

**APLICAÇÕES DE MICROCOMPUTADORES EM HIDROLOGIA E POLUIÇÃO
DE
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Robert W. Cleary¹ e Tereza Cleary²

RESUMO

Com o desenvolvimento e o crescimento fenomenal de microcomputadores e seus softwares associados nos últimos cinco anos, eles têm-se tornados ferramentas indispensáveis em estudos de poluição e hidrologia de águas subterrâneas.

Este trabalho começa com uma breve história de microcomputadores, seguido por uma apresentação do estado de arte dos "hardwares" e "softwares" que têm mais utilidade para os que trabalham em água subterrânea. Esses softwares são muito variados, entre eles programas para fazer gráficos em multi-dimensões; interpretação de testes de bombeamento; desenhos em três dimensões; e modelos de fluxo e massa nas zonas saturadas e não saturadas.

Aplicações desses mencionados softwares são graficamente apresentadas através de um caso hipotético de contaminação de água subterrânea por hidrocarbonetos e inorgânicos ionizados.

UMA BREVE HISTORIA DE MICROCOMPUTADORES

O primeiro microcomputador foi o Apple I introduzido em 1977. No início, foi uma curiosidade que não foi levada a sério até um ano depois quando a primeira planilha eletrônica para PCs, VisiCalc, começou a ser utilizado pelos homens de negócios. Mas foi somente em agosto de 1981, quando IBM anunciou seu primeiro PC (Personal Computer), que o micro atingiu os milhões de cientistas, engenheiros e geólogos, os quais até então preferiam usar "mainframes" IBM, CDC e Burroughs. A IBM legitimizou o microcomputador pessoal naquele mês e o crescimento desde então tem sido fenomenal.

O primeiro IBM-PC não tinha um Winchester (conhecido, também, como "hard disk", que na realidade é um sistema de discos fixados e selados que armazena enormes quantidades de informações). Ele usava o microprocessador 8088 que podia fazer 4,77 milhões de micro-instruções per segundo. Em 1983 IBM introduziu o IBM PC-XT que usava o mesmo 8088 mas tinha um Winchester de 10 Mb (podia armazenar aproximadamente 5000 páginas datilografadas). Um ano depois, o IBM PC-AT apareceu com um novo microprocessador, o 80286, que podia fazer até 8 milhões de instruções per segundo. O AT contava com hard disk de 10 Mb ou 20 Mb. O RAM (random access memory), onde todos os

¹Professor do Instituto de Geociências da USP e Pesquisador do CEPAS (Centro de Pesquisa de Água Subterrânea da USP)

²Aluna de mestrado do Programa de Recursos Minerais e Hídricos do Instituto de Geociências da USP

cálculos são feitos, foi expandido até 640 Kb, fazendo do micro uma poderosa ferramenta pessoal.

Em setembro, 1986, COMPAQ introduziu o primeiro PC que usava o mais poderoso microprocessador atual, o 80386. Este atualmente pode fazer até 20 milhões de micro-instruções per segundo e potencialmente tem um "addressing space" de 4000 Mb. O sistema de micros mais novo, porém, é o que IBM introduziu em abril de 1987 e que se chama PS/2 (Personal System/2). Este, quando for totalmente desenvolvido, deixará o usuário ter acesso a 16000 Kb de "addressing space" que faz o atual 640 KB de RAM parecer minúsculo.

Acompanhando este desenvolvimento de hardware vieram os softwares, que hoje em dia possibilitam ao usuário com pouco experiência em computadores fazer contribuições substanciais em hidrologia e poluição de água subterrânea.

O ATUAL ESTADO DE ARTE EM HARDWARE PARA PCs

O estado de arte em microcomputadores pessoais e seus associados periféricos é muito encorajador para o usuário que trabalha em água subterrânea. Os micros atuais são poderosos, rápidos, baratos se comparados aos "mainframes" e armazenam mais informações do que o usuário típico pode usar. Tabela 1 descreve os modelos de micros mais utilizados atualmente.

