

# HIDRODINÂMICA DO SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA E SEU REBATIMENTO PARA A GESTÃO DA ÁGUA NA REGIÃO OESTE DO ESTADO DA BAHIA.

Zoltan Romero C. Rodrigues<sup>(1)</sup>; Paulo Henrique Prates Maia<sup>(2)</sup>; Cláudia do Espírito Santo Lima<sup>(3)</sup>; Viviane Moura de Araújo<sup>(4)</sup>; Luciano Vagner Mata Cruz<sup>(1)</sup>

## RESUMO

O Sistema Aquífero Urucuia, na região das bacias dos rios de Janeiro, dos Cachorros e das Fêmeas, foi inicialmente classificado pelo Órgão Gestor de Recursos Hídricos da Bahia como semi-confinado. Observe-se que este sistema agrega duas unidades aquíferas: O aquífero Serra das Araras no topo com um comportamento livre e dupla porosidade (granular e fissural) e o aquífero Posse, sotoposto, de comportamento semi-confinado e porosidade granular, sem nenhum aquitarde entre eles. Diante disto, esta interpretação, resultante, das análises dos testes de aquíferos realizados nas bacias hidrográficas supracitadas, do ponto de vista da gestão, deve ser reavaliada. Destaque-se a importância desta reavaliação, que propõe tratar o Sistema Urucuia como um aquífero livre, com implicações para sua vulnerabilidade e para as interferências rio/aquífero, com vistas à gestão integrada dos Recursos Hídricos da região.

Palavras chave: Aquífero Urucuia; Gestão de Recursos Hídricos; Aquífero Semi-confinado; Aquífero Livre.

## ABSTRACT

The Urucuia Aquifer System, located in the area of the Janeiro, Cachorros and Fêmeas river basins was initially classified by the Office of Water Management of Bahia as a leaky aquifer. Note that this system joins two aquifer units: The Serra das Araras aquifer in the top with an unconfined behavior and double porosity (granulate and fissural) and the Posse aquifer, beneath, of leaky behavior and granular porosity, with no aquitard between them. Before this, the interpretation, resultant of the analyses of the aquifer tests done in the mentioned river basins, from the management point of view, should be reevaluated. We emphasize the importance of this reevaluation, which intends to treat the Urucuia System as an unconfined aquifer, with implications to its vulnerability and to the

---

1 Geólogo, Especialista em gestão de recursos hídricos; 2 Geólogo, Mestre em geoquímica e meio ambiente; 3 Engenheira Sanitarista; 4 Engenheira ambiental; 5 Graduando em geologia. Instituto de Gestão das Águas e do Clima do Estado da Bahia; End. Av. Antônio Carlos Magalhães, nº 357, Itagira, Salvador-BA, Brasil. Cep. 41.825-000. e-mail: [zoltan.romero@inga.ba.gov.br](mailto:zoltan.romero@inga.ba.gov.br). [paulo.maia@inga.ba.gov.br](mailto:paulo.maia@inga.ba.gov.br); [claudia.lima@inga.ba.gov.br](mailto:claudia.lima@inga.ba.gov.br); [inga@inga.ba.gov.br](mailto:inga@inga.ba.gov.br).

interferences river/aquifer, for the integrated management of the Water Resources in the region.

Key Words: Urucuia Aquifer; Water Management; Leaky Aquifer; Unconfined Aquifer.

## **1 - INTRODUÇÃO**

O conceito de exploração sustentável de sistemas aquíferos, demanda uma metodologia adequada para a outorga das águas subterrâneas e a proteção da qualidade das mesmas.

O volume a ser outorgado de forma sustentável, é baseado na determinação das reservas aquíferas e na definição de suas relações com as águas superficiais. Já a preservação de sua qualidade, demanda uma metodologia adequada para avaliar a vulnerabilidade e o levantamento das fontes de impacto presentes na região estudada. Por isso é de fundamental importância conhecer o comportamento hidráulico do aquífero, particularmente se o mesmo se comporta como livre, confinado ou semi-confinado.

Esta pesquisa se propõe reavaliar os dados coletados pelo Órgão Gestor de Recursos Hídricos da Bahia (atual INGÁ) no período de 2001 a 2006, na porção do Sistema aquífero Urucuia, inserida nos municípios de Luís Eduardo Magalhães e São Desidério, nas bacias hidrográficas do rio das Fêmeas e do rio de Janeiro, região oeste do estado da Bahia, totalizando uma área de quase 10.000 km<sup>2</sup>.

