MODELO DE SIMULAÇÃO ANALÍTICA DE EXPLOTAÇÃO DO AQUIFERO BEBERIBE NA ÁREA OLINDA — IGARASSU*

WALDEMIR BARBOSA DA CRUZ**, ADELBANI BRAZ DA SILVA**,
FERNANDO GOMES JARDIM** e CARLOS ALBERTO DE MELLO PEIXOTO**

ABSTRACT The analytic simulation model of exploitation of the Beberibe Aquifer, in the Olinda-Igarassu area, Pernambuco, was elaborated on the basis of the SIMAQ computer program of Gaytan and França. The hydrogeological scheme adopted took into consideration a semi-confined aquifer (sandstones of the Inferior Beberibe Formation) limited at the basis by the impermeable crystalline basement, and limited at the top by an "aquitar" (shale). It was considered an aquifer with its recharge limit in the west, represented by the "outcrop" zone of the formation and, in the east, with an infinite length, on the seaside. The model analyses furthermore, the conditions of a recharge limit and barrier in the east, computed by means of addition of image wells in order to verify the possible influences and relationships between the aquifer and the sea. The drawdowns of the water levels were calculated by the Hantush equation, having been studied the sensibility of the model to the variations of permeability of the aquitar. The discharges by pumping, simulated according to rectilinear well batteries were established from projections of urban consumption of the several population nucleus up to the year 1995. The results obtained from the model show the great influence that the variations of K' may cause on the declines of water levels. The limit of recharge on the west has little influence upon the drawdowns of the water levels in the exploitation wells close to the seashore. The maximum drawdown that could occur for the pumping conditions imposed, would be greater in 1985 (90 meters), on the seaside zone of Olinda. This suggests a greater dispersal of the exploitation wells and their preferential localization to the west, the closest possible to the recharge limit.

INTRODUÇÃO Nos estudos de avaliação dos recursos hídricos subterrâneos da região costeira de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, realizados pela Sudene-Conesp, através da OESA — Organização e Engenharia S/A, foi elaborado um modelo de simulação analítico de exploração das águas subterrâneas do Aquífero Beberibe para a região de Olinda-Igarassu.

O modelo de simulação teve como objetivo verificar a evolução dos rebaixamentos dos níveis piezométricos do aquífero, ante um regime de exploração de longa duração.

Além desse objetivo o modelo apresenta, conjuntamente, informações detalhadas sobre os custos e especificações dos projetos de captação, permitindo uma análise econômica das diversas alternativas de exploração estabelecidas.

Neste trabalho, são apresentados os principais resultados obtidos quanto às previsões de declínios de níveis d'água, na área considerada.

* Estudo realizado pela SUDENE — DRN — CONESP, através da OESA — Organização e Engenharia S.A., como parte do programa "Estudos de Reconhecimento e Estudos Hidrogeológicos para Aproveitamento Integrado da Região Centro-Oriental da Bacia Potiguar e da Bacia Costeira de Pernambuco — Paraíba".

** OESA — Organização e Engenharia S.A.

ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS A região estudada compreende a faixa sedimentar entre as cidades de Olinda e Igarassu, pertencentes à bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba, onde ocorre uma seqüência de rochas cretácicas depositadas sobre o embasamento cristalino e sobreposta, em áreas restritas, por uma formação calcária terciária e, em extensivas áreas, por uma unidade terciária areno-argilosa, além de aluviões e sedimentos de praia recentes.

Essa bacia sedimentar possui, em sua porção continental, uma largura média de 20 km e a seqüência de sedimentos tem uma espessura variável, aumentando gradativamente para leste, atingindo 400 m na linha da costa.

A bacia costeira Pernambuco-Paraíba foi estudada por Oliveira e Andrade Ramos (1950), Mabesoone (1967) e Beurlen (1967). A seqüência estratigráfica atualmente adotada foi proposta por Campos e Silva *et al.* (1971), tendo a seguinte sucessão de terrenos: Embasamento Cristalino Pré-Cambriano; Formação Beberibe e Formação Gramame do Cretáceo; Formação Maria Farinha e Grupo Barreiras do Terciário, e depósitos recentes. A Fig. 1 mostra um corte transversal da seqüência estratigráfica e as litologias das diversas formações.

O principal aquífero representado pela seção inferior da Formação Beberibe, é constituído por arenitos quartzosos friáveis de granulação variável, contendo delgadas intercalações silticas e argilosas. Classifica-se como um aquífero semi-confinado, limitado na base por um *aquiclude* representado pelo substrato cristalino precambriano e, no topo, por uma camada ou nível semi-permeável — folhelhos ou siltitos do topo da Formação Beberibe Inferior — que funciona como um *aquitard*. A recarga, processa-se através de infiltração direta das águas de chuva nas áreas de afloramentos, situadas na borda oeste da bacia, e o escoamento geral se verifica em direção à costa, acompanhando o mergulho regional. A seção superior da Formação Beberibe constitui, também, um aquífero semi-confinado, separado do inferior por um *aquitard* e, limitado no topo, pelos calcários da Formação Gramame ou pelos sedimentos do Grupo Barreiras.

FUNDAMENTOS E CARACTERÍSTICAS DO MODELO O modelo utilizado para a simulação do Aquífero Beberibe, baseia-se no programa de computador SI-MAQ de Gaytan e França (1975) que apresenta as seguintes características:

- Baseia-se na resolução das equações diferenciais, que governam o movimento de água em meio poroso, aplicadas à hidráulica de poços. O modelo é do tipo analítico, conforme definido por Walton (1970, p. 487).

