



3. CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

A caracterização dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos teve por objetivo a parametrização quantitativa e qualitativa das bacias hidrográficas e unidades aquíferas presentes nas Bacias PCJ, com o intuito de se avaliar o estado das águas durante o período considerado neste relatório, ou seja, 2004 a 2006.

3.1. Superficiais

Os trabalhos de hidrologia para a elaboração de diagnósticos da situação de recursos hídricos devem conduzir à avaliação das disponibilidades hídricas superficiais e das demandas nas Bacias Hidrográficas. Isto envolve o estudo da variação sazonal da disponibilidade hídrica, baseando-se, principalmente, na análise mensal das precipitações e das vazões médias. Em função disto, foram avaliadas as disponibilidades hídricas médias, máximas e mínimas, além das precipitações ocorridas e das vazões registradas nas Bacias PCJ e seus afluentes principais, para o período de junho/2004 a junho/2006. O Quadro 3.1, o Quadro 3.2 e a Figura 3.1 apresentam a divisão hidrológica adotada no Relatório de Situação 2002 a 2003 e mantida para este relatório, conforme aprovação do Grupo de Acompanhamento do Relatório de Situação 2004 a 2006.

Quadro 3.1. Sub-Bacias hidrográficas do Rio Piracicaba.

Sub-bacia	Código	Área de drenagem (km ²)	Área de drenagem (%)
Rio Camanducaia	1.5	1.030,00	8,2
Rio Jaguari	1.4	3.290,00	26,2
Rio Atibaia	1.3	2.868,74	22,8
Rio Corumbataí	1.2	1.679,19	13,4
Rio Piracicaba	1.1	3.700,79	29,4
Total do Rio Piracicaba		12.568,72	100,0

Fonte: IRRIGART (2005).

Quadro 3.2. Bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí.

Bacias	Código	Área de drenagem (km ²)	Área de drenagem (%)
Piracicaba	1	12.568,72	82,1
Capivari	3	1.620,92	10,6
Jundiáí	2	1.114,03	7,3
Total PCJ		15.303,67	100,0

Fonte: IRRIGART (2005).

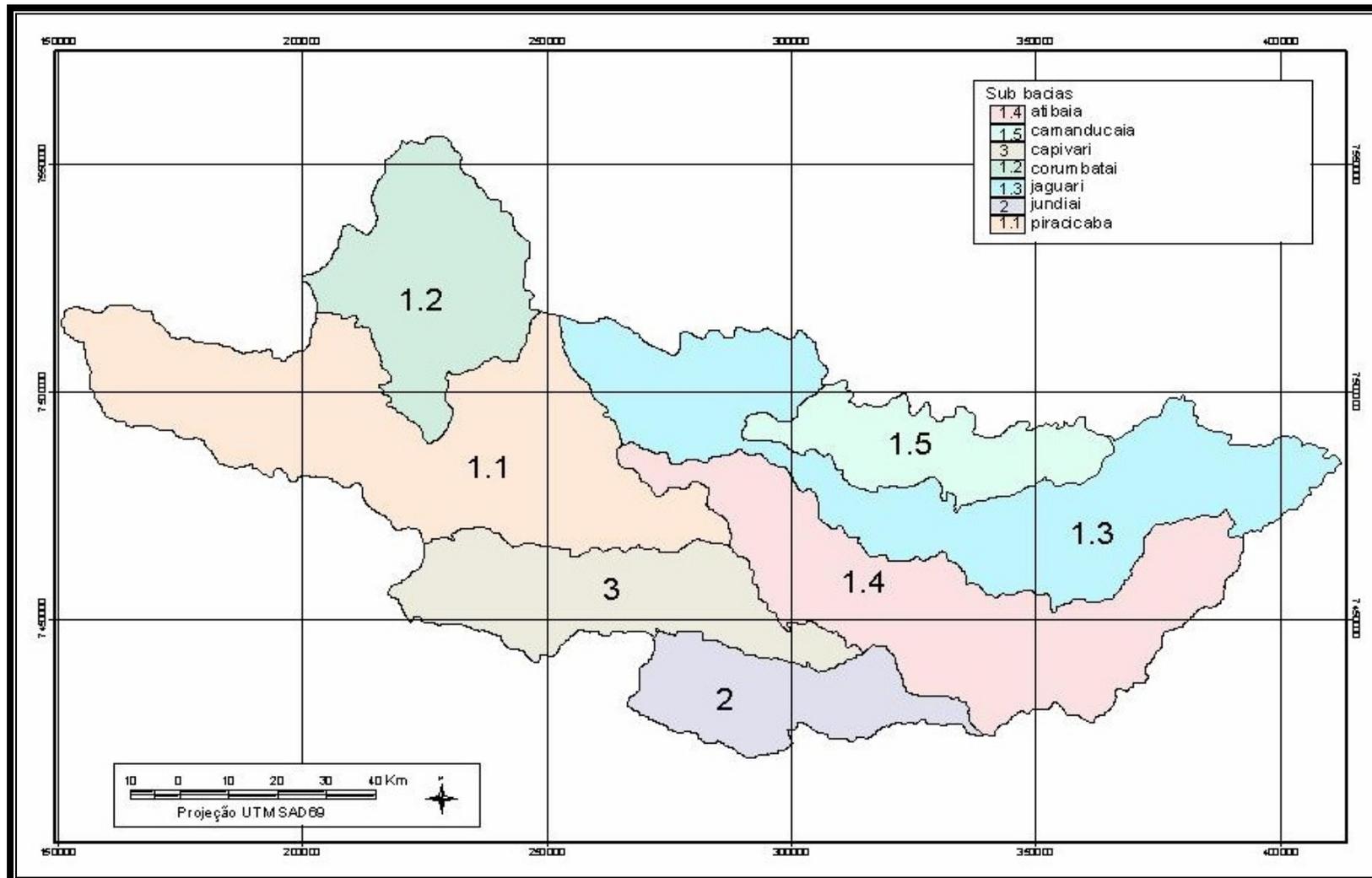


Figura 3.1. Divisão das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.

No Quadro 3.3 estão relacionados os índices morfométricos: (i) Área de drenagem; (ii) extensão do rio principal, ou seja, comprimento axial da Bacia; (iii) índice de forma, que é a relação entre a largura média da Bacia e o seu comprimento axial e (iv) coeficiente de compacidade, que é a relação entre o perímetro real da Bacia e o perímetro de um círculo com área equivalente à da Bacia.

Quadro 3.3. Parâmetros morfométricos e hidrológicos das Bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí.

Bacia	Área (km ²)	Extensão do rio principal (km)	Perímetro da Bacia (km)	Índice de forma	Coeficiente de compacidade
Sub-bacias Hidrográficas do Rio Piracicaba					
Rio Camanducaia	1.030,00	113,20	225,14	0,080	1,964
Rio Jaguari	3.290,00	238,86	497,30	0,058	2,427
Rio Atibaia	2.868,74	230,18	397,56	0,054	2,078
Rio Corumbataí	1.679,19	108,99	211,92	0,141	1,448
Rio Piracicaba	3.700,79	167,75	430,14	0,132	1,979
Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí					
Piracicaba	12.568,72	406,61	812,63	0,076	2,029
Capivari	1.620,92	171,34	259,001	0,055	1,801
Jundiáí	1.114,03	104,09	198,83	0,103	1,668

Fonte: IRRIGART (2005).

3.1.1. Pluviometria

Os estudos realizados sobre o comportamento das precipitações pluviais objetivaram, prioritariamente, realizar o inventário das estações pluviométricas existentes nas Bacias PCJ e selecionar as que possuíam dados com uma série histórica de 30 anos, retroativos a 2005. Para a análise e manipulação dos dados encontrados adotou-se a seguinte metodologia:

- Foram identificados todos os postos pluviométricos localizados dentro da Bacia Hidrográfica PCJ com dados disponíveis no intervalo de Janeiro-1976 a Dezembro-2005;
- Foi realizada uma análise da consistência de dados. Postos que apresentavam inconsistências em mais de 5 anos foram eliminados;

- Os postos que apresentavam inconsistência em até 5 anos foram consistidos, através do Método de Ponderação Regional (Tucci, 1993) visando à homogeneização do período de informações e à análise estatística das precipitações;
- Após consistir os dados, calculou-se os totais mensais e anuais de precipitação, bem como as médias mensais e anuais para cada posto;
- Para a estimativa da precipitação média para cada Sub-Bacia, utilizou-se a Metodologia dos Polígonos de Thiessen, que considera a não uniformidade espacial dos postos;
- Os dados também foram interpolados em ambiente SIG de tal forma a gerar um novo mapa de Isoietas da Bacia hidrográfica, para o período de 1976 a 2005;
- Foram identificados 36 postos com dados que atendessem às condições descritas acima. Destes, 32 (89%) pertencentes ao DAEE e 4 (11%) pertencentes à ANA;
- Foram pesquisados, também, dados dos postos pluviométricos pertencentes ao IAC, porém, nenhum deles estabelecia as condições previstas na metodologia utilizada.

O Quadro 3.4 apresenta a relação das estações pluviométricas utilizadas neste Relatório de Situação. Neste quadro, as estações encontram-se ordenadas por municípios.

Quadro 3.4. Postos pluviométricos instalados nas Bacias PCJ.

Código	Nome do Posto	Município	Entidade	Período analisado	COORDENADAS	
					E (m)	N (m)
D4 – 004	Americana	Americana	DAEE	Jan-76 a Dez-05	265443	7487885
D3 – 023	Arcadas	Amparo	DAEE	Jan-76 a Dez-05	311705	7486681
D3 – 031	Faz. Chapadão	Amparo	DAEE	Jan-76 a Dez-05	309855	7497733
D4 – 099	Artur Nogueira	Artur Nogueira	DAEE	Jan-76 a Dez-05	277217	7502832
D3 – 069	Barreiro	Atibaia	DAEE	Jan-76 a Dez-05	482068	7351332
D4 – 044	Campinas	Campinas	DAEE	Jan-76 a Dez-05	395942	7414655
D4 – 046	Faz. Monte d'Este	Campinas	DAEE	Jan-76 a Dez-05	404555	7408322
2247059	Capivari	Capivari	ANA	Jan-76 a Dez-05	243272	7453271

Quadro 3.4. Postos pluviométricos instalados nas Bacias PCJ. (continuação)

Código	Nome do Posto	Município	Entidade	Período analisado			COORDENADAS	
							E (m)	N (m)
D4 – 092	Usina Bom Retiro	Capivari	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	248651	7467305
D4 – 043	Corumbataí	Corumbataí	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	230250	7540861
D4 – 052	Pedreira	Cosmópolis	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	272238	7491681
D4 – 082	Faz. Holambra	Holambra	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	289318	7495618
2347055	Itaici	Indaiatuba	ANA	Jan-76	a	Dez-05	276534	7442694
E4 – 015	Indaiatuba	Indaiatuba	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	456230	7370328
E4 – 124	Faz. Santa Rita	Indaiatuba	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	262.992	7564317
D4 – 074	Ipeúna	Ipeúna	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	473455	7357664
E3 – 015	Itatiba	Itatiba	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	312118	7453460
2347057	Itupeva	Itupeva	ANA	Jan-76	a	Dez-05	289320	7438264
D3 – 042	Faz. Barra	Jaguariúna	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	297933	7492043
E3 – 154	Faz. Primavera	Jarinú	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	324055	7455450
D3 – 054	Joanópolis	Joanópolis	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	370119	7463301
E3 – 053	Ermida	Jundiá	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	297018	7432956
D4 – 064	Limeira	Limeira	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	256644	7502519
D3-027	M. Alegre do Sul	M. Alegre do Sul	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	328804	7488719
2247058	Monte Mor	Monte Mor	ANA	Jan-76	a	Dez-05	262992	7564317
D4 – 083	Bairro Pavioti	Monte Mor	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	269262	7462094
D3 – 046	Morungaba	Morungaba	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	317064	7468288
E3 – 099	Nazaré Paulista	Nazaré Paulista	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	356710	7435496
D3 – 035	Pedra Bela	Pedra Bela	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	351173	7477890
D3 – 052	Pedreira	Pedreira	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	430393	7389325
D3 – 036	Pinhalzinho	Pinhalzinho	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	335754	7479577
D4 – 104	Piracicaba	Piracicaba	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	227792	7485412
D4 – 016	Faz. São José	Rio Claro	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	244214	7528170
D4 – 068	Rio das Pedras	Rio das Pedras	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	231512	7468857
D4 – 059	Sta. Gertrudes	Sta. Gertrudes	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	241058	7511498
D3 – 018	Vargem	Vargem	DAEE	Jan-76	a	Dez-05	354701	7466851

Fonte: SIGRH (2007) e ANA/HIDROWEB (2007)

A partir destes valores médios dos totais mensais por estação pluviométrica, foram estimados os valores médios mensais de precipitação nas Sub-Bacias, por meio da Metodologia dos Polígonos de Thiessen.

Os Polígonos de Thiessen, bem como a posição geográfica dos postos pluviométricos, são apresentados no ANEXO 10.

Com base nos Polígonos de Thiessen, efetuou-se uma interpolação dos valores encontrados nos postos utilizados e, então, determinou-se a precipitação média mensal para cada Sub-Bacia, conforme apresentado no Quadro 3.5.

Quadro 3.5. Precipitações médias históricas e em 2004 e 2005 nas Bacias PCJ.

Bacia	Precipitações totais anuais (mm)		
	Média Histórica	2004	2005
Sub-bacias Hidrográficas do Rio Piracicaba			
Rio Camanducaia	1.576	1.521	1.466
Rio Jaguari	1.489	1.465	1.415
Rio Atibaia	1.470	1.465	1.442
Rio Corumbataí	1.412	1.499	1.279
Rio Piracicaba	1.344	1.362	1.161
Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí			
Piracicaba	1.458	1.462	1.353
Capivari	1.334	1.223	1.200
Jundiaí	1.363	1.155	1.354

Na seqüência, são realizados alguns comentários sobre o regime pluvial no período 2004/2005, comparando-o com a média histórica³.

³ Neste item as médias históricas referem-se ao período de 1976-2005.

➤ **Sub-Bacia do Rio Camanducaia**

Para a Sub-Bacia do Rio Camanducaia, a precipitação anual de 2004 foi praticamente igual à média (-3%). Destaque para o mês de Julho, cuja precipitação foi 162% maior que a média. Já em 2005 a chuva anual foi 7% menor que a média. Neste mesmo ano, no mês de março choveu 37% a mais que a média. A Figura 3.2 demonstra os valores das precipitações médias e as ocorridas em 2004 e 2005 para a Sub-Bacia do Rio Camanducaia.

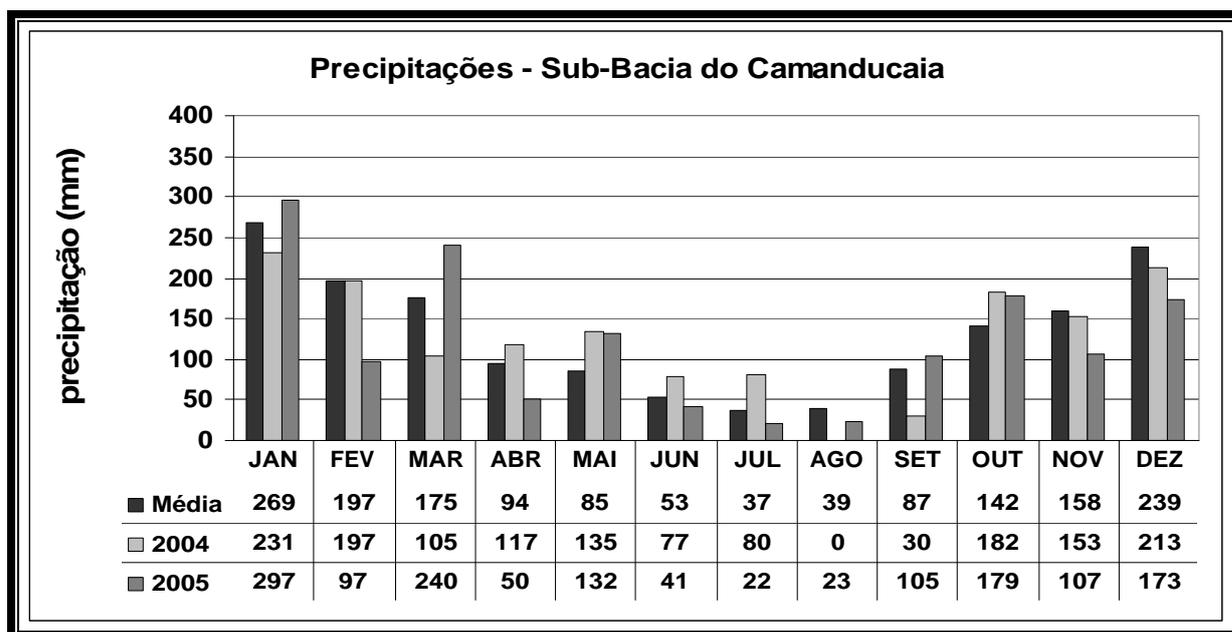


Figura 3.2. Precipitações médias mensais (mm) - Sub-Bacia do Rio Camanducaia.

➤ **Sub-Bacia do Rio Jaguari**

Na Sub-Bacia do Jaguari, em 2004 a precipitação anual foi praticamente igual à média histórica. Neste ano destaca-se o mês de Julho, cuja precipitação foi 138% maior que a média histórica. Já no ano de 2005, a precipitação anual foi 5% menor que a média. No mês de Fevereiro houve uma precipitação 49% menor que a média. A Figura 3.3 demonstra os valores das precipitações médias e as ocorridas em 2004 e 2005 para a Sub-Bacia do Rio Jaguari.

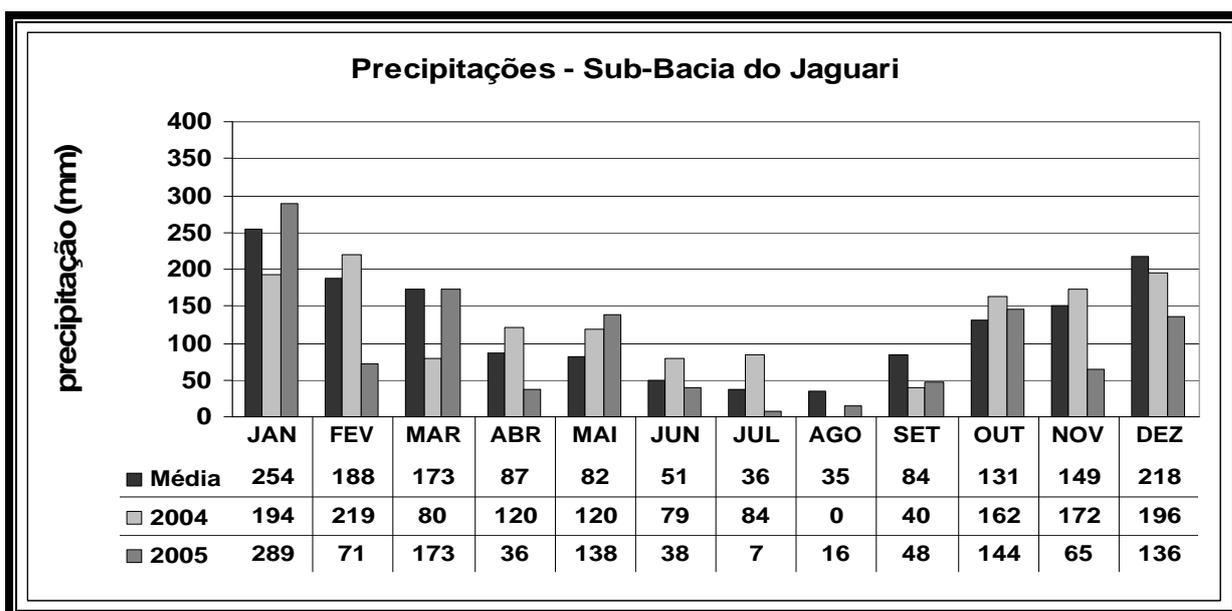


Figura 3.3. Precipitações médias mensais (mm) - Sub-Bacia do Rio Jaguari.

➤ **Sub-Bacia do Rio Atibaia**

Para a Sub-Bacia do Atibaia, em 2004 a precipitação anual foi praticamente igual à média histórica. No mês de Julho, as precipitações foram 130% maiores que a média histórica. Já em 2005, a precipitação anual foi cerca de 2% menor que a média, enquanto no mês de Março foi 41% maior que a média. A Figura 3.4 demonstra os valores das precipitações médias e as ocorridas em 2004 e 2005 para a Sub-Bacia do Rio Atibaia.

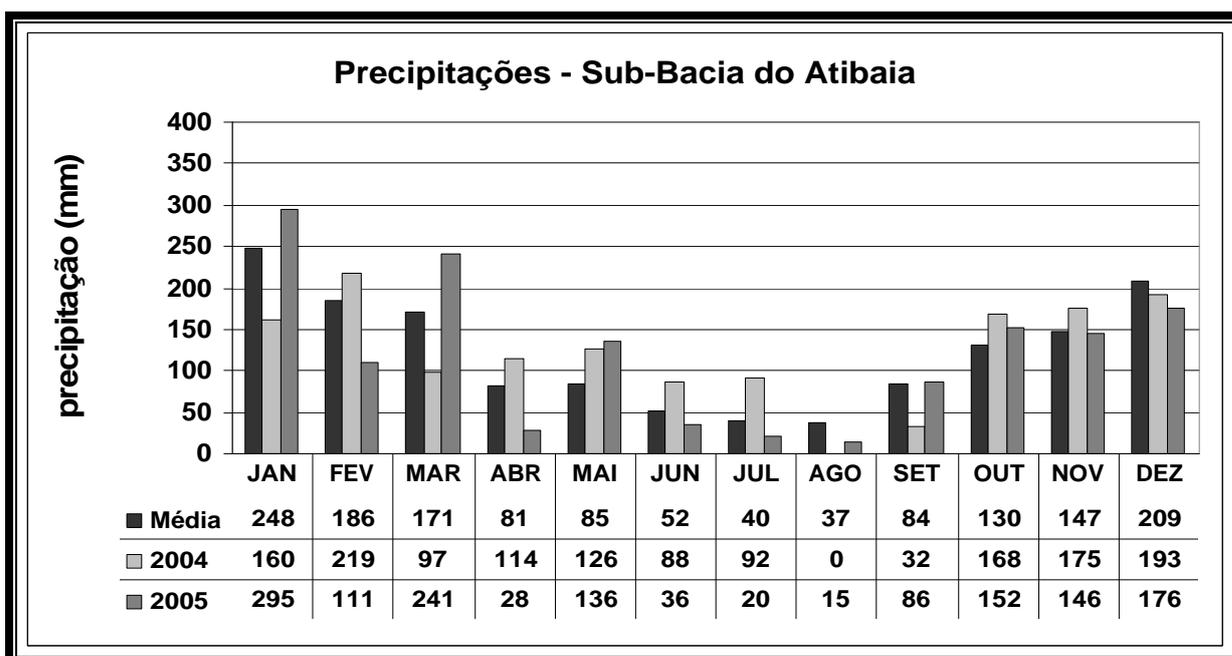


Figura 3.4. Precipitações médias mensais (mm) - Sub-Bacia do Rio Atibaia.