PC MODELO	MICROPROCESSADOR	VELOCIDADE	COMMENTARIOS
IBM PC	8088	4,77 MHz	Lento e não vai poder usar o novo DOS do IBM PS/2.
IBM PC-XT	8088 8088-2	4,77 MHz 10 MHz	Primeiro PC com Winchester. Muitos "clones" atualmente usam a versão mais rápida: 8088-2.
IBM PC-AT	80286	6,8 ou 10 MHz	Rápido e vai poder usar o futuro DOS do IBM PS/2.
IBM PS/2 Model 30	8086	8 MHz	Um dos mais simples da nova linha PS/2.
IBM PS/2 Model 50	80286	10 MHz	Até duas vezes mais rápido que o IBM PC-AT.
IBM PS/2 Model 80	80386	16 ou 20 MHz	Até 3,5 vezes mais rápido que o IBM PC-AT.

COMPAQ 386 PORTATIL	80386	20 MHz	Primeiro 386 portátil. Pode ter até 100 Mb no Winchester.
TOSHIBA 3200 LAPTOP	80286	12 MHz	Primeiro laptop com um hard drive de 40 Mb.
TOSHIBA 5100 LAPTOP	80386	16 MHz	Primeiro laptop com 80386. ele pesa 7 Kg.

TABELA 1

Além dos micros em si, há uma variedade de periféricos de "hardware" disponíveis que facilitam as aplicações de micros. Os periféricos que tem mais utilidade em estudos de água subterrânea são: impressoras/plotadoras do tipo "dot matrix"; impressoras do tipo lazer; plotadoras; monitores de alta resolução e "multi-sync" (podendo trabalhar com todos as padrões de vídeo: CGA, EGA, VGA etc.); "scanners" ; "Optical Character Readers"; modems; e "PCFAX".

O ATUAL ESTADO DE ARTE EM SOFTWARE PARA PCs

O "hardware" é o motor do PC mas a gasolina que o permite funcionar é o "software". Os primeiros "softwares" para micros foram desenvolvidos para aplicações em negócios e administração de bens. Consistiram principalmente de processadores de texto, planilhas eletrônicas e bases de dados. Com o fenomenal crescimento de interesse em poluição de água subterrânea nos últimos anos, a oferta de "software" personalizado para aplicações nesta área tem crescido extraordinariamente. Hoje em dia nós vemos programas que variam de análise de testes de bombeamento até modelos acoplado com pacotes de gráficos que simulam fluxo e transporte na descontaminação de aquíferos. A Tabela 3 apresenta os principais "softwares" projetados para água subterrânea bem como "softwares" de desenho geral que têm aplicação em poluição e hidrologia de água subterrânea.

SOFTWARE

APLICACAO

GOLDEN SOFTWARE	Uma pacote para fazer graficos do tipo XY, superfícies em três dimensões, figuras com eixos semi-logaritmicos (por exemplo, testes de bombeamento), diagramas triangulares, e topografia
EMIX 34	Usando dados geofisicos de Geonics EM31 e EM34, ele fornece a condutividade e espessura para até 10 camadas geológicas.
GWAP	Ele analisa dados de testes de bombeamento calculando T e S através de curvas padrão previamente armazenadas.
PUMPTST	Baseado na aproximação de Cooper e Jacob, ele calcula T e S.