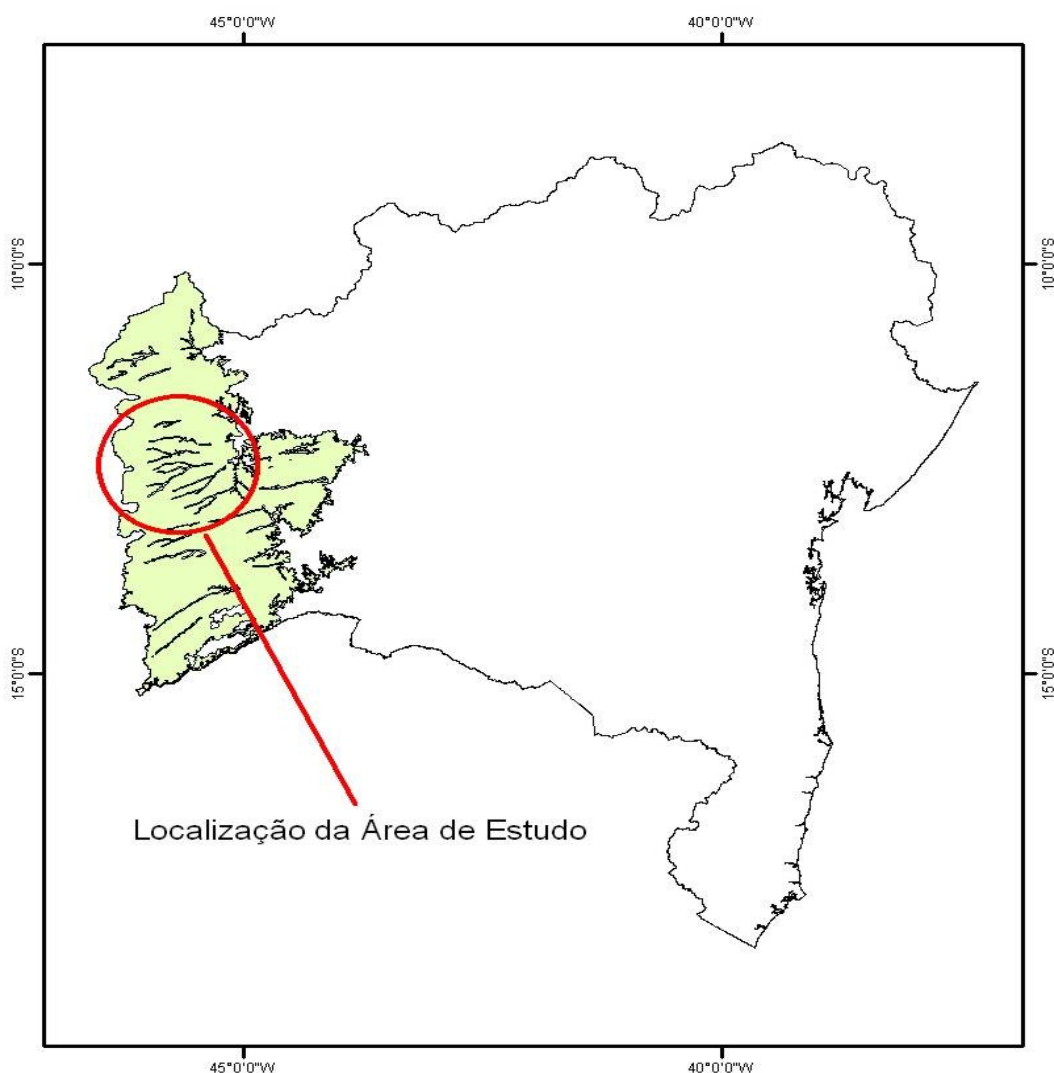
## **2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA**

A área estudada insere-se no contexto geológico da bacia geológica do Urucuia, localizada na bacia hidrográfica do São Francisco, no estado da Bahia, nas sub-bacias dos rios das Fêmeas, rio de Janeiro e rio do Cachorro, que fazem parte da bacia do rio Grande, afluente do rio São Francisco, abrangendo os municípios de São Desidério e Luís Eduardo Magalhães. Vide figura 1 – Localização da Área em Estudo.

## **3 - ASPECTOS GEOLÓGICOS**

O Sistema Aquífero Urucuia foi assim nomeado por Gaspar (2006)[1], sendo constituído por um conjunto de aquíferos que ocorrem no domínio geológico do Grupo Urucuia, que recobre toda a área em estudo. Esta unidade aparentemente homogênea é composta pelas Formações Posse, na base e Serra das Araras, no topo (Campos e Dardenne, 1997[2]; Sgarbi et al., 2001[3]). A Formação Posse é essencialmente composta por arenitos depositados por processos eólicos, enquanto que a Formação Serra das

Araras inclui arenitos, conglomerados e pelitos de ambientes fluviais entrelaçados, que apresentam vários níveis silicificados e bastante fraturados.



**Figura 1** – Localização da área em estudo.

#### **4 - OBJETIVOS**

O principal objetivo desse trabalho é reavaliar o grau de confinamento que os arenitos silicificados do Aquífero Serra das Araras fornecem ao aquífero Posse e, avaliar seu rebatimento na gestão das águas subterrâneas da região. O Sistema Aquífero Urucuia foi considerado inicialmente como semi-confinado, a partir dos ensaios de bombeamento realizados que avaliaram somente o aquífero Posse, enquanto que o aquífero Serra das Araras foi considerado uma semi-confinante para o aquífero Posse. A formação Serra das Araras se comporta como um aquífero granular, cuja porosidade primária foi reduzida pelos níveis silicificados, porém esforços tectônicos posteriores

promoveram o fraturamento desses níveis, provocando o aparecimento de um comportamento fissural.

## 5 - AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES HIDRODINÂMICAS DO SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA NAS BACIAS DO RIO DE JANEIRO E DAS FÊMEAS.

Foram realizados testes com poços de bombeamento e de observação nas fazendas Campo Aberto (tabela 1 e figura 2) e Polleto (tabela 2), ambas no município de Luís Eduardo Magalhães, bacia do rio de Janeiro e na fazenda Campinas (tabela 3 e figura 3) município de São Desidério, bacia do rio das Fêmeas. Todos estes poços têm seus conjuntos de filtros instalados apenas na Formação Posse.

