

MODELO MATEMÁTICO DO AQUIFERO ALUVIONAR
DE IPATINGA - MINAS GERAIS

POR

W.B. da Cruz¹, A.B. da Silva², A.O. Freire³

Resumo -- Um modelo matemático de simulação do aquífero aluvial, captado para abastecimento d'água da cidade de Ipatinga-MG, foi utilizado com o objetivo de se obter um maior conhecimento do meio aquífero e avaliar seu comportamento a longo prazo. Várias condições de exploração do aquífero foram simuladas. Os resultados indicam que os níveis d'água nos poços atingem o estado de equilíbrio em tempo relativamente curto e que a totalidade da água extraída provém diretamente do rio, funcionando o aquífero mais como um sistema condutor.

INTRODUÇÃO

O abastecimento d'água de Ipatinga, cidade de 218.000 habitantes localizada na região fisiográfica do Rio Doce, no Estado de Minas Gerais, é feito exclusivamente a partir de um manancial subterrâneo representado por depósitos aluviais do rio Piracicaba.

Em 1978, após estudos prévios para definição das melhores áreas de captação, a Companhia de Saneamento de Minas Gerais-COPASA/MG - selecionou uma área localizada no Bairro Amaro Lanari e instalou uma bateria de 9 poços de produção que extraem, em conjunto, uma vazão média em torno de 1530 m³/h.

Tendo em vista verificar a possibilidade de expansão desta área de captação e a necessidade de perfurar novos poços produtores, a COPASA/MG em conjunto com a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais-CETEC, vem executando estudos hidrogeológicos complementares, visando um maior conhecimento do meio aquífero e a previsão do seu comportamento a longo prazo.

Neste trabalho, apresentam-se os resultados preliminares obtidos com a aplicação de um modelo matemático de simulação do aquífero aluvial.

¹ Pesquisador da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC

² Pesquisador da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC e professor de Hidrogeologia da Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG.

³ Engenheiro da Companhia de Saneamento de Minas Gerais/COPASA/MG.

O SISTEMA AQUÍFERO

O aquífero aluvial constitui uma estreita faixa à margem esquerda do rio Piracicaba, afluente do rio Doce, com aproximadamente 500 metros de comprimento e largura máxima de 300 metros. A espessura máxima, próximo à margem do rio, atinge aproximadamente 35 metros, não se conhecendo sua espessura próximo ao contato com o substrato impermeável representado por biotita-gnaisses do Precambriano, na margem norte.

O depósito aluvial na área de captação é constituído de uma seqüência de areias médias a grossas com pequena proporção de siltes e argilas. Os perfis de resistividade, raios gama e SP efetuados em 10 poços indicam que esta seqüência aluvial é relativamente homogênea com poucas intercalações de leitos de caráter mais argiloso.

Os parâmetros hidrodinâmicos foram determinados através da interpretação de uma série de testes de aquífero realizados em 1978 e 1985 (quadro 1). Todos os poços penetram totalmente o aquífero. Os testes foram interpretados para condições de aquíferos cortados por um limite de recarga, utilizando-se os métodos de Dietz e de Stallman (KRUEZEMAN e RIDDER, 1976). Valores médios de $T = 3000 \text{ m}^2/\text{dia}$ e $S = 0,05$ são considerados bem representativos do aquífero na área estudada.

A interpretação de 3 testes escalonados desenvolvidos em 4 estágios com vazões variando de 15 a 66 l/s e a análise das curvas características dos poços mostraram que as perdas de carga são pequenas e a eficiência dos poços é boa, variando de 90 a 98%.

Atualmente nove poços produtores extraem em regime de bombeamento contínuo cerca de $36.720 \text{ m}^3/\text{dia}$ para abastecimento d'água da cidade e mais 10 novos poços foram perfurados recentemente para substituir alguns poços antigos que têm acusado baixa eficiência e para fazer frente ao aumento da demanda.

CONDIÇÕES DE MODELAMENTO DO AQUÍFERO ALUVIAL

Os modelos utilizados para simulação do aquífero foram o de PRICKETT - LONNQUIST (1971) e o SIDA - Simulação Digital de Aquífero, de ALVAREZ (1980).