- As influências dos limites hidrogeológicos (de recarga ou impermeável) sobre o movimento e armazenamento de água subterrânea são determinadas por meio da teoria de poços imagens, descritas por Ferris (1959). O programa gera automaticamente os poços imagens.

- Os rebaixamentos de níveis d'água nos poços são calculados pelas equações de Theis, Jacob, Hantush (*in* Walton, 1970), conforme as condições que sejam consideradas, ou seja, extensão e características do aquífero e *aquitard*, descarga constante ou variável, características do poço (penetração total ou parcial), estado transitório ou permanente, ausência ou presença de filtração vertical, etc. O modelo registra separadamente, para cada poço, o rebaixamento devido ao bombeamento no próprio poço e o rebaixamento devido às interferências de bombeamento dos demais poços da bateria.

— O programa admite regimes de bombeamentos variáveis e qualquer distribuição espacial de poços exploratórios, podendo-se definir detalhadamente cada um dos poços ou proceder a uma simplificação do esquema de captação mediante baterias retilíneas, com poços regularmente espaçados.

DADOS DE ENTRADA São os seguintes os dados fornecidos para o programa:

- a) Dados básicos:
 - parâmetros hidráulicos do aquífero, coeficientes de transmissibilidade e armazenamento;
 - o raio de influência a longo prazo;
 - coordenadas X e Y da origem relativa;
 - coeficiente B de Hantush (para o caso específico do Aquífero Beberibe).
- b) Limites do aquífero:
 - Especificam-se os limites do aquífero existentes (impermeável ou de recarga), as distâncias e o azimute das perpendiculares à origem.
- c) Definição dos poços ou das baterias:
 - Relacionam-se todos os poços previstos na exploração, indicando-se as suas coordenadas e a cota do nível estático.
- d) Especificações de exploração:
 - Deverão ser especificadas para cada poço ou bateria as condições de exploração incluindo a vazão (número de medidas de demanda) e o regime de bombeamento.

ESQUEMA HIDROGEOLÓGICO ADOTADO 1. Considera-se um aquífero semi-confinado (Beberibe Inferior), limitado na base por um *aquiclude* e no topo por um *aquitard*, representado por folhelhos ou arenitos finos com intercalações argilosas. O aquífero recebe água, por filtração vertical, do Aquífero Beberibe Superior.

2. Com relação aos limites hidrogeológicos, foram consideradas as seguintes hipóteses:

- a) a zona de afloramento da Formação Beberibe Inferior foi considerada como um limite de recarga;
- b) o limite leste foi considerado sob aspectos bem distintos, para verificar as possíveis influências e relações entre o aquífero e o mar. Dessa maneira, supõe-se inicialmente que o aquífero é de extensão infinita a leste. Em seguida, admite-se a possibilidade de que o mar represente um limite a potencial constante, com o que se configura a existência de um limite de recarga. Finalmente, examina-se a possibilidade do Beberibe Inferior constituir um sistema fechado lateralmente, onde as perdas para o mar ou para os níveis superiores se dariam unicamente devido aos fenômenos de *leakage*, através do aquífero superior. Nesses termos foram examinadas as seguintes condições, quanto aos limites hidrogeológicos:
 - aquífero sem limite a leste e com um limite de recarga a oeste;
 - aquífero com dois limites de recarga, um a oeste e outro a leste;
 - aquífero com um limite de recarga a oeste e uma barreira a leste.

Os limites têm a direção N-S e acham-se situados nos meridianos UTM 88 (o do Oeste) e 99 (o do Leste).

3. Os rebaixamentos são calculados no caso do Aquífero Beberibe com a equação de Hantush que considera as seguintes condições (Walton, 1970, p. 143): fluxo

Figura 1 — Corte geológico transversal Barra de Catuama — Itapirema

radial em estado transitório e permanente em aquífero artesiano isotrópico com filtração vertical em poços com penetração total, sem água retirada do armazenamento no *aquitard* e condições de descarga constante.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u, \beta) = \frac{Q}{R\pi T} \int_u^\infty \frac{1}{x} e^{\exp.(-x - \frac{\beta}{4x})} dx$$

s = rebaixamento à distância r no tempo t (m);

Q = vazão (m³/s);

T = transmissibilidade (m²/s);

$$u = \frac{r^2 S}{Tt};$$

$$\beta = \frac{r}{B};$$

S = coeficiente de armazenamento;

$$B = \sqrt{\frac{Tm'}{K'}}$$

m' = espessura do *aquitard* (m);

K' = permeabilidade do *aquitard* (m/s)

4. As características hidrodinâmicas adotadas são:

$T = 2,7 \times 10^{-3}$ m²/s, $S = 5 \times 10^{-4}$ e $B = 5,2 \times 10^3$, tendo-se estudado a sensibilidade do modelo hidrogeológico ao parâmetro K' (valores de 10^{-8} a 10^{-10} m/s).

5. Raio de influência — o efeito dos limites hidrogeológicos é computado mediante a adição de poços imagens. O número desses é infinito, computando-se apenas o efeito daqueles situados dentro do raio de influência.

Considerou-se desprezível qualquer interferência inferior a 5 cm.

