

Duque, J., C. Almeida (1998)

**Modelação Matemática do Sistema Aquífero dos
Gabros de Beja**

4º Congresso da Água, Actas, CD, 12 p.

MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO SISTEMA AQUÍFERO DOS GABROS DE BEJA

Jorge DUQUE ⁽¹⁾; Carlos ALMEIDA ⁽²⁾

RESUMO

O Sistema Aquífero dos Gabros de Beja constitui uma importante origem de água sendo explorado para regadio, abastecimento público e privado.

Constituem o suporte do sistema vários tipos de rochas gabróicas pertencentes ao Complexo Ígneo de Beja e ao Complexo Ofiolítico de Beja-Acebuches. Hidrogeologicamente, aquelas litologias possuem um comportamento (hidrodinâmico e hidroquímico) mais ou menos homogéneo o que permite considerá-las num único conjunto. O sistema exhibe um comportamento misto de características porosas e fissuradas, apresentando-se em geral como aquífero livre. Encontra-se instalado numa zona superficial, com espessura média que raramente ultrapassa 50 m, constituída por rocha alterada e fracturada.

Os valores de transmissividade situam-se, em média, na ordem dos 58 m dia^{-2} até um máximo de 450 m dia^{-2} . A média da produtividade das captações é de 5 L/s, sendo o máximo de 36 L/s.

Para simular o escoamento do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja foi construído um modelo de diferenças finitas tendo sido usado o programa MODFLOW. A área de trabalho foi discretizada numa malha não regular de 50 linhas por 196 colunas e as simulações foram realizadas em regime de equilíbrio.

O valor estimado da taxa de recarga foi de 4% da precipitação média anual, isto é, cerca de 22 mm/ano.

Palavras chave: Modelo de escoamento, Gabro, MODFLOW, Meios fracturados.

¹Hidrogeólogo, Coordenação do Projecto "Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo", Universidade de Évora, Évora, Portugal

²centro de Geologia da Universidade de Lisboa, Edifício C-2, Campo Grande, 1700 Lisboa.

1 - INTRODUÇÃO

No Alentejo, as águas subterrâneas têm uma vasta utilização, quer no abastecimento público às populações, quer na indústria e agricultura. A viabilidade de grandes regadios é assegurada em muitos casos apenas através do recurso às águas subterrâneas. A região de Beja e zona envolvente satisfaz os critérios de elevado potencial agrícola, devido à ocorrência de solos extremamente férteis, como os denominados *barros de Beja*, e de potencial hidrogeológico, devido à existência de um aquífero do tipo cristalino, ímpar quando comparado com outros aquíferos cristalinos, o qual constitui uma reserva estratégica de água para a região (figura 1). No entanto, sob o ponto de vista qualitativo as águas são de qualidade em geral fraca, com dureza e concentrações de nitrato bastante elevadas (DUQUE, 1997).

O conhecimento do potencial hidrogeológico deste aquífero foi reconhecido desde há muito tempo em estudos de diversos autores como VASCONCELOS (1983), VIEIRA DA SILVA (1985) e QUINA (1993). Mais recentemente foram realizados trabalhos que permitiram uma caracterização mais pormenorizada e actual dos aspectos relacionados com a qualidade da água e a elaboração de um modelo matemático representando o funcionamento de todo o Sistema Aquífero dos Gabros de Beja (DUQUE, 1997). Neste artigo retomam-se alguns aspectos mais relevantes desse esforço de modelação.

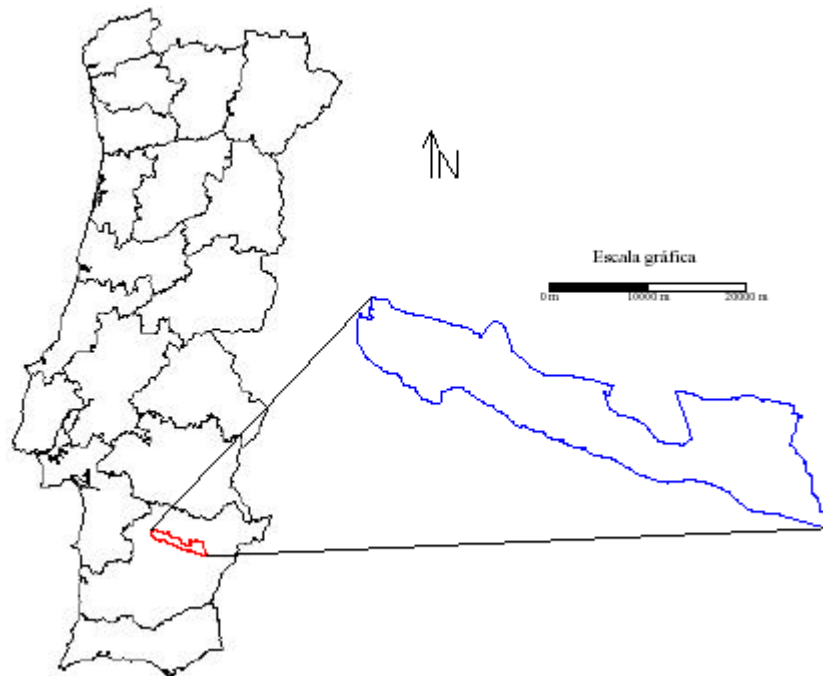


Figura 1 - Enquadramento geográfico do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja.

