão de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ através do Reservatório Jaguari-Jacareí, o R. Cachoeira libera a vazão que pode variar entre 2 e $5 \text{ m}^3/\text{s}$, e o R. Atibainha libera a vazão que pode variar entre 1 e $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Observa-se que o sistema supre todas as demandas integralmente.

A vazão em Paulínea chega a $2,29 \text{ m}^3/\text{s}$ nos períodos mais secos da série analisada e atinge a vazão igual ou superior a $15,00 \text{ m}^3/\text{s}$ em $80,25 \%$ do tempo, como mostra a FIGURA 66.

Na região de Piracicaba, em seção a montante da confluência entre os rios Piracicaba e Corumbataí, a vazão chega a $1,46 \text{ m}^3/\text{s}$ em 100% do tempo, quando deveria atingir $40,00 \text{ m}^3/\text{s}$, mas esse valor é alcançado em $84,00 \%$ do tempo. Na seção a jusante dessa confluência a vazão mínima observada, nos resultados de simulação foi de $5,91 \text{ m}^3/\text{s}$ e a vazão igual ou superior a $40,00 \text{ m}^3/\text{s}$ foi alcançada em $88,75 \%$ do tempo, como demonstra o gráfico da FIGURA 67.

FIGURA 66 - Curva de Probabilidade referente as vazões do rio na região de Paulínea (AS3-1)

FIGURA 67 - Curva de Probabilidade referente as vazões do rio na região de Piracicaba, a montante e a jusante da confluência entre os rios (AS3-1)

A FIGURA 66 , ilustra a saída gráfica de resultados do ModsimP32, que relaciona a probabilidade da vazão no link da rede de fluxo, correspondente ao trecho do rio na região de Paulínea, ser atendida em função do tempo, para o arquivo AS3-1, e a FIGURA 67 corresponde a região de Piracicaba em seção a montante e a jusante da confluência entre os rios.

As FIGURAS 68, 69 e 70, representam as variações dos volumes armazenados ao longo do tempo, pelos reservatórios Jaguari-Jacareí, Cachoeira e Atibainha, respectivamente.

FIGURA 68 - Variação de volume do Reservatório Jaguari-Jacareí (arquivo AS3-1).

FIGURA 69 - Variação de volume do Reservatório Cachoeira (arquivo AS3-1).

FIGURA 70 - Variação de volume do Reservatório Atibainha (arquivo AS3-1).

Para os arquivos de simulação, em que as vazões afluentes são as séries sintéticas, geradas com 100 anos de dados, observou-se que as vazões nos principais links ficaram bem abaixo, se comparadas aos arquivos de simulação, que consideram como vazões afluentes as séries observadas com 21 anos de dados. Isso se deu porque com a série mais longa os períodos críticos são mais severos e o sistema leva mais tempo para reabastecer os reservatórios. E também se verificou que quando a opção de simulação escolhida, é Simulação Contínua, a fração do volume inicial não interfere nos resultados, pois as séries são longas e o volume inicial dos reservatórios é amortecido ao longo do período de simulação.

No arquivo de simulação AS3-1, se aumentarmos as vazões liberadas do Sistema Cantareira, não é possível atender a reversão para a cidade de São Paulo de 31,00 m³/s.

- **Arquivos de Simulação do tipo AS4-1:**

No arquivo de simulação AS4-1, tem-se como dados de entrada, as séries sintéticas geradas para os vários postos fluviométricos encontrados na bacia. As demandas consideradas nesse arquivo foram as demandas para o ano 2010. A opção de simulação utilizada foi a Simulação Contínua.

Nesse arquivo, o Sistema Cantareira está liberando a vazão de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ através do Reservatório Jaguari-Jacareí, o R. Cachoeira libera a vazão que pode variar entre 2 e $5 \text{ m}^3/\text{s}$, e o R. Atibainha libera a vazão que pode variar entre 1 e $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Observa-se que o sistema supre as demandas integralmente, exceto a reversão para a cidade de São Paulo, que atingiu a alocação mínima de $13,22 \text{ m}^3/\text{s}$, e alcançou a alocação necessária de $31,00 \text{ m}^3/\text{s}$ em 99,42% do tempo, como mostra a FIGURA 71.

A vazão em Paulínea chega a $0,0 \text{ m}^3/\text{s}$ nos períodos mais secos da série analisada e atinge a vazão igual ou superior a $15,00 \text{ m}^3/\text{s}$ em apenas 66,00 % do tempo, como mostra a FIGURA 72.

Na região de Piracicaba, em seção a montante da confluência entre os rios Piracicaba e Corumbataí, a vazão chega a $0,00 \text{ m}^3/\text{s}$ em 100% do tempo, quando deveria atingir $40,00 \text{ m}^3/\text{s}$, mas esse valor é alcançado em 77,83 % do tempo. Na seção a jusante dessa confluência a vazão mínima observada, nos resultados de simulação foi de $3,96 \text{ m}^3/\text{s}$ e a vazão igual ou superior a $40,00 \text{ m}^3/\text{s}$ foi alcançada em 83,42 % do tempo, como demonstra o gráfico da FIGURA 73.