➤ **Sub-Bacia do Rio Corumbataí**

Para a Sub-Bacia do Corumbataí, no ano de 2004 a precipitação foi 6% maior que a média, enquanto no mês de Setembro foi 93% menor que a média e no mês de Julho foi 143% maior que a média. Já em 2005 a precipitação anual foi 10% menor que a histórica. Neste mesmo ano, o mês de Janeiro apresentou precipitações 45% maiores que a média. A Figura 3.5 demonstra os valores das precipitações médias e as ocorridas em 2004 e 2005 para a Sub-Bacia do Rio Corumbataí.

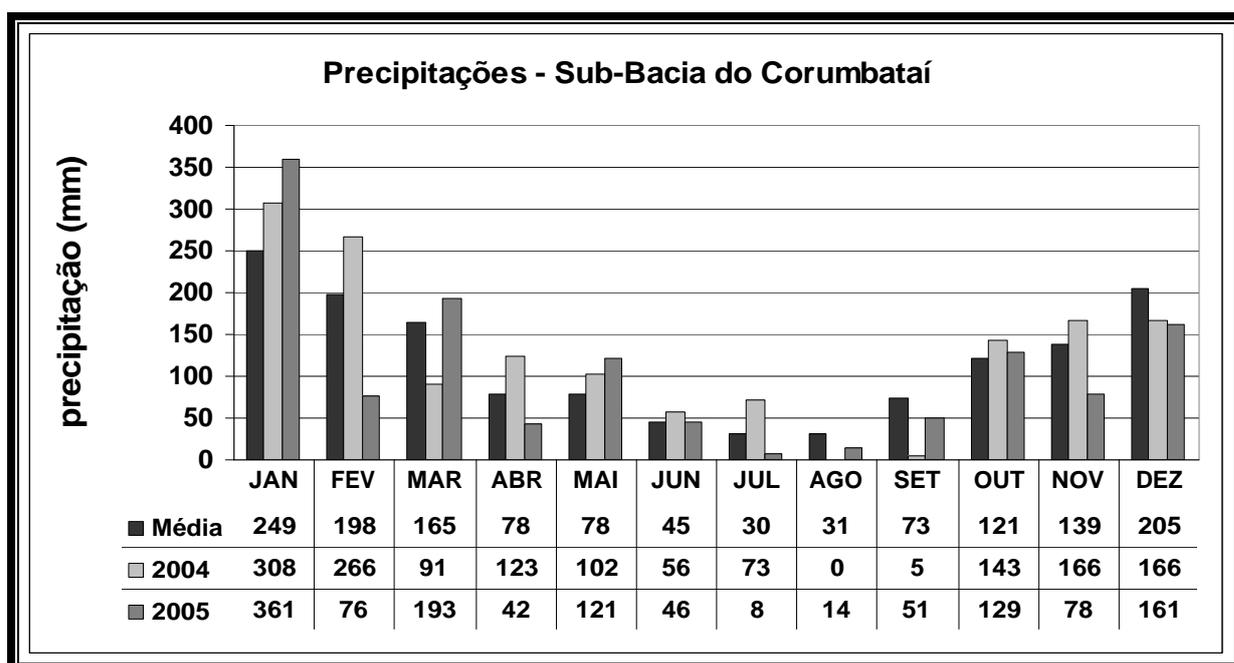


Figura 3.5. Precipitações médias mensais (mm) - Sub-Bacia do Rio Corumbataí.

➤ **Sub-Bacia do Rio Piracicaba**

Na Sub-Bacia do Piracicaba, em 2004 a precipitação anual foi levemente superior à média dos últimos 30 anos (2%). Neste ano, merece destaque o mês de Julho, quando choveu 133% a mais que a média. No ano de 2005 a precipitação mensal foi 13% menor que a média. O mês de maio apresentou uma precipitação 72% maior que a média histórica. A Figura 3.6 demonstra os valores das precipitações médias e as ocorridas em 2004 e 2005 para a Sub-Bacia do Rio Piracicaba.

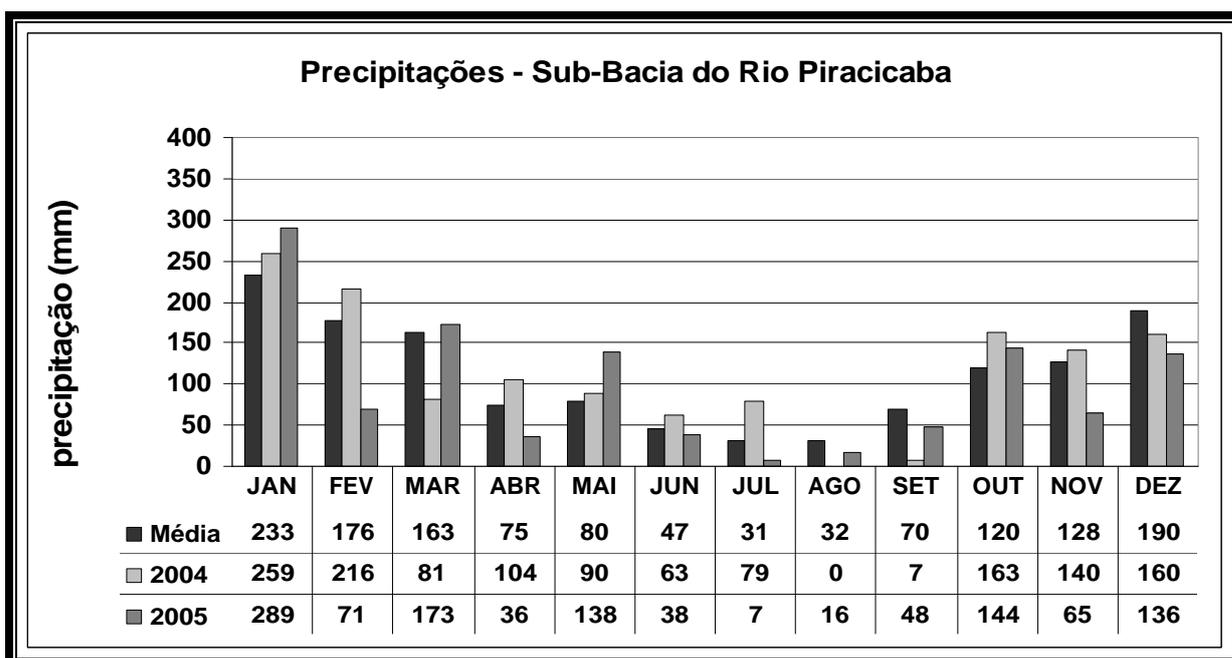


Figura 3.6. Precipitações médias mensais (mm) - Sub-Bacia do Rio Piracicaba.

➤ **Bacia do Rio Capivari**

Para a Bacia do Capivari, em 2004 choveu 5% a menos que a média. No mês de Março, choveu 54% menos que a média. Já em 2005 choveu 10% menos que à média. No mês de Dezembro choveu 27% menos que a média. A Figura 3.7 demonstra os valores das precipitações médias e as ocorridas em 2004 e 2005 para a Bacia do Rio Capivari.

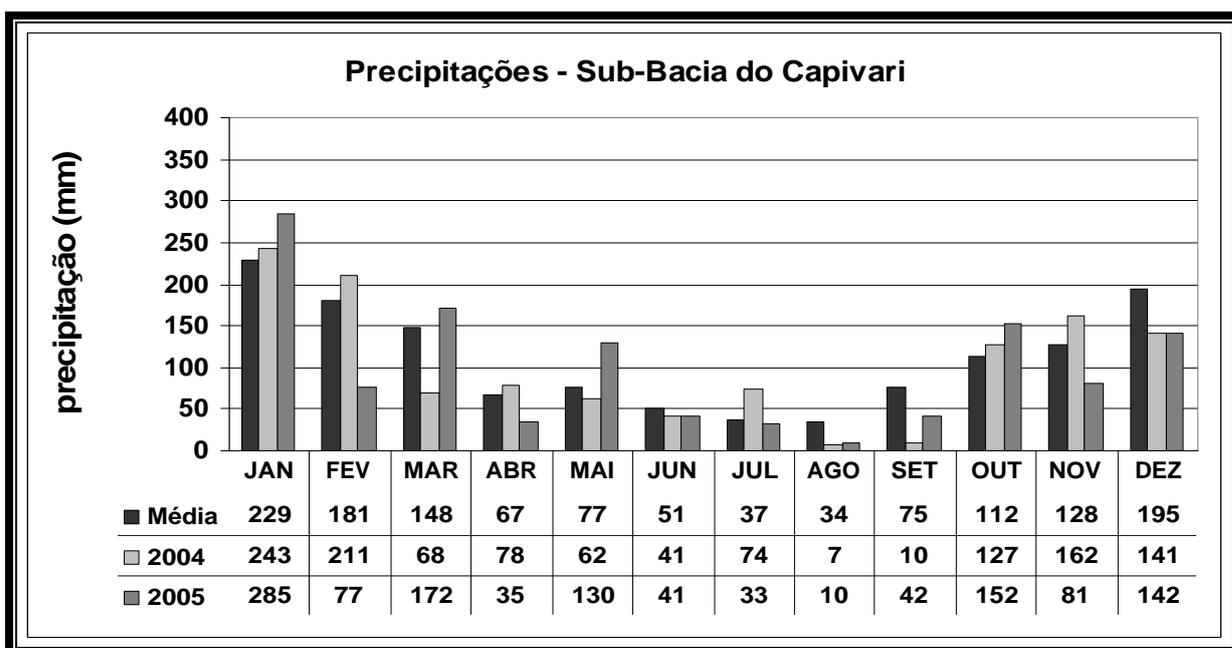


Figura 3.7. Precipitações médias mensais (mm) - Bacia do Rio Capivari.

➤ **Bacia do Rio Jundiáí**

Para a Bacia do Rio Jundiáí, durante o ano de 2004 choveu 15% a menos que a média. Destaque para o mês de Março, em que as chuvas foram 62% menores que a média. No ano de 2005 a chuva anual foi praticamente igual à média. Já no mês de Novembro choveu 41% a menos que a média. A Figura 3.8 demonstra os valores das precipitações médias e as ocorridas em 2004 e 2005 para a Bacia do Rio Jundiáí.

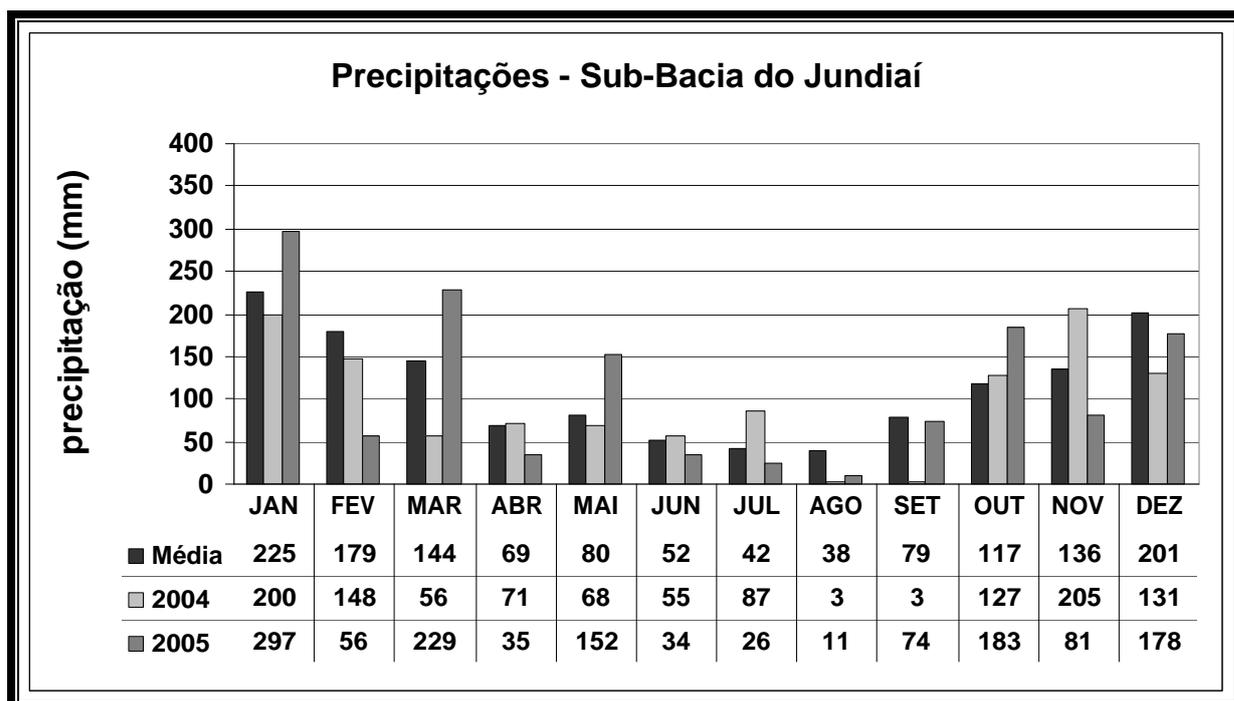


Figura 3.8. Precipitações médias mensais (mm) - Bacia do Rio Jundiáí.

Analisando a Bacia como um todo, percebe-se que no mês de Julho/04 as precipitações foram sempre maiores que o dobro da média e no mês de Agosto/04 elas foram muito menores que a média. No mês de fevereiro/05 ocorreu o mesmo fenômeno. Já no mês de maio/05 as precipitações foram bem maiores que as médias históricas.

Além do cálculo das precipitações médias para cada Sub-Bacia foram elaborados mapas com as isoietas médias (1976-2005) anuais, período seco (março a setembro) e período úmido (outubro a janeiro), além das isoietas médias anuais para os anos de 2004 e 2005.

A figura com os Polígonos de Thiessen é apresentada no ANEXO 10. As cartas das isoietas média anual, média período seco e média período úmido são apresentadas no ANEXO 13, ANEXO 11 e ANEXO 12, respectivamente. Já o ANEXO 14 e o ANEXO 15 apresentam as Isoietas médias anuais de 2004 e 2005, respectivamente.

3.1.2. Fluviometria

Para a realização de um estudo detalhado do regime das vazões em um determinado curso d'água é essencial possuir uma boa série de dados, com estações localizadas em diversos pontos. Quando se trabalha com Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos é muito importante conhecer a vazão nos pontos limites das Bacias, isto é, no exutório de cada Bacia ou Sub-Bacia, de acordo com a disponibilidade de dados.

Devido ao baixo número de postos fluviométricos com dados disponíveis para os anos de 2004 e 2005, adotou-se a seguinte metodologia para a análise da fluviometria:

- Os valores de vazões médias e mínimas foram baseados nos valores encontrados no Relatório de Situação 2002 a 2003, obtidos através de regressões polinomiais com as series históricas disponíveis. Esta metodologia será novamente apresentada neste relatório;
- Foram selecionados os postos fluviométricos com dados disponíveis para 2004 a 2005 e que se localizavam mais próximos aos exutórios da Bacia/Sub-Bacia a qual pertenciam, resultando em apenas um posto por Bacia/Sub-Bacia. Nas Bacias do Capivari e Jundiáí não existem postos fluviométricos com dados atualizados, de tal forma que esta análise não poderá ser realizada para estas Bacias;
- Nos postos selecionados foram quantificadas as vazões médias e mínimas mensais para os anos de 2004 e 2005. Para o ano de 2006, não foi possível a realização, uma vez que o período de abrangência do relatório é junho de 2006 e os dados não se encontravam disponíveis.

Os valores encontrados foram ajustados matematicamente para o exutório da Sub-Bacia a qual pertence, através da correlação entre as áreas de drenagem, cuja metodologia está apresentada a seguir.

3.1.2.1 Metodologia para estimativa das vazões

O fluxograma simplificado da metodologia utilizada para a determinação das vazões médias e mínimas nas Bacias PCJ, bem como para a determinação das vazões ocorridas nos anos de 2004 e 2005, é apresentado na Figura 3.9.

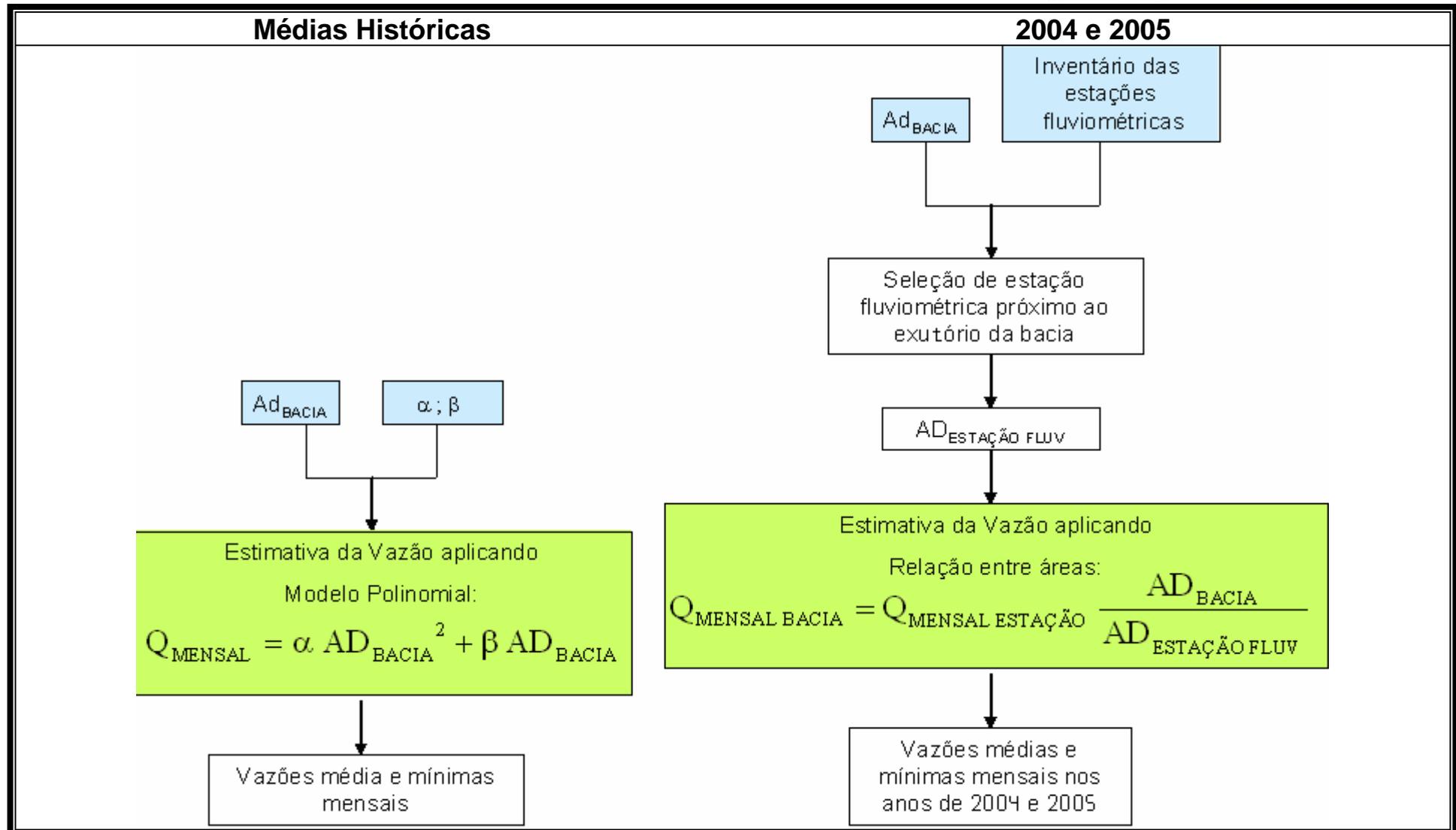


Figura 3.9. Fluxogramas para estimativa das vazões médias e mínimas mensais para as Bacias PCJ (IRRIGART, 2005).



a) Metodologia para estimativa das vazões médias e mínimas na Bacia do Rio Piracicaba, bem como em suas Sub-Bacias

Esta metodologia foi extraída do Relatório de Situação das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2002 a 2003 (IRRIGART, 2005).

A variável área de drenagem é uma das principais características geométricas das Bacias Hidrográficas, praticamente todas as características das Bacias Hidrográficas estão relacionadas a essa variável. Além da área, há outras variáveis de fundamental importância para a caracterização do regime das vazões de um rio, quais sejam: (i) forma da bacia hidrográfica; (ii) densidade da rede de drenagem, (iii) comprimento do canal principal e da bacia, (iv) declividade média, (v) diferenças de cotas entre o ponto mais extremo (nascentes) e a sua foz. Além das características fisiográficas de uma bacia hidrográfica, há que se considerar, também, as características do substrato rochoso (geologia), a geomorfologia (a forma do relevo, os tipos e extensão das vertentes, etc.), os diferentes tipos de solos, o seu uso e a sua ocupação, incluso a cobertura vegetal. Todas essas informações são fundamentais para a correta interpretação dos processos hidrológicos que ocorrem em um curso de água. No entanto, optou-se nesse relatório de situação, por se realizar ajustes de funções de regressão tipo polinomial, que correlacionam área de drenagem (A.D.) com a descarga mensal d'água (valores de vazão média e mínima) através dos postos utilizados neste trabalho e das suas respectivas áreas de drenagem. A Equação 1 apresenta o ajuste matemático do tipo polinomial adotado:

$$Q_m = \alpha AD^2 + \beta AD$$

Equação 1

em que:

Q_m = vazão média, em m³/s;

α , β = coeficientes de regressão ajustados mensalmente;

AD = Área de drenagem, em km².

O Quadro 3.6 apresenta os postos utilizados para o cálculo dos parâmetros presentes na equação acima, escolhidos por possuírem uma série de 30 anos de dados, anteriores a 1975. Isto se deve ao início de operação do Sistema Cantareira (1976) e as vazões retiradas para consumo urbano, industrial e rural serem consideravelmente menores que os valores atuais. Sendo assim, já se prevê que as vazões registradas atualmente são menores que as vazões estimadas, principalmente nas Bacias que sofrem influência do Sistema Cantareira (Jaguari, Atibaia e Piracicaba), onde a diferença entre as vazões



estimadas e as reais (medidas) são consideráveis. Nas demais Bacias (Camanducaia e Corumbataí), nota-se uma boa correlação entre os valores estimados e os registrados.