Os modelos são ferramentas que representam uma aproximação de determinado processo (ANDERSEN & WOESSNER, 1992). A aplicação da modelação aos aquíferos constitui uma ferramenta de gestão dos recursos hídricos subterrâneos, permitindo otimizar os sistemas produtivos e a localizações de captações. A integração dos modelos de escoamento e transporte auxilia a identificação e resolução de problemas de contaminação e a delimitação de perímetros de protecção de captações.

Os resultados dos modelos são extremamente dependentes da qualidade dos dados introduzidos, dos objectivos para que são propostos, e, fundamentalmente, da sensibilidade e experiência do modelador.

A construção do modelo do Aquífero dos Gabros de Beja foi auxiliada através do programa MODIME 1.0 de ZHANG *et al.* (1993). Este programa proporciona um ambiente de modelação integrada facilitando a preparação de dados, o processamento de modelos de escoamento, rastreio de partículas e de transporte de massa, respectivamente através dos programas modulares, MODFLOW (McDONALD & HARBAUGH, 1988), PATH3D (ZHENG, 1992) e MT3D (ZHENG, 1992) e, finalmente, a visualização dos resultados.

2 - FUNDAMENTAÇÃO NUMÉRICA

O programa MODFLOW (MCDONALD & HARBAUGH, 1984), incluído no ambiente MODIME, é um modelo de escoamento tridimensional, baseado no método das diferenças finitas.

O escoamento tridimensional de um líquido com densidade constante e em regime transitório, num meio poroso, pode ser descrito pela equação:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(T_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

em que:

x, y, z - coordenadas cartesianas alinhadas aos eixos principais de anisotropia

K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} - componentes principais do tensor de condutividade hidráulica

h - nível piezométrico

W - caudal por unidade de volume representando as fontes e sumidouros de água

S_s - armazenamento específico do material poroso

t - tempo.

O método das diferenças finitas possibilita a resolução daquela equação. O domínio contínuo a modelar é substituída por um conjunto de células discretas e as derivadas parciais são substituídas por diferenças entre os valores da variável de estado nessas células. O processo conduz a sistemas simultâneos de equações lineares e a da sua resolução obtêm-se os valores da variável de estado (potenciais hidráulicos, concentrações, etc.) em todas as células.

3 - MODELO CONCEPTUAL E NUMÉRICO

3.1 - Aspectos geológicos

O Sistema Aquífero dos Gabros de Beja situa-se no Baixo Alentejo em plena peneplanície alentejana e abrange uma área de 347 km², ocupando parcialmente os concelhos de Ferreira do Alentejo a oeste, Beja no centro e Serpa a este. Este aquífero insere-se em duas grandes bacias hidrográficas, Sado e Guadiana, sendo atravessado por este último rio a oeste de Serpa.

Segundo FONSECA (1995), afloram dois complexos principais na área deste aquífero: no sector sul o Complexo Ofiolítico de Beja-Acebuches (COBA), constituído por metagabros, serpentinitos e metabasaltos, e no sector norte o Complexo básico plutono-vulcânico de Odivelas, pertencente ao Complexo Ígneo de Beja (CIB), constituído pelos gabros de Beja.

Na zona da Salvada aflora uma mancha do Paleogénico constituída por conglomerados, arenitos e margas com concreções calcárias e argilosas, e finalmente, na zona envolvente ao rio Guadiana ocorrem algumas manchas de depósitos do Quaternário.

3.2 - Aspectos hidrogeológicos

Grande parte das litologias aflorantes encontram-se bastante fracturadas e alteradas dotando o aquífero de porosidade e permeabilidades elevadas.

Hidrogeologicamente, as litologias que afloram neste aquífero possuem um comportamento (hidrodinâmico e hidroquímico) mais ou menos homogéneo o que permite considerá-las num único conjunto. O sistema exhibe um misto de características porosas e fissuradas, apresentando-se em geral como aquífero livre.

Com o objectivo de caracterizar o aquífero e obter dados para a construção do modelo de escoamento foi realizado, com início na Primavera de 1995, um inventário de 284 pontos de água (194 furos, 84 poços e 6 nascentes) (figura 2).

Os dados de sondagens permitiram estabelecer um modelo aproximado da geometria do aquífero. Em termos médios existe uma cobertura argilosa de cerca de 3,5 m. A zona alterada possui, em média, uma espessura de 22 m e a zona fracturada pode atingir os 40 a 60 m. Os níveis produtivos situam-se, em média, entre os 12 a 20 m. A produtividade média é da ordem dos 5 L/s, e mediana de 3 L/s, podendo atingir máximos na ordem dos 36 L/s. Os valores médios de transmissividade calculados para este aquífero tendo por base 62 dados são da ordem dos 58 m²/dia, mediana de 39 m²/dia até um máximo de 452 m²/dia (quadro 1).