FIGURA 71 - Curva de Probabilidade referente a reversão para a cidade de São Paulo (AS4-1)

FIGURA 72 - Curva de Probabilidade referente as vazões do rio na região de Paulínea (AS4-1)

FIGURA 73 - Curva de Probabilidade referente as vazões do rio na região de Piracicaba, a montante e a jusante da confluência entre os rios (AS4-1).

A FIGURA 72 , ilustra a saída gráfica de resultados do ModsimP32, que relaciona a probabilidade da vazão no link da rede de fluxo, correspondente ao trecho do rio na região de Paulínea, ser atendida em função do tempo. A FIGURA 73 corresponde a região de Piracicaba em seção a montante e a jusante da confluência entre os rios.

As FIGURAS 74, 75 e 76, representam as variações dos volumes armazenados ao longo do tempo, pelos reservatórios Jaguari-Jacareí, Cachoeira e Atibainha, respectivamente.

FIGURA 74 - Variação de volume do Reservatório Jaguari-Jacareí (arquivo AS4-1).

FIGURA 75 - Variação de volume do Reservatório Cachoeira (arquivo AS4-1).

FIGURA 76 - Variação de volume do Reservatório Atibainha (arquivo AS4-1).

Da mesma forma como no arquivo de simulação AS3-1, também no arquivo AS4-1, se aumentarmos as vazões liberadas do Sistema Cantareira, não é possível atender a reversão para a cidade de São Paulo de 31,00 m³/s.

- **Análise e Comparação dos arquivos de Simulação:**

O ModsimP32 permite que sejam feitas comparações entre cenários que apresentem a mesma estrutura de rede de fluxo. Portanto, com o objetivo de extrair da melhor maneira os resultados do modelo, são apresentadas as análises e comparações entre os cenários AS1-2 x AS2-1 e também entre os cenários AS3-1 e AS4-1.

- **Análise e Comparação entre AS1-2 e AS2-1:**

O arquivo AS1-2 tem como dados de entrada as séries históricas e as demandas para o ano de 2000 e o arquivo AS2-1 tem como dados de entradas as séries históricas e as demandas para o ano de 2010. Portanto, o objetivo dessa comparação entre cenários é abordar o impacto no aumento das demandas do ano de 2000 para o ano de 2010, considerando para ambos os arquivos, a vazão liberadas do Sistema Cantareira, sendo igual a 1 m³/s através do Reservatório Jaguari-Jacareí, o R. Cachoeira liberando a vazão que pode variar entre 2 e 5 m³/s, e o R. Atibainha liberando a vazão que pode variar entre 1 e 5 m³/s.

Nos dois arquivos foram consideradas simulações do tipo Simulação Contínua e todas as demandas foram supridas integralmente, para ambos os arquivos,

Portanto no gráfico da FIGURA 77, procurou-se mostrar a variação da vazão no rio para a região de Paulínea, tendo aumentado o valor das demandas.

FIGURA 77 - Variação na vazão em Paulínea, em relação ao aumento nas demandas do ano de 2000 para o ano de 2010.

Portanto, conclui-se que com o aumento nas demandas do ano de 2000, para as demandas do ano de 2010, a vazão mínima na seção do rio em Paulínea, abaixou de 4,54 m³/s para 0,53 m³/s, e a vazão de 15,00 m³/s que tinha sido igual ou maior em 88,89% do tempo, abaixou para 77,78% do tempo.

No gráfico da FIGURA 78, procurou-se mostrar a variação da vazão no rio para a região de Piracicaba, a jusante da confluência entre os rios Piracicaba e Corumbataí.

FIGURA 78 - Variação na vazão em Piracicaba, a jusante da união dos rios, em relação ao aumento nas demandas do ano de 2000 para o ano de 2010.

Portanto, conclui-se que com o aumento nas demandas do ano de 2000, para as demandas do ano de 2010, a vazão mínima na seção do rio em Piracicaba, a jusante da união entre os rios, abaixou de $19,54 \text{ m}^3/\text{s}$ para $12,05 \text{ m}^3/\text{s}$, e a vazão de $40,00 \text{ m}^3/\text{s}$ que tinha sido igual ou maior em 94,40% do tempo, abaixou para 89,29% do tempo.

- Análise e Comparação entre AS3-1 e AS4-1:

O arquivo AS3-1 tem como dados de entrada, as séries sintéticas, as demandas para o ano de 2000 e o arquivo AS4-1 têm como dados de entradas as

séries sintéticas e as demandas para o ano de 2010. Portanto, da mesma forma como na comparação anterior, o objetivo é abordar o impacto no aumento das demandas do ano de 2000 para o ano de 2010, considerando-se as séries sintéticas de vazões. A vazão liberada do Sistema Cantareira é de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ através do Reservatório Jaguari-Jacareí, o R. Cachoeira libera a vazão que pode variar entre 2 e $5 \text{ m}^3/\text{s}$, e o R. Atibainha libera a vazão que pode variar entre 1 e $5 \text{ m}^3/\text{s}$, para ambos os arquivos.