Quadro 3.6. Postos fluviométricos utilizados na elaboração das equações de regressão polinomial.

Código		Entidade	Manancial	Município
ANA	DAEE			
62600000	..	ANA	Jaguari	Bragança Paulista
62622000	3D - 002	DAEE	Camanducaia	Monte Alegre do Sul
62628000	3D - 001	DAEE	Camanducaia	Jaguariúna
62632000	4D - 001	DAEE	Jaguari	Cosmópolis
62660000	..	ANA	Atibainha	Nazaré Paulista
62665000	..	ANA	Cachoeira	Piracaia
62670000	..	ANA	Atibaia	Atibaia
62675100	..	ANA	Atibaia	Itatiba
62680000	3D - 003	DAEE	Atibaia	Campinas
62695000	4D - 010	DAEE	Piracicaba	Americana
62715000	4D - 007	DAEE	Piracicaba	Piracicaba

Fonte: IRRIGART (2005).

Com base nos dados dos postos apresentados no Quadro 3.6, definiu-se os coeficientes da equação, para as vazões médias e mínimas, conforme apresentado no Quadro 3.7 e Quadro 3.8.

Quadro 3.7. Coeficientes mensais das equações do tipo polinomial para a estimativa das vazões médias nas Bacias PCJ.

Mês	α	β	Coeficiente de Correlação (r^2)
Janeiro	-0,0000003	0,026	0,9929
Fevereiro	-0,0000005	0,03	0,9946
Março	-0,0000005	0,0267	0,9957
Abril	-0,0000006	0,0197	0,9889
Mai	-0,0000004	0,0146	0,99
Junho	-0,0000004	0,013	0,9951
Julho	-0,0000003	0,0111	0,9937
Agosto	-0,0000003	0,0094	0,9937
Setembro	-0,0000003	0,0093	0,994
Outubro	-0,0000003	0,011	0,9951
Novembro	-0,0000004	0,0129	0,9937
Dezembro	-0,0000005	0,0196	0,9885

Fonte: IRRIGART (2005).



Quadro 3.8. Coeficientes mensais das equações do tipo polinomial para a estimativa das vazões mínimas nas Bacias PCJ.

Mês	α	β	Coefficiente de Correlação (r^2)
Janeiro	-0,0000003	0,0143	0,9927
Fevereiro	-0,0000004	0,0183	0,9959
Março	-0,0000005	0,0178	0,9967
Abril	-0,0000005	0,0146	0,9906
Mai	-0,0000004	0,0117	0,9918
Junho	-0,0000004	0,0103	0,9935
Julho	-0,0000003	0,0091	0,9929
Agosto	-0,0000003	0,0078	0,9902
Setembro	-0,0000003	0,0072	0,9925
Outubro	-0,0000003	0,0073	0,9938
Novembro	-0,0000003	0,0082	0,9918
Dezembro	-0,0000004	0,0102	0,992

Fonte: IRRIGART (2005).

b) Metodologia para determinação das vazões médias e mínimas nos exutório das Sub-Bacias do Rio Piracicaba, nos anos de 2004 e 2005

Esta metodologia foi baseada no Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2002/2003 (IRRIGART, 2005).

Objetivou-se, com esta metodologia, comparar os valores ocorridos nos anos de 2004 e 2005 com as médias e mínimas estimadas.

- Inicialmente, selecionou-se, por Sub-Bacia, as estações fluviométricas localizadas mais próximas ao exutório dos rios Atibaia, Camanducaia, Corumbataí, Jaguari e Piracicaba, com dados disponíveis. Os rios Jundiá e Capivari não foram contemplados neste estudo, uma vez que não possuíam séries históricas atualizadas até 2005;
- Calculou-se, mensalmente, para cada Sub-Bacia, as vazões médias e mínimas, observadas nos anos de 2004 e 2005, através da relação entre a área de drenagem da Sub-Bacia e a do posto fluviométrico em questão.

Os postos selecionados para o estudo das vazões de 2004 e 2005 são apresentados no Quadro 3.9. Vale ressaltar que os cinco postos pertencem ao DAEE e os dados estudados foram somente de 2004 e 2005.

**Quadro 3.9. Postos fluviométricos com dados disponíveis.**

Código	Manancial	Município	AD (km ²)	Período	Coordenadas UTM	
					E (m)	N (m)
3D-002	Camanducaia	Monte Alegre do Sul	387	Mai/1944 – Dez/2005	328.086	7.489.213
4D-001	Jaguari	Cosmópolis	3.394	Mai/1943 – Dez/2005	272.423	7.492.730
3D-003	Atibaia	Campinas	2.308	Mai/1944 – Dez/2005	295.745	7.480.629
4D-021	Corumbataí	Piracicaba	1.581	Nov/1972 – Dez/2005	224.067	7.500.337
4D-007	Piracicaba	Piracicaba	11.040	Jul/1943 – Dez/2005	214.839	7.489.331

Fonte: IRRIGART (2005) e atualização.

3.1.2.2 Resultados obtidos

Na seqüência, com base na metodologia já explicitada, são apresentados os resultados obtidos que permitem a realização do demonstrativo do regime fluvial de cada Sub-Bacia do Rio Piracicaba e, no final, uma análise para a Bacia do Rio Piracicaba como um todo, englobando as 5 Sub-Bacias (Jaguari, Camanducaia, Atibaia, Corumbataí e Piracicaba). Para os Rios Capivari e Jundiá não foi possível traçar este panorama, pois não existem dados disponíveis, conforme citado anteriormente.

Na apresentação dos resultados a seguir, sempre no primeiro gráfico são plotadas as vazões médias e mínimas calculadas pela equação de Regressão e são valores estáticos, isto é, não mudam em função do tempo. Já nos gráficos referentes à vazão média, estão plotados, para efeito de comparação, as vazões médias de longo período determinadas pelo Método da Regionalização das Vazões (DAEE, 1991), já calculados no item 3.1.4.

Nos gráficos referentes a vazões mínimas estão plotadas a vazão de estiagem ($Q_{7,10}$) e a vazão com permanência de 95% ($Q_{95\%}$), sendo ambas calculadas pelo Método da Regionalização das Vazões (DAEE, 1991).

Ressalte-se que as diferenças entre as vazões estimadas e as reais, nas Bacias dos Rios Piracicaba, Jaguari e Atibaia, são consideráveis, devido à Operação do Sistema Cantareira (armazenamento, reversão, etc.), dentre outros fatores, discutidos no prosseguimento do Relatório.

**a) Sub-Bacia do Rio Camanducaia**

Quadro 3.10. Valores estimados das vazões médias e mínimas mensais pelo método proposto – Sub-Bacia do Rio Camanducaia.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Vazões médias mensais (m³/s)												
Estimada	26,46	30,37	26,97	19,65	14,61	12,97	11,11	9,36	9,26	11,01	12,86	19,66
2004	18,85	30,61	18,25	19,95	19,40	22,71	16,70	9,93	7,85	13,64	17,74	27,04
2005	47,31	31,35	33,29	19,57	19,69	13,83	12,14	9,00	10,93	11,44	10,92	19,74
Vazões mínimas mensais (m³/s)												
Estimada	14,41	18,42	17,80	14,51	11,63	10,18	9,05	7,72	7,10	7,20	8,13	10,08
2004	10,48	11,82	12,35	11,82	11,50	13,23	11,60	8,65	6,56	7,57	8,19	13,34
2005	17,75	21,18	13,45	16,14	11,92	11,71	10,38	7,66	8,19	6,98	8,10	9,69

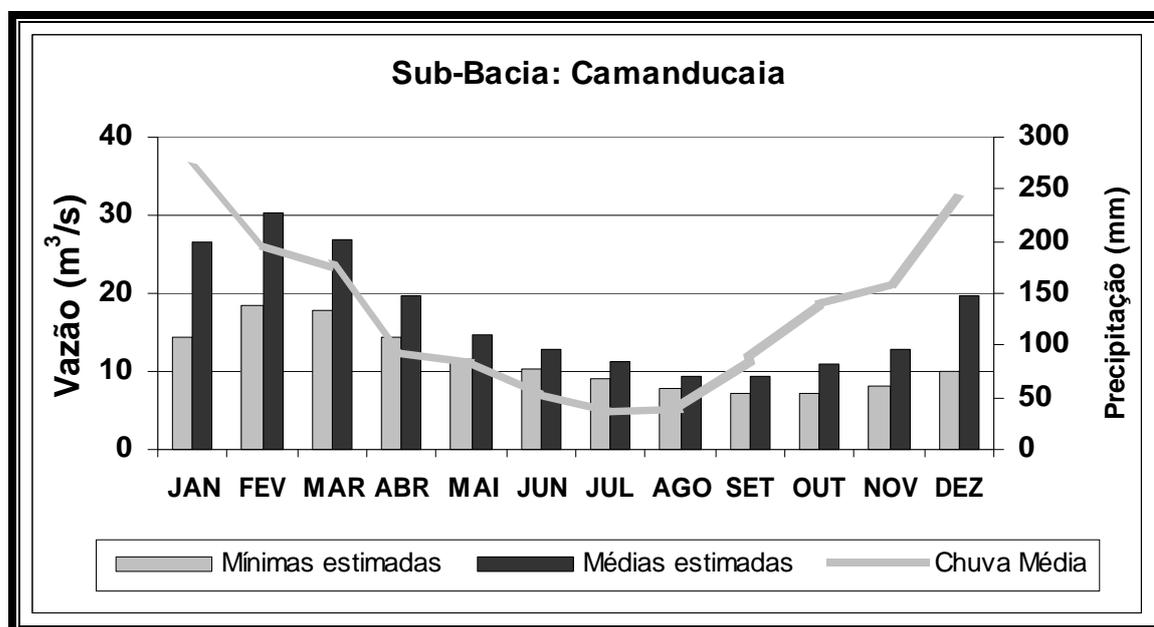


Figura 3.10. Vazões médias históricas, média das mínimas históricas e chuva média na Sub-Bacia do Rio Camanducaia.

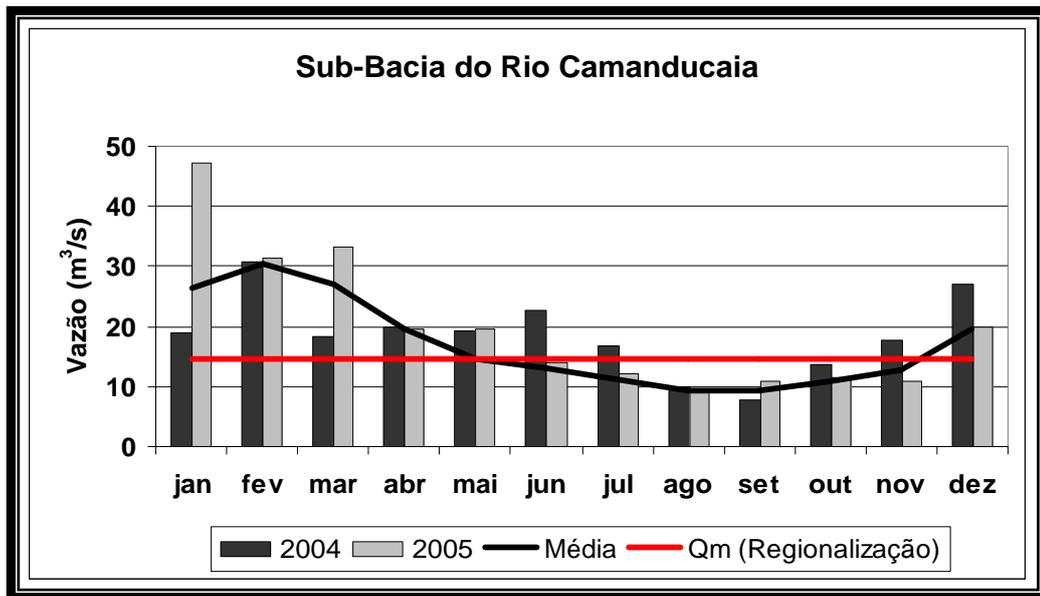


Figura 3.11. Vazões médias (estimadas) e vazões médias de 2004 e 2005 – Sub-Bacia do Rio Camanducaia.

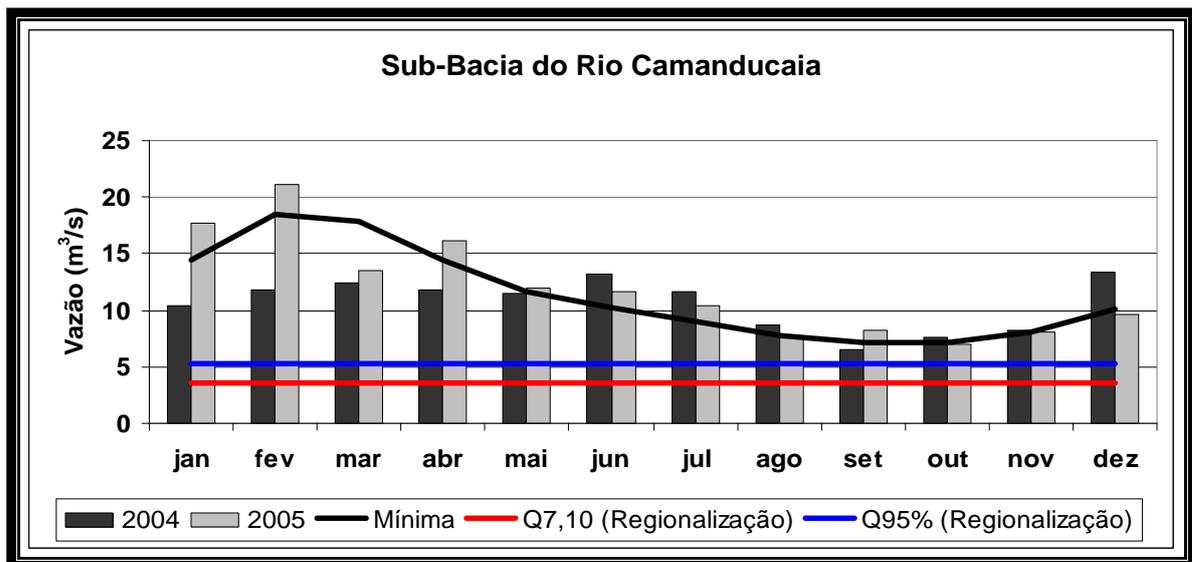


Figura 3.12. Vazões mínimas (estimadas) e vazões mínimas de 2004 e 2005 – Sub-Bacia do Rio Camanducaia.

Os níveis de vazão do Rio Camanducaia para os anos de 2004 e 2005, em comparação com os de outros rios das Bacias PCJ, podem ser considerados altos, uma vez que em grande parte do período seco as vazões mantiveram-se próximas à média histórica, o que não ocorreu nas outras Bacias. Este fenômeno se deve ao fato desta bacia não sofrer grandes interferências, como ocorre na Sub-Bacia do Rio Jaguari e no Rio Atibaia.



b) Sub-Bacia do Rio Jaguari

Quadro 3.11. Valores estimados das vazões médias e mínimas mensais pelo método proposto – Sub-Bacia do Rio Jaguari.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Vazões médias mensais (m³/s)												
Estimada	82,29	93,29	82,43	58,32	43,70	38,44	33,27	27,68	27,35	32,94	38,11	59,07
2004	34,30	44,46	27,16	29,22	25,85	29,54	23,13	13,15	9,50	22,00	25,01	42,44
2005	76,70	44,65	74,69	34,43	42,69	25,96	20,51	14,18	19,54	22,43	21,65	31,51
Vazões mínimas mensais (m³/s)												
Estimada	43,80	55,88	53,15	42,62	34,16	29,56	26,69	22,41	20,44	20,77	23,73	29,23
2004	15,87	16,47	18,46	15,87	15,43	16,32	13,84	11,09	7,31	8,70	10,32	17,69
2005	26,24	24,68	20,85	25,03	18,88	20,93	14,68	12,11	14,99	17,39	14,21	17,23

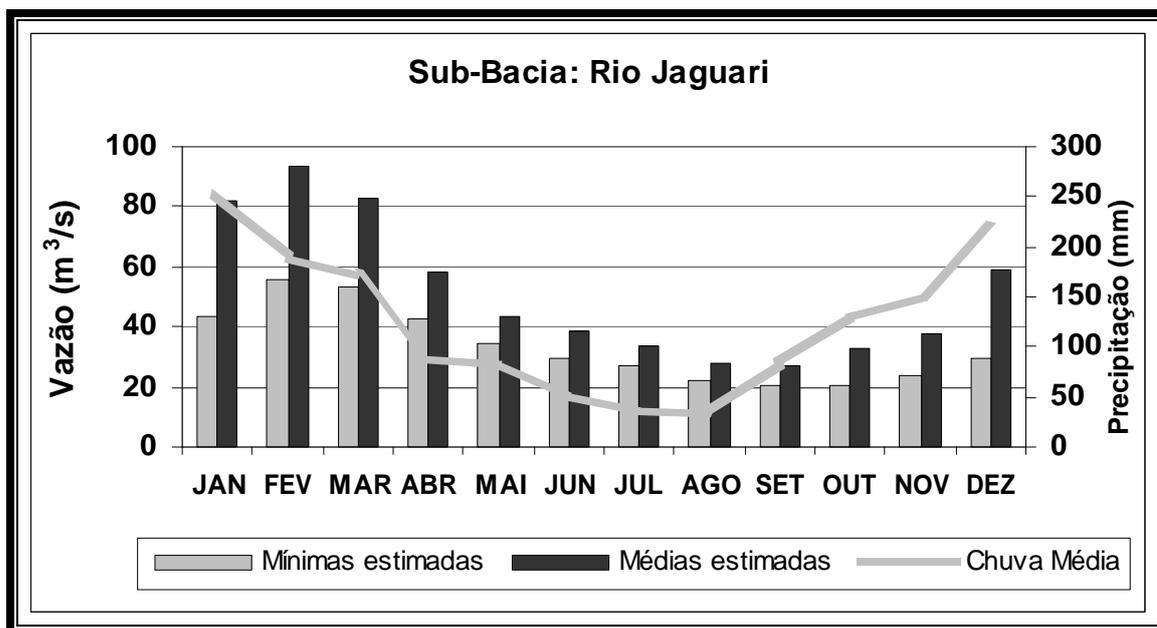


Figura 3.13. Vazões médias históricas, média das mínimas históricas e chuva média na Sub-Bacia do Rio Jaguari.

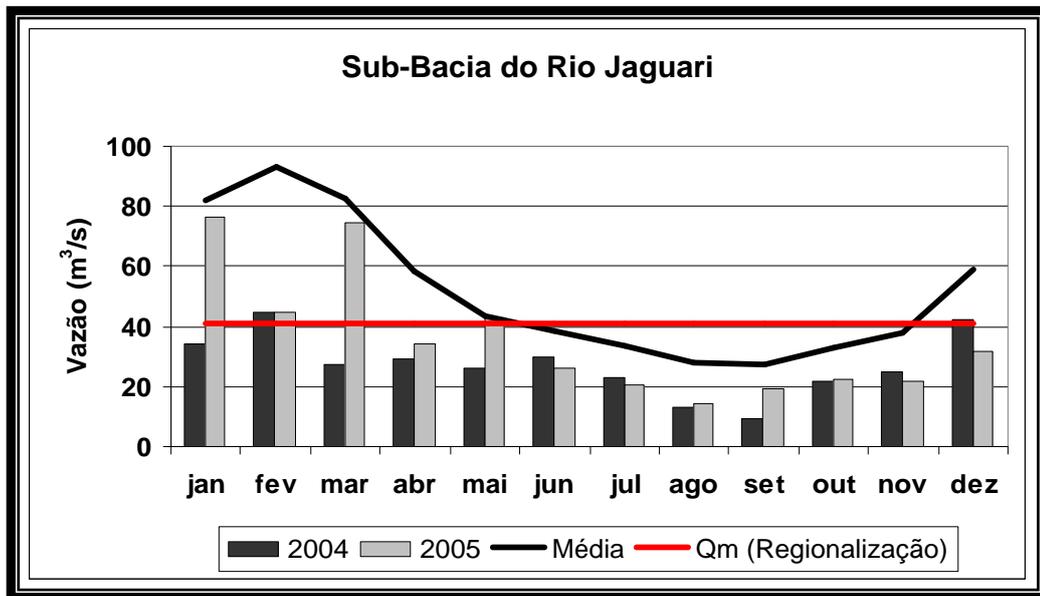


Figura 3.14. Vazões médias (estimadas) e vazões médias de 2004 e 2005 – Sub-Bacia do Rio Jaguari.

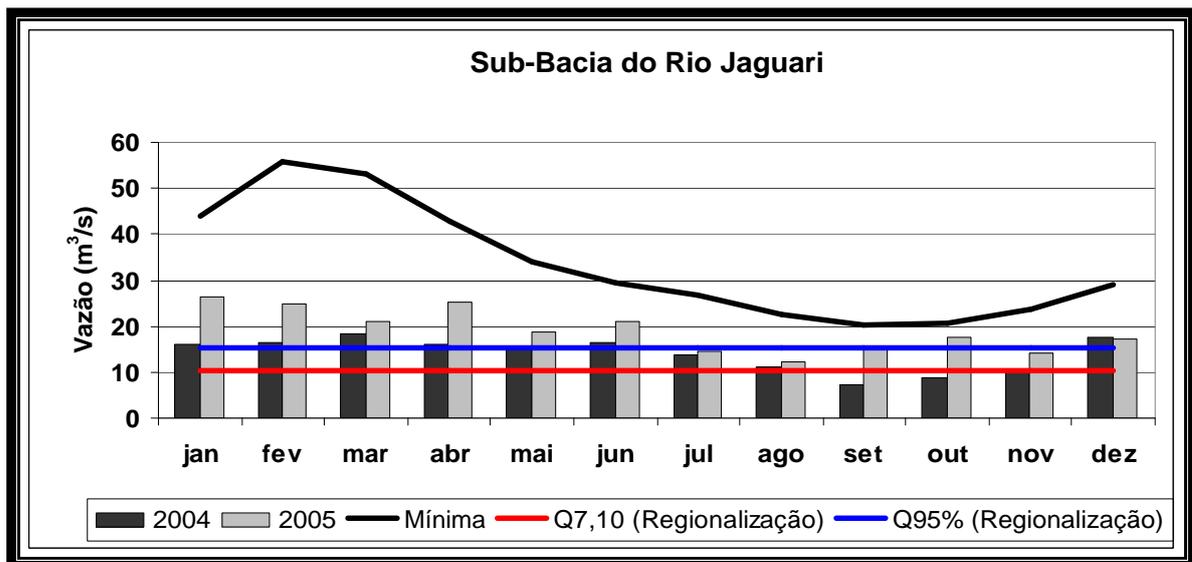


Figura 3.15. Vazões mínimas (estimadas) e vazões mínimas de 2004 e 2005 – Sub-Bacia do Rio Jaguari.