dBASE IV	Conhecido como o mais utilizado programa de base de dados no mundo. Versão IV é o último depois de dBASE III Plus.
LOTUS 123	A mais utilizada planilha eletrônica no mundo
AUTOCAD	Versão 10 é a última edição deste Computer Aided Design programa. Ele faz qualquer desenho imaginável, incluindo em pseudo três dimensões sombreado com AUTOSHADE.
PLASM	Talvez o mais utilizado modelo de fluxo em duas dimensões no mundo.
FLOWIADI	Modelo de fluxo em duas dimensões desenvolvido por Kinzelbach.
MODFLOW	Um modelo de fluxo em três dimensões.
MOC	O modelo de transporte de massa de Konikow-Bredehoeft em duas dimensões.
VADOSE	Ele calcula o nível de saturação em três dimensões na zona não saturada.
RESSQ	Ele calcula linhas de fluxo e frentes de concentração para qualquer número de poços de injeção e extração usados para descontaminação de um aquífero.
BEARVER	Ele calcula linhas de fluxo através de um modelo de transporte de massa baseado na teoria de "random walk". Posições de partículas representando poluentes são plotadas. Pode mostrar a eficácia de sistemas de descontaminação.

TABELA 3

APLICACOES DE MICROS E SEUS SOFTWARES EM AGUA SUBTERRANEA

Para ilustrar aplicações dos "softwares" mencionados dentro de uma ordem lógica, vamos considerar um caso hipotético onde houve contaminação por gasolina, hidrocarbonetos clorados, e uma série de inorgânicos ionizados que dão uma condutividade específica na faixa de 4000 μS (microSiemens). O local está situado perto do mar para onde a contaminação está se movimentando. A geologia é constituída de siltes, areias e argilas e o aquífero é um lençol freático com uma espessura considerável.

Como é típico nesses casos, começaremos com um estudo de campo para definir a geologia, hidrologia e nível de contaminação. Isto resultará em muitos dados de campo que gostaríamos de plotar para que nos ajudassem a avaliar a situação e nos preparassem para a fase II: a de descontaminação.

Esses softwares profissionais que produzem gráficos geralmente têm "drivers" (software escrito especialmente para um periférico) para impressoras/plotadoras (como Epson por exemplo) ou plotadoras (como Houston, Hewlett-Packard ou Calcomp por exemplo). Nós ilustraremos resultados com os dois tipos onde nota-se claramente que plotadoras produzem figuras bem mais nítidas.

FASE I: AVALIACAO

GOLDEN SOFTWARE: Diagramas Triangulares de Solo e Cálculos de Volume de Solo Contaminado A Ser Removido

Talvez o mais popular de pacotes padrão para gráficos entre usuários que trabalham com água subterrânea é o famoso Golden Software. Vamos ver como nós podemos aplicá-lo a nosso caso hipotético. Vamos supor que nós temos testemunhos que foram analisados e queremos mostrar em nosso relatório de primeira fase um diagrama triangular de textura de solo. A Figura 1 foi feita usando Grapher, um dos pacotes de Golden, e foi imprimido com uma plotadora.

Testemunhos de solo em nosso caso hipotético identificam a extensão da contaminação na zona não saturada. Vamos usar Surfer do Golden para ilustrar como se pode calcular o volume de solo contaminado entre a superfície e um determinado nível nesta zona; a remoção deste solo podia ser uma das alternativas na fase de descontaminação. A Figura 2, imprimida com uma impressora/plotadora, ilustra um cálculo de volume de solo.

INTERPEX LIMITED EMIX34: Para Estimar Condutividades/Espessuras Geológicas de dados dos EM31 e EM34

Além de hidrocarbonetos, a pluma contém inorgânicos ionizados com altas concentrações. Eletromagnetometria por indução (por exemplo, com o EM31 ou EM34 de Geonics) não funciona bem com hidrocarbonetos dissolvidos mas neste caso é possível aproveitar-se da alta condutividade específica como indicadora da pluma e usarem-se esses métodos que medem condutividade. Concentrações variam no sentido vertical e Figura 3 mostra como o software EMIX 34 de Interpex Limited interpreta as condutividades e espessuras de vários camadas abaixo de lençol freático. Quanto mais alta a condutividade, mais alta as concentrações de íons e mais contaminada a pluma. Assim, a condutividade serve para estimar as dimensões de uma pluma de orgânicos dissolvidos, usando não orgânicos como indicadores indiretos.