O efeito de um poço imagem situado à distância r seria, em regime permanente:

$$s = \frac{Q}{2\pi T} K_o(r/B)$$

Como $Q = 250$ m³/h (valor superior a todas as vazões consideradas):

$$s = \frac{250/3600}{2\pi \times 2,7 \times 10^{-3}} K_o(r/B) = 4,09 K_o(r/B)$$

Para que S seja 5 cm = 0,05 m, tem-se:

$$Ko (r/B) = \frac{0,05}{4,09} = 0,012,$$

o que implica:

$$\frac{r}{B} = 3,9$$

$$r = 3,9 B = 3,9 \times 5200 \cong 20000 \text{ m.}$$

Na área do bombeamento, o poço mais afastado da origem de coordenadas relativas (UTM 90:20) é o poço P370 (UTM 88,5; 34,5). Sua distância à origem é de cerca de 15 km. Portanto, adotamos como área de influência um círculo de raio $20 + 15 = 35$ km, com centro na origem de coordenadas relativas, computando-se o efeito de todos os poços imagens situados dentro do círculo.

6. Efeito do tempo. Adotou-se um período de 5 anos como intervalo significativo para as variações de demanda de água. A cada 5 anos, novos poços são incorporados ao projeto e alguns poços previamente existentes aumentam sua vazão (Quadro 1). Dentro de cada intervalo, as vazões são consideradas constantes. Verificou-se que, após 5 anos de bombeamento, tem-se atingido, na prática, o regime permanente. Portanto, é desprezível qualquer efeito a mais de 5 anos.

7. Definição dos poços e especificações de exploração. Para verificar os rebaixamentos previsíveis de níveis d'água na área de Olinda e Igarassu, foram consideradas as previsões de demanda d'água para abastecimento público, estabelecidas a partir das projeções de população dos diversos núcleos a cada 5 anos, de 1975 até

Quadro 1 — Poços com vazão variável no tempo — (demanda em m³/h)

Nº do poço	1 975	1 980	1 985	1 990	1 995
	a	a	a	a	a
	1 980	1 985	1 990	1 995	2 000
P052	160	200	200	200	200
P253	—	—	50	112	190
P057	97	140	150	163	193
P058	86	107	133	166	166
P060	26	40	67	78	92
P061	18	33	63	84	123
P062	84	185	185	185	185
P268	—	—	51	147	147
P165	—	57	128	128	128
P370	—	—	—	90	202

1995, tendo-se considerado também a cada 5 anos um incremento da demanda industrial, computada na base de 5% ao ano.

Estabelecidas as demandas para os principais núcleos urbanos em Olinda, Paulista, Abreu e Lima, Paratibe, Conceição e Igarassu, procedeu-se a uma definição de número de poços necessários para atingir a demanda prevista, tendo em conta que a vazão máxima que um poço poderia fornecer foi fixada em 230 m³/h. O quadro 2 apresenta a evolução das demandas e o número de poços com as vazões de exploração correspondentes, para o período de 1975 a 1995.

Assim, para a área de Olinda, foi fixado um total de 13 poços com uma determinada vazão de exploração, em 1975. Em 1980, mais 7 poços foram adicionados, para fazer frente ao aumento da demanda; em 1985, mais 8 poços, e assim continuamente, até o ano de 1995. Para os outros núcleos, seguiu-se procedimento idêntico, sendo os poços localizados segundo uma bateria em linha reta na direção N-S, conforme mostra o mapa da Fig. 2.

Além da vazão de exploração indicada em m³/h (unidade de demanda), foram indicados, para cada poço, as coordenadas UTM, regime de bombeamento, cota do nível estático e altitude do ponto.

A fim de que a simulação se aproximasse o máximo possível das condições reais, todos os poços foram locados em mapas topográficos na escala 1:25000, de onde foram tomadas as altitudes no ponto e as coordenadas UTM. As cotas dos níveis estáticos foram determinadas a partir do mapa piezométrico. O regime de bombeamento, em todos os casos, foi estabelecido em 24/24 horas.

RESULTADOS OBTIDOS Os resultados fornecidos pelo modelo quanto às previsões de rebaixamento dos níveis d'água na área Olinda-Igarassu, estão representados em mapas e perfis piezométricos nas Figs. 3 a 8.

A Fig. 3 mostra a influência da permeabilidade do *aquitard* sobre os rebaixamentos, segundo um perfil piezométrico longitudinal (N-S) na área de Olinda. Verifica-se a grande influência desse parâmetro sobre a evolução dos rebaixamentos dos níveis d'água. Com um valor de $K' = 10^{-10}$ m/s, os rebaixamentos máximos, na zona central do cone, atingiram valores extremamente acentuados, da ordem de 160 m (cota de -150 m). Ao contrário, um valor de $K' = 10^{-8}$ m/s provocaria níveis piezométricos situados à cota -40 metros, ou o correspondente a rebaixamento de cerca de 45 m.

Esses resultados põem em evidência a importância que podem assumir os fenômenos de *leakage*, na estimativa dos recursos explotáveis da área. Os testes realizados do aquífero, indicaram valores de 10^{-7} m/s, em Olinda, e de 10^{-9} m/s, ao norte, em Barra de Catuama, para a permeabilidade do *aquitard*. Não se dispõe de maior número de determinações desse parâmetro, de modo que as previsões de rebaixamento de níveis d'água e, conseqüentemente, a fixação de uma "vazão segura", em toda a área, dependem fundamentalmente das hipóteses estabelecidas, quanto às extrapolações desse parâmetro. No modelo, procura-se seguir uma situação média e intermediária, admitindo-se como valor mais provável um coeficiente de 10^{-9} m/s, em toda a área.

Nas Figs. 4 e 5, indica-se a influência dos limites hidrogeológicos sobre os rebaixamentos dos níveis d'água.