Fica nítido, na Figura 3.14 e na Figura 3.15, que as vazões de 2005 foram superiores às registradas em 2004, mesmo com uma menor precipitação (vide Figura 3.3). Esta melhora na vazão no ano de 2005 pode ser atribuída à regularização promovida pelo Sistema Cantareira.

**IRRIGART**Engenharia e Consultoria em
R. Hídricos e M. Ambiente Ltda**c) Sub-Bacia do Rio Atibaia****Quadro 3.12. Valores estimados das vazões médias e mínimas mensais pelo método proposto – Sub-Bacia do Rio Atibaia.**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Vazões médias mensais (m³/s)												
Estimada	72,12	81,95	72,48	51,58	38,59	34,00	29,37	24,50	24,21	29,09	33,71	52,11
2004	26,33	42,09	23,10	27,46	26,22	34,64	22,58	11,91	9,75	28,18	35,97	44,52
2005	55,50	42,19	94,40	26,06	39,18	24,85	18,49	12,43	16,72	24,33	24,93	27,96
Vazões mínimas mensais (m³/s)												
Estimada	38,55	49,21	46,95	37,77	30,27	26,26	23,64	19,91	18,19	18,47	21,05	25,97
2004	10,53	13,78	13,42	12,36	11,34	15,86	12,53	10,05	6,04	4,95	4,21	14,14
2005	14,14	16,53	17,05	19,17	16,05	15,47	14,89	9,13	9,90	13,06	12,36	12,36

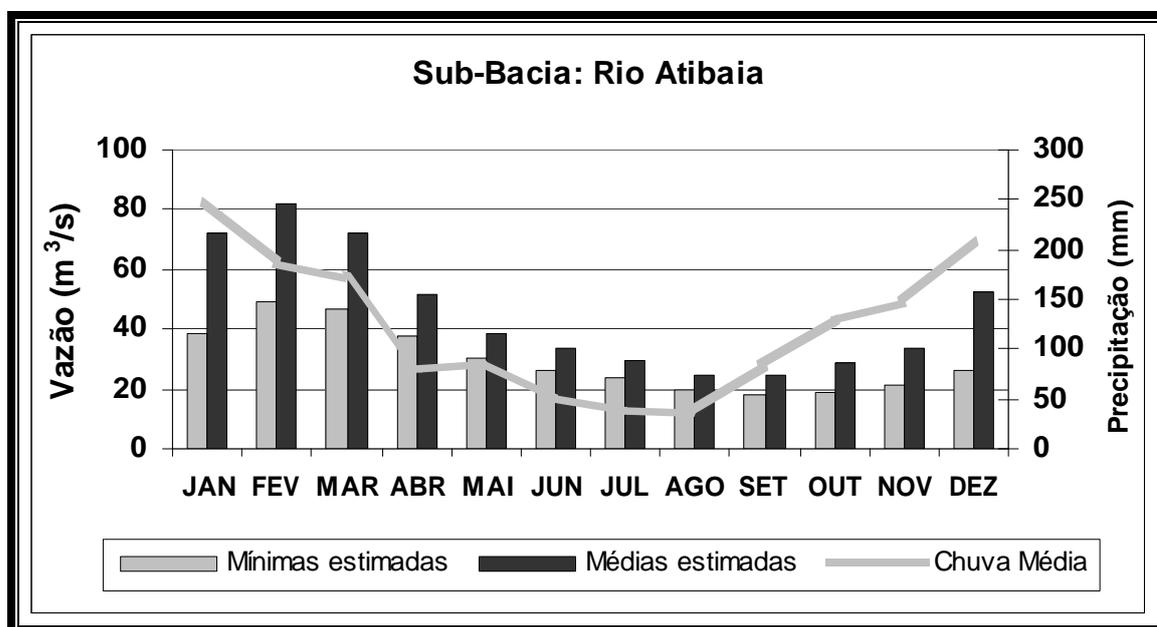


Figura 3.16. Vazões médias históricas, média das mínimas históricas e chuva média na Sub-Bacia do Rio Atibaia.

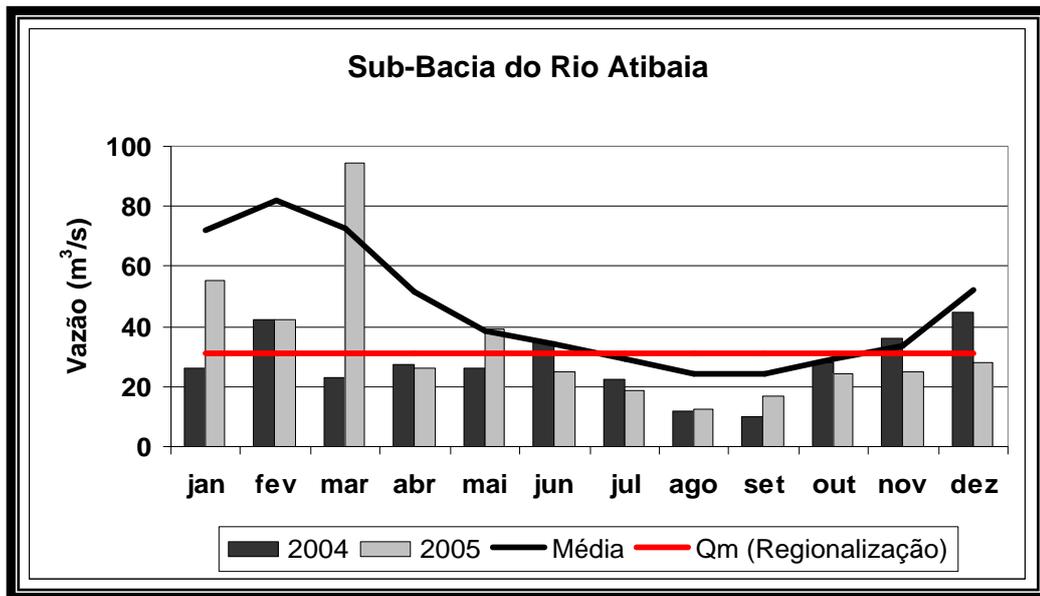


Figura 3.17. Vazões médias (estimadas) e vazões médias de 2004 e 2005 – Sub-Bacia do Rio Atibaia.

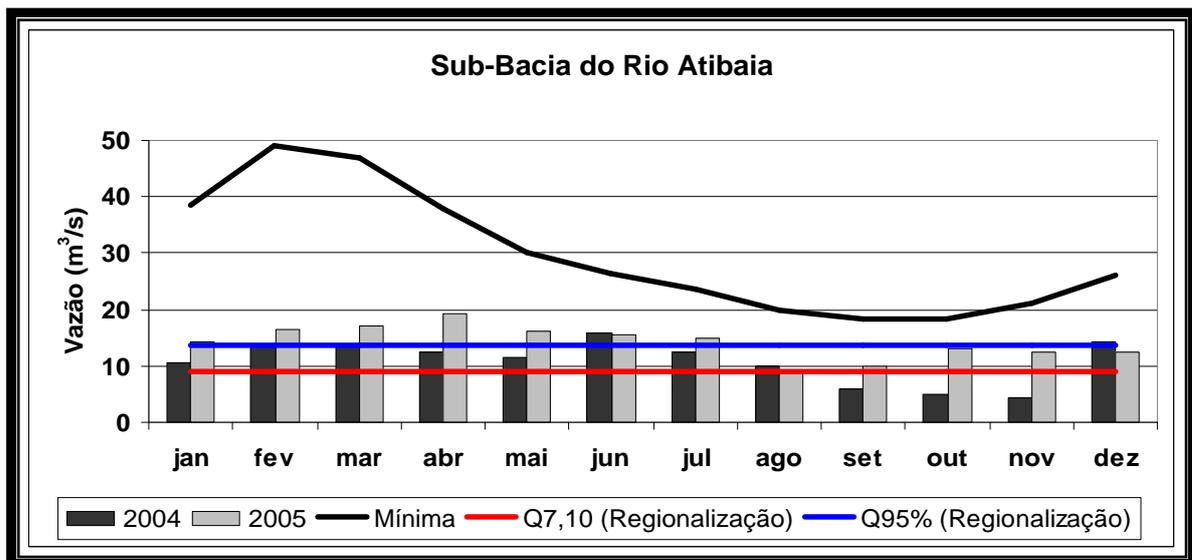


Figura 3.18. Vazões mínimas (estimadas) e vazões mínimas de 2004 e 2005 – Sub-Bacia do Rio Atibaia.

O Rio Atibaia também apresentou vazões maiores no ano de 2005, comparado a 2004 (vide Figura 3.4), mesmo com precipitações menores. Este comportamento pode ser atribuído à regularização de vazão promovida pelo Sistema Cantareira.

**IRRIGART**Engenharia e Consultoria em
R. Hídricos e M. Ambiente Ltda**d) Sub-Bacia do Rio Corumbataí****Quadro 3.13. Valores estimados das vazões médias e mínimas mensais pelo método proposto – Sub-Bacia do Rio Corumbataí.**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Vazões médias mensais (m³/s)												
Estimada	42,81	48,97	43,42	31,39	23,39	20,70	17,79	14,94	14,77	17,63	20,53	31,50
2004	46,56	66,15	44,33	33,77	22,08	19,80	15,98	9,28	6,75	13,73	11,84	12,92
2005	108,32	...	...	...	...	37,87	10,20	7,66	7,81	8,52	9,70	17,73
Vazões mínimas mensais (m³/s)												
Estimada	29,60	28,48	23,11	18,52	16,17	14,43	12,25	11,24	11,41	12,92	16,00	10,08
2004	12,13	15,97	29,20	21,74	18,09	11,91	11,05	6,74	6,74	6,74	8,95	7,74
2005	16,67	...	...	...	...	10,62	8,95	6,74	6,74	6,84	6,74	6,94

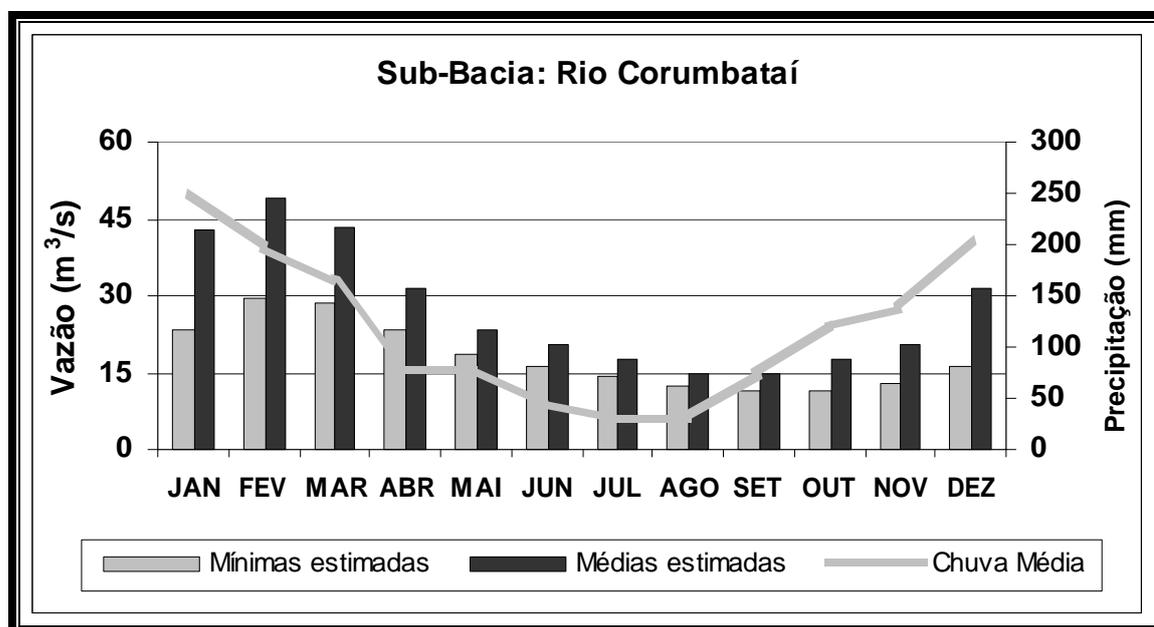


Figura 3.19. Vazões médias históricas, média das mínimas históricas e chuva média na Sub-Bacia do Rio Corumbataí.

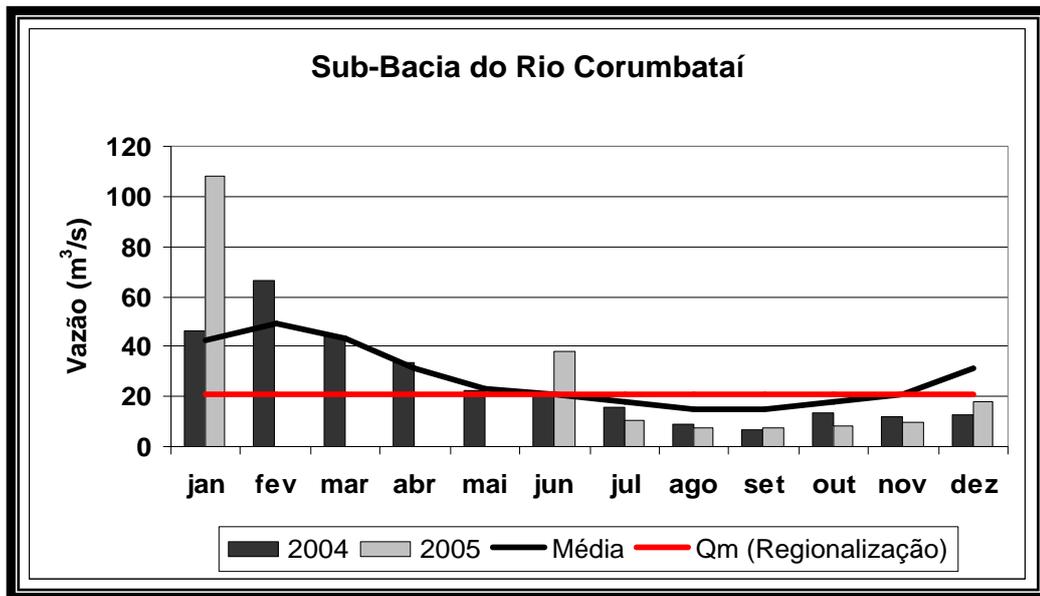


Figura 3.20. Vazões médias (estimadas) e vazões médias de 2004 e 2005 – Sub-Bacia do Rio Corumbataí.

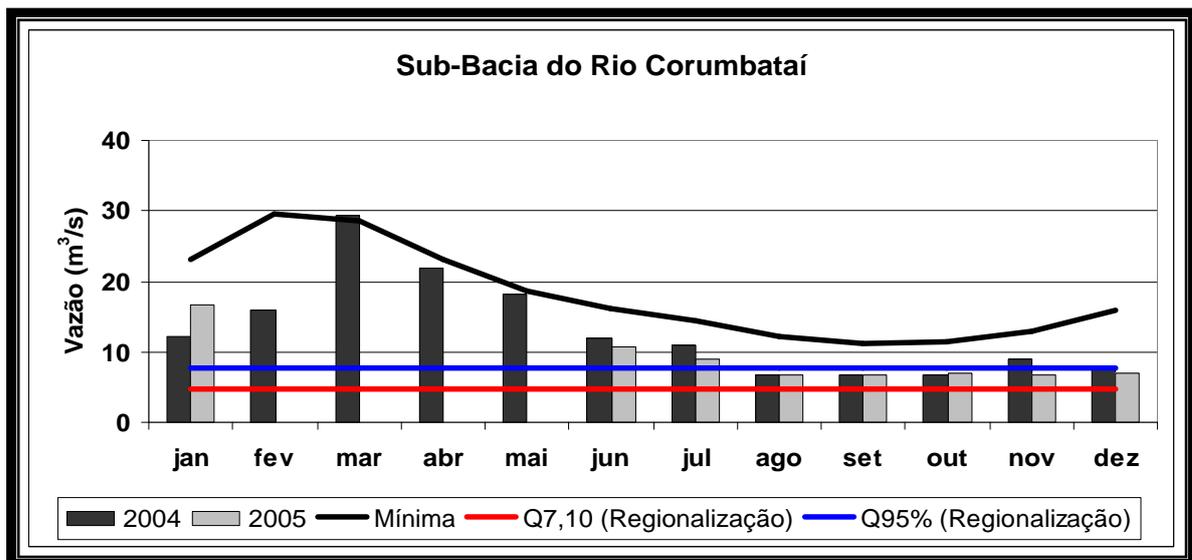


Figura 3.21. Vazões mínimas (estimadas) e vazões mínimas de 2004 e 2005 – Sub-Bacia do Rio Corumbataí.

A análise das vazões do Rio Corumbataí ficou de certa forma prejudicada pela falta de dados de alguns meses do ano de 2005. Mesmo assim, nota-se o pico de vazão em janeiro de 2005. Por outro lado, tanto em 2004 como em 2005, os valores mínimos ficaram acima do valor de referência ($Q_{7,10}$).



e) Sub-Bacia do Rio Piracicaba

Quadro 3.14. Valores estimados das vazões médias e mínimas mensais pelo método proposto – Sub-Bacia do Rio Piracicaba.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Vazões médias mensais (m³/s)												
Estimada	92,11	104,18	91,96	64,69	48,55	42,63	36,97	30,68	30,31	36,60	42,26	65,69
2004	50,78	64,35	46,77	37,76	34,95	40,75	38,11	18,25	13,69	29,53	32,83	43,93
2005	79,85	54,78	67,53	36,17	41,24	29,72	25,39	16,56	20,42	26,08	...	33,55
Vazões mínimas mensais (m³/s)												
Estimada	48,81	62,25	59,03	47,18	37,82	32,64	29,57	24,76	22,54	22,91	26,24	32,27
2004	25,00	29,36	28,66	25,52	25,18	25,52	24,31	15,01	10,62	11,58	21,40	26,22
2005	34,49	32,89	27,26	29,89	23,62	23,28	21,91	13,70	17,17	18,35	...	18,52

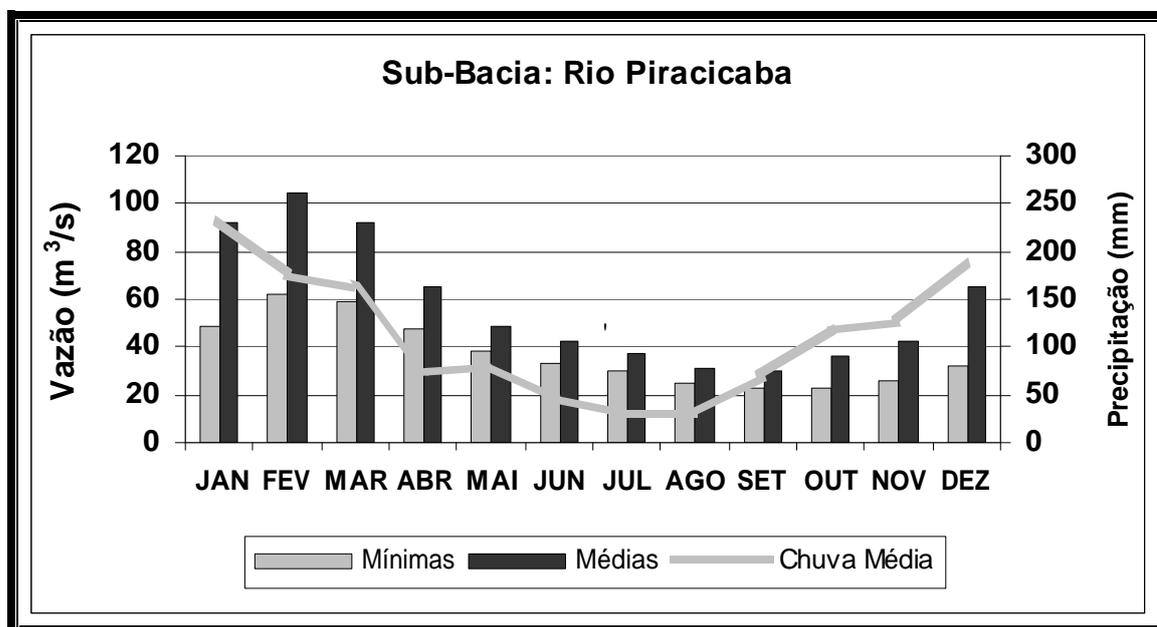


Figura 3.22. Vazões médias históricas, média das mínimas históricas e chuva média na Sub-Bacia do Rio Piracicaba.

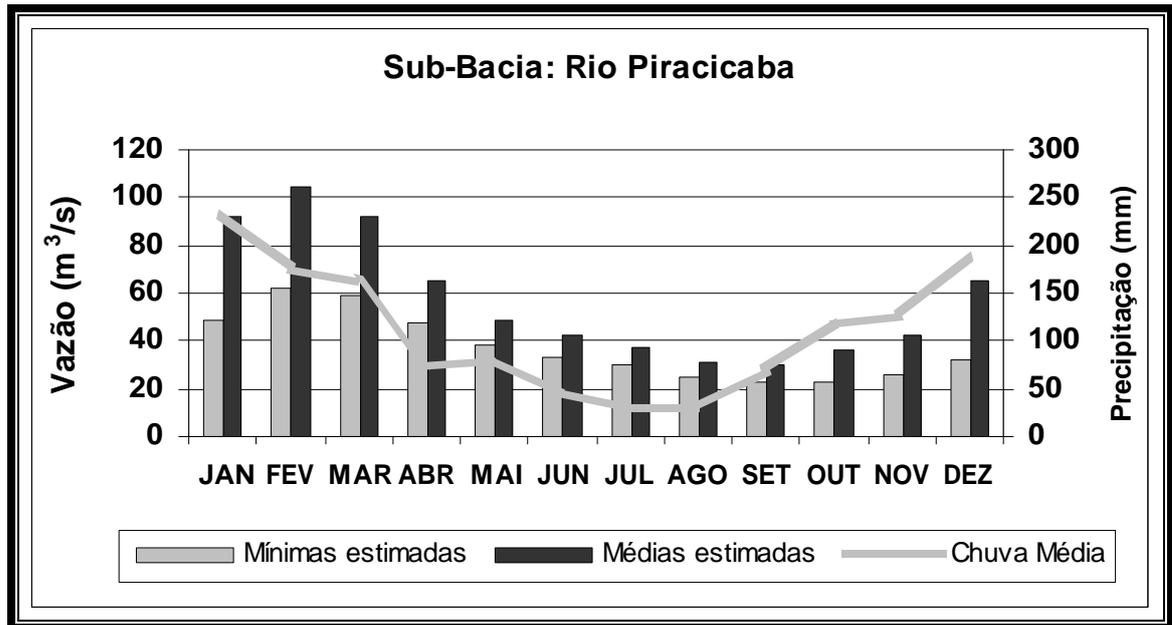


Figura 3.23. Vazões médias (estimadas) e vazões médias de 2004 e 2005 – Sub-Bacia do Rio Piracicaba.