Discretização do aquífero e condições de contorno

A faixa aluvial selecionada para simulação tem uma largura máxima de 300 metros, sendo limitada ao sul pelo rio Piracicaba e ao norte pelo contato com rochas do embasamento cristalino.

A discretização espacial do aquífero foi efetuada segundo malhas quadradas de 16 x 16 metros.

No limite sul, ao longo do rio Piracicaba, foram impostas condições de potencial constante, representando um limite de recarga. Esta hipótese admite que o rio penetra totalmente o aquífero, o

que não ocorre. Nestas condições, foram também simuladas as trocas de água entre o rio e o aquífero, admitindo-se que estas trocas se dão através do leito do rio por diferença de potencial hidráulico entre o aquífero e o rio.

Ao norte, foi considerado um limite impermeável que acompanha a linha de contato dos aluviões com o embasamento cristalino.

Na direção longitudinal, estendeu-se as malhas do aquífero para oeste e leste, a fim de evitar efeitos de imagens de limites muito próximos das áreas de exploração.

Condições iniciais e períodos de simulação

Tratando-se de uma área aluvial plana e de pequena extensão, a superfície piezométrica é praticamente horizontal, em condições não influenciadas. Os níveis d'água iniciais foram representados no modelo por meio de uma cota arbitrária e os bombeamentos são impostos a vazão constante. Os resultados são apresentados a cada incremento de tempo, crescente no modelo Prickett, e mês a mês, por um período de um ano, no modelo SIDA.

Condições hidrodinâmicas

Foram consideradas as seguintes características hidrodinâmicas médias do aquífero, de acordo com os resultados obtidos nos testes de aquífero

$$T = 3000 \text{ m}^2/\text{dia}$$
$$S = 0,05$$

Tratando-se, todavia, de um aquífero aluvial, onde as freqüentes variações laterais de facies podem acarretar mudanças bruscas dos valores de T e S, foram consideradas algumas hipóteses nas simulações realizadas, a fim de verificar a sensibilidade do modelo às variações destes parâmetros.

Infiltração e bombeamento

Foram consideradas negligenciáveis as quantidades de água de infiltração provenientes diretamente da chuva na área simulada, sendo a maior parte da água bombeada do aquífero proveniente do rio, por efeito de recarga induzida.

As descargas por bombeamento são provenientes de 9 poços situados próximos ao rio (distância média de 20 metros) com vazões constantes em torno de $5.000 \text{ m}^3/\text{dia}$, cada.

Dados de controle

Para controle do modelo dispõe-se das medidas de níveis d'água nos poços em exploração e em 10 poços de observação que não entraram ainda em regime de produção, além de registros contínuos em 3 piezômetros instalados com linígrafos.

Os nove poços de produção encontram-se em regime de equilí-

brío, por efeito do limite de recarga do rio. O objetivo do modelo, nestas condições, é principalmente testar diversas hipóteses de exploração do aquífero com baterias de poços situadas a maior distância do rio, prevendo-se a necessidade de aumento do volume de água explorada.

SIMULAÇÕES REALIZADAS

Os primeiros testes realizados tiveram por objetivo verificar as condições de discretização do aquífero mais recomendadas frente ao problema proposto; aferir os resultados obtidos por comparação com os valores teóricos de rebaixamentos dos níveis d'água, calculados a partir das equações diferenciais de fluxo subterrâneo; e, por fim, verificar a sensibilidade do modelo aos parâmetros hidrodinâmicos e seu ajuste com os valores determinados a partir dos testes de aquífero.

Foi realizado, nesta fase inicial, um total de seis testes. As diferentes hipóteses de discretização efetuadas, com variação da dimensão e do número de malhas, mostraram que a malha quadrada de 16 x 16 metros atende com boa precisão, aos objetivos do estudo. Nestas condições, tomou-se para o modelo SIDA um total de 600 malhas distribuídas em 30 colunas e 20 filas. Para o modelo Prickett, em função da necessidade de estender a área simulada na direção E-W para evitar efeitos de imagens provocados pelos bordos impermeáveis, tomou-se um total de 800 malhas distribuídas em 40 colunas e 20 filas.