**Tabela 1** – Parâmetros hidrodinâmicos do Sistema aquífero Urucuia obtidos em testes com dois piezômetros na fazenda Campo Aberto (Schuster, 2003[4])

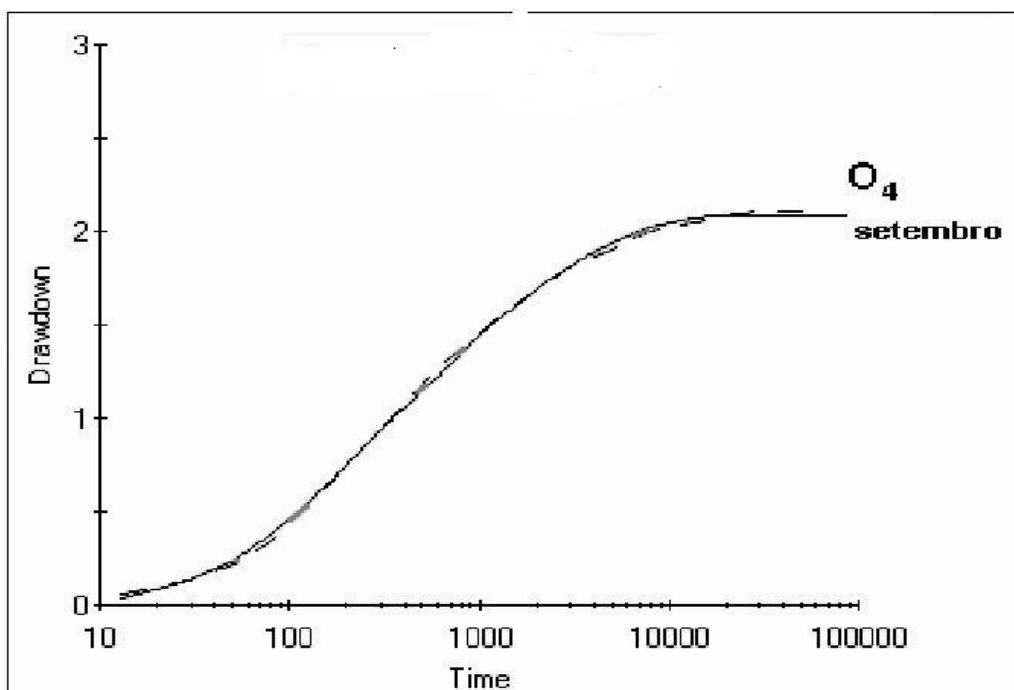
Piezômetro	Data	r [m]	Método	Q [m <sup>3</sup> /h]	T [m <sup>2</sup> /dia]	S [ - ]
O <sub>1A</sub>	05/2003	100	Hantush	580	1.391	3,1 x 10 <sup>-4</sup>
O <sub>4</sub>	09/2003	80	Hantush	580	1.794	5,4 x 10 <sup>-4</sup>

**Tabela 2** – Parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Urucuia obtidos em teste com piezômetro na fazenda Polleto (Schuster, 2003[4])

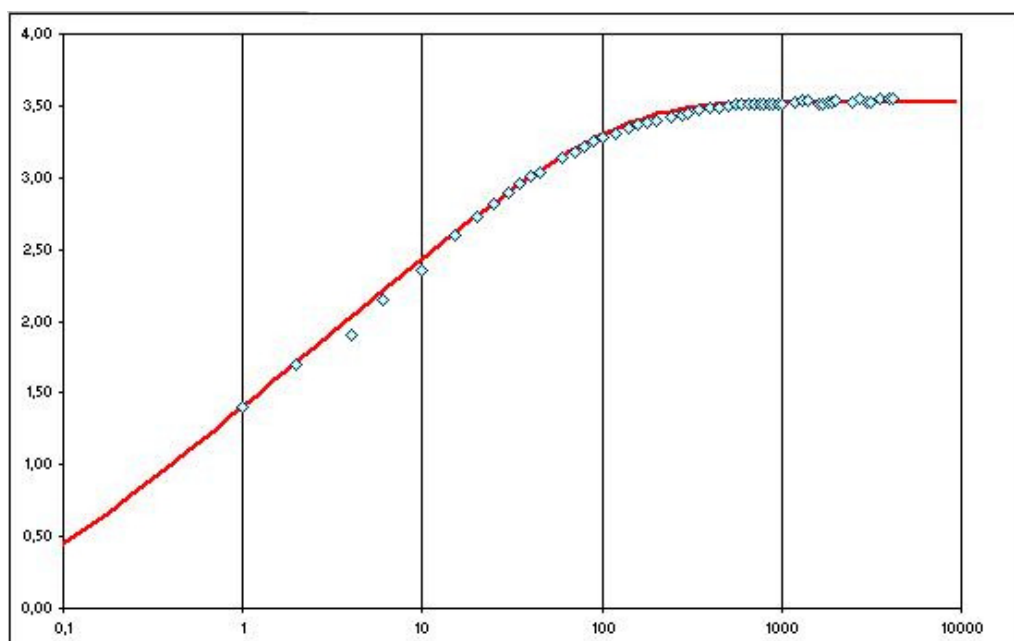
Piezômetro	Data	r [m]	Método	Q [m <sup>3</sup> /h]	T [m <sup>2</sup> /dia]	S [ - ]
Faz. Poletto P3	08/2001	47	Hantush	300	1.397	2,6 x 10 <sup>-4</sup>

**Tabela 3** – Parâmetros hidrodinâmicos do Sistema aquífero Urucuia obtidos em teste com piezômetro na fazenda Campinas (Pompeu & Rodrigues, 2002[5])

Piezômetro	Data	r [m]	Método	Q [m <sup>3</sup> /h]	T [m <sup>2</sup> /dia]	S [ - ]
Faz. Campinas P250	11/2001	25	Hantush	250	1.321	1,9 x 10 <sup>-4</sup>



**Figura 2** – Curva de rebaixamento obtida por Schuster, 2003[4], com o software Aquifer Test, na faz. Campo Aberto.



**Figura 3** – Curva de rebaixamento obtida, utilizando planilhas Excel para análise de parâmetros hidrogeológicos (Rodrigues et. al., 2004[6]), na faz. Campo Aberto (P250).

