

DISPONIBILIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NAS BACIAS DOS RIOS PIRACICABA E CAPIVARI NO ESTADO DE SÃO PAULO

Manoel Francisco Conejo Lopes (*)

Resumo

Este trabalho vem complementar o conhecimento hidrogeológico da área compreendida pelas bacias dos rios Piracicaba e Capivari, uma das regiões de maior desenvolvimento do Estado de São Paulo e com sérios problemas de disponibilidade e degradação de recursos hídricos.

Os recursos hídricos subterrâneos, renováveis mas limitados, foram caracterizados na forma de um diagnóstico de sua disponibilidade, parâmetro básico para evidenciar a viabilidade do incremento de seu aproveitamento. Tais elementos constituem subsídios imprescindíveis para o estabelecimento de uma política compatível para os recursos hídricos das duas bacias e a intensidade do desenvolvimento da região, objetivando uma administração racional de seu aproveitamento, em particular a água subterrânea, evitando sua exploração inadequada e a degradação de sua qualidade.

A disponibilidade de água subterrânea nas duas bacias, estabelecida conforme critérios avaliados neste trabalho, é da ordem de 21 m³/s.

(*): geólogo do Departamento de Aguas e Energia Elétrica - DAEE
Rua Riachuelo, 115 - CEP 01.007-000 - São Paulo - SP. - Fone: 011-239.4911

1 - Considerações iniciais

As bacias dos rios Piracicaba e Capivari ocupam uma área de 14.400 km², onde residem pouco mais de 3 milhões de habitantes, 2,5 milhões dos quais vivendo nas áreas urbanas de 55 municípios com sedes localizadas nessas duas bacias, além de porções de mais 10 outros municípios cujas sedes situam-se em bacias limítrofes.

Quando a questão é o atendimento de demandas de água a população salta para 3,6 milhões de habitantes, acrescida por municípios de bacias limítrofes que fazem uso das águas da bacia do Piracicaba, o que representava um consumo de 13,5 m³/s de água em 1993 e, para 1995, corresponde a uma demanda de água potável de 14,6 m³/s para seu abastecimento, que somada a demanda industrial de 15,7 m³/s e a demanda para irrigação de 6,8 m³/s, perfazem um total da ordem de 37 m³/s a serem atendidos com os recursos hídricos disponíveis nas duas bacias.

Por outro lado, a disponibilidade de águas superficiais, estabelecida pela taxa de vazão mínima para 7 dias e recorrência de 10 anos, está estimada em 41,7 m³/s na jusante da bacia do rio Piracicaba e 2,5 m³/s na jusante da bacia do rio Capivari.

A utilização de água subterrânea nas duas bacias alcança uma vazão estimada em 2,3 m³/s, que corresponde a cerca de 7% do consumo total de água verificado em 1993 nas bacias e 11% da reserva disponível, explorada através de cerca de 3.000 poços ativos de um total de 4.312 poços já perfurados nas duas bacias até ao final de 1993.

De um total estimado em 25 m³/s ou 800 milhões de m³/ano de água subterrânea explorada em todo o território do Estado de São Paulo em 1993, os 2,3 m³/s explorados nas duas bacias correspondem a pouco mais de 9%.

Apesar do fraco desempenho dos aquíferos na produção de vazões mais satisfatórias, acima de 15 m³/h, o uso da água subterrânea desempenha um papel estratégico fundamental como manancial para o abastecimento de água da quase totalidade de indústrias com baixo consumo de água no processo industrial e empreendimentos variados, localizados ao longo dos eixos rodoviários e seus segmentos que atravessam a região. Sua utilização vem crescendo nas periferias não atendidas por rede de abastecimento público de água em diversas cidades das bacias e, principalmente, como fonte alternativa e complementar de água potável para abastecimento em áreas atendidas com água tratada.

2 - O Balanço Hídrico e a Recarga Transitória Média Multianual dos Aquíferos

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

O escoamento básico é determinado pelo balanço hídrico da bacia ou sub-bacia e, para tanto, pode-se utilizar um modelo matemático de simulação hidrológica da bacia a nível diário, metodologia empregada pelo DAEE em vários de seus estudos de disponibilidade hídrica.