Ao longo do perfil Paulista-Igarassu, observa-se que os efeitos do limite de recarga a oeste (limite da área de afloramento) são mais acentuados. Os rebaixamen-

Figura 2

INFLUÊNCIA DA PERMEABILIDADE DO "AQUITARD" SOBRE OS REBAIXAMENTOS DE NÍVEIS D'ÁGUA
NA ÁREA DE OLINDA
PERFIL PIEZOMÉTRICO LONGITUDINAL EM ESTADO DE EQUILÍBRIO EM 1985 SOB CONDIÇÕES
DE UM LIMITE DE RECARGA A OESTE

Figura 3

INFLUÊNCIA DE LIMITES HIDROGEOLÓGICOS NA ÁREA DE OLINDA

Figura 4

PERFIL PIEZOMÉTRICO LONGITUDINAL PAULISTA-IGARASSU MOSTRANDO A INFLUÊNCIA DO LIMITE DE RECARGA OESTE.

Figura 5

Quadro 2 — Evolução das vazões e número de poços no modelo de exploração simulado

Local	Abastecimento	1 975			1 980			1 985			1 990			1 995		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Olinda	Público	1690	P 1	150	2740	P113	150	3790	P220	150	5570	P327	150	7520	P439	150
			P 2	150		P114	150		P221	150		P328	150		P440	150
			P 3	150		P115	150		P222	150		P329	150		P441	150
			P 4	150		P116	150		P223	150		P330	150		P442	150
			P 5	150		P117	150		P224	150		P331	150		P443	150
			P 6	150		P118	150		P225	150		P332	150		P444	150
			P 7	150		P119	150		P226	150		P333	150		P445	150
			P 8	150								P334	150		P446	150
			P 9	150								P335	150		P447	150
			P10	150								P336	150		P448	150
			P11	150								P337	150		P449	150
			P12	40								P338	130		P450	150
															P451	150
Olinda	Industrial	160	P52	160	200	P 52	200	250	P253	50	312	P253	112	390	P253	190
Paulista	Público	97	P57	97	140	P 57	140	150	P 57	150	163	P 57	163	193	P 57	193
Paulista	Industrial	86	P58	86	107	P 58	107	133	P 58	133	166	P 58	166	210	P471	44
Abreu e Lima	Público	100	P59	100	210	P164	110	420	P266	150	590	P369	170	930	P472	170
									P267	60					P473	170
Paratibe	Público	26	P60	26	40	P 60	40	67	P 60	67	78	P 60	78	92	P 60	92
Praia da																
Conceição	Público	18	P61	18	33	P 61	33	63	P 61	63	84	P 61	84	123	P 61	123
Igarassu	Público	84	P62	84	185	P 62	185	236	P268	51	332	P268	147	424	P474	92
Igarassu	Industrial	230	P63	230	287	P165	57	358	P165	128	448	P370	90	560	P370	202

A = demanda d'água em m³/h

B = Poços ou baterias

C = Vazão de exploração em m³/h

EVOLUÇÃO DOS REBAIXAMENTOS DOS NÍVEIS D'AGUA COM O TEMPO NA ÁREA DE OLINDA

Figura 6

PERFIL PIEZOMÉTRICO TRANSVERSAL EM REGIME DE EQUILÍBRIO SEGUNDO OS BOMBEAMENTOS
SIMULADOS PELO MODELO ANALÍTICO

EVOLUÇÃO DOS REBAIXAMENTOS COM O TEMPO NA ÁREA

OLINDA - PARATIBE

Figura 7

Figura 8

tos nesses poços, situados mais próximos ao limite de recarga serão, em 1985, cerca de 7 m a menos, do que os que ocorreriam se o aquífero fosse de extensão infinita.

Em Olinda, cerca de 9 km da área de recarga, os efeitos deste limite são praticamente desprezíveis; nos poços simulados, as interferências devidas a esse limite reduzem os rebaixamentos de apenas 2 metros, após 10 anos de bombeamento e já em estado de equilíbrio. Nessas condições os rebaixamentos que ocorreriam, admitindo-se o limite de recarga a oeste, seriam praticamente iguais aos que ocorreriam com um aquífero de extensão infinita. A Fig. 4 mostra ainda a situação dos rebaixamentos que ocorreriam em 1985, no caso de se representar um limite de barreira ou um limite de recarga do lado do mar. A primeira condição é muito pouco provável, já que a interface funciona como uma linha de fluxo, mas não chega a constituir um limite impermeável. Tampouco há a possibilidade de variações laterais de fácies abruptas em direção do mar, que provocassem esses limites, a pequena distância da costa. A segunda hipótese também é pouco provável nas condições de confinamento do aquífero. Assim, a situação mais representativa do Aquífero Beberibe Inferior é a que considera um aquífero infinito com apenas um limite de recarga a oeste, tendo em conta que nas zonas próximas ao litoral, como em Olinda, os efeitos deste limite oeste são pouco significativos.

A Fig. 6 indica a evolução dos rebaixamentos com o tempo, na zona central do cone de depressão de Olinda. Como já referido anteriormente, depois de 5 anos os níveis d'água já atingem o regime permanente, isto é, já alcançaram o equilíbrio para as vazões consideradas, ocorrendo somente os efeitos de interferência provocados pelos novos poços que entram em funcionamento. Nessa figura, pode-se notar que a zona mais profunda do cone se desloca, a cada ano, para o sul, em consequência da localização dos novos poços da bateria nesta direção.

Em 1980, os rebaixamentos na zona central do cone de Olinda seriam da ordem de 65,5 m, com cotas dos níveis d'água a -60 m. Em 1985, os declínios de níveis d'água atingiram cerca de 90 m (níveis dinâmicos a -85 m); em 1990 cerca de 105 m (níveis dinâmicos a -100 m), e em 1995, os níveis d'água alcançariam cotas extremamente baixas, em torno de -125 m, com rebaixamentos de 130 m. Esses rebaixamentos seriam provocados, em grande parte, devido às vazões exploradas na própria bateria de Olinda e uma parte como consequência das interferências dos bombeamentos situados nas outras áreas especificadas, especialmente em Paulista e em Abreu e Lima.