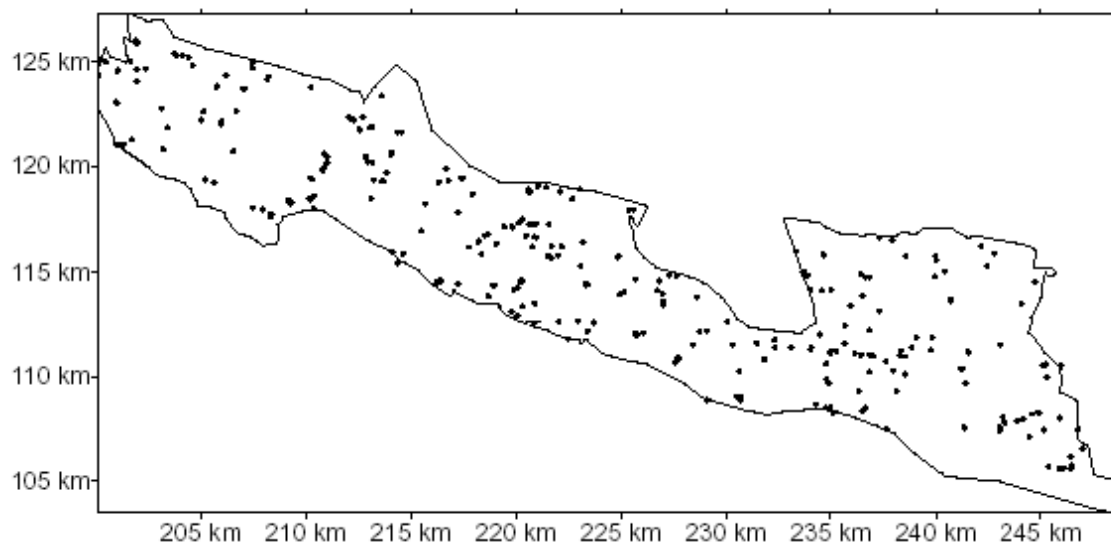


Figura 2 - Projecção dos pontos de água inventariados na primeira fase

	n	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	1º Quartil	3º Quartil	Coef. de variação %	Variância	Desvio Padrão	Kurtose
Q L/s	132	5.1	3.2	0.028	36.1	1.4	6.5	110.3	30.9	5.6	13.7
T m ² /d	62	58	39	5	452	18	71	119	4641	68	20

Quadro 1 - Síntese da estatística das caudais e transmissividade.

Em termos gerais este aquífero é relativamente superficial, a pizometria acompanha aproximadamente o relevo e apresenta-se fundamentalmente como um aquífero livre. A região do vale do rio Guadiana, é uma zona preferencial de descarga do aquífero. No sector oeste também é possível existir descarga para as areias do Miocénico. Hidraulicamente, e em termos médios, o sistema pode-se considerar em regime de equilíbrio, pois os défices verificados em períodos de seca são repostos nos anos chuvosos, existindo mecanismos naturais de eliminação dos excedentes.

3.3 - Características do modelo

O domínio a modelar foi discretizado numa malha não homogénea de uma camada com 195 colunas por 50 linhas. O sistema de coordenadas foi rodado 15° para otimizar o esforço de modelação em termos de memória necessária e tempo de cálculo.

No que respeita à largura das colunas considerou-se a seguinte sequência, em metros: 1×500, 15×250, 3×500, 4×250, 3×500, 2×250, 3×500, 39×250, 1×500, 8×250, 2×500, 2×250, 4×500, 107×250, 1×500. Para a altura das linhas considerou-se a sequência, também em metros: 1×500, 48×250, 1×500.

A área discretizada tem por dimensões 53250m por 13000m, correspondendo a 9750 células. Destas, 4802 correspondem a células inactivas, 63 a células a potencial constante e 4885 a células a potencial variável. Este número elevado de células inactivas deve-se ao facto de o aquífero ter contornos bastante irregulares originando assim um desperdício de 49% da área do modelo. As fronteiras do modelo estão representadas na figura 3.

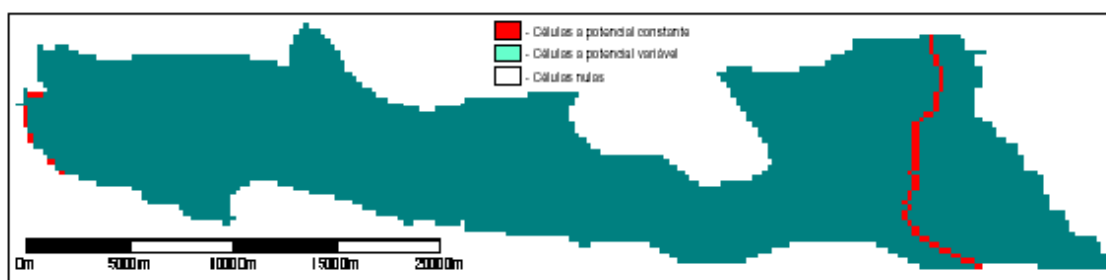


Figura 3 - Localização dos diferentes tipos de células incluídas na malha do modelo.

Todas células correspondentes à área constituída por xistos, pórfiros, granófiros e alguns dioritos, na parte norte do aquífero, foram consideradas inactivas, assim como as correspondentes à área constituída por xistos a sul.