Neste trabalho, os volumes de recarga transitória média multianual dos aquíferos que correspondem ao escoamento básico, dados utilizados na Tabela 2, foram obtidos a partir da aplicação de um modelo matemático conceitual de simulação digital hidrológica, do tipo determinístico, de transformação chuva / vazão a nível diário, desenvolvido por Felix Mero em 1969, modificado e adaptado às condições regionais pelo próprio autor e pela equipe técnica do DAEE ao longo dos anos. Além do "Estudo de Água Subterrânea da Região Administrativa No. 5 - Campinas" em 1980, o DAEE utilizou o modelo em outros estudos, como a "Caracterização dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo" em 1984, que subsidiou a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos de 1990.

O modelo, cujos fundamentos e metodologia encontram-se descritos nesses trabalhos publicados anteriormente, simula o ciclo hidrológico e, a partir da precipitação diária e da evaporação potencial média verificadas na bacia, fornece como resultados a vazão total na saída da sub-bacia, decomposta em seus componentes caracterizados pelos escoamentos superficial, hipodérmico e básico, a evaporação real e a recarga para o reservatório subterrâneo.

Todos os escoamentos são calculados e apresentados na forma de volume mensal em milhões de metros cúbicos (MMC) e também em milímetros (mm).

Os resultados sintetizados do balanço hídrico para as 23 sub-bacias dos rios que compõem as bacias dos rios Piracicaba e Capivari são mostrados na Tabela 1.

3 - Considerações sobre a Disponibilidade de Água Subterrânea

A quantidade de água subterrânea possível de ser retirada de um aquífero é de difícil precisão, tratando-se de uma questão subjetiva e, portanto, polêmica, dentro de limites estabelecidos.

O limite máximo teórico é determinado pela geometria do aquífero, suas propriedades físicas intrínsecas e suas características hidrodinâmicas. Isto significa dizer que poderíamos explorar um aquífero até o limite determinado pelo volume total de água contido em seu interior mais a sua recarga, exaurindo completamente sua reserva total de água. Na realidade, em termos práticos, isto seria impossível e tampouco recomendável.

Um primeiro limite para exploração do aquífero poderia ser estabelecido, determinado pelo volume de água contido em seu interior, abaixo da superfície básica da drenagem de uma região, que vamos considerar como a reserva permanente de água no aquífero e, assim, poderíamos explorar toda a água contida no volume superior do aquífero. Também não é esta uma situação ideal, devido às características pouco favoráveis da hidrogeologia regional e também aos valores das nossas necessidades hídricas.

Um segundo limite poderia ser estabelecido, preservando esse volume superior do aquífero, situado entre a superfície básica e sua superfície potenciométrica, que vamos considerar como a reserva ativa de água no aquífero. Bem, esta reserva ativa apresenta uma variação sazonal e é mantida pelo volume de água infiltrado para o aquífero a partir da precipitação que ocorre na sub-bacia e que podemos considerar como uma reserva reguladora, atuando diretamente no escoamento básico dos corpos de água superficial da região.

Em outro termos, esse volume equivale a recarga média multianual do aquífero, ou potencial renovável de água subterrânea de uma bacia, e corresponde ao volume de água que é drenado pelos rios na forma de seu escoamento básico, desde que não ocorram retiradas artificiais significativas de água do aquífero, através da exploração por poços, ou a recarga profunda, comum em aquíferos confinados, como é o caso exclusivo do Botucatu na região.

Cabe aqui lembrar um conceito básico determinado por uma equação simples mas, por vezes, incrivelmente desprezada no trato dos recursos hídricos: - "o volume de água subterrânea retirado do aquífero pelos poços ou outros processos, vai faltar no escoamento básico natural dos rios da bacia, ou volta ao rio na forma de água servida", geralmente com uma redução da ordem de 20 % do volume original extraído do aquífero.