Em função das variações dos valores de transmissividade (T) e do coeficiente de armazenamento (S) obtidos na interpretação dos testes de aquífero, foram testadas também algumas hipóteses com relação a estes parâmetros, tendo-se admitido valores de T variando de 700 e 7.000 m²/dia e valores de S entre 0,05 e 0,30. Os resultados da simulação indicaram que os valores médios de T e S determinados a partir dos métodos de Dietz e Stallman (KRUSEMAN e RIDDER, 1976) com correção dos efeitos de um limite de recarga, são os que mostram melhor ajuste com os dados observados na área de captação de Ipatinga, com T em torno de 3.000 m²/dia e S igual a 0,05. Observou-se, também, que o modelo é pouco sensível aos valores de S e fortemente influenciado pelo de T, em razão de que o aquífero, próximo ao limite de recarga, funciona mais como um sistema transmissor.

Os resultados obtidos com estes testes iniciais mostraram também boa precisão do modelo, havendo correspondência dos valores de rebaixamentos simulados com os calculados pelas fórmulas de Theis, Jacob ou Thiem. O tempo de estabilização dos níveis d'água é alcançado rapidamente, variando entre 37 minutos, para um poço situado a 12 metros do rio, e 2,2 dias, para um poço distante 130 metros.

Em continuação a esta etapa, foram realizados os seguintes testes, visando confrontar os resultados com as condições existentes na área de captação de Ipatinga.

TESTE 7

Modelo Prickett - Número de colunas NC = 40
Número de filas NR = 20
T = 3.000 m²/dia
S = 0,05
Bombeamento = 9 poços

TESTE 8

Modelo Prickett
T = variável
S = 0,05
Bombeamento = 9 poços

TESTE 9

Modelo Prickett
T = 3.000 m²/dia
S = 0,05
Bombeamento = 18 poços

TESTE 10

Modelo SIDA - Número de colunas NC = 30
Número de filas NR = 20
T = 3.000 m²/dia
S = 0,05
Bombeamento = 9 poços
Relação rio-aquífero - condições de recarga induzida com as seguintes características:
Cota do rio = 500m
Cota do leito do rio = 490m
Espessura da camada de colmatação do fundo do rio = 1m
Permeabilidade do leito = 100 m/dia.

As figuras 1, 2, 3 e 4 apresentam os mapas de rebaixamentos dos níveis d'água simulados pelo modelo.

O teste 7 objetivou simular as condições atualmente existentes na área de captação de Ipatinga, com bombeamento em 9 poços localizados próximos ao rio, com vazões idênticas as que se verificaram por ocasião dos testes de aquífero. Os rebaixamentos dos níveis d'água simulados na bateria de poços mostram boa correspondência com os valores observados, indicando pequenos efeitos de interferência devido à proximidade do rio e rápida estabilização dos níveis d'água.

O teste 8 teve por objetivo verificar a possível influência de uma diminuição da transmissividade em direção ao bordo impermeável norte. Foram consideradas três faixas paralelas ao rio com T = 3.000 m²/dia próxima a calha do rio, uma faixa intermediária com T = 1.500 m²/dia e uma faixa no extremo norte com T = 750 m²/dia, conforme ilustrado na figura 2.

CONCLUSÕES

Os resultados indicam que os efeitos desta diminuição de transmissividade se fazem sentir através de maiores rebaixamentos em direção ao bordo impermeável, mas têm pouca influência nos rebaixamentos dos poços de exploração próximo ao rio, devido à forte influência do limite de recarga.

O teste 9 visou verificar o comportamento do aquífero diante da necessidade de se aumentar a vazão atualmente explotada para fazer frente a um aumento da demanda. A simulação considerou os mesmos valores de T e S considerados no teste 7 e o bombeamento de 18 poços simultaneamente (9 poços da antiga bateria, mais 9 poços perfurados recentemente), dobrando, em consequência, a vazão atualmente explotada. Os rebaixamentos que ocorrerão após 12 dias do início dos bombeamentos (Fig. 3) já atingido o estado de equilíbrio, mostram valores entre 2,04 a 3,93 metros nos poços bombeados, o que demonstra o potencial do aquífero, nas condições e hipóteses impostas ao modelo.