Dentro do domínio activo, consideraram-se como células a potencial constante as correspondentes ao traçado do rio Guadiana e algumas células correspondentes a linhas de água, no sector ocidental, partindo do pressuposto que se trata de zonas preferenciais

de descarga do aquífero. Este facto é comprovado no campo pelas numerosas nascentes e linhas de água que drenam o aquífero, mesmo em pleno Verão. Estas têm tendência a diminuir o seu caudal no final da estação seca aproximando-se o aquífero da situação de equilíbrio. Na zona da Ribeira das Águas Perdidas, junto ao rio Guadiana, foram medidos caudais, em pleno Verão de 1995, da ordem dos $30 \text{ m}^3/\text{dia}$. No Barranco do Rabaçal, perto de Corte Condessa, o caudal foi de $130 \text{ m}^3/\text{dia}$. Junto à foz da Ribeira de Quintos foi medido numa pequena nascente um caudal com cerca de $3 \text{ m}^3/\text{dia}$. O somatório de todos os caudais traduz a componente de descarga de água do aquífero ao longo do ano, quer no sector do vale do Guadiana, quer no extremo oeste do aquífero.

A infiltração no aquífero dos Gabros de Beja é bastante singular. No final do Verão os solos exibem fendas de retracção, bastante profundas, derivadas da elevada componente argilosa. Assim, a infiltração durante as primeiras chuvas é máxima. Após o fecho das fendas de retracção a infiltração torna-se mínima o que provoca o alagamento das zonas baixas ou então, se o relevo o permitir, escoamentos superficiais muito intensos.

Para quantificar as extracções foram considerados três grupos principais de usos:

1. extracções para abastecimentos públicos, através da informação obtida nos Serviços Municipalizados das várias Câmaras Municipais.
2. abastecimentos domésticos privados de *montes* e pequenos aglomerados urbanos, sem abastecimento público. Realizou-se um inventário o mais completo possível e admitiu-se uma captação média de $100 \text{ L}/\text{dia}$ por pessoa. Introduziu-se um factor aditivo caso houvesse abeberamento de gado ou rega em pequenas hortas. Por exemplo, um monte com duas pessoas, alguns animais e uma pequena horta poderia gastar entre 100 a $300 \text{ m}^3/\text{ano}$.
3. extracções para regadio. A partir de um inventário em que se determinaram as áreas de regadio das diversas culturas e considerando as dotações de rega das mesmas, determinaram-se as quantidades de água extraídas do aquífero. Admitiu-se que estes volumes de extracção de água seriam medianamente constantes, de ano para ano, apesar das rotações e da variação das áreas e necessidades de água das culturas.

A figura 4 mostra a localização de 387 pontos de extracção quantificados. Um ponto de extracção pode corresponder a uma bateria de captações no terreno. De todo este sistema de captações, o volume extraído pelos poços e furos seria na ordem dos $21000 \text{ m}^3/\text{dia}$, ou seja $7677000 \text{ m}^3/\text{ano}$.

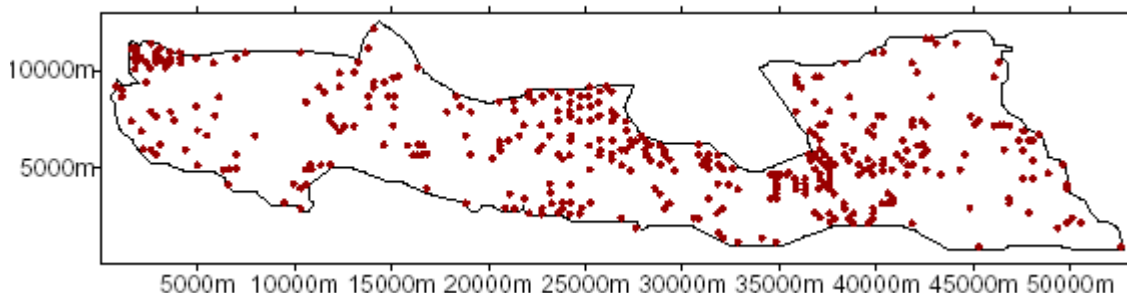


Figura 4 - Localização dos 387 pontos de extracção de água do aquífero dos Gabros de Beja usados no modelo de fluxo.

O caudal gasto nos vários usos corresponde a 4,11% ($\approx 4\%$) da precipitação média anual (537,3 mm/ano) nos 347,4 km² do aquífero. Admitindo que o aquífero está em equilíbrio, ou seja os volumes das entradas são iguais às das saídas, a taxa de recarga no aquífero será $\approx 4\%$, correspondendo sensivelmente a 0,0591 mm/dia. Este foi o valor utilizado para a recarga no modelo.

Admitiu-se uma espessura do aquífero da ordem dos 50 m, com os valores de condutividade hidráulica vertical e horizontal igualados a 1 m/dia.

As simulações foram realizadas em regime de equilíbrio. O método numérico utilizado para o cálculo iterativo dos sistemas de equações foi o da Sobre-relaxação Sucessiva (SOR) com um parâmetro de aceleração de 1,5 e um critério de convergência de 0,01.