GWAP: Para Determinar T, S e S_y de Testes de Bombeamento em Lençóis Freáticos.

Para determinar a transmissividade, o coeficiente de armazenamento e a porosidade efetiva num lençol freático, faz-se um teste de bombeamento e aplica-se a teoria de Neuman (Neuman, 1975). A Figura 4 ilustra saídas do software GWAP que já tem armazenada 73 curvas padrões diferentes para testes de bombeamento em aquíferos confinados; livres; onde tem poços com diâmetros grandes; e onde "slug tests" foram feitos. Neste caso o usuário vai usar curvas para aquíferos livres. Ele entra seus dados do campo, seleciona uma das curvas padrões (cada um com seu valor $\beta = K_z r^2 / T b$) para "resposta elástica" (o início de teste) e tenta encaixar eletronicamente sua curva e a curva padrão. Se não dá certo, ele continua selecionando até ficar satisfeito, quando ele aperta a tecla A (answer) para ter T e S

calculado na tela. Agora, usando o mesmo beta e T, vai selecionar das curvas padrão do tipo "resposta demorada" para encaixar novamente e ter S_y . O método é um dos poucos que deixa calcular K_r e K_z (condutividades hidráulicas horizontal e vertical).

PUMPTEST: Para Determinar T e S Usando A Aproximação Do Cooper-Jacob.

A Figura 5 mostra como o micro pode determinar T e S de dados de um teste de bombeamento. O "software" permite excluir dados iniciais e T e S são calculados pelo micro através de uma extrapolação da linha reta para o eixo onde $s = 0$.

AUTOCAD: Para Fazer Vista em Planta e Desenhos em Três Dimensões.

Agora vamos aplicar AUTOCAD para fazer uma vista em planta da área como observa-se na Figura 6. Tudo foi projetado num micro e plotado com um plotadora da Houston Instruments, embora possa parecer que um desenhista o fez. Isoconcentrações de benzeno, tolueno e xileno (BTX) são plotadas e indicam a parte da poluição causada por gasolina. AUTOCAD tem a capacidade, também, de fazer desenhos em três dimensões a partir de uma vista em planta.

IN-SITU's VADOSE: Para Determinar Umidade na Zona Não-Saturada E Assim Localizar Pontos de Amostra.

Em nosso caso hipotético, vamos supor que nós temos uma zona não saturada com uma espessura considerável e que recebe fluxos de duas lagoas. Nós gostaríamos de modelar a distribuição da umidade nesta zona para selecionar locais para implantar lisímetros de sucção. Para este fim, podemos usar o software VADOSE, e a Figura 7, feito por um plotadora Houston, mostra que o maior fluxo ocorre entre as duas lagoas.

MOC DO USGS: Para Determinar a Distribuição Bi-Dimensional de Concentrações de Um Poluente.

O modelo bi-dimensional de transporte de massa do United States Geological Survey, o MOC, pode ser utilizado para simular o transporte de hexaclorobenzeno (HCB), um dos hidrocarbonetos clorados e cancerígenos presente no local. Figura 8, feito com uma impressora/plotadora Toshiba mostra a distribuição de HCB.

FASE II: DESCONTAMINACAO

Atualmente nos Estados Unidos há aproximadamente 1000 locais na NPL (lista de prioridades nacionais) que vão ser descontaminados a um custo médio de U.S.\$15.000.000,00 por local. Por lei, um plano de descontaminação deve apresentar várias alternativas e seus custos associados. Para investigar essas alternativas, companhias de consultoria estão aplicando vários modelos incluindo: PLASM, MOC, RESSQ, e AUTOCAD.

PLASM: Modelo Bi-Dimensional de Fluxo

A Figura 9 mostra uma simulação de poços extraíndo água contaminada e poços injetando água tratada. Sabendo-se o tamanho e posição de pluma, essas simulações ajudam estabelecer condições para garantir a captura da pluma.