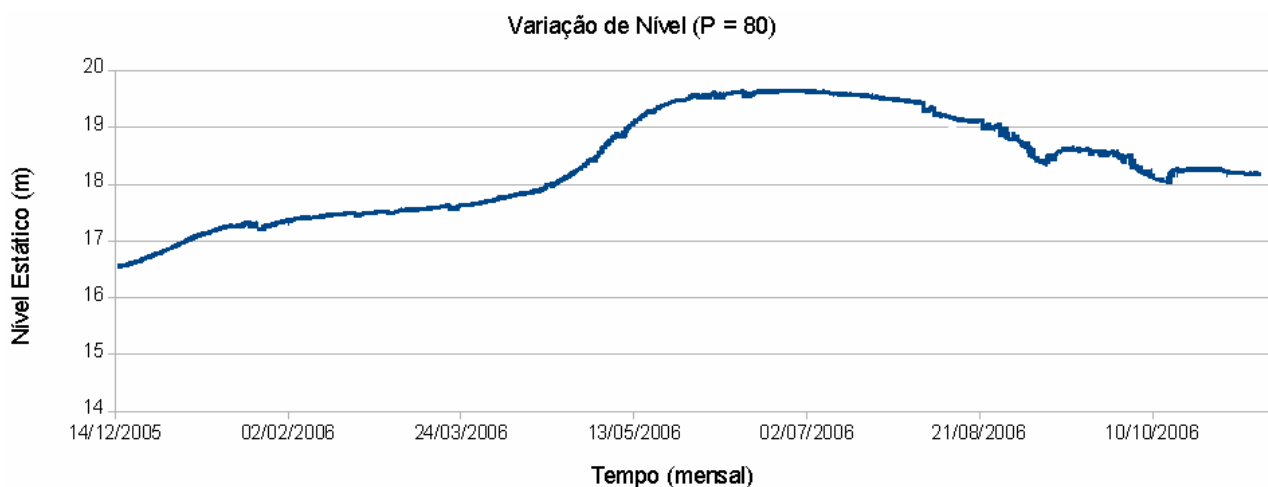
O que mais chama atenção nestes resultados é a sua grande coerência, visto que a transmissividade varia de 1.321 m<sup>2</sup>/dia até 1.794 m<sup>2</sup>/dia ou de 1,5 x 10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>/s a 2 x 10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>/s, ficando na média em 1,7 x 10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>/s. Além disso o coeficiente de armazenamento

Ss, varia apenas de  $1,9 \times 10^{-4}$  até  $5,4 \times 10^{-4}$ , ficando na média em  $3,3 \times 10^{-4}$ . Estes resultados de Ss são indicativos de um aquífero semi-confinado.

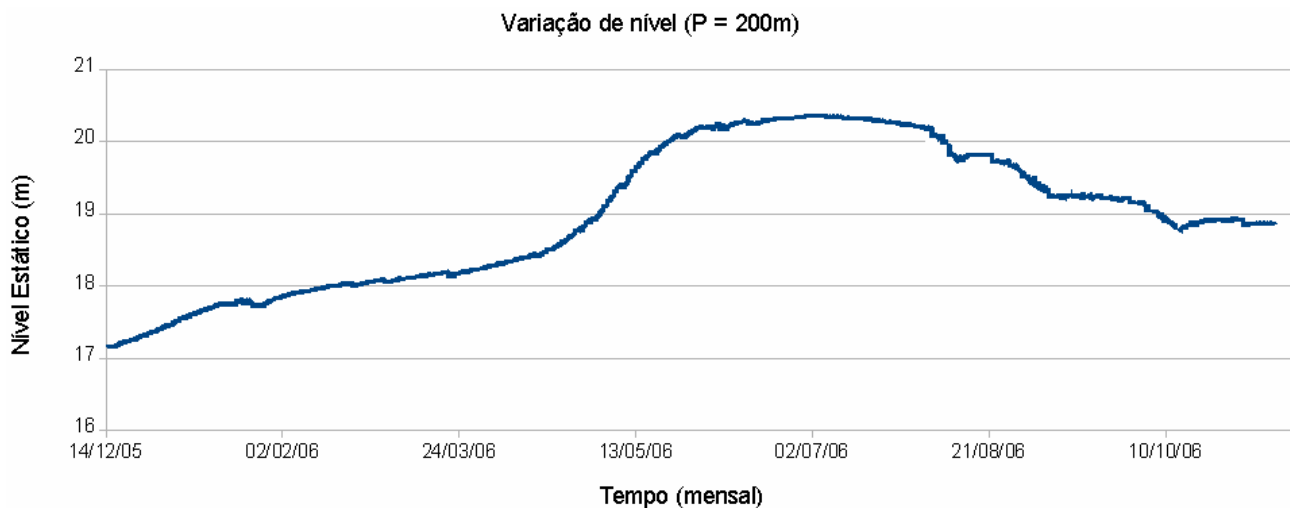
Nota-se também que as curvas de rebaixamento versus tempo mostram uma tendência horizontal após várias horas de bombeamento. Esta característica também, indica que se trata de um aquífero semi-confinado e drenante, no qual o coeficiente de drenança ou drenagem vertical torna-se significativo e que deve ser analisado pelo método de HANTUSH.

### 5.1 - Monitoramento dos Níveis Aquíferos

Entre dezembro de 2005 e novembro de 2006, foram monitorados dois poços piezométricos, instalados na fazenda Campo Aberto. Um deles com profundidade de 80 metros e filtros apenas na Formação Serra das Araras e o outro com 200 metros de profundidade e filtros apenas na Formação Posse. As figuras 4 e 5 a seguir, mostram o comportamento do nível estático, observado nos dois aquíferos, ao longo de um ano hidrológico. Nestes gráficos observa-se que as duas curvas têm a mesma forma e a diferença de nível estático entre os dois é de cerca de 0,7 metros, mantendo-se assim durante todo o ano.



