

# XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

VII FENÁGUA - Feira Nacional da Água

XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços

## COMPARAÇÃO DA CALIBRAÇÃO DE PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS DE AQUÍFEROS ATRAVÉS DOS *SOFTWARES* PEST E UFC-MIGH

Osmar Luiz Moreira Pereira Fonseca de Menezes<sup>1</sup>; Afonso Henrique Lacerda Brito de Oliveira<sup>1</sup>;  
Paulo Roberto Lacerda Tavares<sup>2</sup>; Celme Torres Ferreira da Costa<sup>2</sup> & Marco Aurélio Holanda de  
Castro<sup>3</sup>

**Resumo** – Na calibração de parâmetros hidrodinâmicos o PEST e o UFC-MIGH baseiam-se, respectivamente, na diferença de cargas e gradientes hidráulicos observados e calculados. O UFC-MIGH diferencia-se na geração dos mapas potenciométricos observados. O objetivo foi comparar os *softwares* quanto à calibração da condutividade hidráulica em um modelo teórico simplificado. As linhas potenciométricas do UFC-MIGH foram mais próximas e seu resultado mais realístico. Uma validação cruzada verificou-se melhor calibração do MIGH. Ficou explícita a eficiência, o baixo esforço computacional e a consistência dos resultados do UFC-MIGH.

**Abstract** – In hydrodynamic calibration parameters, the PEST and the UFC-MIGH are based on differences of observed and calculated hydraulic heads and gradients, respectively. The UFC-MIGH differs in the generation of the potentiometric maps observed. The object was to compare the softwares on the calibration of the hydraulic conductivity of a simplified theoretical model. The potentiometric lines of UFC-MIGH were very close to each other and their result more realistic. A validation by leave-one-out showed better calibration of the MIGH. It became the clear efficiency, low computational effort and consistency of the results of UFC-MIGH.

**Palavras-Chave** – Modelagem computacional de aquíferos, Calibração de parâmetros hidrogeológicos, Método iterativo do gradiente hidráulico.

---

<sup>1</sup>Discentes do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará – *Campus* Cariri, Juazeiro do Norte – CE. Bolsistas CNPq e ANP. Fone: (88) 3572 7223. E-mail: osmarluizmpfm@hotmail.com, lbo\_henrique@hotmail.com.

<sup>2</sup>Professores Adjuntos do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará – *Campus* Cariri, Juazeiro do Norte – CE. Fone: (88) 3572 7223. E-mail: prltavares@ufc.br, celmetorres@ufc.br.

<sup>3</sup>Professor Associado do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará – *Campus* Pici, Fortaleza – CE. Fone: (85) 3366 9492. E-mail: marco@ufc.br.

## 1 INTRODUÇÃO

A água subterrânea corresponde a 97% da água doce disponível no planeta e sua utilização tem sido determinante no processo de desenvolvimento socioeconômico dos países. O abastecimento ocorre com baixos custos e variação relativamente pequena nos períodos de estiagem, sendo, em muitos casos, o único suprimento de água potável de determinadas regiões (Feitosa e Manoel Filho, 1997). Por tais razões, ocorre crescente preocupação com a qualidade, disponibilidade e entendimento das características dos aquíferos.

A modelagem computacional de fluxo subterrâneo torna-se essencial como ferramenta de análise de sistemas complexos, possibilitando controle de variáveis, respostas rápidas e economia de tempo e capital. Um modelo determinístico numérico baseado em diferenças finitas amplamente empregado no estudo de aquíferos é o MODFLOW, desenvolvido por McLaughlin e Johnson (1988).

Envolvido na modelagem está o processo de calibração. Esta etapa ajusta o modelo à situação real, verificando os valores de parâmetros que reproduzem as cargas hidráulicas medidas em campo. O *software* PEST (Doherty, 1994) calibra o modelo através da minimização de uma função objetivo expressa pela diferença de cargas observadas e calculadas. De forma alternativa, Guo e Zhang (2000) e Schuster e Araújo (2004) propuseram o Método Iterativo do Gradiente Hidráulico (MIGH), expresso pela diferença dos gradientes hidráulicos observados e calculados.

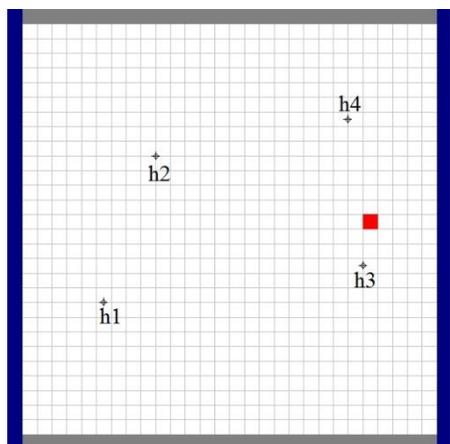
O mapa potenciométrico de cargas observadas é tradicionalmente obtido por interpolação linear das cargas medidas em campo, com pouco embasamento hidrogeológico e, por vezes, ajustes manuais. No *software* UFC-MIGH está implementada uma rotina de calibração que modifica etapas das interações do MIGH para diminuir dificuldades na composição do mapa potenciométrico. Resumidamente, nesta abordagem a matriz de cargas observadas é modificada a cada interação, a partir das calculadas.