A condição imposta ao modelo de um limite de recarga, representado pelo rio Piracicaba, não corresponde, entretanto, à realidade, posto que implica em penetração total do rio no aquífero.

Em vista desta limitação, foi realizado o teste 10 com objetivo de verificar as relações entre o aquífero e o rio, supondo-se que o fluxo da água processa-se através de uma camada de colmatação do leito do rio com permeabilidade menor que a do material do aquífero.

Os rebaixamentos dos níveis d'água para o tempo de 60 dias após o início dos bombeamentos mostram valores entre 1,41 e 2,24m, apresentando boa coerência com os rebaixamentos observados (Fig.4).

O balanço hídrico mensal, fornecido pelo modelo, ao final do tempo de 60 dias, mostra a seguinte situação:

Saídas: Bombeamentos = 1.101.647 m³

Entradas: Malhas Exteriores:

Malhas norte	-	0
Malhas leste	-	27.950
Malhas sul	-	0
Malhas oeste	-	13.976
Total	-	41.926

Malhas rio: - 1.059.937 m³

Total - 1.101.863 m³

Pelos dados do balanço, verifica-se que a totalidade da água bombeada é fornecida pelo rio, seja proveniente das malhas-rio, seja através de pequena entrada de água lateral pelos bordos leste e oeste. A quantidade de água proveniente do armazenamento do aquífero é de apenas 4.860 m³, equivalente ao total da água extraída pelos 9 poços em apenas 3 horas de bombeamento, o que demonstra inclusive a rápida estabilização dos níveis d'água e a efetiva participação das águas do rio no volume total bombeado.

As condições de contorno do modelo e os parâmetros hidrodinâmicos admitidos parecem representar com boa aproximação as condições hidrogeológicas que ocorrem na área de captação de Ipatinga. Os rebaixamentos dos níveis d'água simulados para a bateria de poços de produção guardam boa correspondência com os valores observados.

Os níveis d'água nos poços atingem o estado de equilíbrio em tempo relativamente curto (37 minutos em poços a 10 - 12 metros do rio e 2 a 3 dias em poços situados a 130 - 200 metros).

A otimização de um programa de exploração deve dar atenção à influência dos limites e das interferências entre os poços. Os rebaixamentos aumentam acentuadamente em direção ao limite impermeável, com conseqüente diminuição das vazões específicas.

O balanço hídrico da área simulada mostra que a totalidade da água bombeada provém diretamente do rio, sendo muito pequena a quantidade de água proveniente do armazenamento do aquífero, funcionando o aquífero como um sistema condutor. Especial atenção deve ser dada ao controle de qualidade da água, especialmente nos poços próximos a este limite.

O modelo de simulação ora implantado para a área de captação de Ipatinga constitui um instrumento importante para o monitoramento dos planos de expansão, permitindo previsões de futuros programas de exploração do aquífero. Um progressivo refinamento dos modelos poderá ser realizado à medida que novos dados sobre o aquífero sejam obtidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVAREZ, C; CRUZ, W.B.da; PEIXOTO, C.A.de M. Modelo Matemático do Aquífero Beberibe. In: 1º Congresso Bras. Águas Subterrâneas, Recife, 1980. Anais ABAS. p. 169-179.