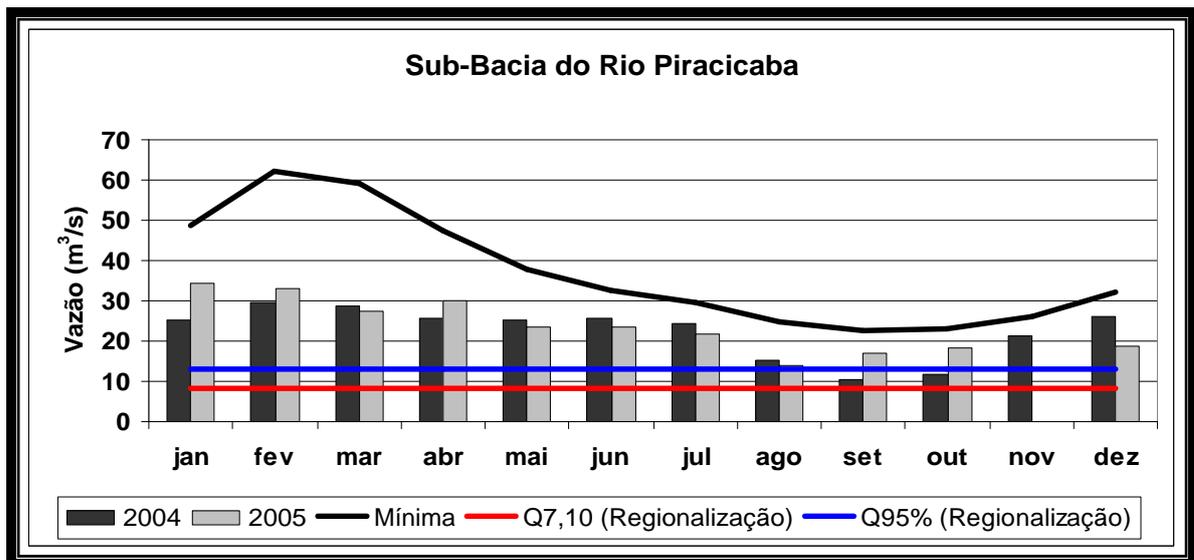


Figura 3.24. Vazões mínimas (estimadas) e vazões mínimas de 2004 e 2005 – Sub-Bacia do Rio Piracicaba.

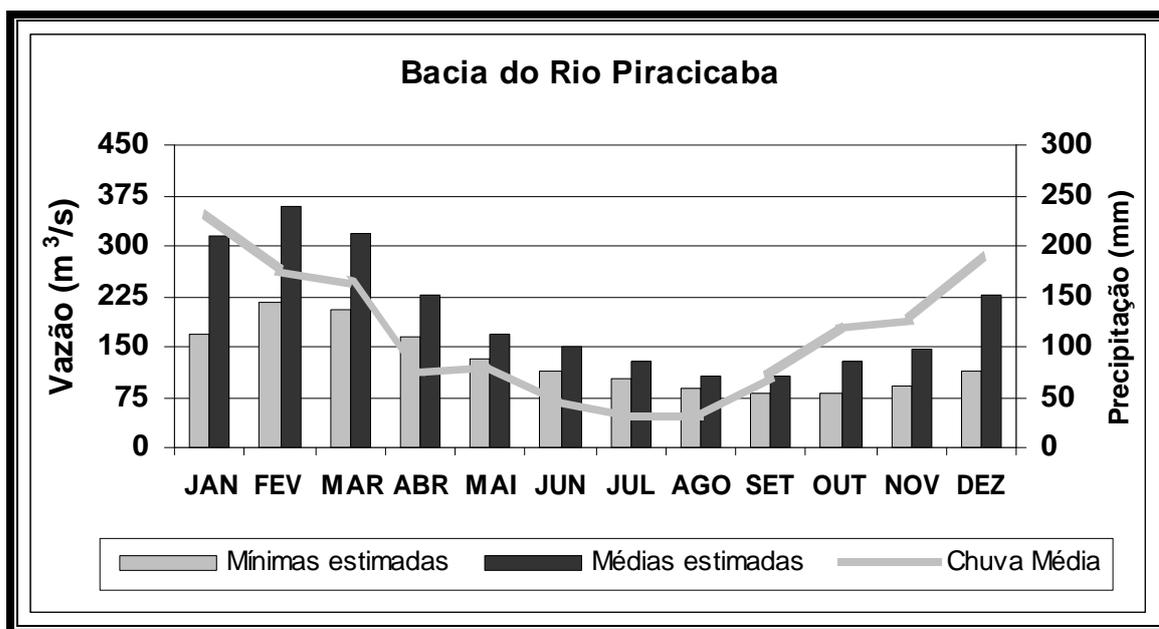
Nota-se que as vazões para a Sub-Bacia do Rio Piracicaba, nos anos de 2004 e 2005 ficaram sempre abaixo da média histórica. Em 2004 as vazões ficaram acima da vazão de referência ($Q_{7,10}$), porém abaixo da vazão com 95% de permanência. Já em 2005, mesmo com uma chuva menor que 2004 (vide Figura 3.6), as vazões ficam sempre iguais ou maiores que o $Q_{95\%}$.

**f) Bacia do Rio Piracicaba (Sub-Bacias inclusas)**

Neste item, a análise foi realizada para a Bacia do Rio Piracicaba como um todo, isto é, a união das 5 Sub-Bacias existentes (Camanducaia, Jaguari, Atibaia, Piracicaba e Corumbataí).

Quadro 3.15. Valores estimados das vazões médias e mínimas mensais pelo método proposto – Bacia do Rio Piracicaba.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Vazões médias mensais (m³/s)												
Estimada	315,80	358,75	317,27	225,63	168,85	148,74	128,52	107,16	105,90	127,27	147,48	228,03
2004	172,47	218,55	158,84	128,25	118,70	138,39	129,44	62,00	46,51	100,29	111,49	149,21
2005	271,19	186,06	229,33	122,86	140,07	100,94	86,23	56,24	69,34	88,57	...	149,21
Vazões mínimas mensais (m³/s)												
Estimada	168,74	215,36	205,41	165,19	132,40	114,81	103,39	87,05	79,51	80,76	92,07	113,55
2004	84,92	99,72	97,33	86,68	85,51	86,68	82,57	50,99	36,07	39,34	72,67	89,04
2005	117,13	111,70	92,59	101,51	80,23	79,06	74,41	46,52	58,32	62,31	...	62,88

**Figura 3.25. Vazões médias históricas, média das mínimas históricas e chuva média na Bacia do Rio Piracicaba.**

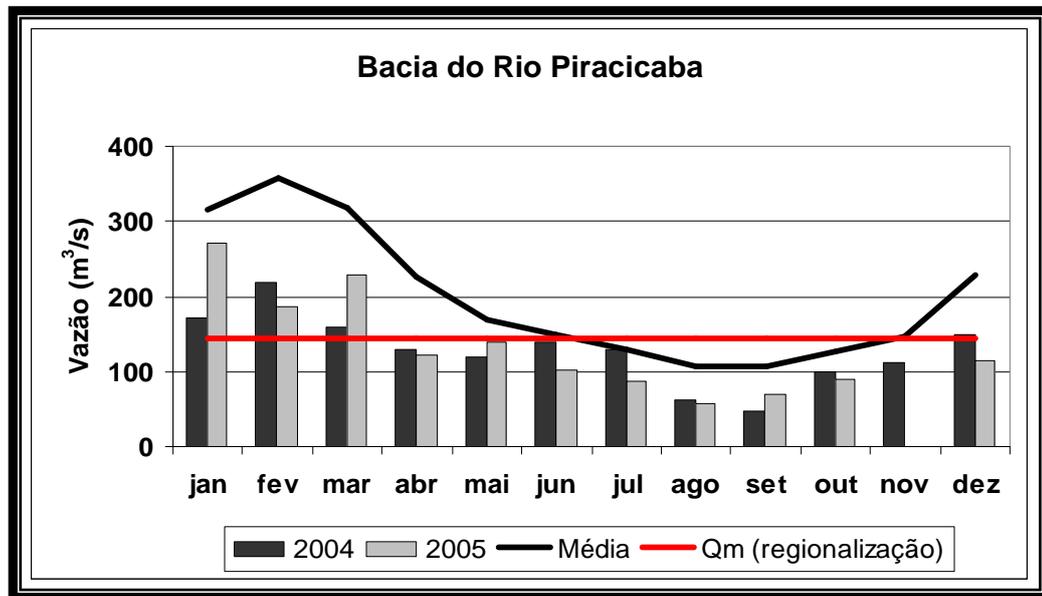


Figura 3.26. Vazões médias (estimadas) e vazões médias de 2004 e 2005 – Bacia do Rio Piracicaba.

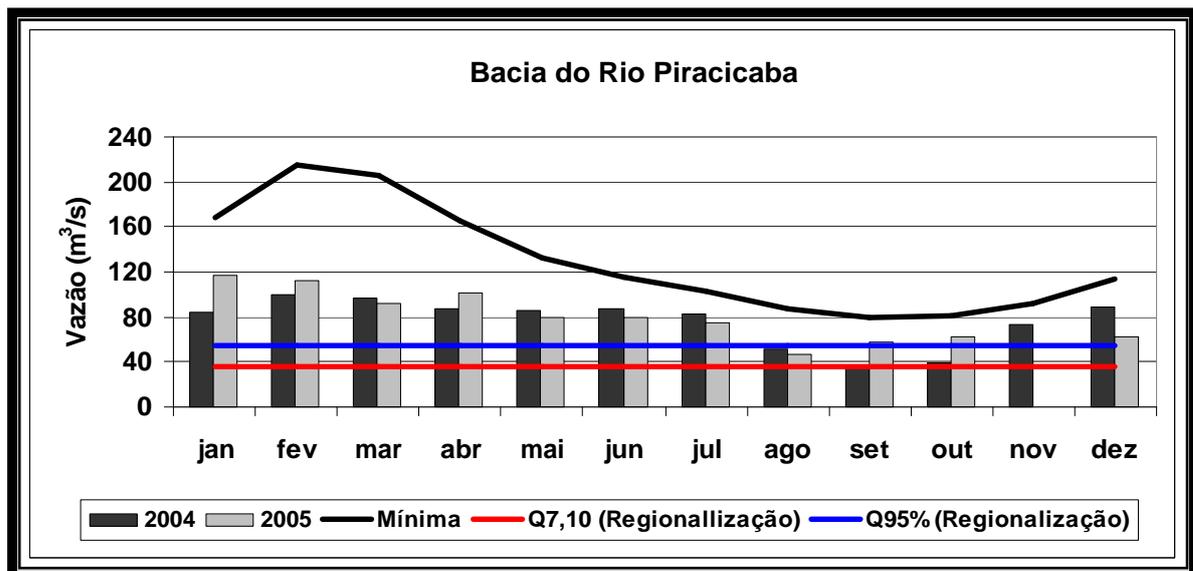


Figura 3.27. Vazões mínimas (estimadas) e vazões mínimas de 2004 e 2005 - Bacia do Rio Piracicaba.

A análise da Bacia do Rio Piracicaba (que é a união das Sub-Bacias do Piracicaba, Corumbataí, Camanducaia, Atibaia e Jaguari) é o reflexo do comportamento de todas as Sub-Bacias já analisadas, uma vez que são formadoras do Rio Piracicaba.

No exutório do Rio Piracicaba, estimou-se que as vazões dos anos de 2004 e 2005 ficaram bem abaixo da média histórica, porém o ano de 2005 apresentou uma considerável melhora dos níveis, mesmo com chuvas menores (vide Figura 3.2, Figura 3.3, Figura 3.4,

Figura 3.5 e Figura 3.6), principalmente nos meses tradicionalmente secos (abril a setembro), com exceção do mês de Agosto, cujas vazões médias foram menores em 2005, em comparação a 2004. Esta ocorrência pode ser atribuída aos baixos valores de precipitação encontrados em todas as Sub-Bacias formadoras do Rio Piracicaba.

Este comportamento é reflexo das novas regras de operação do Sistema Cantareira, que entraram em vigor em Agosto/04, após a publicação da Portaria 1.213/04.

Para efeito de análise, é apresentado na seqüência um comparativo das precipitações ocorridas e as vazões resultantes nos anos de 2004 e 2005.

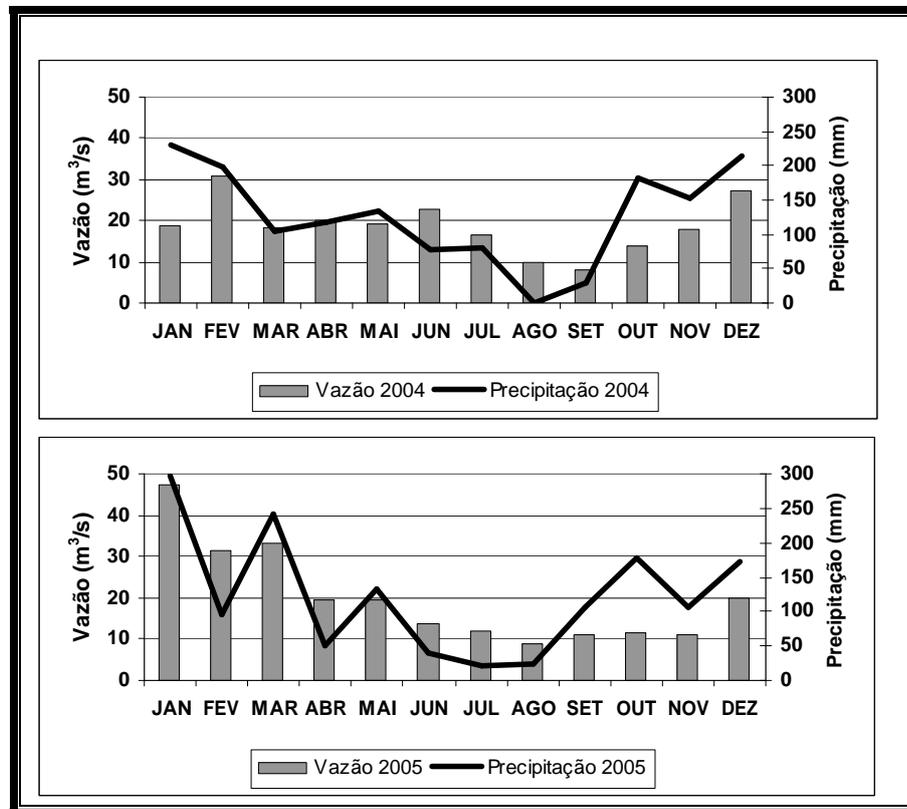


Figura 3.28. Vazões médias mensais e totais de chuva na Sub-Bacia do Rio Camanducaia.

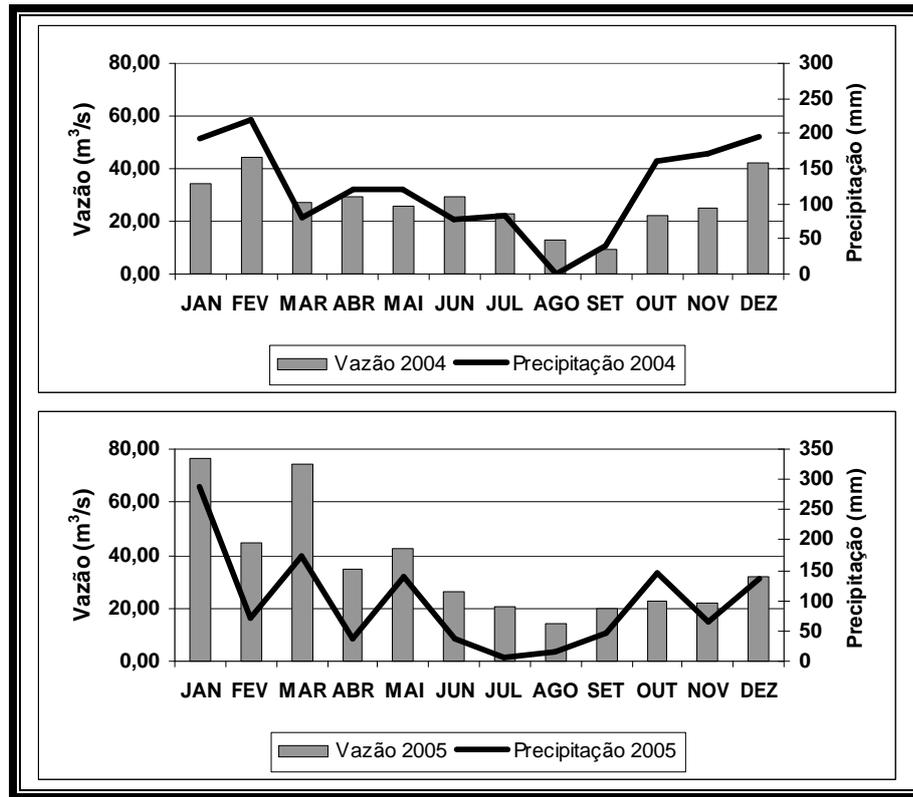


Figura 3.29. Vazões médias mensais e totais de chuva na Sub-Bacia do Rio Jaguarí.

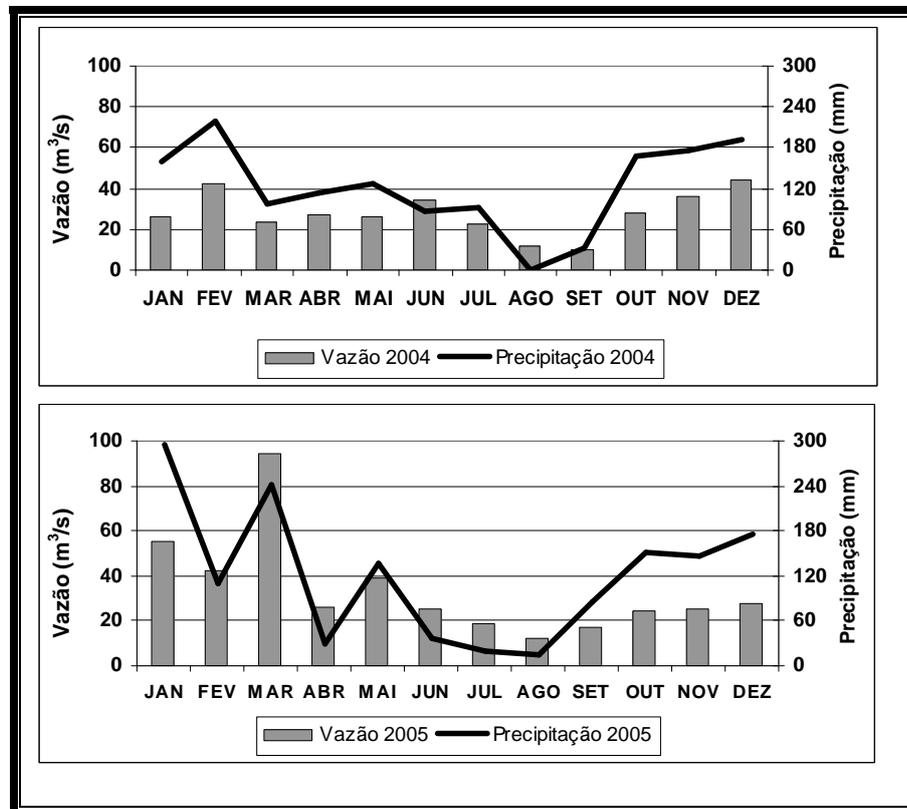


Figura 3.30. Vazões médias mensais e totais de chuva na Sub-Bacia do Rio Atibaia.

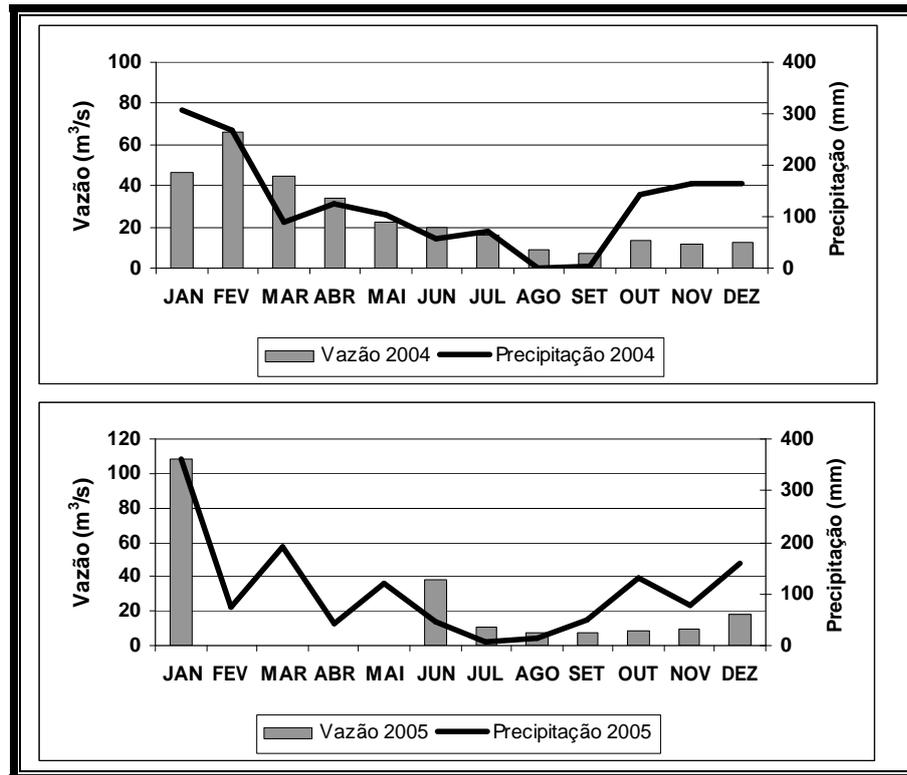


Figura 3.31. Vazões médias mensais e chuva total na Sub-Bacia do Rio Corumbataí.