O objetivo do presente trabalho foi comparar resultados de calibração da condutividade hidráulica horizontal em um modelo hipotético através dos *softwares* PEST e UFC-MIGH, com verificação da convergência de cargas observadas e calculadas. Por se tratar de um modelo teórico, a validação das calibrações foi feita através de um processo simplificado de validação cruzada.

## 2 METODOLOGIA

O modelo teórico (figura 1) consistiu de um aquífero não confinado com taxa de recarga constante de  $8 \cdot 10^{-9}$  m/s, porosidade efetiva de 0,25, extensão de 600m nas direções Leste-Oeste e Norte-Sul, espessura de 10m e discretizado em 900 células de 20 x 20m.

As condições limites são um contorno impermeável (células em cinza) em toda a extensão Norte e Sul e regiões com carga hidráulica constante (células em azul) de 9,00 e 8,00 m nos lados oeste e leste, respectivamente.



Poço de observação	x (m)	y (m)	h (m)
h1	130	200	8,85
h2	200	400	8,74
h3	480	250	8,18
h4	460	450	8,26

Figura 1: Representação do modelo com locais e cargas hidráulicas dos poços de observação.

A área contém um poço de bombeamento com descarga de  $0,0012\text{m}^3/\text{s}$  (célula vermelha) e 4 poços de observação de níveis estáticos conhecidos, com as coordenadas e cargas hidráulicas (h) indicadas na Figura 1.

Após inserção das características do modelo no MODFLOW, foram realizadas as interações no PEST e no UFC-MIGH, obtendo-se valores calibrados de condutividade hidráulica horizontal. A convergência do processo de calibração foi verificada pelo cálculo da raiz do erro quadrático médio (REQM) e foram validadas através de um processo simplificado de validação cruzada. A carga hidráulica do poço h4 foi excluída do modelo para que fosse calculada após a calibração utilizando as três observações restantes (h1, h2 e h3). Para um modelo válido, o valor calculado de h4 não deve se afastar significativamente do observado.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por ser um modelo teórico e simplificado, não ocorreu o zoneamento de condutividades hidráulicas. Assim, ambas as calibrações se sucederam com o valor inicial de condutividade hidráulica de  $0,0004\text{ m/s}$  em todo o domínio.

O PEST trabalha com zonas de igual condutividade. Como houve apenas um valor inicial, o resultado do PEST foi  $4,39 \cdot 10^{-4}\text{ m/s}$  para toda a área. Já o UFC-MIGH expressou a condutividade com valores distintos para cada célula da discretização. A convergência ocorreu com 3 interações no PEST, definidas automaticamente, e 12 no UFC-MIGH, a critério do operador. As cargas

observadas e calculadas após 12 interações no UFC-MIGH se apresentaram sobrepostas, indicando eficiência na calibração, enquanto as linhas do PEST apresentam-se visualmente distantes.

Os valores de cargas calculadas após a calibração estão apresentados na Tabela 2, representando REQM de 0,019 m e 0,001 m, respectivamente para o PEST e o UFC-MIGH. Destaca-se que os valores calculados através do MIGH somente apresentam divergência dos valores observados na ordem de  $10^{-4}$  m.

A validação das calibrações do PEST e UFC-MIGH resultaram em 8,289 m e 8,262 m, respectivamente, para o poço h4, indicando, portanto, maior eficiência do MIGH.

Tabela 2: Cargas observadas e calculadas com o PEST e o UFC-MIGH.

Poço	Cargas observadas (m)	Cargas calculadas (m) PEST	Cargas calculadas (m) UFC-MIGH
h1	8,85	8,848	8,850
h2	8,74	8,759	8,740
h3	8,18	8,193	8,180
h4	8,26	8,289	8,262

## 4 CONCLUSÃO

Ficou explícita a melhor convergência dos mapas potenciométricos calculado e observado do modelo calibrado pelo UFC-MIGH relativo à calibração pelo PEST. O UFC-MIGH não necessita de zoneamento para apresentar valores de condutividade distintos para cada célula. Oposto a essa situação, o PEST expressa o parâmetro como um único valor, entendendo que toda a área pertence à mesma zona de igual condutividade. A estimativa feita pelo UFC-MIGH tem, portanto, maior capacidade de adaptar-se às situações práticas reais em que, comumente, a condutividade varia no espaço.

## 5 REFERÊNCIAS

- DOHERTY, J. *PEST*. Corinda, Australia: Watermark Computing, 1994.
- FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. Fortaleza, CPRM, LABHID-UFPE, 1997.
- GUO, X.; ZHANG, C.-M. Hydraulic gradient comparison method to estimate aquifer hydraulic parameters under steady-state conditions. *Ground Water*. v. 38, n. 6, p.815-826, 2000.
- MCLAUGHIN, D.; JOHNSON, W. K. *MODFLOW: A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model*. U. D. Geological Survey, 1988.
- SCHUSTER, H. M. D.; ARAÚJO, H. D. B. Uma formulação alternativa do método iterativo do gradiente hidráulico no procedimento de calibração dos parâmetros hidrodinâmicos do sistema aquífero. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.9, n.2, p. 31-37, 2004.