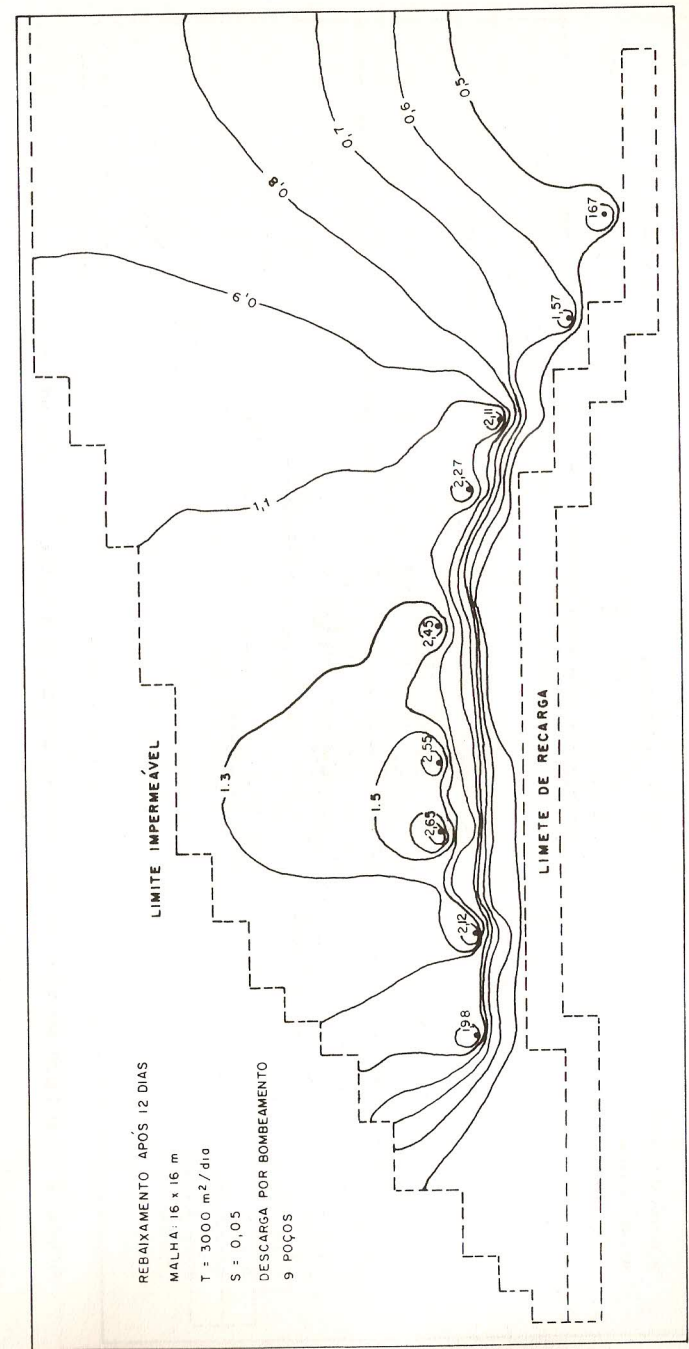
KRUSEMAN, G.P. & RIDDER, N.A. de. Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. International Institute for Land Reclamation and Improvement Wageningen the Netherlands, Bul. 11, 1976.

PRICKETT, T.A. & LONNQUIST. Selected Digital Computer Techniques for Groundwater Resource Evaluation, Illinois State Water Survey, Urbana, Bul. 55, 1971.