Nos dois arquivos foram consideradas simulações do tipo Simulação Contínua e as demandas foram supridas integralmente no arquivo AS3-1, porém no arquivo AS4-1, houve um pequeno déficit na reversão para a cidade de São Paulo.

Portanto no gráfico da FIGURA 79, procurou-se mostrar a variação da vazão no rio para a região de Paulínea, tendo aumentado o valor das demandas.

FIGURA 79 - Variação na vazão em Paulínea, em relação ao aumento nas demandas do ano de 2000 para o ano de 2010.

Portanto, conclui-se que com o aumento nas demandas do ano de 2000, para as demandas do ano de 2010, a vazão mínima na seção do rio em Paulínea, abaixou de 2,29 m³/s para uma vazão nula, nos períodos mais críticos da série considerada (0,00 m³/s), e a vazão de 15,00 m³/s que tinha sido igual ou maior em 80,25% do tempo, abaixou para 66,00% do tempo.

No gráfico da FIGURA 80, procurou-se mostrar a variação da vazão no rio para a região de Piracicaba, a jusante da confluência entre os rios Piracicaba e Corumbataí.

FIGURA 80 - Variação na vazão do rio em Piracicaba, a jusante da união dos rios, em relação ao aumento nas demandas do ano de 2000 para o ano de 2010.

Portanto, conclui-se que com o aumento nas demandas do ano de 2000, para as demandas do ano de 2010, a vazão mínima na seção do rio em Piracicaba, a jusante da união entre os rios, abaixou de 5,91 m³/s para 3,96 m³/s, e a vazão maior

ou igual a $40,00 \text{ m}^3/\text{s}$ que tinha sido observada em 88,75% do tempo, abaixou para 83,42% do tempo.

- **Arquivos de Simulação usando a opção de Planejamento Tático:**

Os arquivos de simulação AS1-2, AS2-1, AS3-1 e AS4-1 também foram simulados com a opção de Planejamento Tático.

Vale lembrar que, na opção de Planejamento Tático deve ser fornecido o número de anos do horizonte de simulação (NH). O horizonte de simulação é o número de anos durante os quais pretende-se estudar o comportamento do sistema em análise. Neste tipo de simulação, o modelo efetua os cálculos partindo, no primeiro ano, com os volumes iniciais dos reservatórios fornecidos pelo usuário, o modelo efetua os cálculos seqüencialmente para NH anos. Por exemplo, se $NH=3$, o primeiro período simulado irá do ano 1 ao ano 3, o modelo vai realizando N rodadas até que toda a série tenha sido considerada, e posteriormente efetua uma análise estatística das N rodadas realizadas.

O objetivo das simulações utilizando a opção de Planejamento Tático, foi o de analisar o comportamento dos reservatórios que compõem o Sistema Cantareira. Foram realizadas várias simulações, para cada uma dessas simulações o volume inicial do reservatório apresentava um percentual da capacidade máxima dos reservatórios, esses percentuais foram de 60, 70, 80, 90 e 100% da capacidade máxima, e então foi analisada a probabilidade dos reservatórios apresentarem seus volumes acima de 50, 60, 70, 80, 90 e 100% da capacidade máxima, para cada simulação realizada.

- **Arquivos de Simulação do tipo AS1-2PT:**

O arquivo de simulação AS1-2PT apresenta os mesmos dados de entrada do arquivo AS1-2 (Demandas 2000 e Séries Históricas), a única diferença está na opção de simulação. No arquivo AS1-2PT a simulação utilizada é do tipo Planejamento Tático.

Os arquivos AS1-2 (Série Histórica e Demandas 2000) e AS2-1 (Série Histórica e Demandas 2010), foram escolhidos para também serem analisados sob a opção de planejamento tático porque o seus resultados pela opção de Simulação Contínua, apresentaram índices satisfatórios para o atendimento as demandas, o armazenamento dos reservatórios do Sistema Cantareira e as vazões observadas nas seções do rio para as regiões de Paulínea e Piracicaba, a montante e a jusante da confluência entre os rios. O arquivo AS1-2PT, teve o volume inicial variando entre 100 a 60% da capacidade máxima dos reservatórios, e tendo sido suprida todas as demandas integralmente, o volume total do Sistema Cantareira apresentou os resultados mostrados na TABELA 30 e FIGURA 81.

Probabilidades do Vfinal (volume do sistema ao final do primeiro ano)

Vini (%)	Vfinal>=50%	Vfinal>=60%	Vfinal>=70%	Vfinal>=80%	Vfinal>=90%	Vfinal=100%
		%	%	%	%	%
60	73.00	55.00	40.00	25.00	17.00	10.00
70	98.00	75.00	60.00	40.00	25.00	10.00
80	100.00	100.00	73.00	55.00	40.00	12.00
90	100.00	100.00	100.00	70.00	57.00	15.00
100	100.00	100.00	100.00	97.00	65.00	18.00

TABELA 30- Resultados pelo Planejamento Tático do arquivo AS1-2PT.