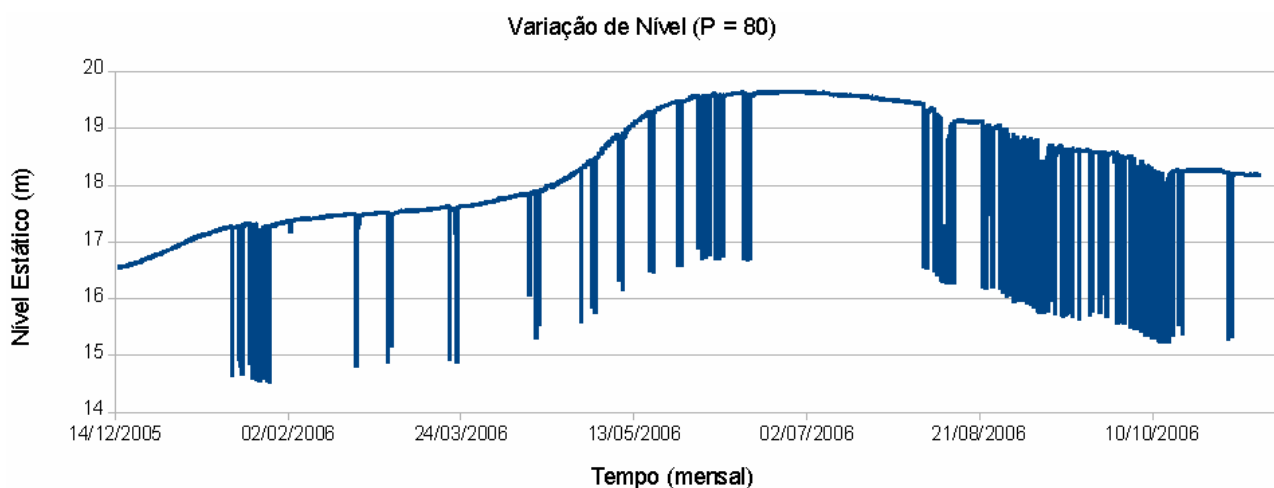
**Figura 4** – Comportamento do aquífero ao longo de um ano de monitoramento em um piezômetro de 80 metros de profundidade, com filtros apenas na Formação Serra das Araras.



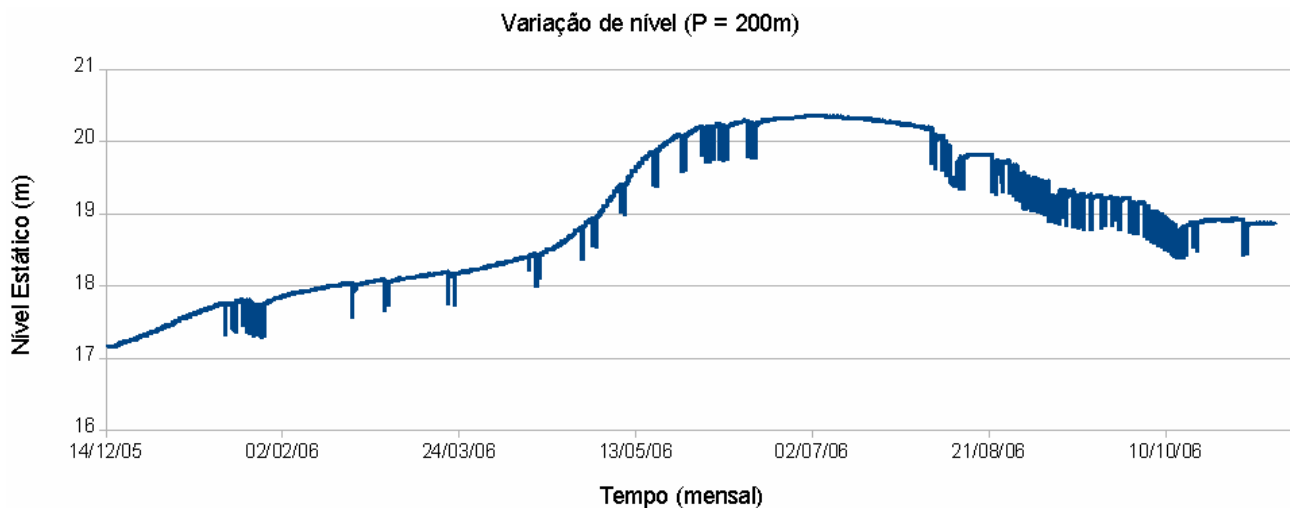
**Figura 5** – Comportamento do aquífero ao longo de um ano de monitoramento em um piezômetro de 200 metros de profundidade, com filtros apenas na Formação Posse.

Valores similares foram observados na fazenda Campinas, onde também se perfurou dois piezômetros, um com 90 metros na Formação Serra das Araras e outro com 250 metros na Formação posse. Não se efetuou um monitoramento ao longo do tempo, mas o nível estático do poço mais raso foi 23,3 metros e no poço mais profundo 24 metros.

Outro aspecto que chama a atenção é a resposta dos dois aquíferos às chuvas (figuras 6 e 7). Observa-se que os dois aquíferos tem respostas similares, entretanto os picos das chuvas são muito acentuados na Formação Serra das Araras, como consequência do retardo na drenagem vertical nesta Formação.



**Figura 6** – Comportamento do aquífero ao longo de um ano de monitoramento em um piezômetro de 80 metros de profundidade, com filtros apenas na Formação Serra das Araras, considerando os picos resultantes das chuvas.



**Figura 7** – Comportamento do aquífero ao longo de um ano de monitoramento em um piezômetro de 200 metros de profundidade, com filtros apenas na Formação Posse, considerando os picos resultantes das chuvas.