Quadro 1 - Características dos poços da área de captação de Ipatinga

Poço	profundidade (m)	nível estático (m)	nível dinâmico (m)	rebaixamento (m)	vazão l/s	vazão específica l/s/m	piezômetro	distância piezômetro-poço (m)	distância poço-rio (m)	duração do teste (min)	data teste	capacidade vazão m ³ /dia	coeficiente armazenamento	método
C-04	40	6,77	8,55	1,78	58,0	32,58	-	-	20	1440	19.9.78	-	-	
C-05	40	6,38	8,15	1,77	57,5	32,48	C-04	51	21	1440	20.9.78	2,100	-	DIETZ
C-06	40	6,26	7,76	1,50	62,5	41,67	C-05	52	21	1440	23.9.78	4,126	-	DIETZ
C-07	40	6,53	8,34	1,81	58,6	32,37	C-06	49	23	1440	25.9.78	2,548 2,200	0,086	DIETZ STALLMAN
C-08	40	5,90	7,31	1,41	62,5	44,33	C-07	50	22	1440	29.9.78	2,741 3,437	0,037	DIETZ STALLMAN
C-09	40	6,39	8,64	2,25	62,5	27,78	C-08	52	19	1440	2.10.78	2,038 2,701	- 0,028	DIETZ STALLMAN
C-10	40	5,97	7,67	1,70	62,5	36,76	C-09	50	16	1440	4.10.78	1,647 3,437	- 0,037	DIETZ STALLMAN
C-11	40	6,88	8,42	1,54	58,8	38,18	C-10	50	13	1440	6.10.78	1,009 2,963	- 0,001	DIETZ STALLMAN
C-12	40	5,36	5,73	0,37	66,6	180,00	C-11	55	18	1440	8.10.78	2,119 1,536	- 0,012	DIETZ STALLMAN
C-13 (*)	34	8,20	8,83	0,63	16,6	26,35	-	-	35	180	9.11.85	-	-	
			9,26	1,06	28,0	26,41				210				
			9,70	1,50	45,0	30,00				180				
			10,14	1,94	60,0	30,93				480				
C-14 (*)	33,5	8,82	9,21	0,39	15,0	38,46	-	-	41	180	21.11.85	-	-	
			9,62	0,80	30,0	37,50				180				
			10,04	1,22	45,0	36,88				180				
			10,55	1,73	60,0	34,68				480				
C-15 (*)	29,0	5,07	5,51	0,44	16,0	36,36	-	-	40	180	30.11.85	-	-	
			5,94	0,87	31,0	35,63				180				
			6,35	1,28	46,0	35,94				180				
			6,99	1,92	64,0	33,33				480				
C-16 (*)	30,0	4,92	5,50	0,58	16,0	27,59	-	-	40	180	1.12.85	-	-	
			6,02	1,10	31,0	28,18				180				
			6,63	1,71	46,0	26,90				180				
			7,44	2,52	66,0	26,19				480				
C-17 (*)	30,3	6,23	7,01	0,78	16,0	20,51	-	-	38	180	3.12.85	-	-	
			7,65	1,42	31,0	21,83				180				
			8,36	2,13	46,0	21,60				180				
			9,19	2,96	66,0	22,10				480				
C-18 (*)	28,9	6,22	7,36	1,14	16,0	14,03	-	-	28	180	4.12.85	-	-	
			7,83	1,61	31,0	19,25				180				
			8,34	2,12	46,0	21,70				180				
			8,92	2,70	66,0	24,44				480				
C-19	28,9	5,77	7,62	1,85	60,0	32,43	C-18	22	31	480	12.12.85	2,747 3,453 4,677	- - 0,057	DIETZ STALLMAN THIEM
							C-21	60				4,290	-	DIETZ
							C-16	90				3,329	-	STALLMAN
							C-20	30				2,496	0,21	REC.THEIS
C-20	31,5	6,16	7,87	1,71	60,0	35,09	-	-	30	450	13.12.85	3,923 2,635	- -	APROX. Qe REC.THEIS
C-21	33,0	5,49	7,78	2,29	60,0	26,20	-	-	32	480	17.12.85	4,244 2,018	- -	APROX. Qe REC.THEIS
C-22	30,6	6,39	8,40	2,01	60,0	29,85	-	-	36	480	18.12.85	3,610	-	APROX. Qe