FIGURA 81- Gráfico do volume total do Sistema Cantareira do arquivo AS1-2PT.

No gráfico da FIGURA 81 são apresentadas as curvas que definem o volume final do Sistema Cantareira, relacionadas com a probabilidade e com o volume inicial dos reservatórios para as simulações.

A FIGURA 82 , ilustra a saída gráfica de resultados do ModsimP32 para a opção de Planejamento Tático, que relaciona a probabilidade da vazão no link da rede de fluxo, correspondente ao trecho do rio na região de Paulínea, ser atendida em função do tempo. A FIGURA 83 corresponde a região de Piracicaba em seção a jusante da confluência entre os rios.

FIGURA 82 – Resultados Gráficos para a seção do rio na região de Paulínea. (AS1-2PT).

FIGURA 83 – Resultados Gráficos para a seção do rio na região de Piracicaba, a jusante da confluência entre os rios. (AS1-2PT).

- **Arquivos de Simulação do tipo AS2-1PT:**

O arquivo de simulação AS2-1PT apresenta os mesmos dados de entrada do arquivo AS2-1 (Demandas 2010 e Séries Históricas), a única diferença está na opção de simulação. No arquivo AS2-1PT a simulação utilizada é do tipo Planejamento Tático.

Da mesma forma como o arquivo AS1-2PT, o arquivo AS2-1PT teve o volume inicial variando entre 100 a 60% da capacidade máxima dos reservatórios, e tendo sido suprida todas as demandas integralmente, o volume total do Sistema Cantareira apresentou os resultados apresentados na TABELA 31 e FIGURA 84.

Probabilidades do Vfinal (volume do sistema no final do primeiro ano)

Vini (%)	Vfinal>=50%	Vfinal>=60 %	Vfinal>=70 %	Vfinal>=80 %	Vfinal>=90 %	Vfinal=100 %
60	75.00	55.00	39.00	25.00	17.00	10.00
70	98.00	72.00	55.00	40.00	20.00	10.00
80	100.00	100.00	73.00	55.00	40.00	12.00
90	100.00	100.00	100.00	67.00	55.00	15.00
100	100.00	100.00	100.00	96.00	62.00	18.00

TABELA 31- Resultados pelo Planejamento Tático do arquivo AS2-1PT.

FIGURA 84- Gráfico do volume total do Sistema Cantareira do arquivo AS2-IPT..

A FIGURA 85 e FIGURA 86, ilustram a saída gráfica de resultados do ModsimP32 para a opção de Planejamento Tático. A FIGURA 85 corresponde a região de Paulínea, ser atendida em função do tempo. A FIGURA 86 corresponde a região de Piracicaba em seção a jusante da confluência entre os rios.

FIGURA 85 – Resultados Gráficos para a seção do rio na região de Paulínea. (AS2-1PT).

FIGURA 86 – Resultados Gráficos para a seção do rio na região de Piracicaba, a jusante da confluência entre os rios. (AS2-1PT).

- **Arquivos de Simulação do tipo AS3-1PT:**

O arquivo de simulação AS3-1PT apresenta os mesmos dados de entrada do arquivo AS3-1 (Demandas 2000 e Séries Sintéticas), a única diferença está na opção de simulação. No arquivo AS3-1PT a simulação utilizada é do tipo Planejamento Tático.

Da mesma forma como o arquivo AS1-2PT e AS2-1PT, o arquivo AS3-1PT teve o volume inicial variando entre 100 a 60% da capacidade máxima dos reservatórios, e tendo sido suprida todas as demandas integralmente, o volume total do Sistema Cantareira apresentou os resultados apresentados na TABELA 32 e FIGURA 87.

Probabilidades do Vfinal (volume do sistema no final do primeiro ano)

Vini (%)	Vf>=50%	Vf>=60%	Vf>=70%	Vf>=80%	Vf>=90%	Vf=100%
60	75.76	61.62	52.53	24.24	14.20	8.08
70	91.92	78.79	65.66	39.39	31.31	8.08
80	98.70	94.95	80.81	50.51	40.17	11.02
90	100.00	98.00	94.95	61.62	40.40	11.51
100	100.00	100.00	100.00	77.78	56.57	17.11

TABELA 32- Resultados pelo Planejamento Tático do arquivo AS3-1PT.

FIGURA 87- Gráfico do volume total do Sistema Cantareira do arquivo AS3-IPT..

A FIGURA 88 , ilustra a saída gráfica de resultados do ModsimP32 para a opção de Planejamento Tático, que relaciona a probabilidade da vazão no link da rede de fluxo, correspondente ao trecho do rio na região de Paulínea, ser atendida em função do tempo. A FIGURA 89 corresponde a região de Piracicaba em seção a jusante da confluência entre os rios.

FIGURA 88 – Resultados Gráficos para a seção do rio na região de Paulínea. (AS3-IPT).

FIGURA 89 – Resultados Gráficos para a seção do rio na região de Piracicaba, a jusante da confluência entre os rios. (AS3-IPT).