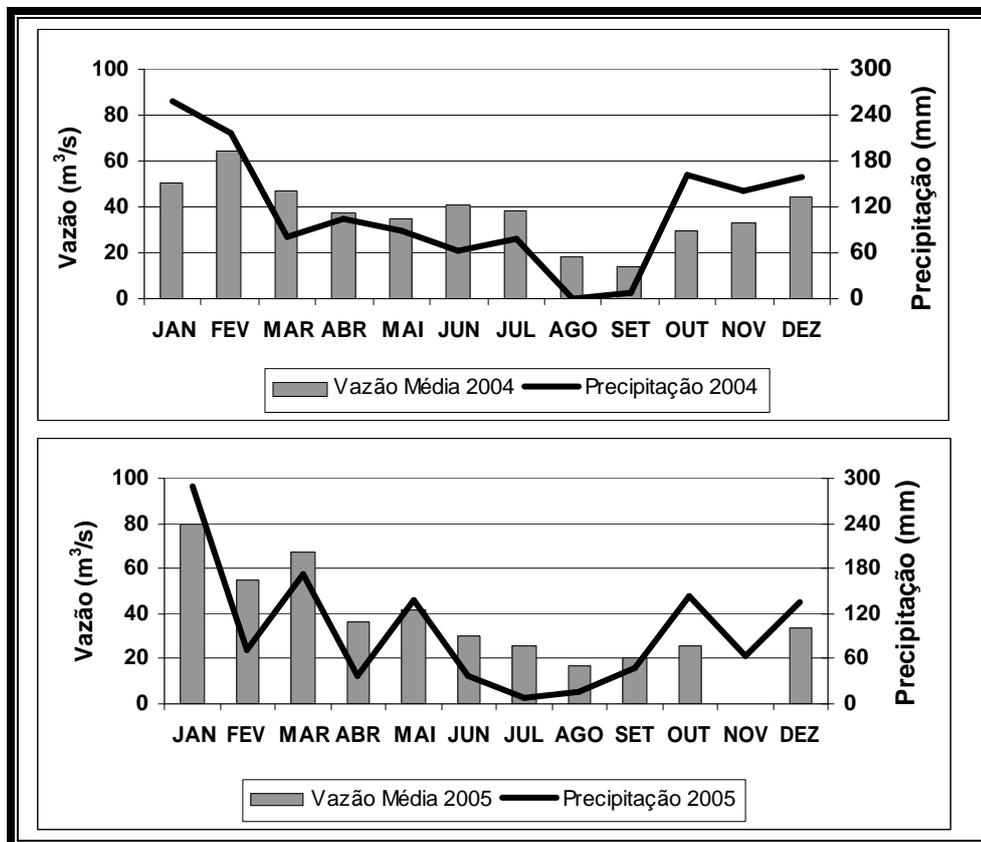


Figura 3.32. Vazões médias mensais e chuva total na Sub-Bacia do Rio Piracicaba.

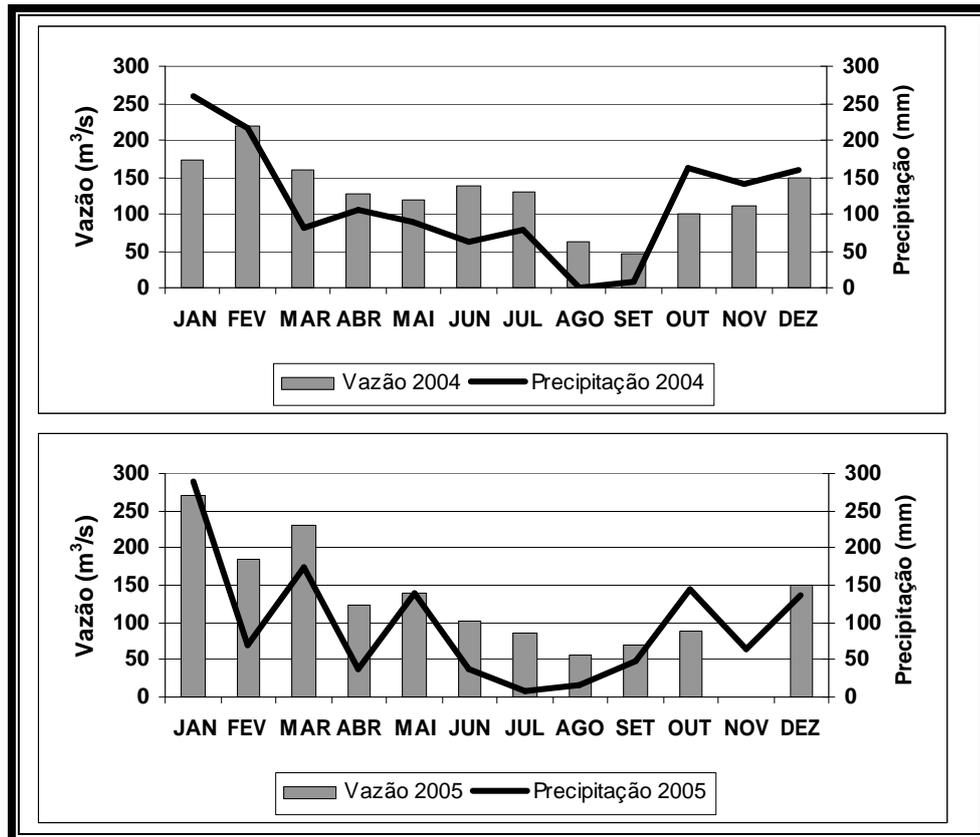


Figura 3.33. Vazões médias mensais e totais de chuva na Bacia do Rio Piracicaba.

3.1.3. Análise do volume de água descarregado no Rio Tietê

Neste tópico é feita uma comparação entre a estimativa do volume de água descarregado pelo Rio Piracicaba no Rio Tietê, no período de 2004/2005 e o volume descarregado no mesmo período considerando as médias históricas, objetivando-se comparar o volume médio de água descarregado pelo Rio Piracicaba (médias históricas), com os dados de 2004 e 2005 e correlacioná-los com os dados de precipitação e consumo de águas nas Bacias PCJ.

Obviamente que os volumes descarregados atualmente são menores, em se comparando com a média, devido, entre outros fatores, ao elevado consumo na Bacia e à Reversão pelo Sistema Cantareira de cerca de até 31 m³/s da Bacia do Piracicaba para a RMSP. A metodologia básica para esta análise é a seguinte:

- Inicialmente, com base nas vazões médias estimadas na Foz do Rio Piracicaba, através do posto fluviométrico 4D-007, operado pelo DAEE, calcula-se o volume mensal descarregado no Rio Tietê, multiplicando-se a vazão média pelo número de segundos existentes no mês analisado;



- Com base nos volumes descarregados em cada mês pode-se calcular o volume acumulado, isto é, a soma dos volumes descarregados mês a mês, tomando-se por base $t_0^4 = 01/01/2004$ e $t_f^5 = 31/12/2005$. Também adota-se que o volume acumulado no início da análise é igual a zero;
- Aplica-se o mesmo método nas vazões calculadas em 2004 e 2005⁶ na foz no Rio Piracicaba, determinando assim os valores acumulados destes dois anos.

Os valores utilizados para os cálculos são apresentados no Quadro 3.16.

Quadro 3.16. Valores utilizados para estimativa do volume de água descarregado no Rio Tietê.

Mês	Médias históricas			Valores de 2004 a 2005					
	Vazão mensal (m ³ /s)	Volume mensal (10 ⁶ m ³)	Volume acumulado (10 ⁶ m ³)	Vazão média (m ³ /s)		Volume mensal (10 ⁶ m ³)		Volume acumulado (10 ⁶ m ³)	
				2004	2005	2004	2005	2004	2005
Jan	316	846	846	172	271	462	726	462	4.761
Fev	359	899	1.745	219	186	548	450	1.010	5.211
Mar	317	850	2.594	159	229	425	614	1.435	5.825
Abr	226	585	3.179	128	123	332	318	1.767	6.144
Mai	169	438	3.617	119	140	318	375	2.085	6.519
Jun	149	386	4.003	138	101	359	262	2.444	6.780
Jul	129	344	4.347	129	86	347	231	2.791	7.011
Ago	107	287	4.634	62	56	166	151	2.957	7.162
Set	106	274	4.908	47	69	121	180	3.077	7.342
Out	127	341	5.249	100	89	269	237	3.346	7.579
Nov	147	382	5.631	111	147	289	382	3.635	7.961
Dez	228	611	6.242	149	149	400	400	4.035	8.361

Fonte: SIGRH e IRRIGART (2005).

⁴ Tempo inicial da análise.

⁵ Tempo final da análise.

⁶ Como os valores de Novembro/05 não estão disponíveis, utilizou-se para este mês a média histórica.

Com base nesses valores foi elaborada a Figura 3.34, ilustrando o comportamento do volume estimado de descarga na foz do Rio Piracicaba com base nas vazões médias históricas e nas vazões observadas no ano de 2004 e 2005.

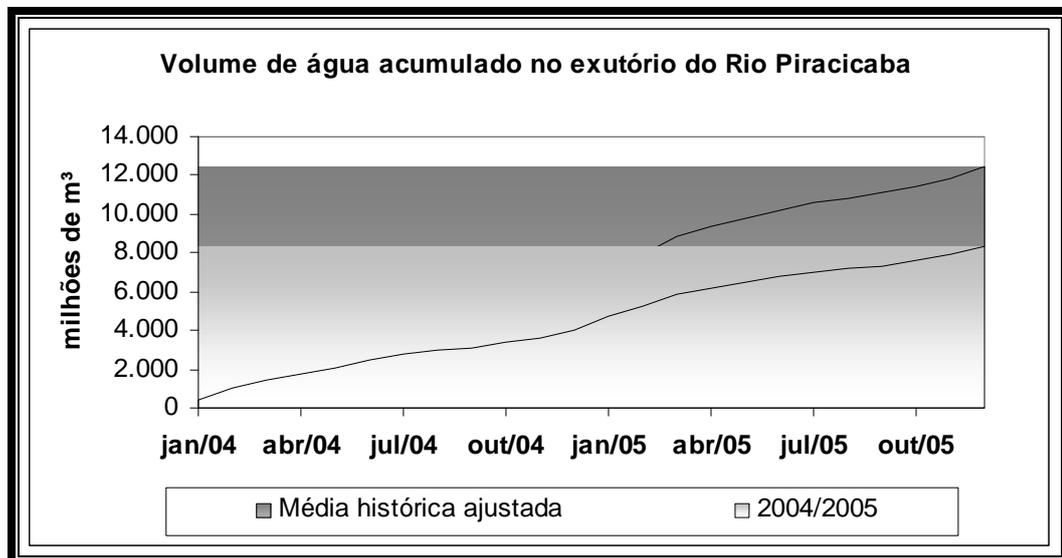


Figura 3.34. Volumes descarregados pelo Rio Piracicaba no Rio Tietê.

Com base na Figura 3.34 nota-se que o volume descarregado durante o período de 2004 e 2005 ficou muito abaixo das médias históricas.

A diferença entre o volume estimado pelas médias históricas e o real (medido) foi de 4,062 km³. Para suprir esta diferença, a vazão na Foz do Rio Piracicaba deveria ser aumentada na ordem de 64,80 m³/s, em média, durante o período analisado.

Esta diferença pode ter ocorrido pelos seguintes motivos, entre outros:

- O somatório acumulado das precipitações médias da bacia foi 102 mm menor que as médias históricas, no período analisado;
- Elevado consumo de água na Bacia do Rio Piracicaba (cerca de 11,8 m³/s), nos anos de 2004 a 2006 (IRRIGART, 2005);
- Reversão de até de 31 m³/s da bacia para a RMSP.

3.1.4. Estimativa da disponibilidade hídrica natural através do Método da “Regionalização Hidrológica”

Para as Bacias PCJ foram estimadas as vazões: (i) média pluriannual (Q_m); (ii) mínima com 95% de permanência (Q_{95}) e (iii) mínima com 7 dias de duração e tempo de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$).



Os valores apresentados foram calculados a partir do Método da “Regionalização Hidrológica”⁷, também constam no Relatório de Situação 2002/2003 (IRRIGART, 2005) e são compilados para este relatório, uma vez que não houve alterações nos parâmetros estatísticos nem nas áreas de drenagem das Bacias/Sub-Bacias.

O Quadro 3.17 e o Quadro 3.18 apresentam os valores de vazão encontrados nas Sub-Bacias do Rio Piracicaba e nas Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí, respectivamente. Neste tópico, os cálculos partem do pressuposto de que não existe nenhuma obra hidráulica que altere o regime de escoamento natural dos cursos d’água.

Quadro 3.17. Vazões totais para as Sub-Bacias do Rio Piracicaba.

Sub-Bacia	Vazões (m ³ /s)			
	Q _m	Q _{1,10}	Q _{7,10}	Q _{95%}
Camanducaia	14,67	4,49	3,59	5,33
Jaguari	40,81	12,86	10,29	15,35
Atibaia	31,27	11,27	9,01	13,57
Corumbataí	21,04	5,89	4,70	7,64
Piracicaba	36,53	10,20	8,16	13,26

Q_m = Vazão média de longo período.
Q_{1,10} = Vazão mínima de 1 mês consecutivo e período de retorno de 10 anos.
Q_{7,10} = Vazão mínima de 7 dias consecutivos e período de retorno de 10 anos.
Q₉₅ = Vazão com tempo de permanência de 95% ou superior.

Fonte: IRRIGART (2005).

Quadro 3.18. Vazões totais para as Bacias PCJ.

Bacia	Vazões (m ³ /s)			
	Q _m	Q _{1,10}	Q _{7,10}	Q ₉₅
Piracicaba	144,32	44,71	35,76	55,14
Capivari	11,414	3,176	2,382	4,126
Jundiáí	10,967	3,064	2,298	3,981

Q_m = Vazão média de longo período.
Q_{1,10} = Vazão mínima de 1 mês consecutivo e período de retorno de 10 anos.
Q_{7,10} = Vazão mínima de 7 dias consecutivos e período de retorno de 10 anos.
Q₉₅ = Vazão com tempo de permanência de 95% ou superior.

Fonte: IRRIGART (2005).

⁷ Método da Regionalização Hidrológica, proposto pelo DAEE (1991,1998).

3.1.5. Disponibilidade Hídrica Real nas Bacias PCJ

As Bacias PCJ contam com uma peculiaridade muito importante, quando se trata da disponibilidade hídrica: a presença do Sistema Cantareira.

O Sistema Cantareira é o maior sistema produtor da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Capta água em represas nas cabeceiras dos rios Jaguari, Jacareí, Cachoeira e Atibainha. Contribui com o abastecimento de aproximadamente 31 m³/s para a região metropolitana da Grande São Paulo.

Abastece 8,8 milhões de pessoas nas zonas norte, central, parte da leste e oeste da Capital e os municípios de Franco da Rocha, Francisco Morato, Caieiras, Guarulhos (parte), Osasco, Carapicuíba, Barueri (parte), Taboão da Serra (parte), Santo André (parte) e São Caetano do Sul. A Figura 3.35 ilustra o Diagrama Simplificado do Sistema Cantareira.

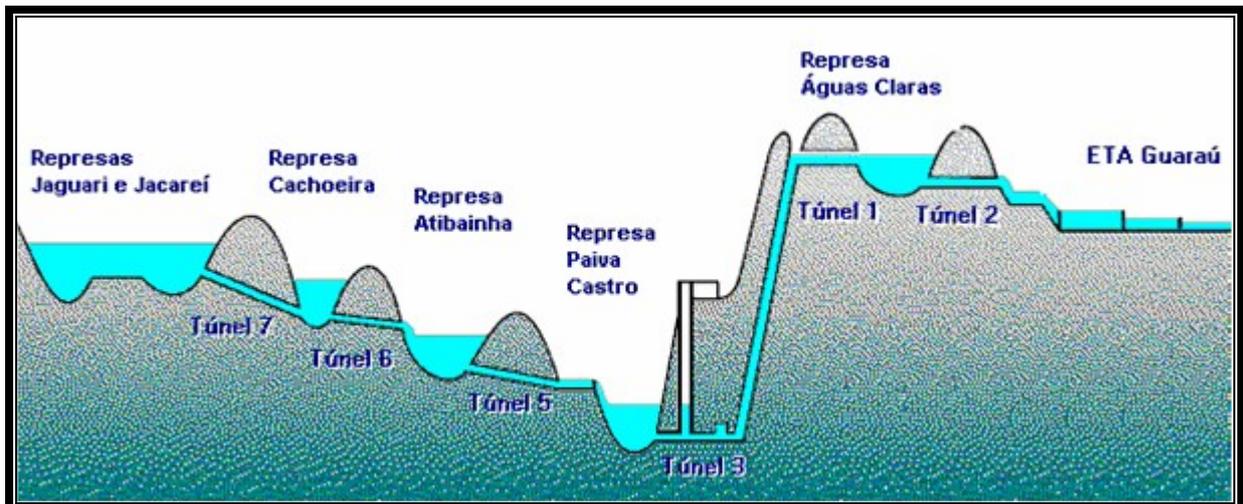


Figura 3.35. Fluxograma simplificado do Sistema Cantareira (Relatório Câmara Técnica de Monitoramento Hidrológico).

As represas existentes no Sistema Cantareira provocam uma retenção da água no reservatório, de tal forma que as áreas de drenagem dos reservatórios não contribuem para as vazões dos rios. Por outro lado, os reservatórios realizam descargas, tanto na Sub-Bacia do Atibaia como na Sub-Bacia do Jaguari. Sendo assim, para cálculo de disponibilidade hídrica real nas Sub-Bacias do Atibaia e Jaguari, adotou-se a seguinte metodologia:

$$Q_{\text{disponível}} = Q'_{7,10} + Q_{\text{descarregada}}$$

Equação 2

$Q_{\text{disponível}}$ = Vazão de referência para disponibilidade hídrica.

**IRRIGART**Engenharia e Consultoria em
R. Hídricos e M. Ambiente Ltda

$Q'_{7,10}$ = Vazão de referência das áreas da Sub-Bacia a jusante dos reservatórios do Sistema Cantareira, isto é, a $Q_{7,10}$ calculada no eixo das barragens.

$Q_{\text{descarregada}}$ = média das vazões descarregadas pelo Sistema Cantareira, calculada na seqüência.

Até a emissão da Portaria DAEE nº1213/04 (Renovação da Outorga), a gestão do Sistema se comprometia a liberar 4 m³/s para as Bacia do Piracicaba, distribuídos da seguinte forma: 1 m³/s descarregado para o Rio Jaguari e 3 m³/s descarregados para a Bacia do Rio Atibaia, sendo este descarregado na calha do Rio Atibaia ou do Rio Cachoeira, acertadas entre os representantes da SABESP e municípios da bacia, de tal forma que, para cálculo de disponibilidade hídrica real, bastava somente utilizar estes valores.

Após a nova outorga, os valores a serem revertidos para a RMSP foram estipulados em ordem de prioridade, sendo de prioridade primária a vazão de 24,8 m³/s e prioridade secundária a vazão de 6,2 m³/s, o que totaliza a possibilidade de reversão de 31 m³/s para a RMSP. Para as Bacias PCJ, a vazão total de descarregamento foi estipulada em 5 m³/s, sendo na ordem de prioridade a vazão primária de 3 m³/s e secundária de 2 m³/s.

Além das novas vazões, o Sistema Cantareira passou a ter o acompanhamento da Câmara Técnica de Monitoramento Hidrológico (CT-MH) através do Grupo Técnico – Cantareira (GT-Cantareira), o qual analisa mensalmente, ou quando necessário, a situação do sistema equivalente através de boletins emitidos pela ANA.

Os boletins com informações referentes aos valores revertidos, afluentes e descarregados, subsidiam o GT Cantareira para proposição de vazões a serem adotadas para o mês subsequente. Essa integração, inédita no Brasil, faz com que o Sistema Cantareira possua um modelo de gestão compartilhada dos recursos hídricos.

As vazões mínimas que devem ser cumpridas são denominadas X1 e X2 pela Portaria DAEE nº 1.213/04. Elas representam as vazões autorizadas para serem revertidas para a RMSP e descarregadas para o PCJ, respectivamente.

Por outro lado, ambas as partes podem requerer vazões menores que as definidas, reservando o restante no Banco de Águas. A operação inversa também pode ser realizada, isto é, na existência de saldo no Banco de Águas, ambas as partes podem solicitar vazões maiores que as autorizadas e abater o excesso no Banco de Águas.

De uma forma mais resumida, os valores de Q1 e Q2, isto é, as vazões revertidas para a RMSP e vazões descarregadas para o PCJ, respectivamente, são estipulados em reunião da CTMH, e a correspondente diferença entre o valor de X1 e X2 e o valor de Q1 e



Q2 é a sobra que vai para o Banco de Águas, ou é retirado do banco. Então, as vazões mínimas X1 e X2 são sempre estipuladas pela ANA com base nos volumes armazenados e nas curvas de aversão a risco para cada mês.

3.1.5.1 Metodologia

Desta forma, é difícil precisar com exatidão a disponibilidade hídrica real nas Bacias PCJ, mais especificamente as vazões descarregadas pelo sistema Cantareira. Sendo assim, para este cálculo procedeu-se da seguinte maneira:

- Foram analisados todos os boletins de monitoramento emitidos pela ANA a respeito do Sistema Cantareira, nos quais estão descritas as vazões descarregadas para a Bacia do Atibaia e do Jaguari, no período de Agosto-2004 a Novembro-2006;
- Após uma análise mais aprofundada, notou-se que em ambos os anos as maiores descargas ocorreram no período de junho a novembro⁸, quando tradicionalmente ocorrem as menores vazões nos rios;
- Adotaram-se, então, como média das descargas dos Reservatórios, as médias solicitadas pelo Grupo de Monitoramento Hidrológico para o período acima descrito, isto é, junho a novembro;
- O Banco de Águas existente em 31/06/2006 também será convertido em vazão e acrescido aos valores de descarga, uma vez que esta vazão estava disponível e não foi utilizada porque não era necessária naquele intervalo de tempo;
- A vazão proveniente do Banco de Águas será dividida entre a Bacia do Rio Jaguari e do Rio Atibaia proporcionalmente às vazões descarregadas, isto é, através de uma média ponderada.