3.4 - Calibração e resultados finais do modelo

O processo de calibração foi um passo bastante moroso e importante durante a modelação. Existem vários métodos de calibração, os automáticos e os de tentativa e erro, cada um com as suas vantagens e inconvenientes. No modelo realizado optou-se pelo método da tentativa e erro aplicado às variáveis recarga e condutividade horizontal, visto o programa não ter métodos de calibração automática. Assim a calibração consistiu no ajuste das variáveis, por tentativa e erro, de modo a que a solução final dos níveis piezométricos se aproximassem dos valores reais. Para a calibração usaram-se níveis reais de vinte e um locais diferentes, distribuídos de maneira dar uma perspectiva global da área a modelar (figura 5).

No final da etapa de calibração obteve-se um bom ajuste do modelo à realidade para os pontos de observação escolhidos. Na figura 6 faz-se a comparação dos níveis reais e dos calculados pelo modelo, tendo-se obtido um coeficiente de correlação muito elevado $r = 0.998$. As diferenças entre os dados reais e os obtidos pelo modelo nos vários pontos de observação variam de um mínimo de 0,047 m até um máximo de 1,9 m.

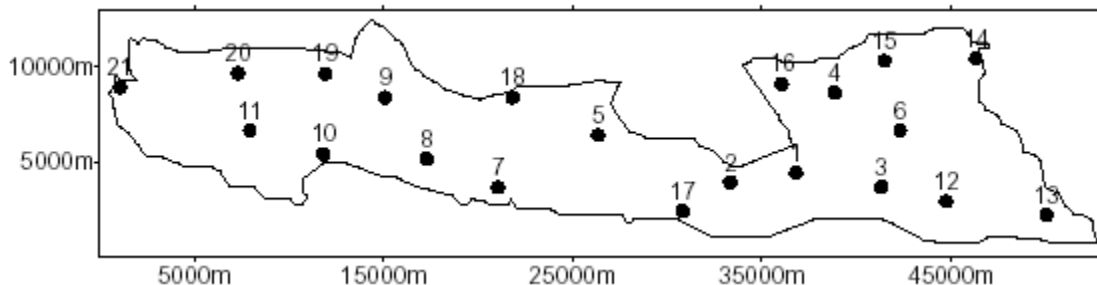


Figura 5 - Localização dos pontos de observação usados na calibração do modelo.

No quadro 2 descrevem-se as características dos locais de observação e as diferenças entre os valores reais e calculados. As diferenças obtidas e representadas na tabela 2 têm o sinal negativo quando o potencial calculado é inferior ao real e positivo na situação inversa.

Deve-se ter em conta que em regime de equilíbrio os níveis reais e calculados deverão representar valores que representam aproximadamente as condições médias. No entanto, continuam-se a realizar observações e a colher dados que permitam afinar o modelo de modo a que este represente o mais fielmente possível as condições reais em regime transitório. Para um melhor afinamento do modelo será necessário estabelecer

uma rede de pontos de observação nivelados, melhorar conhecimento da geometria do aquífero e da informação respeitante às extracções.