- **Arquivos de Simulação do tipo AS4-1PT:**

O arquivo de simulação AS4-1PT apresenta os mesmos dados de entrada do arquivo AS4-1 (Demandas 2010 e Séries Sintéticas), a única diferença está na opção de simulação. No arquivo AS4-1PT a simulação utilizada é do tipo Planejamento Tático.

Da mesma forma como nos arquivos anteriores com simulação do tipo Planejamento Tático, o arquivo AS4-1PT teve o volume inicial variando entre 100 a 60% da capacidade máxima dos reservatórios, e tendo sido suprida todas as demandas integralmente, o volume total do Sistema Cantareira apresentou os resultados apresentados na TABELA 33 e FIGURA 90.

Probabilidades do Vfinal (volume do sistema no final do primeiro ano)

Vini (%)	Vf>=50%	Vf>=60%	Vf>=70%	Vf>=80%	Vf>=90%	Vf=100%
60	70.71	59.60	50.51	21.21	14.14	6.06
70	87.88	75.76	62.63	37.37	23.23	6.06
80	97.00	93.94	79.80	49.49	38.38	11.11
90	100.00	98.00	94.95	61.62	44.44	14.14
100	100.00	100.00	98.99	76.77	51.52	14.14

TABELA 33- Resultados pelo Planejamento Tático do arquivo AS4-1PT.

FIGURA 90- Gráfico do volume total do Sistema Cantareira do arquivo AS4-IPT..

A FIGURA 91 e FIGURA 92, ilustram a saída gráfica de resultados do ModsimP32 para a opção de Planejamento Tático. A FIGURA 91 corresponde a região de Paulínea, ser atendida em função do tempo. A FIGURA 92 corresponde a região de Piracicaba em seção a jusante da confluência entre os rios.

FIGURA 91 – Resultados Gráficos para a seção do rio na região de Paulínea. (AS4-IPT).

FIGURA 92 – Resultados Gráficos para a seção do rio na região de Piracicaba, a jusante da confluência entre os rios. (AS4-IPT).

5 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi determinar a disponibilidade hídrica na bacia do rio Piracicaba, utilizando-se do modelo de simulação em rede de fluxo ModsimP32. Nesse estudo foram analisadas as demandas atuais e futuras. Os dados de vazões utilizados foram as séries históricas de vazões médias, composta de 21 anos de dados observados e também as séries sintéticas, com 100 anos de dados gerados, que correspondem ao período máximo admitido pelo ModsimP32.

Analisando sob o aspecto quantitativo, concluiu-se que a bacia do rio Piracicaba é altamente solicitada pelos diversos usuários de água, existentes na região. Visto que apresenta altos índices populacionais e de desenvolvimento industrial e agrícola, por ser uma das regiões mais desenvolvidas do país, torna-se inevitável o conflito entre os diversos usuários, principalmente em períodos secos em que a quantidade de água torna-se insuficiente para atender todas as demandas e ainda manter as vazões ecológicas estabelecidas pela SMA-SP.

Concluiu-se que, o modelo ModsimP32 é uma ferramenta poderosa e versátil que pode ser aplicada no planejamento de recursos hídricos.

A desvantagem do ModSimP32 é que o modelo otimiza o balanço hídrico mês a mês, ou seja, não enxerga o futuro e com isso não possui a capacidade de prever antecipadamente períodos críticos, em que existe a necessidade do racionamento de água.

Portanto, para estabelecer parâmetros quantitativos para o atendimento das demandas atuais e futuras, concluiu-se que não é possível manter as vazões de 15,00 e 40,00 m³/s em Paulínea e Piracicaba, respectivamente, em todo o período

das simulações e ainda em períodos muito secos não é possível atender a todas as demandas que foram solicitadas pelos usuários.

O gerenciamento da bacia do rio Piracicaba é um processo complexo, pois a situação de conflito de água entre os diversos usuários é constante. A situação é tão complexa que se faz necessário um constante gerenciamento, associado a situação hidrológica a que a bacia está submetida. Além disso, deve ocorrer um intenso monitoramento, para evitar possíveis captações de água não outorgadas.

Quanto às séries de vazões utilizadas nas simulações, observou-se que os índices quantitativos das simulações com as séries sintéticas, ficaram abaixo quando comparadas com as simulações das séries históricas, para as mesmas condições de cenário para as duas hipóteses. Isso se deve ao fato de que quando são utilizadas as séries sintéticas, os períodos secos são mais prolongados, fazendo com que o sistema de reservatórios necessite de mais tempo para recuperar o volume desejado de armazenamento, comprometendo com isso o fornecimento de água para a bacia hidrográfica.

Para a geração dos dados hidrológicos, utilizou-se um modelo AR(1), que por sua vez foi capaz de gerar séries sintéticas de vazões, mantendo as características estatísticas de cada uma. Pela análise das correlações cruzadas, concluiu-se que seria necessário um modelo de ordem maior, para que a dependência de um posto a outro fosse mantida, mas em virtude da complexidade e da falta de tempo, não foi possível desenvolver um modelo mais elaborado.