As quantidades de água explorada e os respectivos rebaixamentos são resumidos no Quadro 3.

As informações obtidas com o modelo indicam que os efeitos de bombeamento e do limite de recarga se fazem sentir a grandes distâncias. No eixo Paulista-Igarassu, as interferências do cone de Olinda não são indicadas, mas provavelmente contribuem para uma diminuição dos efeitos positivos da recarga. Em Conceição, a uma distância de 9,5 km do limite de recarga, observam-se ainda seus efeitos, que possivelmente são em parte compensados pela influência dos rebaixamentos de Olinda.

Na Fig. 7, mostra-se um perfil piezométrico transversal de Olinda-Paratibe, para os anos de 1980 e 1985. Para o regime de equilíbrio, as curvas mostram um gradiente hidráulico muito forte para o lado do limite de recarga. Quase todo o fluxo lateral para o cone é proveniente do lado oeste, enquanto para o lado do mar devem ocorrer gradientes muito fracos e um fluxo muito mais reduzido, em conse-

Quadro 3 — Resumo dos resultados da exploração simulada do Aquífero Beberibe por área

Ano	Área	Rebaixamento máximo (m)			Volume explotado (10 ⁶ m ³ /ano)	Custos (Cr\$)	
		Devido ao poço	Interfe- rências	Total		Total atualizado — início	M ³ de água (Valor médio)
1980	Olinda	24,23	41,34	65,57	16,21	34.755.000,00	0,1436
	Paulista	15,45	9,74	25,19	1,60	2.783.000,00	0,1097
	Abreu e Lima	15,75	4,02	19,77	0,88	1.516.000,00	0,1097
	Paratibe	4,24	9,19	13,43	0,23	830.000,00	0,2309
	Conceição	2,97	2,73	5,70	0,16	1.122.000,00	0,4510
	Igarassu	30,47	0,69	31,16	2,80	3.183.000,00	0,0816
1985	Olinda	24,23	66,18	90,41	25,75	65.022.000,00	0,1661
	Paulista	22,29	16,15	38,44	2,16	3.461.000,00	0,1009
	Abreu e Lima	17,33	10,26	27,59	1,84	3.393.000,00	0,1169
	Paratibe	6,52	14,57	21,09	0,35	937.000,00	0,1695
	Conceição	5,43	4,32	9,75	0,29	1.192.000,00	0,2614
	Igarassu	30,47	2,18	32,65	4,13	4.943.000,00	0,0839
1990	Olinda	24,23	80,66	104,89	35,39	97.432.000,00	0,1802
	Paulista	23,89	20,94	44,83	2,48	3.924.000,00	0,0999
	Abreu e Lima	23,19	17,51	40,70	3,68	7.131.000,00	0,1257
	Paratibe	10,92	18,61	29,53	0,59	1.281.000,00	0,1330
	Conceição	10,36	5,46	15,82	0,55	1.405.000,00	0,1614
	Igarassu	30,47	3,55	34,02	5,20	6.998.000,00	0,1003
1995	Olinda	24,20	115,82	140,02	51,70	162.787.000,00	0,2031
	Paulista	25,95	28,58	54,53	2,88	4.671.000,00	0,1028
	Abreu e Lima	23,19	25,11	48,30	5,17	10.345.000,00	0,1302
	Paratibe	12,71	24,66	37,37	0,68	1.431.000,00	0,1328
	Conceição	13,83	7,11	20,94	0,74	1.653.000,00	0,1424
	Igarassu	28,14	8,82	36,96	6,83	9.991.000,00	0,0974

quência do regime praticamente estacionário das águas em contato com a interface.

Um esboço da superfície piezométrica hipotética, que ocorreria em 1985, é representado na Fig. 8. Nesse mapa, estão computados somente os rebaixamentos devidos às interferências de um poço sobre os demais, tendo-se subtraído os rebaixamentos devido ao próprio poço, uma vez que representam um cone local.

Os resultados da simulação de exploração das águas subterrâneas são mostradas no Quadro 4, para o ano de 1980 e demais condições verificadas, ou seja, permeabilidade do *aquitard* igual a 10^{-9} m/s e sem limite do lado do mar (aquéífero infinito a leste).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES Não obstante os resultados aqui apresentados devam ser considerados como preliminares, em vista do número ainda reduzido de dados referentes à permeabilidade do *aquitard*, pode-se concluir que:

1. A permeabilidade do *aquitard* tem grande influência sobre os rebaixamentos que poderão se verificar em toda a área. Se se admitir, para toda a área de Olinda, uma permeabilidade do *aquitard* de 10^{-8} m/s, os rebaixamentos, ao final de 10 anos, com uma exploração da magnitude das demandas previstas, seria de ordem de 45 m. No restante da área, se ocorre uma permeabilidade de 10^{-9} m/s, os rebaixamentos poderão atingir, ao cabo do mesmo período citado, valores de ordem de 90 m.

2. O limite de recarga, situado a oeste e representado pela área de afloramento da Formação Beberibe Inferior, tem relativamente pouca influência nos rebaixamentos de poços de exploração próximos à costa.