RESSQ: Modelo Bi-Dimensional de Transporte de Massa Por Advecção Linhas de Fluxo e Frentes de Concentração Plotadas.

Figura 10 é uma simulação com RESSQ e o "hardcopy" foi feito com uma plotadora. RESSQ permite simular poços de injeção/extração bem como lagoas industriais. Ele também leva em consideração o fluxo regional. Os efeitos de dispersão, porém, não são tratados.

AUTOCAD: Representação Tri-Dimensional de Uma Pluma de Poluição

AUTOCAD é um programa de CAD (Computer Aided Design) que se pode usar para representar uma pluma tri-dimensionalmente. A Figura 11 foi imprimida com uma impressora/plotadora e apresenta um exemplo dessas plumas. Tais figuras ajudam no planejamento de descontaminação.

REFERENCIAS

- Javandel, I., C. Doughty and C.F. Tsang. 1984. Groundwater Transport: Handbook of Mathematical Models. Water Resources Monograph 10. American Geophysical Union. 228 p
- McKee, C.R. and A.C. Bumb. 1988. A Three-Dimensional Analytical Model to Aid in Selecting Monitoring Locations in the Vadose Zone. Ground Water Monitoring Review, v 8, no. 2, pp 124-136
- Neuman, S.P. 1975. Analysis of Pumping Test Data from Anisotropic Unconfined Aquifers Considering Delayed Gravity Response. Water Resources Research, v.11, pp. 329-342

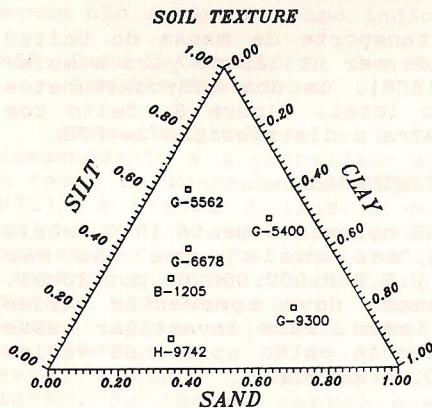


FIGURA 1

Volume Between Surfaces
182 million cubic ft.