A utilização da média de descargas dos meses com menores vazões só é possível graças ao Banco de Águas. O Quadro 3.19 apresenta os valores das vazões de efluência nos reservatórios, as vazões revertidas para a RMSP e as vazões descarregadas na Bacia do Rio Jaguari (Rio Jaguari) e na Bacia do Rio Atibaia (Rio Atibainha e Rio Cachoeira).

⁸ Para o ano de 2004, os boletins da ANA só informam as vazões descarregadas pelos Reservatórios do Sistema Cantareira a partir de Setembro, de tal forma que para o cálculo da média, utilizaram-se apenas os anos de 2005 e 2006.



Quadro 3.19. Vazões de afluência revertidas para a RMSP e descarregadas na Bacia do Rio Jaguari e do Rio Atibaia.

Mês	Afluência (m³/s)	Revertido RMSP (m³/s)	Descargas (m³/s)	
			Bacia Rio Jaguari	Bacia do Rio Atibaia
Set/04	13,07	29,69	1	3,6
Out/04	22,26	27,18	1,5	3,6
Nov/04	28,4	27,8	1,5	1,9
Dez/04	33,8	26,5	0,5	0,9
Jan/05	71,35	22,9	1	0,5
Fev/05	48,9	26,2	1	0,5
Mar/05	51,4	25,2	1	2,2
Abr/05	32,8	28,3	1	0,7
Mai/05	38,2	27,12	1	2,2
Jun/05	38,2	27,12	1	2,2
Jul/05	20,8	28,55	1	3
Ago/05	15,9	31,47	3	4
Set/05	22,1	29,41	3	4
Out/05	20,9	28,44	3	4
Nov/05	29,2	28	2	3
Dez/05	37	28,3	2	2,5
Jan/06	45,9	25,5	1	1
Fev/06	77,8	25,4	1,5	1
Mar/06	56,3	23,4	0,5	1
Abr/06	36,4	27,3	1	1,3
Mai/06	23,2	28,8	2	1,5
Jun/06	19,8	29,2	2	2,5
Jul/06	18,5	29,3	2	2,5
Ago/06	14,7	30,4	2	2,5
Set/06	14,4	29,6	4,5	6
Out/06	16,4	29,2	3	4
Nov/06	18,7	28,6	3	6

Fonte: Boletins ANA.

Estes valores também são apresentados na Figura 3.36. Nota-se que no período de Junho a Novembro as vazões descarregadas são muito acima das vazões registradas no

restante do ano, justificando, assim, o período escolhido para cálculo da disponibilidade hídrica.

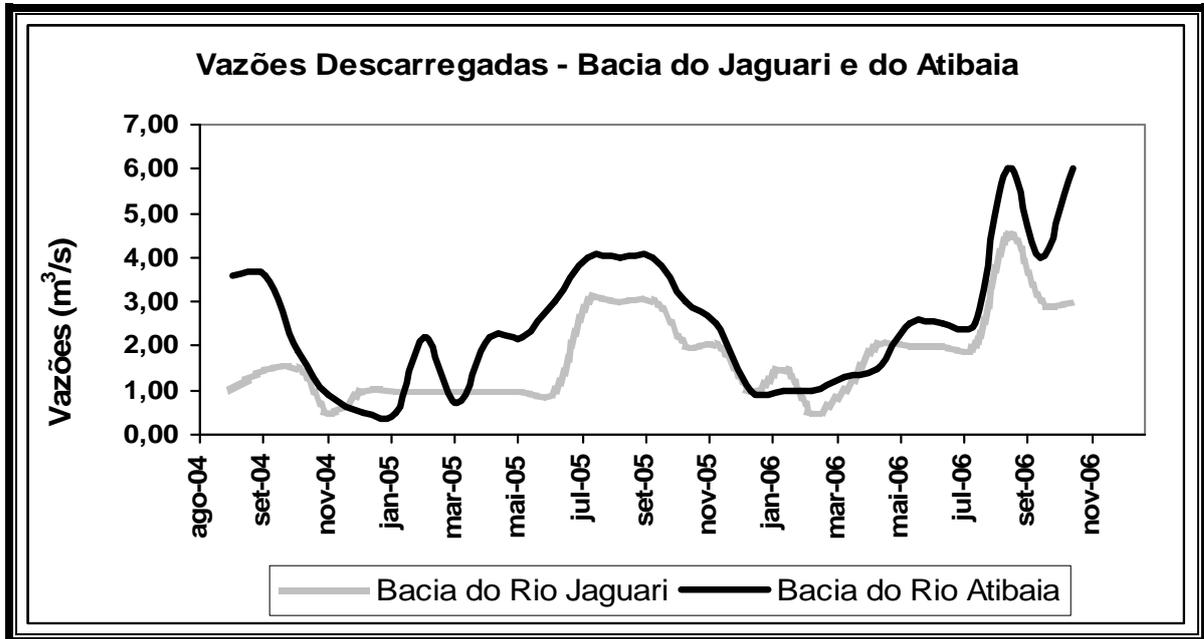


Figura 3.36. Vazões descarregadas na Bacia do Jaguarí e do Atibaia.

A Figura 3.37 apresenta as características físicas dos reservatórios situados na Bacia do Rio Piracicaba, pertencentes ao Sistema Cantareira (Sistema Equivalente).

	Atibainha		Cachoeira		Jaguari-Jacareí		Sistema Equivalente
Área de Drenagem (km ²) ^(a)	305		410		1.252		xxxx
Vazão média de longo termo (m ³ /s) ^(b)	6,1		8,7		25,4		xxxx
Cotas e Níveis D'Água	Cota	Vol. Acum.	Cota	Vol. Acum.	Cota	Vol. Acum.	Vol. Acum.
Coroamento dos maciços ^(c)	791,00	xxxx	827,28	xxxx	847,00	xxxx	xxxx
N.A. máximo maximorum ^(d)	789,00	350,97	825,28	147,06	845,00	1.087,11	1.585,14
N.A. máximo normal ^(e)	786,86	301,51	821,78	114,60	844,00	1.037,35	1.453,46
N.A. mínimo operacional ^(f)	781,88	201,35	811,72	44,05	820,80	229,49	474,89
N.A. mínimo minimorum ^(g)	777,90	136,12	808,00	26,41	818,00	173,71	336,24
Vol. Útil Operacional = Máx.Op. – Mín. Op. ^(h)	xxxx	100,16	xxxx	70,55	xxxx	807,86	978,57
Área do reservatório no N.A. máx. oper. (km ²)	22,21		8,69		49,1		xxxx

Fonte dos dados: SABESP – Diretoria Metropolitana de Distribuição (julho/2004); * - SABESP – Data-Oper, setembro/1989.

(a) – área da bacia de contribuição na seção do barramento;
 (b) – para a série histórica de 1930 a 2003;
 (c) – cota da crista dos barramentos;
 (d) – Nível d'água máximo definido em função da cheia de projeto;
 (e) – Nível d'água máximo operacional;
 (f) – Nível d'água mínimo que ainda permite a reversão da vazão objetivo pelos túneis;
 (g) – Nível d'água mínimo para o qual ficam impossibilitadas as reversões;
 (h) – Volume Útil Operacional considerado na Nota Técnica Conunta ANA/DAEE – julho 2004: inclui o volume estratégico;

Figura 3.37. Características físicas dos reservatórios Atibainha, Cachoeira e Jaguari-Jacareí (SABESP, 2004).



3.1.5.2 Cálculo da disponibilidade hídrica na Bacia do Rio Jaguari e Rio Atibaia

A partir dos dados apresentados no capítulo anterior, os valores para o cálculo da disponibilidade hídrica foram os seguintes:

- Descargas médias⁹ do Sistema Cantareira na Bacia PCJ = 5,71m³/s, sendo 2,32 m³/s (40,5%) na Bacia do Rio Jaguari e 3,39 m³/s (59,5%) na Bacia do Atibaia;
- Vazão de referência ($Q^1_{7,10}$)¹⁰ das áreas pertencentes à bacia que não drenam para o reservatório: 5,51 m³/s para a Bacia do Rio Jaguari e 6,403 m³/s para a Bacia do Rio Atibaia;
- Em 31/06/2006, o saldo no Banco de Águas reservado para as Bacias PCJ, segundo dados disponibilizados no sítio eletrônico dos Comitês PCJ, era da ordem de 56,81 hm³. Considerando que a nova outorga do Sistema Cantareira entrou em operação em 06/08/2004, este montante foi armazenado em 694 dias, isto é, resulta em uma vazão média de armazenagem de $81,86 \times 10^3 \text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$, ou 0,95 m³/s;
- Esta vazão de armazenamento também será somada à disponibilidade, em dois cenários, sendo o primeiro considerando a utilização do banco igualmente durante os 694 dias (Cenário 1), ou somente no período de junho a novembro¹¹, totalizando 330 dias (Cenário 2). Para o primeiro cenário a vazão adotada seria igual à vazão média de armazenamento, isto é, 0,95 m³/s. Já para o segundo cenário a vazão subiria para $172,15 \times 10^3 \text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$, ou 1,99 m³/s;
- A vazão proveniente do Banco de Águas será dividida entre a Bacia do Rio Jaguari (40,5%) e a Bacia do Rio Atibaia (59,5%) na mesma proporção que as vazões defluentes do reservatório, resultando em um acréscimo de 0,38 m³/s no cenário 1 e 0,81 m³/s no cenário 2 (Bacia do Rio Jaguari). Já na Bacia do Rio Atibaia este acréscimo, no cenário 1 e 2, será da ordem de 0,57 m³/s e 1,18 m³/s, respectivamente.

⁹ Valores médios do período de Junho-05 a Novembro-05 e Junho-06 a Novembro-06, conforme explicado anteriormente.

¹⁰ Valores obtidos junto ao Plano de Bacias PCJ 2004/2007, considerando-se somente a contribuição das áreas a jusante dos reservatórios.

¹¹ Neste cenário, para efeito de cálculo foram considerados os dias pertencentes a Junho, Julho, Agosto, Setembro, Outubro e Novembro, dentro do período do estudo (Junho/2004 a Jun/2006).



A partir destes valores, e com base na Equação 2, foram estimadas as disponibilidades hídricas nas Bacias dos Rios Jaguari e Atibaia, para o cenário 1 e cenário 2, conforme apresentado no Quadro 3.20 e no Quadro 3.21, respectivamente.

Quadro 3.20. Disponibilidades hídricas para o Cenário 1 no período Jun-04 a Jun-06.

Sub-Bacia	$Q'_{7,10}$ (m ³ /s)	$Q_{\text{descarregada}}$ (m ³ /s)	$Q_{\text{Banco. águas}}$ (m ³ /s)	$Q_{\text{disponível}}$ (m ³ /s)
Jaguari	5,52	2,32	0,38	8,22
Atibaia	6,40	3,39	0,57	10,36

Quadro 3.21. Disponibilidades hídricas para o Cenário 2 no período Jun-04 a Jun-06¹².

Sub-Bacia	$Q'_{7,10}$ (m ³ /s)	$Q_{\text{descarregada}}$ (m ³ /s)	$Q_{\text{Banco. águas}}$ (m ³ /s)	$Q_{\text{disponível}}$ (m ³ /s)
Jaguari	5,52	2,32	0,81	8,65
Atibaia	6,40	3,39	1,18	10,97

Com base nos dois cenários analisados, decidiu-se por adotar o cenário 2, uma vez que é muito mais sensato a utilização do banco de águas apenas nos meses com vazões baixas, sendo estes valores adotados como os valores de disponibilidade.

3.1.5.3 Transposições de Bacias

Além do Sistema Cantareira, existem nas Bacias PCJ mais duas transposições, que influenciam na disponibilidade hídrica. A Bacia do Rio Jundiáí recebe cerca de 1 m³/s, provenientes do Rio Atibaia, de tal forma a possibilitar a captação do município de Jundiáí. A Bacia do Rio Mogi-Guaçú, que não faz parte das Bacias PCJ, recebe 0,1 m³/s, provenientes do Rio Camanducaia, captadas pelo município de Serra Negra, que lança os efluentes na Bacia do Rio Mogi-Guaçú¹³.

3.1.5.4 Resumo da disponibilidade Hídrica real nas Bacias Piracicaba, Capivari e Jundiáí

No Quadro 3.22 é apresentado um resumo das disponibilidades hídricas de todas as Bacias pertencentes aos Comitês PCJ, já considerando a reversão realizada de 1m³/s do Rio Atibaia para o Rio Jundiáí-Mirim (Bacia do Rio Jundiáí).

¹² Neste cenário, para efeito de cálculo foram considerados os dias pertencentes a Junho, Julho, Agosto, Setembro, Outubro e Novembro, dentro do período de abrangência do estudo (Junho/2004 a Junho/2006)

¹³ Informações extraídas no Plano de Bacias 2004-2007.

**Quadro 3.22. Disponibilidade hídrica para as Bacias PCJ no período Jun-04 a Jun-06.**

Sub-Bacia	Q _{7,10} (m ³ /s)	Q _{disponível} (m ³ /s)
Camanducaia	3,60	3,50 ²
Jaguari	10,29	8,65 ³
Atibaia	9,01	9,97 ¹
Corumbataí	4,70	4,70
Piracicaba	8,16	8,16
Total Piracicaba	35,76	34,98
Total Capivari	2,38	2,38
Total Jundiáí	2,30	3,30
Total PCJ	40,44	40,66

1 - Q_{7,10} a jusante dos reservatórios + vazões descarregadas pelo Reservatórios Atibainha e Cachoeira + vazões estimadas pelo Banco de Águas – reversão de 1m³/s para a Bacia do Rio Jundiáí.
2 – Q_{7,10} - de 0,1m³/s da reversão pelo município de Serra Negra.
3- Q_{7,10} a jusante do reservatório + vazões descarregadas pelo Reservatório Jacareí-Jaguari + vazões estimadas pelo Banco de Águas.

Fonte: IRRIGART (2005).

Comparando as vazões de disponibilidade hídrica obtidas no Relatório de Situação 2002/2003 (6,52 m³/s e 8,40 m³/s, para os Rios Jaguari e Atibaia, respectivamente), com os valores de disponibilidade calculados com base nos dados de operação do Sistema Cantareira, nota-se que os valores encontrados no presente estudo são maiores para o Rio Jaguari (+33%) e para o Rio Atibaia (+19%). Estes dados estão sintetizados no Quadro 3.23 e também apresentados na Figura 3.38.

Quadro 3.23. Comparativo das disponibilidades hídricas no Relatório de Situação 2002 a 2003 e Relatório de Situação 2004 a 2006.

Nome da Sub-Bacia	Disponibilidade Hídrica (m ³ /s)	
	RS 2002 a 2003	RS 2004 a 2006
Camanducaia	3,50	3,50
Jaguari	6,52	8,65
Atibaia	8,40	9,97
Corumbataí	4,70	4,70
Piracicaba	8,16	8,16
Total Piracicaba	31,28	34,98
Total Capivari	2,38	2,38
Total Jundiáí	3,30	3,30
Total PCJ	36,96	40,66

Fonte: IRRIGART (2005).

Como pode ser observado, as Sub-Bacias que mais sofreram alterações na disponibilidade hídrica foi a do Rio Atibaia e a do Rio Jaguari. A Figura 3.38 apresenta a

evolução das suas vazões. Para a Bacia do Rio Piracicaba (total), a alteração não foi incluída no gráfico abaixo, uma vez que esta alteração é causada exclusivamente, pelas alterações nas duas Sub-Bacias citadas (Atibaia e Jaguari).

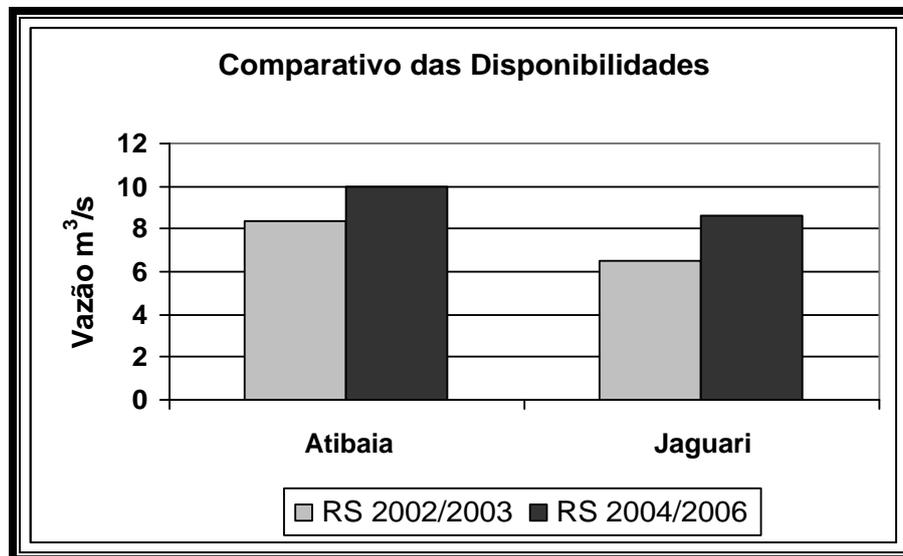


Figura 3.38. Comparativo das disponibilidades hídricas das Sub-Bacias do Rio Atibaia e do Rio Jaguari no RS 02/03 e RS 04/06.

A comparação dos dados é perfeitamente possível, uma vez que as reversões continuam as mesmas, e a única alteração significativa que ocorreu no período foi a renovação da outorga do Sistema Cantareira, compartilhando a gestão do sistema. Com base nos dados analisados, conclui-se que os Reservatórios do Sistema Cantareira são um excelente instrumento de gestão, em termos quantitativos, para os Rios Jaguari e Atibaia. A partir da nova outorga, com a criação do Banco de Águas, este instrumento tornou-se mais poderoso ainda, despontando como uma das soluções para a iminente escassez dos recursos hídricos na Bacia.

Os valores de disponibilidade hídrica na Bacia do Rio Atibaia e Jaguari são perfeitamente maleáveis, uma vez que é possível aumentar as descargas em uma Bacia e diminuí-las em outra, utilizar o Banco de Águas em apenas uma Bacia, etc., de acordo com o que for mais interessante para a Bacia, no momento da tomada da decisão. Esta flexibilidade torna a gestão dos recursos hídricos no âmbito dos Comitês PCJ de fundamental importância para o desenvolvimento sustentável das Bacias PCJ, tão almejado por toda a sociedade. O Quadro 3.24 apresenta uma síntese de todos os valores utilizados para o cálculo da disponibilidade hídrica, para cada Sub-Bacia.



Quadro 3.24. Síntese dos valores utilizados no cálculo da disponibilidade hídrica natural das Bacias PCJ.

Parâmetros/Sub-Bacias	Sub-Bacias					Bacia			Total PCJ
	Piracicaba	Corumbataí	Camanducaia	Jaguari	Atibaia	Piracicaba	Capivari	Jundiaí	
Área de drenagem total (km ²)	3.700,79	1.679,19	1.030,00	3.290,00	2.868,74	12.568,72	1.620,92	1.114,03	15.303,67
Área de drenagem em Minas Gerais (km ²)	-	-	159,32	966,58	39,98	1.165,88	-	-	1.165,88
Área de drenagem a montante do Sistema Cantareira (km ²)	-	-	-	1.252,00	715,00	1.930,00	-	-	1.930,00
Área de drenagem a jusante do Sistema Cantareira (km ²)	3.700,79	1.679,19	1.030,00	2.038,00	2.153,74	10.638,72	1.620,92	1.114,03	13.373,67
Q _{7,10} da área total (m ³ /s)	8,16	4,70	3,59	10,29	9,01	35,76	2,38	2,30	40,44
Q _{7,10} a montante do Sistema Cantareira (m ³ /s)	-	-	-	4,77	2,61	7,38	-	-	7,38
Q _{7,10} a jusante do Sistema Cantareira (m ³ /s)	8,16	4,70	3,59	5,52	6,40	28,38	2,38	2,30	33,06
Reversões (m ³ /s)	-	-	-0,1 ⁽¹⁾	-	-1,0 ⁽²⁾	-1,1	-	+1,0	-0,1
Vazões descarregadas do Sistema Cantareira (m ³ /s) ⁽³⁾	-	-	-	3,13	4,57	7,70	-	-	7,70
Disponibilidade Real (m ³ /s)	8,16	4,70	3,50	8,65	9,97	34,98	2,38	3,30	40,66

(1) Reversão para o Lago Jovino – Captação de Serra Negra.
(2) Reversão para o Rio Jundiaí – Captação de Jundiaí.
(3) Cenário 2.

Fonte: SIGRH, DAEE, SABESP e Questionários.

3.2. Subterrânea

Para a análise da disponibilidade hídrica subterrânea é fundamental o estudo dos aquíferos existentes nas Bacias PCJ. Tal assunto já foi abordado no Capítulo 2.2.3 (Hidrogeologia). Para a compreensão deste tópico é essencial uma leitura prévia do capítulo citado.

Os recursos hídricos subterrâneos constituem a origem do escoamento básico dos rios e representam ricas reservas de água, geralmente de boa qualidade, que dispõem custosas estações de tratamento de água - ETA (SIGRH, 2001).

Partindo-se do conceito fundamental que a água subterrânea é um componente indissociável do ciclo hidrológico, sua disponibilidade no aquífero relaciona-se diretamente com o escoamento básico da bacia de drenagem instalada sobre a área de ocorrência. A água subterrânea constitui, então, uma parcela desse escoamento, que, por sua vez, corresponde à recarga transitória do aquífero (CONEJO LOPES, 1994).

No balanço hídrico apresentado pelo DAEE (1999) para o Estado de São Paulo, dos 100 bilhões de m³/ano correspondentes ao escoamento total, 41 bilhões de m³/ano, ou 1.285 m³/s, são devidos ao escoamento básico, parcela responsável pela regularização dos rios. A recarga transitória média multianual que circula pelos aquíferos livres é a quantidade média de água que infiltra no subsolo, atingindo o lençol freático, formando o escoamento básico dos rios – é a reserva explotável (Figura 3.39).