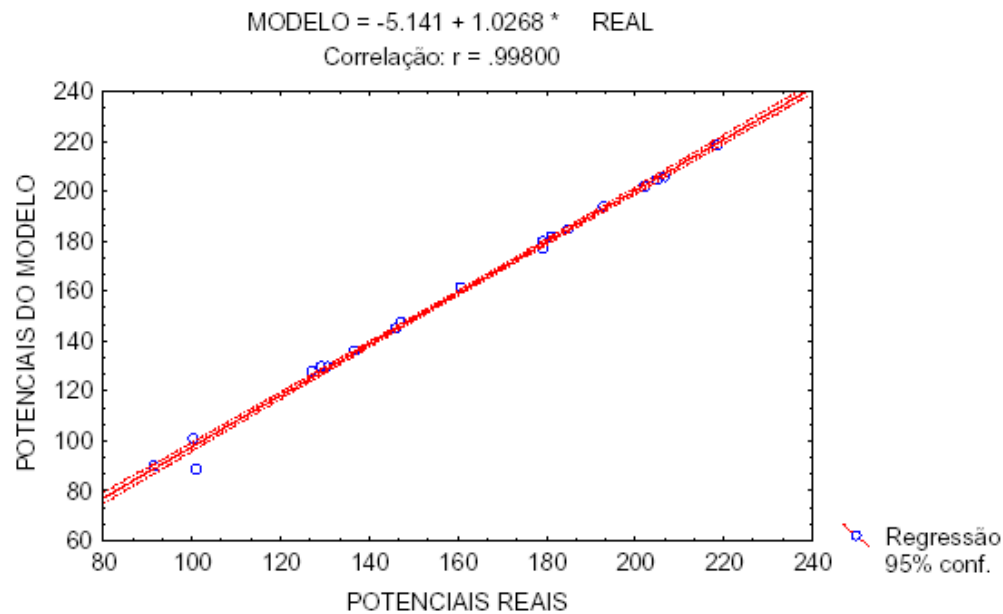


Figura 6 - Projecção da regressão dos potenciais reais com os do modelo

Locais	Capt.	Coluna	Linha	Coordenada X	Coordenada Y	Nível piezométrico	Nível Piezom. no modelo	Dif.
M. Aldeota	F	131	34	36840,21	4388,72	146,00	144,80	-1,2
M. da Azinheira	P	117	36	33333,84	3900,00	181,16	181,93	0,77
Gravia do Meio	P	149	37	41328,36	3658,14	136,96	136,03	-0,93
M. Alcaide Cima	P	139	17	38861,21	8638,43	129,45	129,53	0,08
Horta da Palmeira	P	89	26	26363,01	6394,13	218,43	218,50	0,07
M. Corte Piorno	F	153	25	42333,52	6620,93	130,57	129,80	-0,77
M. Almocreva	P	74	37	21061,57	3627,90	205,10	204,42	-0,68
Cinco Reis	P	60	31	17298,07	5139,53	192,73	193,72	0,99
Poço dos Boiões	P	41	18	15102,42	8377,77	179,30	179,75	0,45
M. do Circo	P	38	30	11828,14	5381,39	206,78	205,68	-1,1
H. do Paço-Barranco	F	26	25	7947,76	6620,93	179,36	177,46	-1,9
Quinta D. Luiz	P	163	40	44764,6	2902,32	91,50	89,70	-1,8
Horta dos Banhos	P	184	43	50070,89	2176,74	185,14	185,093	-0,047
Aldeia de Testudos	P	169	10	46330,77	10430,2	100,95	88,65	-1,3
M da Comenda	P	150	10	41494,81	10297,0	127,10	127,60	0,5
Horta do Galego	P	128	15	36068,81	9100,0	130,02	128,82	-1,2
M da Raposinha	P	107	42	30832,64	2388,37	202,00	202,075	0,075
M da Venda	F	77	18	21832,97	8374,41	202,35	202,01	-0,34
Horta do Jacinto	P	38	13	11938,05	9629,05	160,90	161,47	0,57
M. da Serra	P	25	13	7316,61	9644,18	147,30	147,18	-0,12
M. das Mancocas	P	5	16	1080,93	8912,18	100,22	100,85	0,63

Quadro 2 - Características dos pontos de observação usados na calibração do modelo, níveis reais, calculados e respectivas diferenças.

A calibração foi efectuada de modo a manter os caudais saídos através das células a potencial constante próximos dos valores que se consideram reais. O facto de a área a modelar ser bastante irregular potencializa esses erros, visto haver muitas células nas fronteiras do modelo que tiveram de ser sujeitas a métodos de cálculo automático baseados no método das imagens, que acarreta por si uma certa componente de incerteza (KINZELBACH, 1986; MCDONALD & HARBAUGH, 1984).

As figuras 7 e 8 representam o ajuste final das variáveis recarga e condutividade horizontal no modelo.

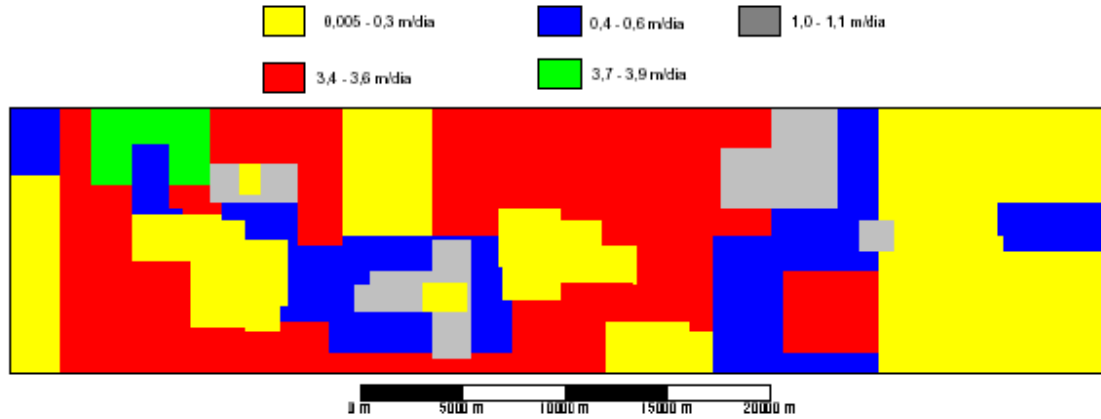


Figura 7 - Projecção das condutividades hidráulicas horizontais na malha do modelo. As zonas correspondentes às células inactivas não têm qualquer significado.