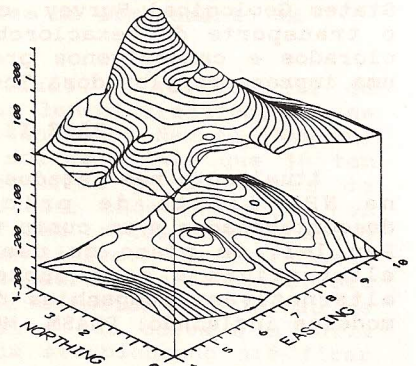


FIGURA 2

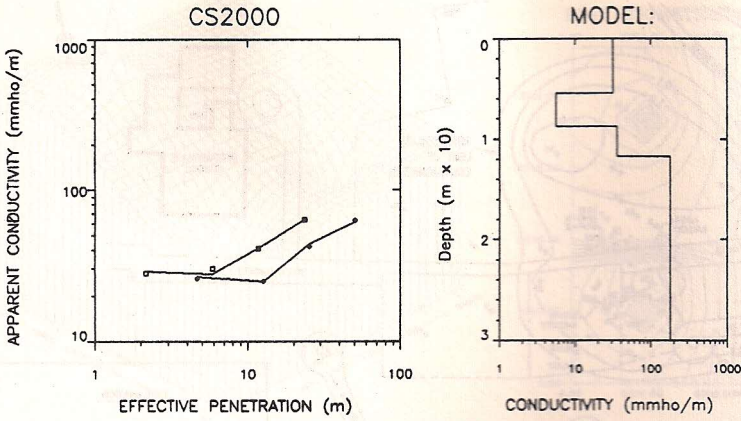


FIGURA 3

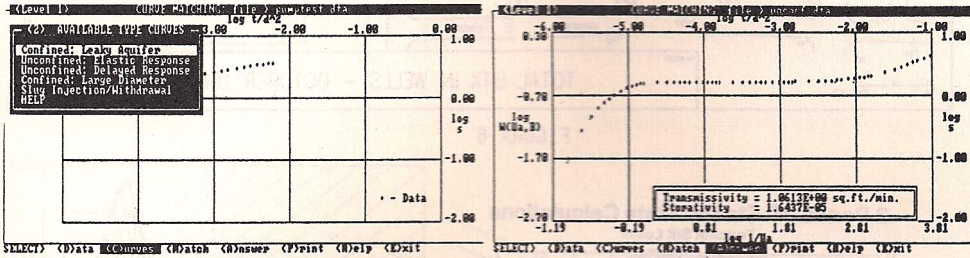


FIGURA 4

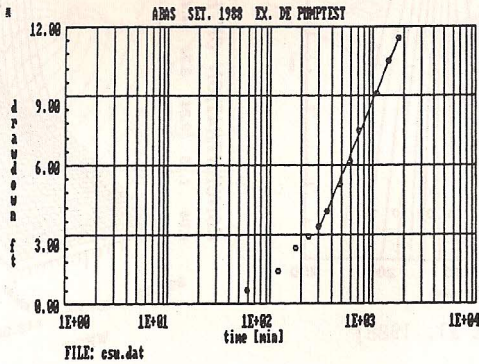


FIGURA 5

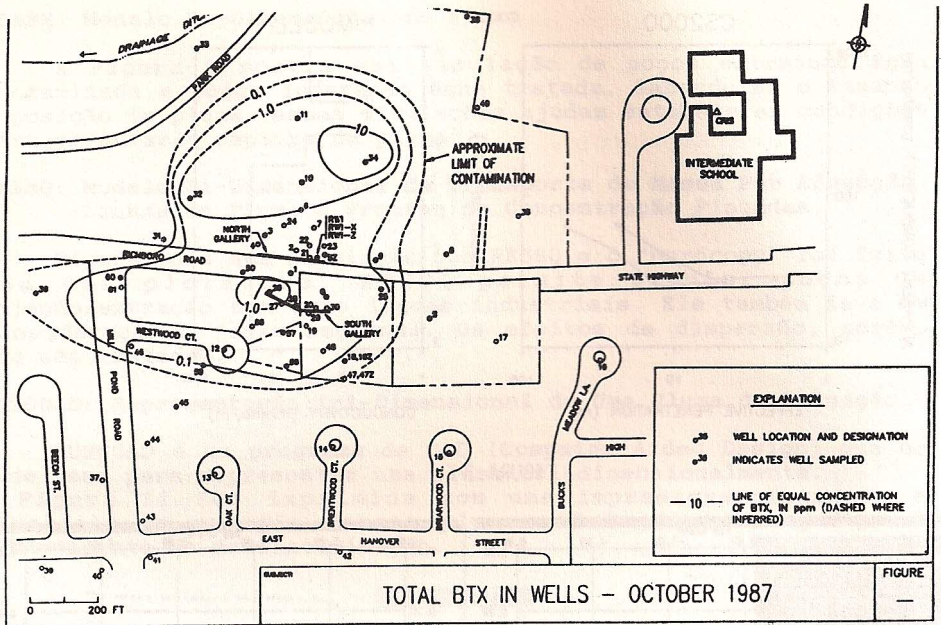


FIGURA 6

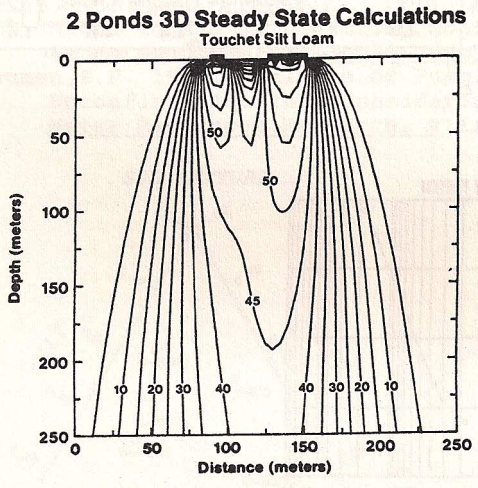


FIGURA 7 (McKee et al. 1988)