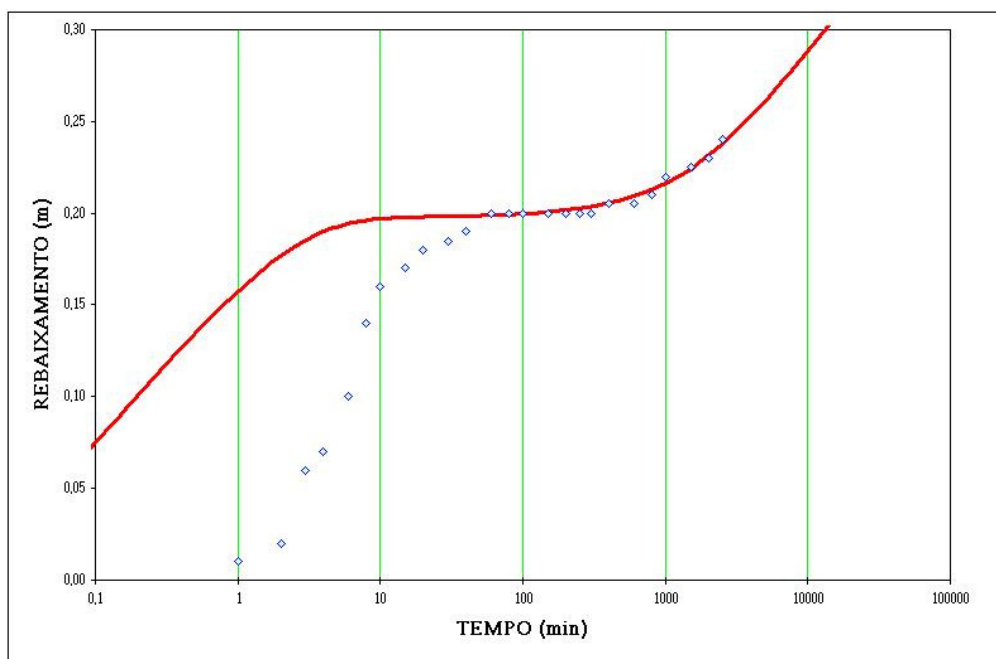
## 5.2 - Teste de Aquífero no Povoado de Roda Velha de Baixo

No povoado de Roda Velha de Baixo, localizado no município de São Desidério, foi selecionado, entre outros, um poço com 62 metros de profundidade, com uma vazão de bombeamento de 9 m<sup>3</sup>/h, no qual foi realizado um teste de aquífero. O rebaixamento foi medido em outro poço com 44 metros de profundidade, distante 7,2 metros do poço bombeado. Os resultados do teste de aquífero e as curvas obtidas são apresentadas na tabela 4 e na figura 8, a seguir.

**Tabela 4** – Parâmetros hidrodinâmicos do Sistema aquífero Urucua obtidos em teste com piezômetro no Povoado de Roda Velha de Baixo (Pompeu & Rodrigues, 2002[5])

Piezômetro	Data	r [m]	Método	Q [m <sup>3</sup> /h]	T [m <sup>2</sup> /dia]	Ss [ - ]	Sy [ - ]
Roda Velha de Baixo – P44	06/2002	7,2	Neumann	9	348	$9,1 \times 10^{-4}$	$4,7 \times 10^{-2}$





**Figura 8** – Curva de rebaixamento obtida, utilizando planilhas Excel para análise de parâmetros hidrogeológicos (Rodrigues et. al., 2004[6]). Povoado de Roda Velha de Baixo (P44).

Observa-se a partir do teste em Roda Velha de Baixo que a transmissividade (T) na Formação Serra das Araras é de  $4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s. Como na área do teste a Formação Serra das Araras possui uma espessura de aproximadamente 80 m, a condutividade hidráulica horizontal (Kr) foi calculada em  $5 \times 10^{-5}$  m/s e a condutividade hidráulica vertical (Kz) é de  $8 \times 10^{-5}$  m/s. Estes valores de condutividade hidráulica indicam uma anisotropia, com um excedente vertical. Já a porosidade eficaz (Sy) é indicativa de um aquífero livre, totalizando  $4,7 \times 10^{-2}$ . Entretanto como os níveis silicificados possuem espessura e continuidade muito variada é difícil generalizar estes resultados para toda a área.