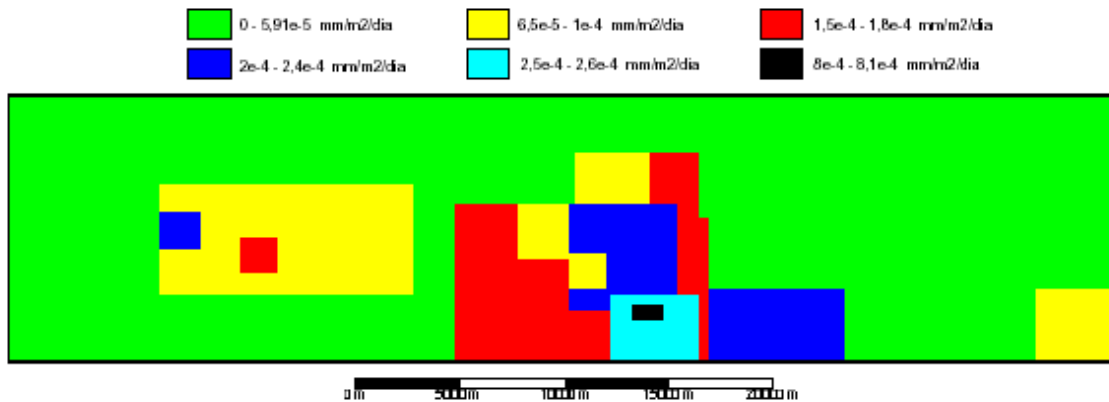


Figura 8 - Distribuição da recarga na malha do modelo. As zonas correspondentes às células inactivas não têm qualquer significado.

Os resultados da calibração do modelo indicam a ocorrência de locais com permeabilidades muito díspares ocasionando gradientes muito elevados, reflectindo assim nesses locais, uma circulação por blocos semi-independentes, característica dos meios fracturados. Este comportamento é bastante evidente nalgumas zonas do vale do Guadiana, arredores de Beja, Mira, Serra do Pinheiro e Mombeja.

A figura 9 mostra a projecção tridimensional dos potenciais obtida a partir da simulação do modelo.

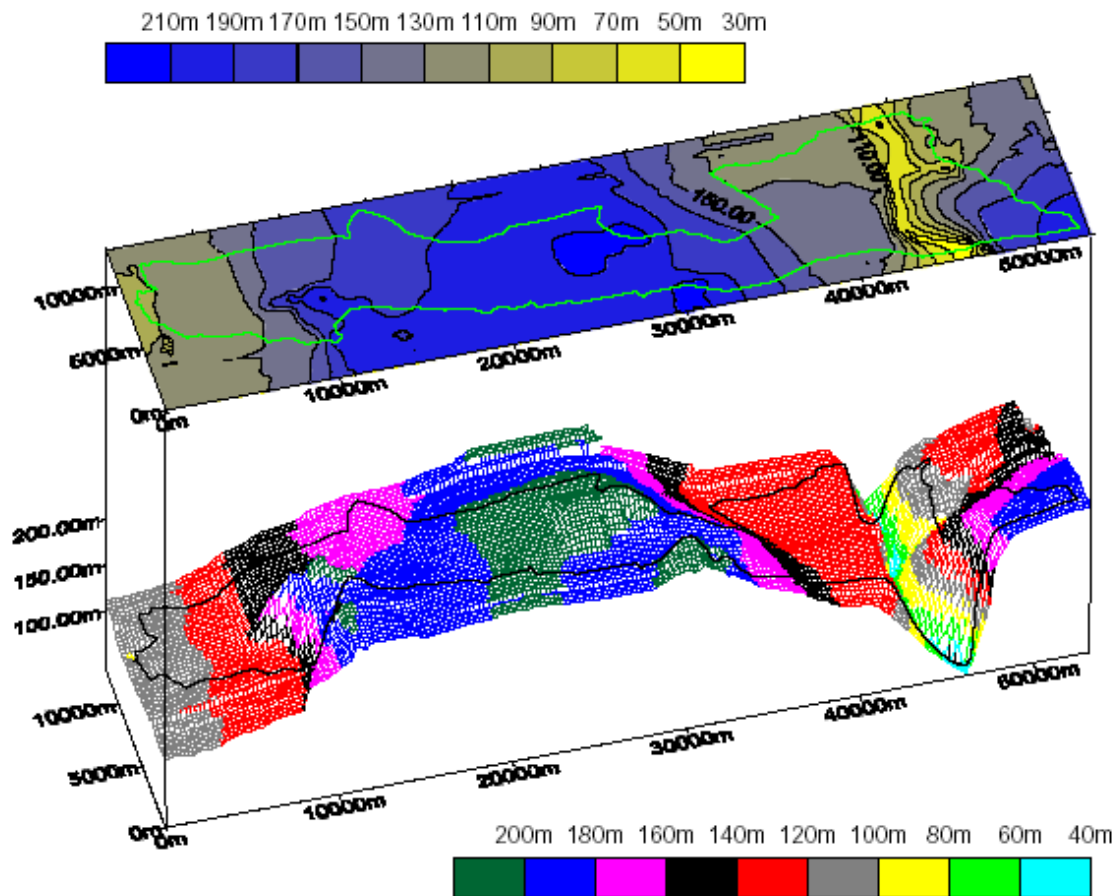


Figura 9 - Duas perspectivas da distribuição dos níveis calculados pelo modelo de escoamento: a superior a duas dimensões e a inferior a três dimensões. Os sectores externos aos contornos (verde e preto) não têm qualquer significado.

O quadro 3 expõe os resultados finais do balanço do modelo de escoamento do aquífero dos gabros de Beja.