Diante desses fatos fica claro as várias limitações que se impõem aos volumes ou reservas exploráveis de água subterrânea a partir dos aquíferos. A questão é técnica e também econômica quando se deve decidir o quanto desejamos influenciar no escoamento básico e, por conseguinte, nas vazões mínimas dos rios das bacias.

Evidentemente os aquíferos que ocorrem nas bacias do Piracicaba e Capivari, mormente nas áreas onde se concentram as maiores demandas de água das bacias, não apresentam características favoráveis para grandes retiradas de água, em razão da baixa transmissividade, grande heterogeneidade e da sua descontinuidade. Tais propriedades limitam o aproveitamento desses aquíferos de uma forma economicamente mais viável, uma vez que necessitam uma quantidade de poços fora dos propósitos normais para uma exploração racional mais significativa.

Os limites que estabelecemos neste trabalho levam em conta todos esses aspectos, de forma que as parcelas de água retiradas ao escoamento dos rios não signifiquem reduções tão críticas nas suas vazões atuais, considerando um retorno através dos esgotos urbanos, da ordem de 80 % da água consumida, e dos efluentes industriais, da ordem de 81%, conforme estudos realizados nas duas bacias pela Jaakko Poyry Engenharia Ltda. para o DAEE e o Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari em 1992.

A diferenciação entre os índices adotados para os diferentes aquíferos deve-se a razões hidrogeológicas, como o tipo de porosidade e a hidráulica dos aquíferos, e as técnicas convencionais disponíveis para captação de águas subterrâneas. Quanto mais heterogêneo e descontínuo o aquífero, maior a dificuldade de provocar rebaixamentos extensivos, que exigiriam um número maior de poços, nem sempre proporcionando retiradas de água subterrânea viáveis técnica e economicamente.

Assim, para estabelecermos a disponibilidade potencial de água subterrânea nas duas bacias, que consideramos suas reservas exploráveis, foram fixados os seguintes índices sobre os volumes da recarga transitória média multianual:

- Aquíferos Cristalino, Diabásio e Serra Geral: 20%

- Aquíferos Itararé, Bauru e Cenozóico: 25%

- Aquífero Passa Dois: 15%

- Aquífero Botucatu: 30%

Salientamos que esses números aqui determinados e utilizados na Tabela 2 não devem ser tomados como absolutos ou definitivos, mas sim como limites para se estabelecer os potenciais de água subterrânea que permitam o desenvolvimento do planejamento racional de seu aproveitamento. A qualquer tempo é

possível a revisão desses limites, associando-os a outros fatores de ordem econômica, tecnológica ou, simplesmente, de demanda.

Os potenciais de disponibilidade de água subterrânea ou reservas exploráveis dos aquíferos foram estabelecidos para as sub-bacias que tiveram seus parâmetros hidrológicos determinados em função da existência de um posto fluviométrico em seção de controle bem definida e com série histórica de dados compatível, utilizados nos estudos hidrológicos realizados anteriormente nas bacias dos dois rios. Desta maneira, procura-se alcançar uma regionalização maior dessa informação, como suporte para uma possível divisão da gestão dos recursos hídricos por sub-bacias dentro das bacias dos rios Piracicaba e Capivari.

4 - Disponibilidade hídrica nos aquíferos

A partir da Tabela 2 podemos obter a mesma disponibilidade ou reserva explorável de água subterrânea para os aquíferos nas duas bacias, conforme é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Disponibilidade Hídrica nos Aquíferos das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari
Reserva Explorável (m³/s)

Aquíferos \ Bacias	PIRACICABA	CAPIVARI	TOTAL
Cenozoico - CZ	0,50	-	0,50
Bauru - BA	0,29	-	0,29
Serra Geral - SG	0,42	-	0,42
Botucatu - BT	4,64	-	4,64
Diabásio - DB	0,70	0,05	0,75
Passa Dois - PD	1,17	-	1,17
Itararé - IT	2,40	0,95	3,35
Cristalino - CR	9,25	0,43	9,68
Totais:	19,37	1,43	20,80