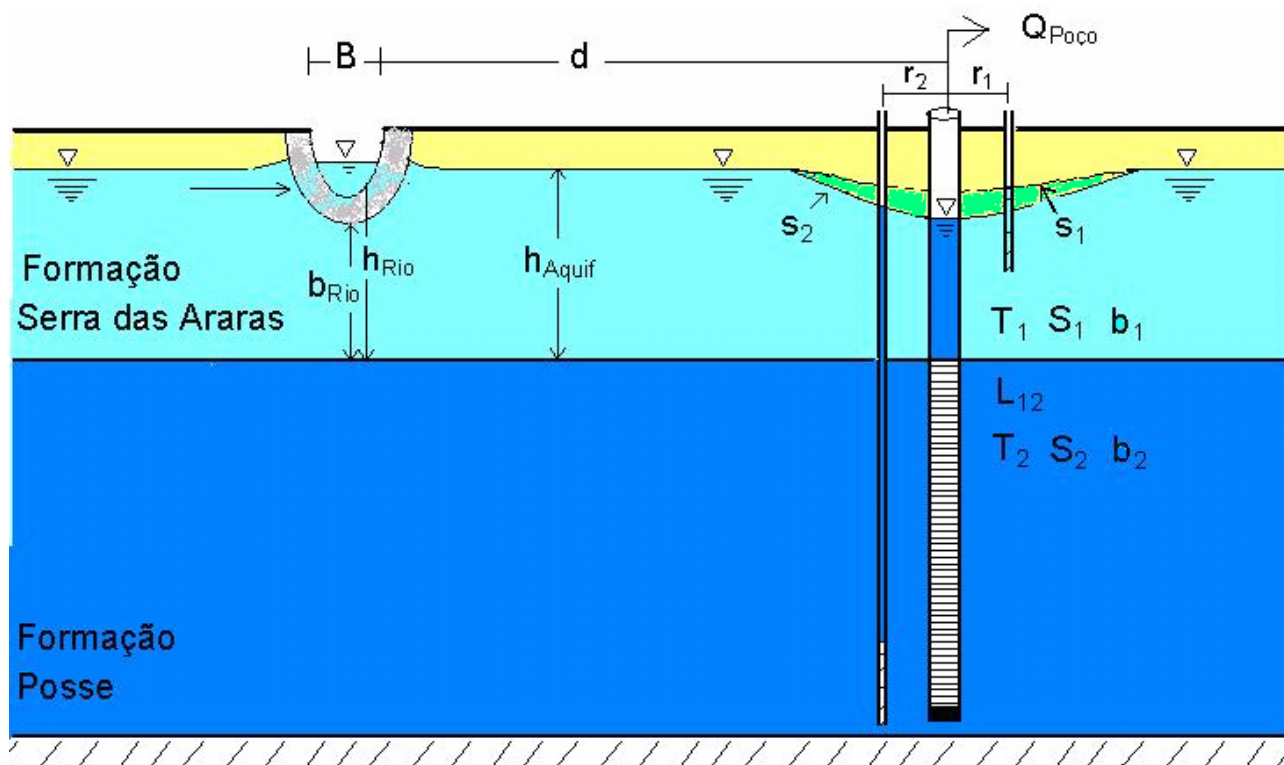
## 6 - DISCUSSÃO

Dos resultados apresentados, fica claro que as camadas que geram o semi-confinamento do Aquífero Posse, são os níveis silicificados do aquífero Serra das Araras. A diferença é de apenas uma casa decimal para a transmissividade da Formação Posse, mas suficiente para gerar o semi-confinamento, caracterizado por um nível estático aproximadamente 70 centímetros mais elevado para a Formação Serra das Araras, em relação à Formação Posse.

Os rios encontram-se conectados às camadas superiores do aquífero Serra das Araras, enquanto os poços produtores de grande vazão, são instalados com filtros na

camada inferior (aquífero Posse). Um perfil esquemático de todo o Sistema Aquífero pode ser visto na figura 9.

Todas as curvas apresentadas mostram claramente que o Sistema aquífero Urucuia consiste de duas unidades hidrogeológicas diferentes, a camada superior, representada pelo aquífero Serra das Araras, possui parâmetros hidrogeológicos marcados pela dupla porosidade, bastante distintos do aquífero Posse que apresenta somente porosidade granular. Observando que no último são instalados os filtros nos poços produtores de grande vazão.



**Figura 9** – Representação esquemática do semi-confinamento do aquífero Urucuia, onde se percebe o rebaixamento maior no piezômetro profundo, S2 em relação ao piezômetro mais raso S1. Adaptado de Schuster, 2003[4].

É importante destacar a importância do aquífero Serra das Araras para o abastecimento humano e doméstico, fato comprovado pelos 427 poços perfurados neste aquífero, nos municípios de Luís Eduardo Magalhães e São Desidério. Estes poços são usados basicamente para abastecimento humano e dessedentação animal, apresentando uma vazão média de 9 m<sup>3</sup>/h e vazões máximas da ordem de 60 m<sup>3</sup>/h. Ressalte-se que poços perfurados no aquífero Posse, na mesma região, apresentam vazões superiores a 500 m<sup>3</sup>/h, com vazão média da ordem de 100 m<sup>3</sup>/h.

Devido a grande potencialidade dessa unidade hidrogeológica, quase todos os estudos realizados na região, deram destaque somente ao aquífero Posse, na porção

basal do Sistema Aquífero Urucuia, é o que mais explorado por projetos de irrigação e de abastecimento de cidades como Luís Eduardo Magalhães.

Já o aquífero Serra das Araras, situado na porção superior do sistema aquífero, com sua granulometria mais irregular e, principalmente em virtude do processo de silicificação ao qual foi parcialmente submetido, possui transmissividade menor que a porção inferior. Este comportamento hidráulico acaba conferindo certo grau de confinamento ao aquífero Posse.

Vale ressaltar que não foi observada nenhuma camada confinante convencional, como argilas ou folhelhos, entre as duas unidades aquíferas, como seria esperado em um aquífero semi-confinado típico. Neste caso, a camada aquífera superior é parcialmente confinante, drenante na direção vertical, que libera água de seu armazenamento em resposta aos bombeamentos afetando, assim, a forma das curvas de rebaixamento.

A análise dos resultados, revela ainda que os parâmetros hidrodinâmicos da unidade aquífera Serra das Araras influenciam de maneira efetiva o comportamento do aquífero Posse, com respeito ao seu processo dinâmico, tanto na propagação do seu cone de depressão e na extensão do raio de influência, quanto na infiltração induzida dos rios para os poços em bombeamento.

Desta forma, mais informações sobre a Formação Serra das Araras são essenciais para subsidiar a gestão da água na área estudada, pois todo bombeamento de longa duração no aquífero Posse, poderá provocar uma drenagem vertical no aquífero superior, reduzindo os volumes de água armazenados no mesmo, fazendo com que o compensado pela depleção dos rios diretamente conectados a este aquífero. O volume desta depleção nos rios é totalmente controlado pelos parâmetros hidráulicos da camada superior.