Origens	Fontes m^3/dia	Sumidouros m^3/dia
Células a potencial constante	79,77	3498,72
Recarga	24727,10	-
Extracções	-	21032,10
TOTAIS	24806,87	24530,82

Discrepância absoluta m^3/dia

276,05

1,11

⇒ ERRO %

Quadro 3 - Resultados do balanço do modelo relativamente às origens, fontes, sumidouros e o respectiva discrepância e erro percentual.

Desta tabela ressalta o facto de os valores das extracções serem bastante próximos dos da recarga evidenciando o equilíbrio do aquífero. O caudal que sai pelas células a potencial constante é de cerca de 40,5 L/s. Este caudal justifica a existência de linhas de

água permanentes (origem da água a partir do aquífero), mesmo no Verão, que drenam água para o rio Guadiana e linhas de água a oeste do modelo, conduzindo o aquífero ao estado de equilíbrio.

O erro de balanço do modelo cifra-se nos 3,2 L/s, o que corresponde a 1,11% da quantidade total de água que é introduzida no aquífero pela recarga. Este valor percentual de erro é mínimo, e é indicador dos resultados positivos obtidos pelo modelo de escoamento no Sistema Aquífero dos Gabros de Beja.

4 - CONCLUSÕES

O Sistema Aquífero dos Gabros de Beja é do tipo livre, bastante superficial, tendo por suporte uma camada superior alterada e fracturada do maciço gabróico (CIB e COBA).

A descarga deste sistema ocorre preferencialmente no vale do rio Guadiana e nas linhas de água do sector oeste deste aquífero. Os valores médios calculados da componente de descarga foram 40,5 L/s.

Os dados da piezometria permitem dividir o aquífero em três zonas, Beja - Ferreira do Alentejo e Serpa - Rio Guadiana, com escoamento para o sector oeste; Beja - Rio Guadiana, com escoamento para o sector leste.

As extracções para abastecimento público, privado e regadio correspondem a cerca de 4% da Precipitação Média Anual ou seja a $7677000 \text{ m}^3/\text{ano}$.

As variações observadas nos gradientes hidráulicos sugerem que em certas zonas a organização do sistema de circulação subterrânea se faz por blocos parcialmente independentes, (bastante visível na zona do vale do Guadiana, ou então nas zonas mais elevadas como Beja, Serra do Pinheiro, Mira etc.), bastante comum nos meios cristalinos fracturados.

O processo de calibração do modelo permitiu um ajuste muito próximo entre os níveis calculados e os reais tendo-se obtido um coeficiente de correlação de 0,998.

Devido ao facto das simulações terem sido realizadas em regime de equilíbrio, os seus resultados representam apenas uma situação média. Apesar desta limitação, considera-se que o modelo constitui uma base de trabalho que, além de fornecer uma boa visão do funcionamento do sistema, permitirá orientar a investigação futura no sentido de obter um conhecimento mais aprofundado do seu dinamismo. Um modelo que incorpore os novos dados assim obtidos constituirá um auxiliar da gestão do sistema e uma etapa indispensável para o desenvolvimento de modelos de transporte de massa que permitirão estimar o impacte da contaminação difusa, de origem agrícola e simular cenários decorrentes de mudanças no regime de regadio resultantes da construção da Barragem do Alqueva.

5 - BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, Mary P., WOESSNER, William W. - *Applied groundwater modeling-Simulation of flow and advective transport*. San Diego, Academic Press, 1992, 381 p.
- DUQUE, Jorge Manuel Pereira - *Caracterização hidrogeológica e modelação matemática do aquífero dos gabros de Beja*. Lisboa, Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre, 213 p.
- FONSECA, P. - *(Estudo da) Sutura varisca no SW Ibérico nas regiões de Serpa - Beja - Torrão, Alvito - Viana do Alentejo*. Lisboa, Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para a obtenção do grau de doutor, 1995, 325 p.
- KINZELBACH, Wolfgang. - *Groundwater modelling: an introduction with sample programs in basic*. 1ª edição, New York, Elsevier Science Publisher B. V., 1986, 333 p.
- MCDONALD, Michael G., HARBAUGH, Arlen W. - *A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model*. Washington, Scientific Publications CO., 1984, 528 p.
- QUINA, Alberto Pais. - “Pesquisa e captações em gabro-dioritos”. Seminário sobre Hidrogeologia de Rochas Compactas Fissuradas, Lisboa, APRH, 1983, 15 p.
- VASCONCELOS, António M. - *Estudo Hidrogeológico do concelho de Beja*. Beja, Serviços Municipalizados de Beja, 1983, 35 p.
- VIEIRA DA SILVA, António M. - *Estudo hidrogeológico das formações gabro-dioríticas da região de Beja-Relatório de processo*. Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal, 1985, 5 p.
- ZHANG, Y., ZHENG, C., NEVILLE, C. J., ANDREWS, C. B. - *MODIME – Integrated modeling environment for MODEFLOW, PATH3D, and MT3D, User's guide*. Bethesda-Marylan, SSP&A Software - S.S. Papadopoulos & Associates Inc, 1993
- ZHENG, C. - *MT3D - A modular three-dimensional transport model, Versão 1.8 documentation and user's guide*. Bethesda - Marylan, SSP&A Software - S.S. Papadopoulos & Associates Inc, 1992