3. A estabilização dos níveis d'água ou o regime permanente, verifica-se no decorrer dos primeiros 5 anos de exploração.

4. Os rebaixamentos máximos que ocorreriam, para as condições de exploração especificadas seriam, ao final de 1980, de 65,5 m para uma quantidade de água explorada de $21,8 \times 10^6$ m³/ano; em 1985, 90 m para uma vazão de $34,5 \times 10^6$ m³/ano; em 1990, 105 m para uma vazão de 48×10^6 m³/ano; e em 1995, 130 m para uma vazão de 68×10^6 m³/ano.

5. Para as outras áreas, onde a demanda se apresenta bem mais reduzida do que em Olinda, os rebaixamentos seriam bem menores. A evolução dos rebaixamentos, em Igarassu, segundo centro de bombeamento em importância na área, mostra que, em 1980, para uma vazão de $2,8 \times 10^6$ m³/ano, obtém-se rebaixamento de 31,16 m; em 1985, 32,65 m, para uma vazão de $4,13 \times 10^6$ m³/ano; e em 1995, 36,96 m, para uma vazão de $6,83 \times 10^6$ m³/ano.

Seria recomendável um maior número de determinações do coeficiente de permeabilidade do *aquitard*, em todos os poços que venham a ser perfurados, a fim de poder melhor ser definida a extensão dos efeitos provocados por esse parâmetro.

Seria recomendável que a futura exploração do aquífero se verificasse o mais próximo possível desse limite, a fim de serem obtidos menores rebaixamentos.

Para o dimensionamento de obras e especificações de projetos, somente é necessário tomar em consideração os rebaixamentos dos 5 anos precedentes, de vez que a partir destes períodos é atingido o estado permanente.

Agradecimentos Os autores agradecem à colaboração do Dr. Pedro Gaytan, do Consórcio OESA — TECNOSOL — EPTISA, pela orientação e sugestões apresentadas na fase de elaboração do modelo e por sua participação no processamento dos dados.

Quadro 4 —

SUDENE - DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURAIS - COMPANHIA NORDESTINA DE SONDAÇÃOS E PERFURAÇÕES - CONESP
 ORGANIZAÇÃO E ENGENHARIA S.A. - OESA
 ESTUDOS DE RECONHECIMENTO E HIDROGEOLOGICOS PARA APROVEITAMENTO INTEGRADO
 AQUIFERO BEBERIBE - AREA COSTEIRA OLINDA - IGARASSU

*** PROGRAMA SIMAQ - SIMULAÇÃO ANALÍTICA DE EXPLORAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ***

HIPÓTESE - PERM. 101-9), SEM LIMITE MAR- SITUAÇÃO NO ANO 1980

DEFINIÇÃO DOS POÇOS

PAG. 1

IDENTIFICAÇÃO	COORDENADAS ABSOLUTAS (M)			COTA NÍVEL ESTÁTICO	PROFUNDIDADE (M)	
	X	Y	Z		TOTAL	SEÇÃO REVESTIDA
P 1-PUB. 001 OLINDA	(75)	98000.	19500.	1.00	5.00	400. 205.
P 2-PUB. 002 OLINDA	(75)	98000.	19000.	2.00	5.00	400. 205.
P 3-PUB. 003 OLINDA	(75)	97000.	19500.	6.00	7.00	375. 175.
P 4-PUB. 004 OLINDA	(75)	97000.	19000.	5.00	7.00	375. 175.
P 5-PUB. 005 OLINDA	(75)	97000.	18500.	5.00	6.00	375. 170.
P 6-PUB. 006 OLINDA	(75)	97000.	18000.	5.00	7.00	375. 170.
P 7-PUB. 007 OLINDA	(75)	97000.	17500.	4.00	6.00	375. 165.
P 8-PUB. 008 OLINDA	(75)	97000.	17000.	4.00	5.00	375. 165.
P 9-PUB. 009 OLINDA	(75)	97000.	16500.	3.00	5.00	375. 155.
P 10-PUB. 010 OLINDA	(75)	97000.	16000.	3.00	5.00	375. 155.
P 11-PUB. 011 OLINDA	(75)	97000.	15500.	5.00	4.00	360. 160.
P 12-PUB. 012 OLINDA	(75)	97000.	15000.	4.00	4.00	360. 160.
P 52-IND. 052 OLINDA	(75)	92000.	15000.	8.00	1.00	260. 85.
P 57-PUB. P01 PAULISTA	(75)	92500.	22250.	8.00	12.00	250. 80.
P 58-IND. P03 PAULISTA	(75)	90000.	22000.	25.00	18.00	205. 55.
P 59-PUB. A01 ABREU E LIMA	(75)	90500.	25000.	30.00	10.00	230. 80.
P 60-PUB. B01 PARATIBE	(75)	91000.	22500.	15.00	13.00	235. 75.
P 61-PUB. C01 CONCEICAO	(75)	97500.	30000.	5.00	4.50	385. 215.
P 62-PUB. I01 IGARACU	(75)	90000.	33000.	5.00	8.00	195. 75.
P 63-IND. I04 IGARACU	(75)	88500.	33500.	5.00	11.00	155. 35.

Quadro 4 -- (cont.)