Apesar do elevado valor do coeficiente de armazenamento da Formação Serra das Araras indicar que a depleção dos rios somente será efetiva, após um longo período de bombeio, a vazão dos rios durante longos períodos de estiagem, poderá ficar significativamente comprometida.

O raio de influência  $R$  no aquífero Posse, semi-confinado, também depende da quantidade de água liberada do armazenamento do aquífero Serra das Araras durante o bombeamento. Pode-se considerar isto como um tipo de recarga da camada bombeada do tipo fluxo vertical de Darcy (Schuster, 2003[4]), definida pela equação (1).

$$R = \sqrt{\frac{Q}{\pi W}} \quad (1)$$

Onde  $Q$  é a vazão de bombeamento e  $W$  [L/T], determinado pela equação (2), é o fluxo vertical (ou a denominada recarga) que é diretamente proporcional à condutividade hidráulica vertical  $Kz$  do aquífero Serra das Araras, de sua espessura é  $b'$  e de sua carga hidráulica  $h'$ .

$$W = K' \left( 1 + \frac{h'}{b'} \right) \quad (2)$$

## 7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados do estudo indicam que nos municípios de Luís Eduardo Magalhães e São Desidério, o Sistema do Aquífero Urucuia é um acoplado de dois aquíferos, Posse e Serra das Araras, que não podem ser tratados de maneira desconectada pelos gestores de recursos hídricos.

Ressaltando-se que a variação dos parâmetros hidrogeológicos do aquífero Serras das Araras influenciam muito o comportamento hidráulico de todo Sistema do Aquífero Urucuia, especialmente na interferência rio/aquífero, seu conhecimento é essencial para uma gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Além disso, o aquífero Serra das Araras influencia diretamente a extensão e propagação do cone de depressão e do raio de influência de poços profundos, que exploram água do aquífero Posse.

Este fato é importante, no sentido de que um coeficiente de armazenamento relativamente pequeno do aquífero superior provoca uma extensão do raio de influência muito maior que o esperado a partir dos parâmetros do aquífero inferior. Conseqüentemente, uma extensão maior deste raio, causa maiores taxas de transferências de água do rio para o aquífero e, conseqüentemente, provoca maiores impactos ambientais.

Já um coeficiente de armazenamento relativamente grande do aquífero Serra das Araras, como o observado no povoado de Roda Velha de Baixo, restringe muito a extensão do raio de influência retardando significativamente a depleção dos rios.

Por fim, a permeabilidade vertical, relativamente alta do aquífero Serra das Araras e sua dupla porosidade, granular e fissural, pode favorecer a penetração de contaminantes, onde as fraturas são caminhos preferenciais e rápidos para as porções mais profundas e produtivas do sistema aquífero. Esta situação é particularmente grave nas proximidades

de poços de grande vazão, onde o fluxo vertical do aquífero Serra das Araras irá compensar os volumes explorados do aquífero Posse.

Desta forma, é extremamente importante do ponto de vista da gestão, considerar o Sistema Aquífero Urucuia, como um aquífero tipicamente livre, apesar dos ensaios de bombeamento executados na área estudada, o classificarem como semi-confinado. Isto ocorre, porque a camada superior, silicificada, que provoca o efeito de semi-confinamento na camada friável inferior, também é um expressivo aquífero de caráter fissural e granular.

Conseqüentemente, a estimativa dos raios de influência de cada poço individual e a superposição dos raios de vários poços, bem como as estimativas das taxas de recarga induzida pelos rios, podem apresentar variações interpretativas bastante relevantes.

Diante do exposto, recomenda-se realizar estudos e testes hidrogeológicos na camada superior que é menos interessante para exploração de grandes volumes, porém as informações obtidas nesta camada são essenciais para a avaliação correta e completa do aquífero Urucuia. Para tanto, deve-se perfurar piezômetros até uma profundidade que não ultrapasse a base do aquífero Serra das Araras e a água deve ser bombeada nesta camada, conforme indicado por Schuster (2003)[4].

O monitoramento do sistema aquífero planejado para este ano é de fundamental importância, considerando que a melhor forma de se conhecer o comportamento do Sistema Aquífero como o Urucuia é instalando medidores de nível nos piezômetros, acoplados a pluviógrafos para o registro das chuvas, para garantir uma vigilância sobre o aquífero e prevenir os impactos sobre as águas superficiais e subterrâneas nesta região.

## **8 - REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA CONSULTADA**

- [1] GASPAR, M.T.P. 2006. *Sistema Aquífero Urucuia: caracterização regional e propostas de gestão*. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília – DF.
- [2] CAMPOS, J.E.G. e DARDENNE, M.A. 1997. Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, v.27.
- [3] SGARBI, G.N., SGARBI, P.B.A., CAMPOS, J.E.G., DARDENNE, M.A., PENHA, U.C. 2001. Bacia Sanfranciscana: O registro Fanerozóico da Bacia do São Francisco. In: Pinto, C.P. & Martins-Neto, M.A. (Org.). *A Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais*. Belo Horizonte – MG.

- [4] SCHUSTER, H. D. M. 2003. Modelagem de Fluxo Subterrâneo com Vistas à Definição do Distanciamento Entre Poços e Mananciais no Oeste Baiano. Relatório Final Contrato n° 034/2003- SRH/PGRH/BIRD, Salvador – BA.
- [5] POMPEU, J. & RODRIGUES, Z. R. C. 2002. Estudo Hidrogeológico da Bacia do Rio das Fêmeas. Simpósio de Água e Desenvolvimento Sustentável no Oeste Baiano. Barreiras – BA.
- [6] RODRIGUES, Z. R. C., MARQUES, C. R. F., OLIVEIRA, L. A. A. 2004. Utilização do Microsoft Excel Para Avaliação de Testes de Bombeamento, de Aquífero e de Interferência Poço-Rio. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá – MT.