Embora o presente trabalho tenha como objetivo, apenas a análise quantitativa, pôde-se concluir que com os baixos índices de quantidade de água apresentados nas simulações realizadas, principalmente nos períodos de estiagem,

o aspecto qualitativo também torna-se comprometido, porque está diretamente relacionado com o aspecto quantitativo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, L. G.T., *"Integration of Water Quantity and Quality in MultiSector River Basin Planning"*, Tese de Doutorado, Colorado State University, Fort Collins, Co, 1994;
- AZEVEDO, L. G.T.; PORTO, R.L.L.; ZADEH, K., *"Modelos de Simulação e de Rede de Fluxo"*. ABRH – Vol.1 Jun/1998-a, 165p.
- AZEVEDO, L. G.T.; PORTO, R.L.L., *"Sistema de Apoio a Decisão para o Gerenciamento Integrado de Quantidade e Qualidade da Água: Metodologia e Estudo de Caso"*. RBRH – Vol.3 Jan/Mar 1998-b, 21p.;
- BOX G.E.P. & JENKINS G.M. , *"Times Series Analysis Forecasting and Control"* - 1970;
- BUSSAB W. O. , MORETTIN P. A. , *"Estatística Básica"*, 1987;
- CAN,E.K.; A .M. ASCE; HOUCKS,M.H.; M. ASCE, *"Problems with Modeling Real-Time Reservoir Operations"*. *Journal of Water Resources Planning and Management* – Vol.111, No.4, Oct 1985;
- CONSÓRCIO HIDROPLAN – Coplasa, ETEP, Figueiredo Ferraz, Hidroconsult e Maubertec, *"Plano Integrado de Aproveitamento e Controle dos Recursos Hídricos das Bacias do Alto Tietê, Piracicaba e Baixada Santista"* - 1995;
- DUNNE, T. & LEOPOLD, L.B., *"Water in the Environmental Planning"*. Ed. W. H. Freeman and Company San Francisco, 1978;
- FERRAZ, A. R. G., *"Modelo Decisório para a Outorga de Direito do Uso da Água no Estado de São Paulo"*, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP, 1996;
- FILL, H.D., *"Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos, Nobel ABRH"*, 1989.

- FLEMING,D.E.; F. ASCE; HANSON,R.K.;LABADIE,J.W, "*Integrated Sizing of Water Storage and Conveyance*". *Journal of Water Resources Planning and Management*" – Vol.109, No.1, Jan 1983;
- FONTANE,D.G.;GATES,T.K.;MONCADA,E., "*Planning Reservoir Operations with Imprecise Objectives*". *Journal of Water Resources Planning and Management*" – Vol.123, No.3, May/Jun 1997;
- GILLILAND,M.W.;BECKER,L.; CADY,R., "*Simulation and Decision making: The Platte River Basin in Nebraska*". *Water Resources Bulletin* – Vol.21 No.2, Apr 1985;
- HAHN G.J. & SHAPIRO S.S., "*Statistical Model in Engineering*" - ;
- HOOVER S.V. & PERRY R.F., "*Simulation – A Problem Solving Approach*", 1990;
- FREDERICKS J.W., LABADIE J.W. & ALTENHOFEN J.M., "*Decision Support System for Conjunctive Stream-Aquifer Management*" - *Journal of Water Resources Planning and Management*, March/April-1998;
- LABADIE, J.W.;BODE,D.A.;PINEDA, A .M., "*Network Model for Decision-Support in Municipal Raw Water Supply*". *Water Resources Bulletin* – Vol.22 No.6, Dec 1986;
- LANNA, A. E., "Introdução – Análise de Sistemas e Engenharia de Recursos Hídricos.", Capítulo 1 – Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos, 1997;
- MOREIRA, I.V.D.; "*Origem e Síntese dos Principais métodos de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)*". MAIA – Primeira Edição, abril 1992;
- NEELY,W.P.;NORTH,R.M.;FORTSON,J.C., "*Planning and Selecting Multiobjective Projects by Goal Programming*". *Water Resources Bulletin* – Vol.12 No.1, Feb 1976;

- OLIVEIRA, R.; LOUCKS, D.P., "Operating rules for multireservoir systems". Water Resources Research – Vol.33, No.4 839p., Apr 1997;
- PEITER M.X., "Estudo do Manejo da Irrigação via Modelo de Simulação", – Tese de Doutorado pela EESC-USP - 1988;
- PORTO, R.L.L.; AZEVEDO, L. G.T., "Sistema de Suporte a Decisões Aplicados a Problemas de Recursos Hídricos". ABRH – Vol.1 Jun/1998, 43p.;
- PROJETO PIRACENA - <http://www.cena.usp.br> (Internert);
- REIS L.F.R., "Caracterização Estocástica da Operação Ótima de Sistemas Hidrelétricos via Programação Dinâmica" – Tese de Doutorado pela EESC - USP;
- RIGHETTO A. M., "Hidrologia e Recursos Hídricos", 1998;
- ROBERTO A. N., "O ModSimP32", Capítulo 9 – MODSIM - Manual do Usuário e Estudos de Casos, 1999.
- SALAS J.D., DELLEUR J.W., YEVJIVICH & LANE L.W., "Applied Modeling of Hydrologic Time Series", 1980;
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, "Estabelecimento de metas ambientais e reenquadramento dos corpos d'água. Bacia do Rio Piracicaba", São Paulo, 1994;
- UNESCO, "Guia Metodológico para la elaboración del balance hídrico de América del Sur", Ed. UNESCO, 1982;
- WATERSHED MANAGEMENT, "Gerenciamento da Bacia do Rio Atibaia", 1999;
- WURBS, R.A. ; M. ASCE, "Economic Feasibility of Flood Control Improvements". Journal of Water Resources Planning and Management – Vol.109, No.1, Jan 1983.