SUDENE - DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURAIS - COMPANHIA NORDESTINA DE SONDAgens E PERFURAçOES - CONESP
ORGANIZAçAO E ENGENHARIA S.A. - OESA
ESTUDOS DE RECONHECIMENTO E HIDROGEOLOGICOS PARA APROVEITAMENTO INTEGRADO
AQUIFERO BEBERIDE - AREA COSTEIRA OLINDA - IGARASSU

*** PROGRAMA SIMAQ - SIMULAçAO ANALITICA DE EXPLORAçAO DE AGUAS SUBTERRANEAS ***

HIPOTHESE - PERM. 10(-9), SEM LIMITE MAR- SITUACAO NO ANO 1980					REBAIXAMENTOS		PAG. 1
POÇO	UNIDADES	VAZÃO	R E B A I X A M E N T O (M)		INTERFERENCIAS		TOTAL
	SERVIDAS	(L/SEG)	DEVIDO AO PRÓPRIO POÇO				
			EM AQUÍFERO INFINITO	EFEITO DOS LIMITES	EM AQUÍFERO INFINITO	EFEITO DOS LIMITES	
P 1	150.00	41.70	24.28	-0.03	33.17	-0.91	56.51
P 2	150.00	41.70	24.72	-0.03	35.92	-0.89	59.72
P 3	150.00	41.70	24.28	-0.05	35.45	-1.10	58.57
P 4	150.00	41.70	24.28	-0.05	40.06	-1.09	63.19
P 5	150.00	41.70	24.28	-0.05	41.98	-1.07	65.13
P 6	150.00	41.70	24.28	-0.05	42.40	-1.06	65.57
P 7	150.00	41.70	24.28	-0.05	41.91	-1.04	65.10
P 8	150.00	41.70	24.28	-0.05	40.68	-1.02	63.89
P 9	150.00	41.70	24.28	-0.05	38.63	-0.99	61.86
P 10	150.00	41.70	24.28	-0.05	35.55	-0.97	58.80
P 11	150.00	41.70	24.28	-0.05	30.85	-0.95	54.13
P 12	40.00	11.12	6.59	-0.01	30.02	-0.96	35.65
P 52	160.00	44.48	26.37	-0.53	10.82	-2.18	34.48
P 57	97.00	26.97	15.70	-0.25	12.51	-2.77	25.19
P 58	86.00	23.91	14.18	-0.84	9.79	-4.32	18.81
P 59	100.00	27.80	16.48	-0.73	7.58	-3.56	19.77
P 60	26.00	7.23	4.38	-0.14	13.18	-3.99	13.43
P 61	18.00	5.00	2.97	-0.00	3.75	-1.02	5.69
P 62	84.00	23.35	13.59	-0.82	6.66	-4.60	14.84
P 63	230.00	63.94	37.22	-6.75	3.11	-2.42	31.16

Quadro 4 — (cont.)

SUDENE - DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURAIS - COMPANHIA NORDESTINA DE SONDAJENS E PERFURACOES - CONESP
 ORGANIZACAO E ENGENHARIA S.A. - OESA
 ESTUDOS DE RECONHECIMENTO E HIDROGEOLOGICOS PARA APROVEITAMENTO INTEGRADO
 AQUIFERO REBERIBE - AREA COSTEIRA OLINDA - IGARASSU

*** PROGRAMA SIMAQ - SIMULACAO ANALITICA DE EXPLORACAO DE AGUAS SUBTERRANFAS ***

HIPOTESE - PERM. 101-9), SEM LIMITE MAR- SITUACAO NO ANO 1980

ESPECIFICAÇÕES DE EXPLORAÇÃO PAG. 1

POÇO	PROJETOS PADRÃO		RECALQUE ADICIONAL (M)	FATOR DE PERDAS NO RECALQUE	CORREÇÃO ADITIVA PENETRAÇÃO PARCIAL (%)	RAIO EFETIVO (M)	CONDIÇÃO ESPECIFICADA		
	POÇO	BOMBA					CÓDIGO CONDIÇÃO	UNIDADES SERVIDAS	NÍVEL DINÂMICO (M)
P 1	1	3	20.00	0.200E 04	0.	0.300	1	150.00	0.0
P 2	2	2	20.00	0.200E 04	0.	0.250	1	150.00	0.0
P 3	1	3	20.00	0.200E 04	0.	0.300	1	150.00	0.0
P 4	1	3	20.00	0.200E 04	0.	0.300	1	150.00	0.0
P 5	1	3	20.00	0.200E 04	0.	0.300	1	150.00	0.0
P 6	1	3	20.00	0.200E 04	0.	0.300	1	150.00	0.0
P 7	1	3	20.00	0.200E 04	0.	0.300	1	150.00	0.0
P 8	1	3	20.00	0.200E 04	0.	0.300	1	150.00	0.0
P 9	1	3	20.00	0.200E 04	0.	0.300	1	150.00	0.0
P 10	1	3	20.00	0.200E 04	0.	0.300	1	150.00	0.0
P 11	1	3	20.00	0.200E 04	0.	0.300	1	150.00	0.0
P 12	2	2	20.00	0.400E 05	0.	0.250	1	40.00	0.0
P 52	2	2	20.00	0.200E 04	0.	0.250	1	160.00	0.0
P 57	1	3	20.00	0.200E 04	0.	0.300	1	97.00	0.0
P 58	2	2	20.00	0.400E 04	0.	0.250	1	86.00	0.0
P 59	2	2	20.00	0.200E 04	0.	0.250	1	100.00	0.0
P 60	3	1	20.00	0.500E 05	0.	0.200	1	26.00	0.0
P 61	2	2	20.00	0.500E 05	0.	0.250	1	18.00	0.0
P 62	1	3	20.00	0.400E 04	0.	0.300	1	84.00	0.0
P 63	1	3	20.00	0.100E 04	0.	0.300	1	230.00	0.0

Quadro 4 -- (cont.)