Observações sobre a Tabela 3:

Além dos potenciais hídricos dos aquíferos e o total disponível de água subterrânea nas duas bacias, nota-se que enquanto área da bacia do Capivari equivale a cerca de 11,5% da área total, a quantidade de água subterrânea disponível nessa bacia corresponde a menos que 7% do total das reservas. A mesma observação cabe quando comparamos área de ocorrência e disponibilidade hídrica entre os aquíferos Itararé e Cristalino. Tais fatos se devem aos maiores índices de precipitação nas áreas cristalinas de cabeceiras do Leste na bacia do Piracicaba, a maior capacidade de retenção de água dos terrenos cristalinos, principalmente nas espessas zonas de rocha alterada, e a ocorrência do aquífero Botucatu na área da bacia do Piracicaba.

Já a desproporção, relativa a disponibilidade e área de ocorrência, que se verifica entre o aquífero Botucatu e os demais aquíferos da região se deve exclusivamente as características hidrogeológicas privilegiadas desse aquífero.

5 - Considerações finais

A disponibilidade ou reserva explorável de água subterrânea, estimada em 20,8 m³/s para as duas bacias, equivale a uma fração que varia entre 15 e 30% da recarga média multianual dos aquíferos.

O volume de água que circula anualmente pelos aquíferos é bastante elevado, da ordem de 3 bilhões de m³, correspondendo a uma vazão de 94 m³/s e, seguramente, a exploração de uma parcela de 20,8 m³/s, equivalente a cerca de 22% da vazão básica das bacias, é exequível.

Da reserva disponível nos aquíferos das duas bacias, o aquífero Cristalino é o mais explorado, apesar de utilizar pouco mais de 10% de seu potencial disponível, enquanto que o aquífero Itararé apresenta o maior índice de aproveitamento utilizando cerca de um quarto da disponibilidade estabelecida para esse aquífero. A avaliação de todos esses fatores relatados mostra uma condição plenamente favorável para um incremento acentuado no aproveitamento de água subterrânea que, certamente, deverá se verificar na região no decorrer dos próximos anos.

Diante desse panorama, torna-se fundamental a necessidade da adoção de medidas que efetivem a administração racional e integrada das águas superficiais e subterrâneas pelo poder público, o que vem sendo preconizado sistematicamente pelos meios técnicos e constitui um dos maiores anseios da comunidade regional.

6 - Referências Bibliográficas

- ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA, Revista; 1988. "Água Subterrânea - Reserva Estratégica". Assessoria de Recursos Hídricos do DAEE. Ano 5, No. 13, p. 14 / 35; DAEE Ed. São Paulo.

- Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari & DAEE, 1992. "Plano Diretor para Captação e Produção de Água para Abastecimento dos Municípios Componentes das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari" - Jaakko Po"ry Engenharia Ltda. Rel. Final. São Paulo.

- DAEE, Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1984. "Caracterização dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo". Relatório Final, 1 v. São Paulo.

- DAEE, Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1981. "Estudo de Águas Subterrâneas da Região Administrativa No. 5 / Campinas". Rel. Final, 2 v. São Paulo.

- LOPES, M. F. C.; 1994. "Condições de Ocorrência de Água Subterrânea nas Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari". Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP; Campinas.

Tabela 1- Resumo do balanço hídrico nas Sub-bacias que compoem as Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari

No.	Posto prefixo	Rio	Área (km ²)	Prec. (mm)	Evp.R (mm)	Q.tot (mm)	Q.bás (mm)	T/01 dias	R.At (mm)	Qt/P (%)	Qb/P (%)	Qb/Qt (%)
01	3D-016	JGR	967	1.366	792	574	275	135	103	41	20	49
02	3D-015	JGR	386	1.366	792	574	275	135	103	41	20	49
03	3D-009	JGR	597	1.366	792	574	275	135	103	41	20	49
04	6261500	JGR	230	1.362	777	585	271	135	101	42	20	48
05	3D-017	CMD	102	1.408	808	600	275	90	68	41	19	48
06	3D-002	CMD	285	1.408	815	593	260	100	72	41	18	46
07	3D-001	CMD	541	1.352	824	528	189	135	70	38	13	37
08	6266500	CHR	418	1.484	760	724	480	150	198	48	32	66
09	6266000	ATB	305	1.413	782	631	375	150	155	44	26	60
10	6267000	ATB	420	1.319	822	497	171	150	70	37	13	35
11	3D-006	ATB	775	1.296	804	492	167	150	69	37	13	35
12	3D-019	ATB	95	1.320	702	618	333	150	137	46	25	55
13	3D-003	ATB	397	1.265	802	463	161	150	66	35	12	36
14	4D-001	JGR	286	1.237	734	503	236	135	88	39	19	49
15	4D-009	ATB	272	1.281	793	488	156	150	64	36	12	35
16	4D-010	PRC	1.002	1.233	776	457	155	140	59	36	12	35
17	6270700	PRC	1.773	1.288	909	379	122	140	46	28	9	34
18	4D-007	PRC	541	1.184	862	322	105	140	40	25	8	35
19	4D-021	CRB	1.159	1.264	857	407	155	180	76	31	12	40
20	4D-018	CRB	489	1.359	866	493	200	210	115	35	14	42
21	FOZ-PIR	PRC	1.610	1.350	-	392	337	-	-	29	25	86
22	6242000	CPV	508	1.112	793	319	123	90	30	28	11	39
23	FOZ-CVP	CPV	1.142	1.150	-	333	115	-	-	29	10	35

Observações sobre a Tabela 1:

1) Legenda da Tabela 1:

Posto prefixo = prefixo de identificação do posto fluviométrico;

Rio = rio referente a sub-bacia, onde: JGR = rio Jaguarí

CMD = rio Camanducaia

CHR = rio Cachoeira

ATB = rio Atibaia

PRC = rio Piracicaba

CRB = rio Corumbataí

CPV = rio Capivari;

Área = área de drenagem da sub-bacia em km²;

Prec. = precipitação, altura média na sub-bacia, em mm/ano;

Evp.R = Evapotranspiração real média na sub-bacia, em mm/ano;

Q.tot = escoamento total médio da sub-bacia, em mm/ano;

Q.bás = escoamento básico médio da sub-bacia, em mm/ano;

T/01 = Constante de depleção do escoamento básico, em dias;

R.At = Reserva ativa, em mm;

Qt/P = Relação percentual entre o escoamento total e a precipitação;

Qb/P = Relação percentual entre o escoamento básico e precipitação;

Qb/Qt = Relação percentual entre os dois escoamentos básico / total;

2) a reserva ativa representa o volume médio do reservatório subterrâneo acima da superfície básica de drenagem da sub-bacia;

3) os valores apresentados referen-se a valores médios para cada sub-bacia considerada como homogênea;

4) no balanço hídrico efetuado, os aquíferos estão considerados como livres, não ocorrendo perdas de água subterrânea fora da bacia.

Tabela 2- Estimativa da Disponibilidade de Água Subterrânea nas Sub-bacias que compoem as Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari

Posto	Rio	Área (km2)	Prec. (mm)	Q.tot (mm)	Q. bás (mm)	Q. bás. (m3/s)	Aquif. % área	Ár.Aq (km2)	Ind. (%)	Q. dis. (m3/s)
sub-bc										
3D-016	JGR	967	1.366	574	275	8,43	CR.100%	967	20%	1,69
3D-015	JGR	386	1.366	574	275	3,36	CR.100%	386	20%	0,67
3D-009	JGR	597	1.366	574	275	5,20	CZ.003%	18	25%	0,04
							CR.097%	579	20%	1,01
626150	JGR	230	1.362	585	271	1,97	CR.100%	230	20%	0,39
3D-017	CMD	102	1.408	600	275	0,89	CR.100%	102	20%	0,18
3D-002	CMD	285	1.408	593	260	2,35	CR.100%	285	20%	0,47
3D-001	CMD	541	1.352	528	189	3,23	CZ.002%	11	25%	0,02
							CR.098%	530	20%	0,63
626650	CHR	418	1.484	724	480	6,37	CR.100%	418	20%	1,27
626600	ATB	305	1.413	631	375	3,61	CR.100%	305	20%	0,72
626700	ATB	420	1.319	497	171	2,28	CZ.005%	21	25%	0,03
							CR.095%	399	20%	0,43
3D-006	ATB	775	1.296	492	167	4,09	CZ.005%	39	25%	0,05
							CR.095%	736	20%	0,78
3D-019	ATB	95	1.320	618	333	1,01	CR.100%	95	20%	0,20
3D-003	ATB	397	1.265	463	161	2,03	CR.100%	397	20%	0,41
4D-001	JGR	286	1.237	503	236	2,12	DB.015%	43	20%	0,06
							IT.055%	157	25%	0,29
							CR.030%	89	20%	0,13
4D-009	ATB	272	1.281	488	156	1,33	CZ.003%	8	25%	0,01
							DB.030%	81	20%	0,08
							IT.042%	115	25%	0,14
							CR.025%	68	20%	0,07
4D-010	PRC	1.002	1.233	457	155	4,91	CZ.003%	30	25%	0,04
							DB.017%	171	20%	0,17
							IT.060%	601	25%	0,74
							CR.020%	200	20%	0,20
627070	PRC	1.773	1.288	379	122	6,85	CZ.003%	53	25%	0,05
							DB.025%	443	20%	0,34
							IT.072%	1.277	25%	1,23
4D-007	PRC	541	1.184	322	105	1,81	BT.035%	189	30%	0,19
							DB.015%	81	20%	0,05
							PD.050%	271	15%	0,14
4D-021	CRB	1.159	1.264	407	155	5,71	CZ.015%	174	25%	0,21
							BA.003%	35	25%	0,04
							SG.005%	56	20%	0,06
							BT.027%	314	30%	0,46
							PD.050%	580	15%	0,43
4D-018	CRB	489	1.359	493	200	3,11	CZ.007%	34	25%	0,05
							BA.005%	24	25%	0,04
							SG.003%	16	20%	0,02
							BT.040%	195	30%	0,37
							PD.045%	220	15%	0,21
FOZ-PI	PRC	1.710	1.350		337	17,23	BA.005%	85	25%	0,21
							SG.010%	171	20%	0,34
							BT.070%	1.197	30%	3,62
							PD.015%	257	15%	0,39
sub-T(a)		12.750				87,89		12750		
624200	CPV	508	1.112	319	123	1,97	IT.035%	177	25%	0,17
							CR.065%	331	20%	0,26
FOZ-CV	CPV	1.142	1.150		115	4,15	DB.005%	58	20%	0,05
							IT.075%	856	25%	0,78
							CR.020%	228	20%	0,17
sub-T(b)		1.650				6,12		1.650		1,43
TOTAL		14.400				94,01		14400		20,80

(a) - Bacia do Rio Piracicaba
(b) - Bacia do Rio Capivari

Observações sobre a Tabela 2:

1 Legenda da Tabela 2:

No. = número de ordem

Posto sub-bc = prefixo de identificação do posto fluviométrico;

Rio = rio referente a sub-bacia, conforme Tabela 8.1;

Área = área de drenagem da sub-bacia em km2;

Prec. = precipitação, altura média na sub-bacia, em mm/ano;

Q.tot = escoamento total médio da sub-bacia, em mm/ano;

Q. bás = escoamento básico médio da sub-bacia, em mm/ano e em m3/s;

Aquif. % área = aquífero e % de área que ocupa na sub-bacia;

Ár.Aq = área de ocorrência superficial do aquífero na sub-bacia, em km2;

Ind.= índice percentual aplicado sobre o escoamento básico admitido como a parcela correspondente a disponibilidade potencial ou reserva explotável de água subterrânea;

Q.dis. = vazão potencial disponível por aquífero na sub-bacia, em m3/s;