ANEXO A

Projeção das demandas de água a jusante do Sistema Canatareira - ano 1990 (m3/s)

		Indústrias													Q de retorno no corpo d'água
Sub-bacia	Comp. Amb	Usinas		Outras indústrias		Total industrial		Urbana			Agropecuária		Total dos setores		
		Vazão de captação	Uso consuntivo	Vazão de captação	Uso consuntivo	Vazão de captação	Uso consuntivo	Vazão de captação	Demand a local	Uso consuntivo	Vazão de captação	Uso consuntivo	Vazão de captação	Uso consuntivo	
Atibaia	C.ATI.	-	-	0.002	0.002	0.002	0.002	0.327	0.327	0.114	0.336	0.336	0.665	0.452	0.213
	C.ITA.			0.16	0.02	0.16	0.02	1.011	0.176	0.896	0.395	0.395	1.566	1.311	0.255
	C.PAN.	-	-	3.468	0.074	3.468	0.074	3.199	2.329	1.792	0.403	0.403	7.07	2.269	4.801
	C.SGR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.016	0.016	0.016	0.016	0
Subtotal		-	-	3.63	0.096	3.63	0.096	4.537	2.832	2.802	1.15	1.15	9.317	4.048	5.269
Jaguari	C.JAG.	-	-	0.278	0.127	0.278	0.127	0.43	0.43	0.15	0.276	0.276	0.984	0.553	0.431
	C.CAM.	-	-	0.063	0.032	0.063	0.032	0.139	0.139	0.048	0.268	0.268	0.47	0.348	0.122
	C.PPI.	0.423	0.423	1.962	0.835	2.385	1.259	1.041	0.184	0.921	0.744	0.744	4.17	2.924	1.246
Subtotal		0.423	0.423	2.303	0.995	2.727	1.418	1.61	0.753	1.119	1.288	1.288	5.625	3.825	1.8
Piracicaba	C.TQU.	1.009	1.009	2.197	0.474	3.207	1.484	1.929	2.679	0.937	0.433	0.433	5.569	2.854	2.715
	C.COR.	1.042	1.042	0.031	0.004	1.073	1.046	0.959	0.583	0.58	0.341	0.341	2.373	1.967	0.406
	C.PIR.	1.886	1.691	0.559	0.12	2.444	1.812	1.782	1.158	0.405	0.138	0.138	3.364	2.355	1.009
	C.BBO.	0.033	0.033	-	-	0.033	0.033	0.064	0.064	0.022	0.335	0.335	0.432	0.39	0.042
Subtotal		3.97	3.775	2.787	0.598	6.757	4.373	3.734	4.484	1.568	1.247	1.247	11.738	7.188	4.55
Total da bacia		4.393	4.198	8.72	1.689	13.114	5.887	9.881	8.069	5.489	3.685	3.685	26.68	15.061	11.619

Projeção das demandas de água a jusante do Sistema Canatareira - ano 2000 (m3/s)

		Indústrias														Q de retorno no corpo d'água
Sub-bacia	Comp. Amb	Usinas		Outras indústrias		Total industrial		Urbana			Agropecuária		Total dos setores			
		Vazão de captação	Uso consuntivo	Vazão de captação	Uso consuntivo	Vazão de captação	Uso consuntivo	Vazão de captação	Demand a local	Uso consuntivo	Vazão de captação	Uso consuntivo	Vazão de captação	Uso consuntivo		
Atibaia	C.ATI.	-	-	0.002	0.002	0.002	0.002	0.52	0.52	0.182	0.393	0.393	0.915	0.577	0.338	
	C.ITA.			0.183	0.023	0.183	0.023	1.469	0.218	1.327	0.462	0.462	2.114	1.812	0.302	
	C.PAN.	-	-	3.97	0.084	3.97	0.084	4.39	3.092	2.515	0.471	0.471	8.831	3.07	5.761	
	C.SGR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.019	0.019	0.019	0.019	0	
Subtotal		-	-	4.155	0.109	4.155	0.109	6.379	3.83	4.024	1.345	1.345	11.879	5.478	6.401	
Jaguari	C.JAG.	-	-	0.318	0.145	0.318	0.145	0.677	0.677	0.237	0.349	0.349	1.344	0.731	0.613	
	C.CAM.	-	-	0.072	0.036	0.072	0.036	0.192	0.192	0.067	0.339	0.339	0.603	0.442	0.161	
	C.PPI.	0.457	0.457	2.25	0.956	2.707	1.413	1.529	0.274	1.351	0.942	0.942	5.178	3.706	1.472	
Subtotal		0.457	0.457	2.64	1.137	3.097	1.594	2.398	1.143	1.655	1.63	1.63	7.125	4.879	2.246	
Piracicaba	C.TQU.	1.089	1.089	2.52	0.542	3.609	1.631	2.905	4.025	1.409	0.507	0.507	7.021	3.547	3.474	
	C.COR.	1.125	1.125	0.035	0.005	1.16	1.13	1.292	0.803	0.77	0.399	0.399	2.851	2.299	0.552	
	C.PIR.	2.036	1.825	0.641	0.137	2.677	1.962	1.021	1.51	0.529	0.161	0.161	3.859	2.652	1.207	
	C.BBO.	0.036	0.036	-	-	0.036	0.036	0.083	0.083	0.029	0.394	0.394	0.513	0.459	0.054	
Subtotal		4.286	4.075	3.196	0.684	7.482	4.759	5.301	6.421	1.758	1.461	1.461	14.244	7.978	6.266	
total da bacia		4.743	4.532	9.991	1.93	14.734	6.462	14.078	11.394	5.693	4.436	4.436	33.248	16.591	16.657	