(*) TESTES ESCALONADOS



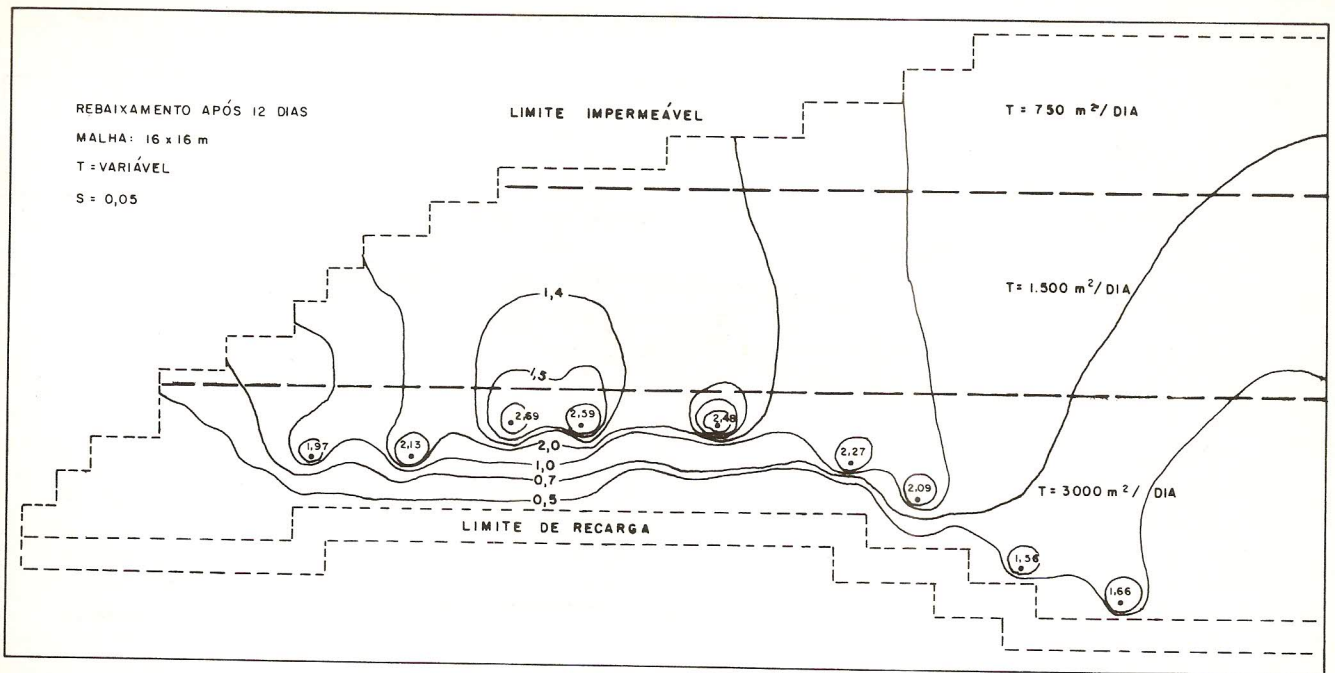


FIGURA 2 - MODELO MATEMÁTICO DO AQUIFERO ALUVIAL DE IPATINGA - TESTE Nº: 8

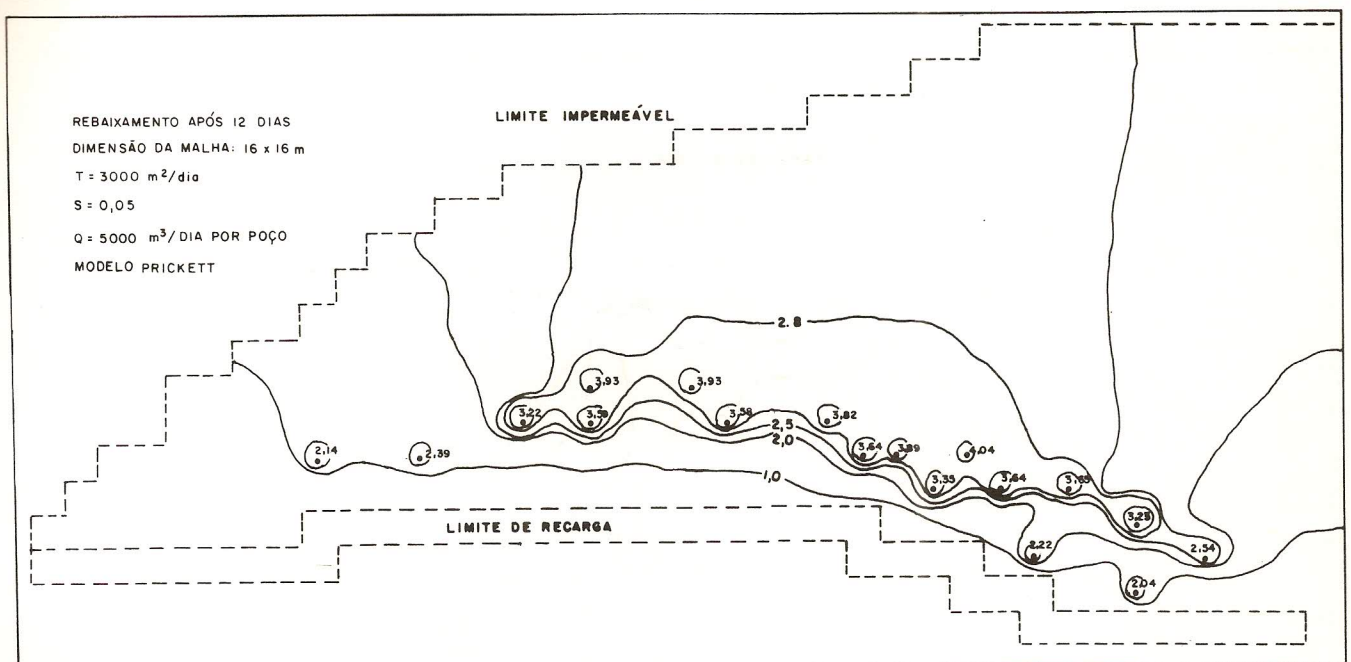


FIGURA 3 - MODELO MATEMÁTICO DO AQUIFERO ALUVIAL DE IPATINGA - TESTE Nº: 9

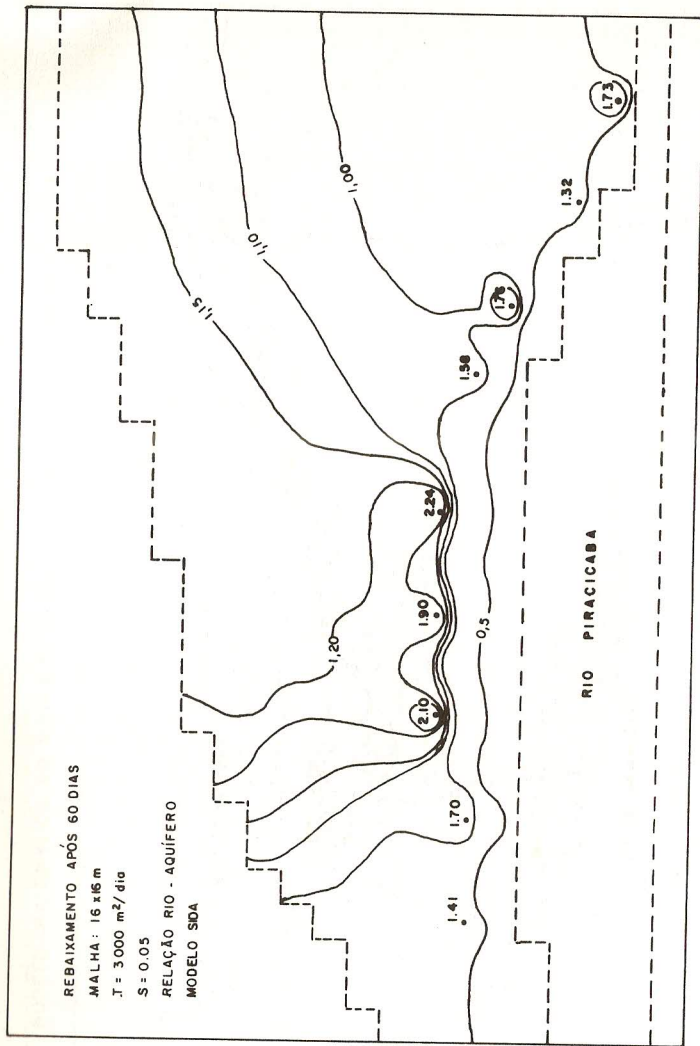


FIGURA 4 - MODELO MATEMÁTICO DO AQUÍFERO ALUVIAL DE IPATINGA - TESTE Nº: 10

MODELO MATEMÁTICO DO AQUÍFERO ALUVIONAR
DE IPATINGA - MINAS GERAIS

POR

W.B. da Cruz¹, A.B. da Silva², A.O. Freire³

Abstract -- A mathematical model was developed for an alluvial aquifer utilized for water supply of Ipatinga, Minas Gerais. The work was aiming, on the long run, at getting more aquifer data. Different aquifer situations were simulated. As a result, flow come to reach a steady state in a very short time with the water coming on the whole water river and the aquifer working more properly as a transmissive system.