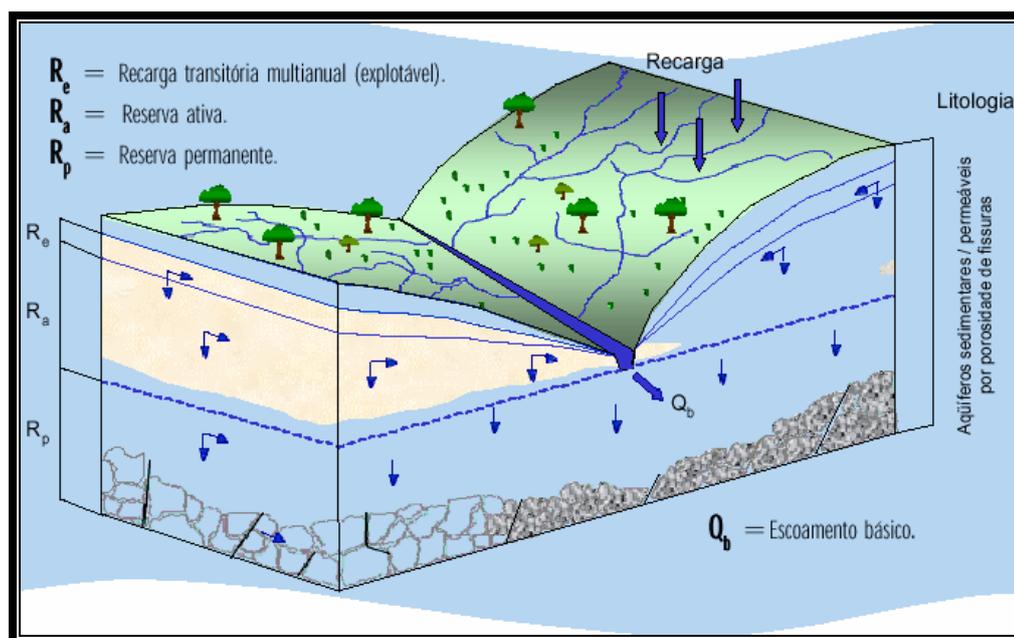


Figura 3.39. Tipos de reserva de água subterrânea (SIGRH, 2001).



Segundo a figura apresentada, baseada em estudo realizado por CONEJO LOPES (1994), temos as seguintes reservas:

Reserva total = toda água subterrânea do aquífero;

Reserva permanente = volume contido no interior do aquífero abaixo do nível básico de drenagem de uma região, ou seja, abaixo de sua superfície básica;

Reserva ativa = volume contido no interior do aquífero, entre a superfície básica e a superfície potenciométrica;

Reserva transitória multianual ou reserva reguladora = reserva explorável, que atua diretamente no escoamento básico dos corpos d'água superficiais.

Segundo CONEJO LOPES (1994) e DAEE (1999) citados em SIGRH (2001), a **reserva explorável** pode ser estimada através do **escoamento básico** que aflui aos corpos d'água após percolar pelos aquíferos subterrâneos, estimado pela **média das vazões mínimas anuais de sete dias consecutivos** ($\overline{Q7}$).

A disponibilidade potencial de águas subterrâneas, por sua vez, pode ser estimada a partir do escoamento básico de cada bacia - $\overline{Q7}$ (65 m³/s para o trecho paulista do PCJ, de acordo com dados do DAEE, 1999), multiplicado pela **fração da área do aquífero na bacia** (em área aflorante, calculados pelo mapa digital) e pelo **índice de utilização**, conforma apresentado na Figura 3.40.

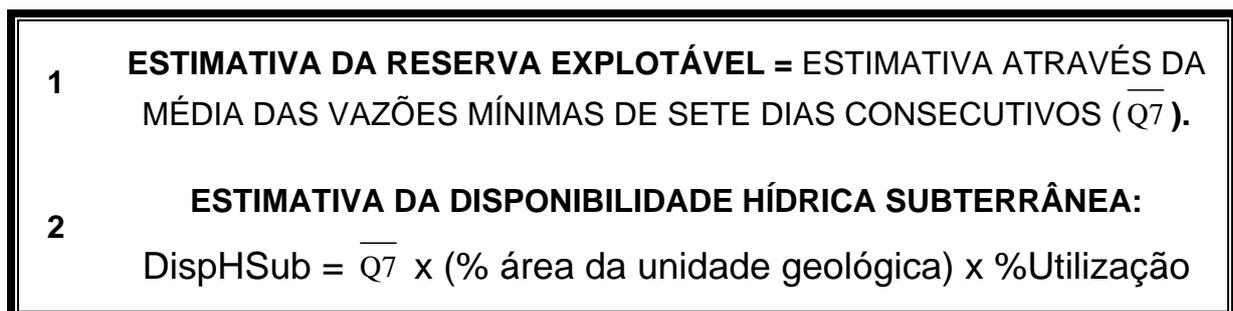


Figura 3.40. Métodos de estimativa de reserva explorável e disponibilidade hídrica subterrânea (CONEJO LOPES, 1994, e DAEE, 1999 citados em SIGRH, 2001).

Por razões hidrogeológicas, como tipo de porosidade, hidráulica dos aquíferos e as técnicas convencionais disponíveis para a captação de águas subterrâneas, foram estabelecidos **índices de utilização** dos volumes estocados, correspondentes à recarga transitória média multianual, para diferentes tipos de aquíferos adotados por CONEJO



LOPES (1994), citado por SIGRH (2001), e adaptados às diferentes regiões do Estado de São Paulo. Nas Bacias PCJ, ocorrem unidades cujos índices de utilização são:

- Sistema aquífero Guarani (Botucatu): 30%;
- Sistemas aquíferos Tubarão, Bauru e Cenozóico: 25% a 27%;
- Sistemas aquíferos Cristalino e Serra Geral/Diabásio: 20%;
- Aquíclude / sistema aquífero Passa Dois: 15%.

Através do método apresentado na Figura 3.40 foi estimada a disponibilidade hídrica subterrânea para cada uma das Sub-Bacias do Piracicaba e das Bacias do Capivari e Jundiaí. Os números assim determinados devem ser considerados com muita cautela, dadas as limitações esperadas devido às intrínsecas heterogeneidades da geometria das camadas geológicas, da presença de descontinuidades e de outras variáveis, como aspectos técnicos. Assim, estes números visam apenas estabelecer ordens de grandeza e comparações entre a disponibilidade natural e as extrações, a fim de auxiliar no planejamento racional do aproveitamento dos recursos hídricos.

Do Quadro 3.25 ao Quadro 3.29, bem como a Figura 3.41 a Figura 3.44 apresentam a estimativa de disponibilidade hídrica subterrânea, como extrapolação da metodologia apresentada anteriormente.

Quadro 3.25. Dados obtidos por regionalização hidrológica e utilizados na estimativa de disponibilidade hídrica subterrânea.

Sub-Bacia	Qm (m ³ /s)	Q _{7,10} (m ³ /s)	$\overline{Q_7}$ *(m ³ /s)
Camanducaia	14,67	3,57	5,18
Jaguari	42,28	10,29	14,93
Atibaia	31,27	9,01	13,08
Corumbataí	21,04	4,70	7,44
Piracicaba	36,53	8,17	12,93
Bacia	Qm	Q _{7,10}	$\overline{Q_7}$
Bacia do Piracicaba	145,80	35,74	53,56
Bacia do Capivari	11,414	2,382	3,77
Bacia do Jundiaí	10,966	2,298	3,64
Total - PCJ	168,18	40,42	60,96

* $\overline{Q_7}$ é a média das vazões mínimas anuais de sete dias consecutivos, dada pela razão $Q_7 = Q_{7,10} / X_T$ (DAEE, 1998).

Fonte: CONEJO LOPES (1994) e DAEE (1999).



Quanto aos aquíferos de caráter livre (ou semi-confinado), há um total de cerca de 13,95 m³/s de água subterrânea disponível, sendo 6,02 m³/s (43,19%) no Cristalino Pré-Cambriano, 3,08 m³/s (22,10%) no Tubarão e 2,41 m³/s (17,26%) no Guarani. Notar, no entanto, que estas unidades afloram, respectivamente, em 45,57%, 20,94% e 13,82% das Bacias PCJ, evidenciando melhores propriedades aquíferas para o Guarani. Isso fica mais evidente se observarmos a razão entre vazão disponível estimada e área de afloramento.

A este valor total de 13,95 m³/s devem ser acrescentadas as vazões disponíveis no Aquífero Guarani, em sua porção confinada (extremo oeste das Bacias PCJ), e no Aquífero Tubarão semi-confinado, nos locais de afloramento do Grupo Passa Dois. Esta perspectiva limita a execução de balanços disponibilidade x demandas, notadamente nas áreas de afloramento do Aquífero Passa Dois.

Quanto ao tipo de porosidade, 7,24 m³/s (51,90%) estão disponíveis em aquíferos com porosidade do tipo intergranular e 6,71 m³/s (48,10%) com porosidade do tipo fratura/fissura.

Um aspecto que deve ser observado é que os dados até então existentes para o trecho paulista das Bacias PCJ (DAEE, 1999 citado em SIGRH, 2001) mostram disponibilidade hídrica subterrânea de 24,0 m³/s, mas esta estimativa foi efetuada com base em um escoamento basal de 65 m³/s ($\overline{Q7} = 58,68$ m³/s neste relatório) e um escoamento total de 174 m³/s ($Q_m = 168,18$ m³/s neste relatório). Considerando-se os índices de utilização adotados, os valores estariam próximos ao estimado neste relatório.

Quanto ao potencial da água subterrânea, nas Sub-Bacias do Piracicaba, Jaguari e Atibaia, nesta ordem, que apresentam as maiores extensões, contêm maior disponibilidade hídrica subterrânea.



Quadro 3.26. Área de afloramento dos principais aquíferos associados às unidades geológicas nas Bacias PCJ, em km².

Aquífero	Área (km ²)									PCJ-total (%)
	Sub-Bacias do Piracicaba					Bacias do PCJ			PCJ Total	
	Atibaia	Camanducaia	Corumbataí	Jaguari	Piracicaba	Piracicaba	Capivari	Jundiáí		
Cenozóico	137,76	19,22	149,07	111,27	260,51	677,83	117,49	77,90	873,22	5,71
Bauru (correlato)	-	-	47,34	-	70,22	117,56	-	-	117,56	0,77
Serra Geral (basalto)	-	-	41,47	-	67,07	108,54	-	-	108,54	0,71
Diabásio	102,60	4,75	105,95	168,97	308,69	690,96	64,82	-	755,78	4,94
Guarani	-	-	667,46	-	1.448,19	2.115,65	-	-	2.115,65	13,82
Passa Dois	-	-	600,40	19,82	599,05	1.219,27	31,01	-	1.250,28	8,17
Tubarão	105,85	35,38	67,50	846,53	947,06	2.002,32	1.085,23	111,03	3.198,58	20,90
Cristalino Pré-Cambriano	2.522,53	970,65	-	2.143,41	-	5.636,59	322,37	925,10	6.884,06	44,98
SOMA	2.868,74	1.030,00	1.679,19	3.290,00	3.700,79	12.568,72	1.620,92	1.114,03	15.303,67	100,00

Quadro 3.27. Área de afloramento dos principais aquíferos associados às unidades geológicas nas Bacias PCJ, em % de área.

Aquífero	Área (%)								
	Sub-Bacias do Piracicaba					Bacias do PCJ			PCJ-TOTAL
	Atibaia	Camanducaia	Corumbataí	Jaguari	Piracicaba	Piracicaba	Capivari	Jundiáí	
Cenozóico	4,8	1,9	8,9	3,4	7,0	5,4	7,2	7,0	5,7
Bauru (correlato)	-	-	2,8	-	1,9	0,9	-	-	0,8
Serra Geral	-	-	2,5	-	1,8	0,9	-	-	0,7
Diabásio	3,6	0,5	6,3	5,1	8,3	5,5	4,0	-	4,9
Guarani	-	-	39,7	-	39,1	16,8	-	-	13,8
Passa Dois	-	-	35,8	0,6	16,2	9,7	1,9	-	8,2
Tubarão	3,7	3,4	4,0	25,7	25,6	15,9	67,0	10,0	20,9
Cristalino Pré-Cambriano	87,9	94,2	-	65,1	-	44,8	19,9	83,0	45,0
SOMA	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0



Quadro 3.28. Vazão disponível nos principais aquíferos associados às unidades geológicas nas Bacias PCJ, em m³/s.

Aquífero	Sub-Bacias do Piracicaba					Total Piracicaba	Total Capivari	Total Jundiáí	PCJ-TOTAL	% (PCJ-total)
	Atibaia	Camanducaia	Corumbataí	Jaguari	Piracicaba					
Cenozóico	0,163	0,025	0,172	0,131	0,237	0,728	0,095	0,066	0,889	6,4
Bauru (correlato)	-	-	0,055	-	0,064	0,119	-	-	0,119	0,9
Serra Geral (basalto)	-	-	0,037	-	0,047	0,084	-	-	0,084	0,6
Diabásio	0,094	0,005	0,094	0,153	0,216	0,562	0,040	-	0,602	4,3
Guarani	-	-	0,888	-	1,518	2,406	-	-	2,406	17,3
Passa Dois	-	-	0,400	0,013	0,314	0,727	0,014	-	0,741	5,3
Tubarão	0,125	0,046	0,078	0,999	0,860	2,108	0,879	0,094	3,081	22,1
Cristalino Pré-Cambriano	2,300	0,976	-	1,945	-	5,221	0,201	0,600	6,022	43,2
SOMA	2,682	1,052	1,724	3,241	3,256	11,955	1,230	0,759	13,944	100,0

Quadro 3.29. Vazão disponível nos principais aquíferos associados às unidades geológicas nas Bacias PCJ, em % de vazão.

Aquífero	Sub-Bacias do Piracicaba					Total Piracicaba	Total Capivari	Total Jundiáí	PCJ-TOTAL
	Atibaia	Camanducaia	Corumbataí	Jaguari	Piracicaba				
Cenozóico	6,1	2,4	10,0	4,0	7,3	6,1	7,7	8,7	6,4
Bauru (correlato)	-	-	3,2	-	2,0	1,0	-	-	0,9
Serra Geral (basalto)	-	-	2,1	-	1,4	0,7	-	-	0,6
Diabásio	3,5	0,5	5,5	4,7	6,6	4,7	3,3	-	4,3
Guarani	-	-	51,5	-	46,6	20,1	-	-	17,3
Passa Dois	-	-	23,2	0,4	9,6	6,1	1,1	-	5,3
Tubarão	4,7	4,4	4,5	30,8	26,4	17,6	71,5	12,4	22,1
Cristalino Pré-Cambriano	85,8	92,8	-	60,0	-	43,7	16,3	79,1	43,2
SOMA	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

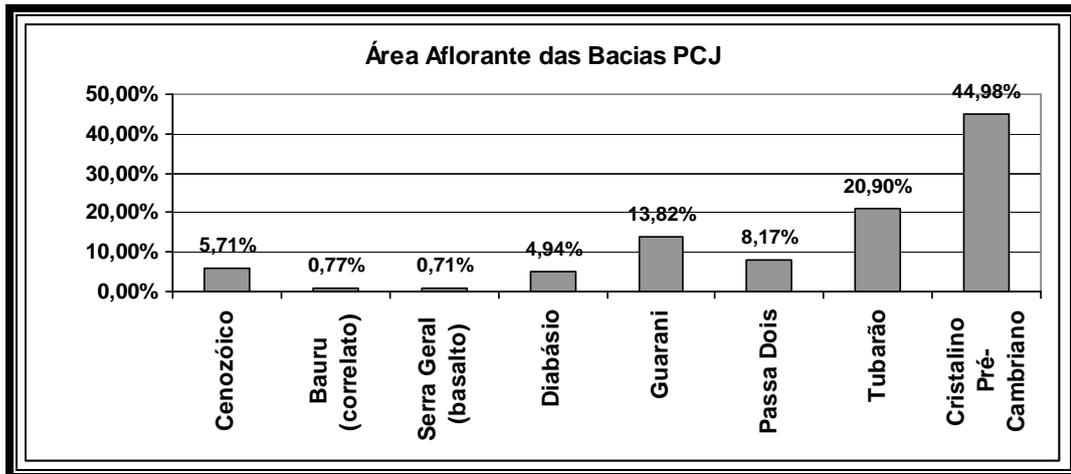


Figura 3.41. Área aflorante das unidades aquíferas das Bacias PCJ (%).

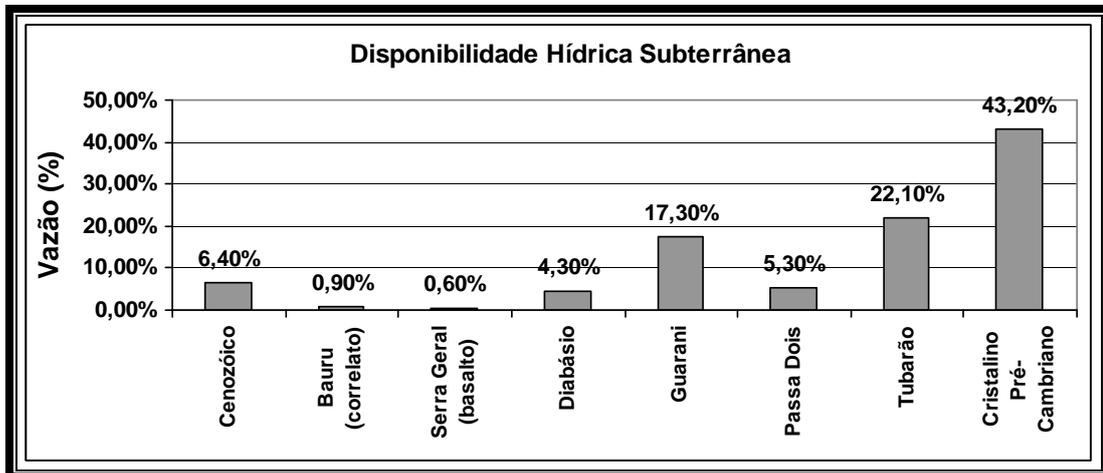


Figura 3.42. Disponibilidade hídrica subterrânea, em %.

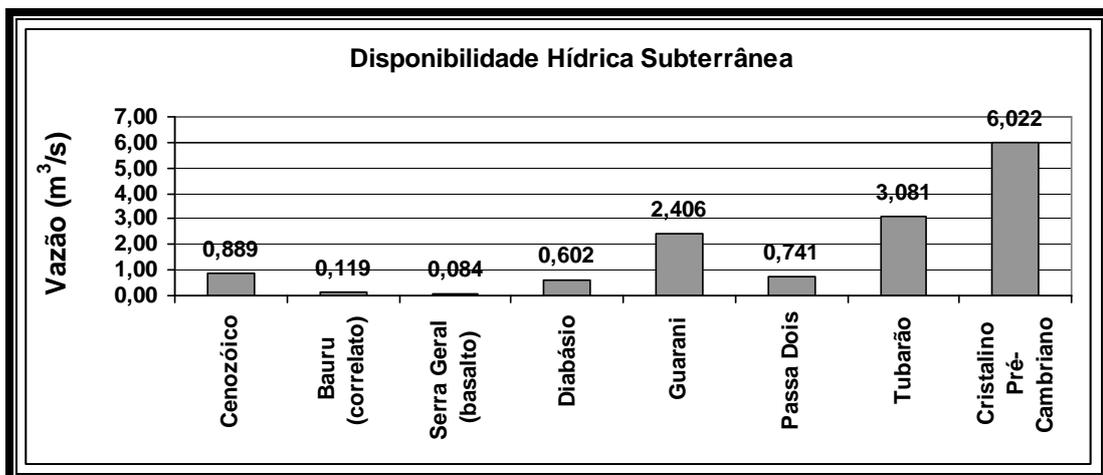


Figura 3.43. Disponibilidade hídrica subterrânea, em m³/s, por Aquífero.

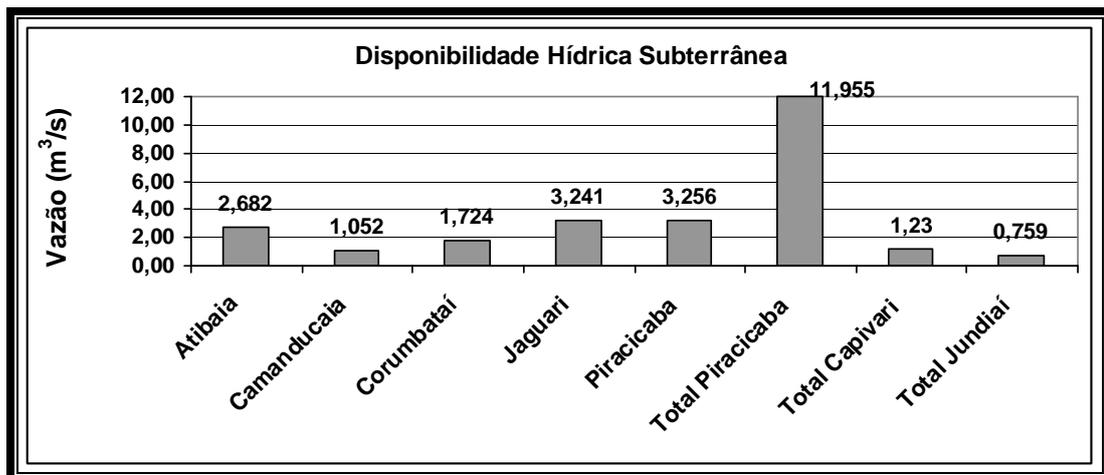


Figura 3.44. Disponibilidade hídrica subterrânea, em m³/s por Sub-Bacia.

De forma geral, os aquíferos Tubarão e Cristalino são os principais fornecedores de água subterrânea nas Bacias PCJ e estão localizados nas áreas mais populosas; o aquífero Guarani, por sua vez, é uma excelente opção, mas está situado em áreas menos populosas. Estas observações evidenciam que ações de preservação e/ou remediação, a depender do caso, devam ser efetuadas nas áreas dos aquíferos Tubarão e Cristalino, notadamente naquelas em que se situam as maiores cidades e, por conseqüência, com maior aporte (potencial) de cargas poluidoras.

Nas áreas de afloramento do Guarani, por outro lado, devem ser priorizadas as ações de preservação, tendo em vista a recarga deste manancial estratégico. As estimativas de disponibilidade hídrica subterrânea devem, conforme já ressaltado, ser usadas com cautela, servindo, no entanto, para o planejamento das Bacias PCJ dentro do estágio atual de conhecimento da hidrogeologia regional quantitativa. Por outro lado, devem ser incentivados estudos de detalhe, para cada aquífero, visando à caracterização da geometria das unidades geológicas, isópacas de base e topo de aquíferos, características e zoneamentos hidrodinâmicos e hidrogeoquímicos, entre outros.

Do ponto de vista qualitativo, deve-se atentar para o risco de contaminação das águas subterrâneas (com duas variáveis principais: vulnerabilidade e cargas poluidoras) e, do ponto de vista quantitativo, o excesso de exploração. Neste sentido, devem ser priorizadas as seguintes ações: cadastro sistemático de poços; estudos de geologia estrutural (geometria das camadas, estruturas, etc.); estudos para determinação de parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos; mapeamento de detalhe da vulnerabilidade natural dos aquíferos e inventários temáticos visando à determinação das cargas poluidoras.