Projeção das demandas de água a jusante do Sistema Canatareira - ano 2010 (m3/s)

		Indústrias														Q de retorno no corpo d'água
Sub-bacia	Comp. Amb.	Usinas		Outras indústrias		Total industrial		Urbana			Agropecuária		Total dos setores			
		Vazão de captação	Uso consuntivo	Vazão de captação	Uso consuntivo	Vazão de captação	Uso consuntivo	Vazão de captação	Demand a local	Uso consuntivo	Vazão de captação	Uso consuntivo	Vazão de captação	Uso consuntivo		
Atibaia	C.ATI.	-	-	0.003	0.003	0.003	0.003	0.638	0.638	0.223	0.476	0.476	1.117	0.702	0.415	
	C.ITA.			0.311	0.039	0.311	0.039	1.745	0.259	1.577	0.563	0.563	2.619	2.179	0.44	
	C.PAN.	-	-	6.749	0.142	6.749	0.142	5.223	3.645	3.022	0.575	0.575	12.547	3.739	8.808	
	C.SGR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.023	0.023	0.023	0.023	0	
Subtotal		-	-	7.063	0.184	7.063	0.184	7.606	4.362	4.822	1.64	1.64	16.309	6.646	9.663	
Jaguari	C.JAG.	-	-	0.541	0.247	0.541	0.247	0.813	0.813	0.284	0.517	0.517	1.871	1.048	0.823	
	C.CAM.	-	-	0.122	0.062	0.122	0.062	0.225	0.225	0.079	0.503	0.503	0.85	0.644	0.206	
	C.PPI.	0.503	0.503	3.825	1.626	4.328	2.129	1.931	0.36	1.697	1.394	1.394	7.653	5.22	2.433	
Subtotal		0.503	0.503	4.488	1.935	4.991	2.438	2.969	1.398	2.06	2.414	2.414	10.374	6.912	3.462	
Piracicaba	C.TQU.	1.198	1.198	4.284	0.921	5.482	2.119	4.042	5.445	1.906	0.681	0.681	10.205	4.706	5.499	
	C.COR.	1.238	1.238	0.059	0.008	1.297	1.246	1.51	0.934	0.903	0.536	0.536	3.343	2.685	0.658	
	C.PIR.	2.24	2.007	1.089	0.233	3.329	2.24	1.206	1.782	0.624	0.216	0.216	4.751	3.08	1.671	
	C.BBO.	0.04	0.04	-	-	0.04	0.04	0.102	0.102	0.036	0.53	0.53	0.672	0.606	0.066	
Subtotal		4.716	4.483	5.432	1.162	10.148	5.645	6.86	8.263	2.316	1.963	1.963	18.971	9.924	9.047	
total da bacia		5.219	4.986	16.983	3.281	22.202	8.267	17.435	14.023	9.198	6.017	6.017	45.654	23.482	22.172	

ANEXO B

Gráficos de correlação cruzada entre o posto 1 e demais postos

Gráficos de correlação cruzada entre o posto 2 e demais postos

Gráficos de correlação cruzada entre o posto 3 e demais postos

Gráficos de correlação cruzada entre o posto 4 e demais postos

Gráficos de correlação cruzada entre o posto 5 e demais postos

Gráficos de correlação cruzada entre o posto 6 e demais postos

Gráficos de correlação cruzada entre o posto 7 e demais postos

Gráficos de correlação cruzada entre o posto 8 e demais postos

Gráficos de correlação cruzada entre o posto 9 e demais postos

Gráficos de correlação cruzada entre o posto 10 e demais postos

Gráficos de correlação cruzada entre o posto 11 e demais postos

Gráficos de correlação cruzada entre o posto 12 e demais postos