SUDENE - DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURAIS - COMPANHIA NORDESTINA DE SONDAGENS E PERFURAÇÕES - CONESP
ORGANIZAÇÃO E ENGENHARIA S.A. - OESA
ESTUDOS DE RECONHECIMENTO E HIDROGEOLOGICOS PARA APROVEITAMENTO INTEGRADO
AQUIFERO BEBERIBE - AREA COSTEIRA OLINDA - IGARASSU

*** PROGRAMA SIMAQ - SIMULACAO ANALITICA DE EXPLORACAO DE AGUAS SUBTERRANEAS ***

HIPOTESE - PERM. 10(-9), SEM LIMITE MAR- SITUACAO NO ANO 1980

PROJETO DE EXPLORAÇÃO PAG. 1

POÇO	REBAI-	PERDAS	COTA	RECALQUE	PERDAS	P O Ç O			CORREÇÕES		B O M B A		ENERGIA		
	XAMENTO	POÇO	NÍVEL	TOTAL	TOTAIS	A.M.T.	PROJE-	SEÇÃO	SEÇÃO	(M)	CÂMARA	PROJE-	CORREÇÃO	POTÊNCIA	
	(M)	(MCA)	(M)	(M)	(MCA)	(MCA)	TO	CAPTA	REVES		BOMBEA	TO	SEÇÕES	ANUAL	
							PADRÃO		TIDA		MENTO	PADRÃO	COLUNA	(CV)	(MWH)
P 1	56.51	0.87	-52.38	73.38	5.04	77.55	1	105.	84.	11.	3	12	58.64	397.12	
P 2	59.72	1.39	-56.11	78.11	6.22	82.94	2	105.	81.	14.	2	17	62.10	429.53	
P 3	58.57	0.87	-52.44	78.44	5.04	82.61	1	110.	51.	14.	3	13	62.47	423.02	
P 4	63.19	0.87	-57.06	82.06	5.04	86.23	1	110.	45.	20.	3	15	65.21	441.58	
P 5	65.13	0.87	-60.00	85.00	5.04	89.17	1	115.	40.	20.	3	15	67.43	456.61	
P 6	65.57	0.87	-59.44	84.44	5.04	88.61	1	115.	40.	20.	3	15	67.00	453.74	
P 7	65.10	0.87	-59.97	83.97	5.04	88.15	1	120.	35.	20.	3	15	66.65	451.36	
P 8	63.89	0.87	-59.76	83.76	5.04	87.93	1	120.	35.	20.	3	15	66.49	450.26	
P 9	61.86	0.87	-57.73	80.73	5.04	84.90	1	130.	28.	17.	3	14	64.20	434.76	
P 10	58.80	0.87	-54.67	77.67	5.04	81.85	1	130.	31.	14.	3	13	61.89	419.10	
P 11	54.13	0.87	-51.00	76.00	5.04	80.17	1	110.	39.	11.	3	12	60.62	410.54	
P 12	35.65	0.10	-31.75	55.75	5.14	60.79	2	110.	57.	-7.	2	10	12.14	82.19	
P 52	34.48	1.58	-35.06	63.06	7.08	68.56	2	85.	-24.	-1.	2	12	54.75	370.78	
P 57	25.19	0.36	-13.55	41.55	2.11	43.30	1	80.	-8.	-22.	3	1	21.17	143.37	
P 58	18.81	0.46	-1.27	46.27	3.19	49.00	2	60.	-39.	-16.	2	7	21.04	142.45	
P 59	19.77	0.62	-10.39	60.39	2.76	62.54	2	60.	-26.	-4.	2	11	31.22	211.39	
P 60	13.43	0.26	-0.69	35.69	3.92	39.34	3	70.	12.	-47.	1	-2	5.06	34.24	
P 61	5.69	0.02	-1.21	26.21	1.29	27.48	2	80.	142.	-37.	2	0	2.47	16.72	
P 62	14.84	0.27	-7.11	32.11	2.67	34.51	1	30.	-4.	-31.	3	-2	14.61	98.97	
P 63	31.16	2.04	-22.21	47.21	7.77	52.93	1	30.	-59.	-16.	3	3	61.37	415.59	

TOTAL UNIDADES SERVIDAS 2491.00
TOTAL VOLUME BOMBEADO ANUAL 21.8385 HM3
TOTAL ENERGIA ANUAL 6274.29 MWH
TOTAL POTENCIA INSTALADA 717.81 KW

BIBLIOGRAFIA

- BEURLLEN, K. — 1967 — Estratigrafia da Faixa Sedimentar Costeira Recife — João Pessoa. Separata do Bol. Soc. Bras. Geol., 16 (1): 43-56, São Paulo.
- CAMPOS e SILVA, A., MABESOONE, J.M. e BEURLLEN, K. — 1971 — Estratigrafia do Grupo Barreiras nos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Assoc. Geol. de Pernambuco, Rev. Trimestral, 1 (2).
- FERRIS, J.G. — 1959 — Groundwater, *in* Hidrology, cap. 7: C.O. Wislen and E.F. Brates (Eds). John Wiley e Sons, Inc. New York.
- GAYTAN, P.A. e FRANÇA, H.P.M. — 1975 — Simulação Analítica de Exploração de Águas Subterrâneas. DNOCS, Fortaleza.
- MABESOONE, J.M. — 1967 — Sedimentologia da Faixa Costeira Recife-João Pessoa. Bol. Soc. Bras. Geol. 16 (1): 57-72.
- OLIVEIRA, P.E. e RAMOS, J.R.A. — 1950 — Geologia das Quadrículas Recife-Ponta de Pedras. Bol. 151, DGM-DNPM. Rio de Janeiro.
- WALTON, W.C. — 1970 — Ground Water Resource Evaluation, 1a. Ed. New York. McGraw-Hill Book Company, 664 pp.