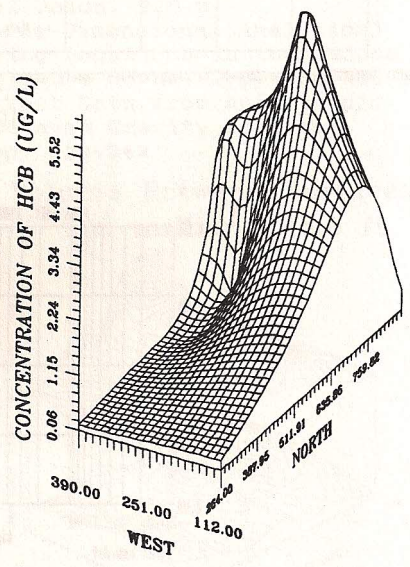


FIGURA 8

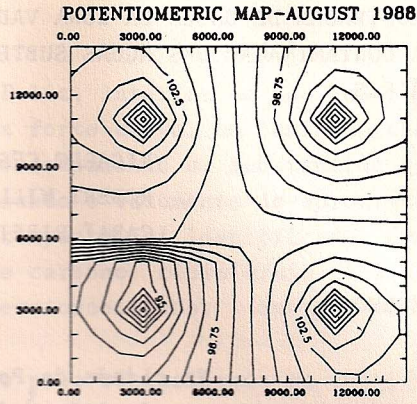
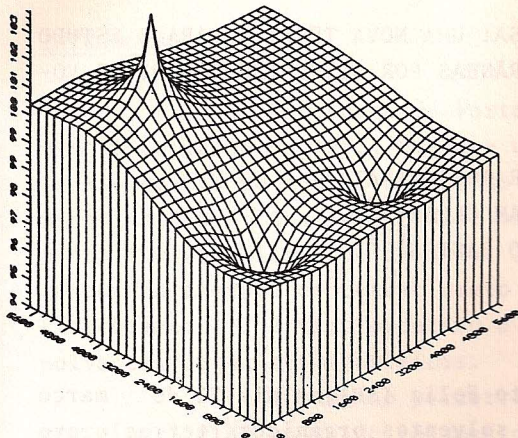


FIGURA 9

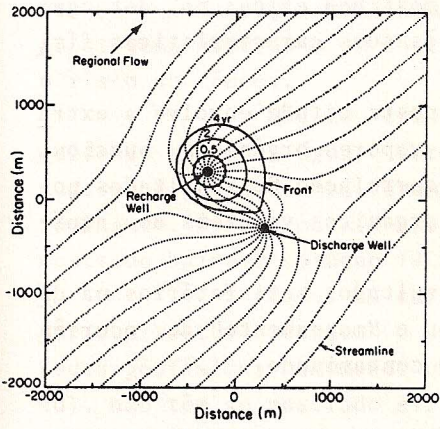


FIGURA 10 (Javandel et. al., 1984)

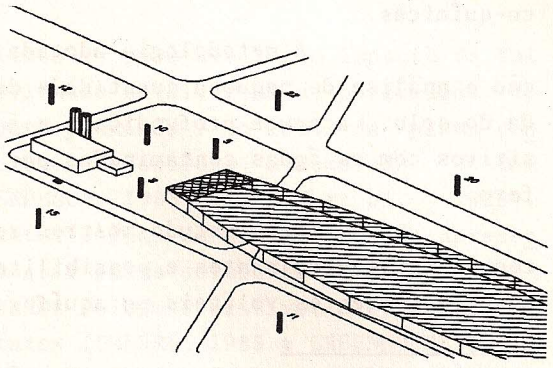


FIGURA 11