

# APLICAÇÃO DO MÉTODO DA FLUTUAÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA ESTIMATIVA DE RECARGA NO AQUIFERO URUCUIA - SÃO DESIDÉRIO - BA

Viviane Cristina Vieira da Cunha<sup>1</sup>; Maria Antonieta Alcântara Mourão<sup>2</sup> & Stela Dalva Santos Cota<sup>3</sup>

**Resumo** – Neste trabalho é apresentada a aplicação do método da flutuação do nível d'água subterrânea (WTF – *Water Table Fluctuation*) para estimativa de recarga anual no Aquífero Urucuia, município de São Desidério – Bahia. Os dados de monitoramento do nível d'água utilizados foram compilados da Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS) incluindo o período de 2011 a 2015. Secundariamente buscou-se avaliar a aplicação deste método, que embora seja simples, apresenta alguns pressupostos, os quais tem que ser levados em consideração para uma aplicação bem sucedida. A abordagem do método WTF empregada foi a da curva principal de recessão (MRC – *Master Recession Curve*) através do programa MRRCR. O método WTF mostrou-se bastante dependente da porosidade efetiva ( $S_y$ ), parâmetro de difícil determinação e que pode variar no tempo e no espaço, por isso, optou-se pelo cálculo da recarga utilizando um intervalo de valores de  $S_y$ . Os resultados indicam recargas médias variando entre 164 mm a 305 mm, que corresponde a valores entre 14% e 26% da pluviometria média (1984-2015) anual (1174mm).

**Abstract** – This paper presents the application of the Water Table Fluctuation (WTF) method (WTF) to estimated annual recharge in the Urucuia Aquifer, São Desidério - Bahia. The level data used were compiled of the Groundwater Monitoring Network (RIMAS – Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas) including the period of 2011 to 2015. Secondly it sought to evaluate the application of this method, which although simple, has some assumptions, which have to be taken into consideration for a successful application. The approach employed of WTF method was the main curve of recession (MRC - Master Recession Curve) by MRRCR software. The WTF method was very dependent on the effective porosity ( $S_y$ ), which is difficult to determine and can vary in time and space, so we opted for the calculation of the recharge using a range of  $S_y$  values. The results indicate means recharges ranging from 164 mm to 305 mm, which corresponds to between 14% and 26% of the average rainfall (1984 to 2015) Annual (1174mm).

**Palavras-Chave** – Recarga, Aquífero Urucuia, Monitoramento.

<sup>1</sup> CPRM – Av. Brasil, 1731, Funcionários, CEP: 30140-002, Belo Horizonte - MG, Tel.: 3878-0385, viviane.cunha@cprm.gov.br

<sup>2</sup> CPRM – Av. Brasil, 1731, Funcionários, CEP: 30140-002, Belo Horizonte - MG, Tel.: 3878-0385, maria.antonietta@cprm.gov.br

<sup>3</sup> CDTN – Avenida Presidente Antônio Carlos, 6.627, Pampulha, CEP 31270-901, Belo Horizonte - MG, Tel.: 3069-3418, scsc@cdtn.gov.br

## 1 - INTRODUÇÃO

A recarga corresponde ao volume de água que entra na zona saturada e contribui com o abastecimento de um aquífero (Freeze e Cherry, 1979), é um componente chave para a gestão e proteção dos recursos hídricos, pois tem relação direta com os limites sustentáveis para exploração de águas subterrâneas, e com o escoamento de base dos cursos d'água.

Este trabalho visa aplicar o método da flutuação do nível d'água subterrânea (WTF – *Water Table Fluctuation*) (Meinzer, 1923; Sophocleus, 1991; Healy e Cook, 2002; Crosbie *et al.*, 2005) para estimativa de recarga em uma porção do Aquífero Urucuia. A área estudada corresponde ao município de São Desidério, estado da Bahia.

Inicialmente é apresentada uma breve descrição do método WTF e duas de suas abordagens, a gráfica e a da curva principal de recessão (MRC – *Master Recession Curve*), esta última utilizando o programa MRRCR (Heppner e Nimmo, 2005). Apenas a abordagem da MRC foi aplicada para todo o conjunto de dados. A abordagem gráfica foi descrita e executada apenas para um poço visando exemplificar a questão. Em seguida, a área de estudo foi sucintamente caracterizada sob o ponto de vista dos dados necessários para o cálculo da recarga. Por fim tem-se a aplicação do método e a discussão dos resultados.

Além de estimar os valores de recarga, este trabalho visa avaliar a aplicação do método WTF, cuja simplicidade requer a atenção do usuário para obter resultados significativos.

Os dados de nível d'água subterrânea utilizados foram monitorados entre os anos de 2011 e 2015, pela Rede RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas) coordenada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e estão disponíveis no endereço eletrônico <http://rimasweb.cprm.gov.br>.

## 2 - MÉTODO DA FLUTUAÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA

O método WTF que fornece uma estimativa da recarga pela análise da variação do nível d'água subterrânea (NA) em poços de monitoramento, foi criado já há muitos anos pelo serviço geológico americano (*United States Geological Survey* – USGS). O primeiro autor que utilizou a técnica para calcular recarga foi Meinzer (1923). Outros autores apresentaram aplicações e melhorias desse método (Sophocleus, 1991; Healy e Cook, 2002; Crosbie *et al.*, 2005).

O método é baseado na premissa de que a subida do NA medida em poços rasos é causada pela recarga na superfície do NA. A recarga é estimada pela equação (Equação 1):

$$R(t_j) = S_y * \Delta H(t_j) \quad \text{Equação 1}$$

Onde,  $R(t_j)$  (cm) é a recarga que ocorre entre o tempo  $t_0$  e  $t_j$ ,  $S_y$  (*Specific Yield*) é a porosidade efetiva (adimensional), e  $\Delta H(t_j)$  é o aumento do NA atribuído ao período de recarga (cm). A Figura 1 mostra graficamente o significado dessas variáveis.

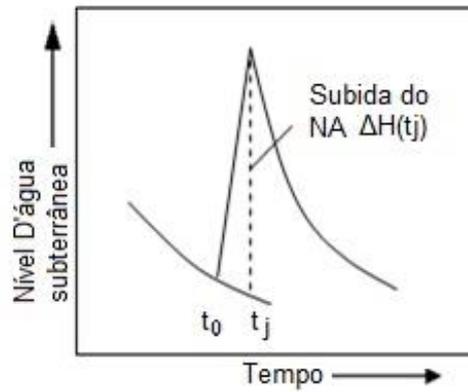


Figura 1: Determinação da subida do NA (modificado de:

<http://water.usgs.gov/ogw/gwrp/methods/wtf>. Acesso em 10 de junho de 2015).

Embora a teoria do método WTF seja simples, alguns pressupostos tem que ser levados em consideração para uma aplicação bem sucedida: (1) o poço de monitoramento reflete apenas a variação natural do NA causada por recargas e descargas (não há influência de exploração); (2) o  $S_y$  é conhecido e constante em todo o tempo de flutuação do NA; (3) a recessão do NA antes da recarga pode ser extrapolada para determinar o  $\Delta H(t_j)$ .

O  $S_y$  é definido como sendo a razão entre o volume de água liberado dos vazios da rocha (ou solo) pelas forças gravitacionais e o volume total da rocha (Meinzer, 1923). Os métodos para estimar o valor de  $S_y$  envolvem testes de aquífero, balanço hídrico e pesquisas geofísicas (Healy e Cook, 2002). A equação abaixo (Equação 2) é geralmente usada:

$$S_y = \phi - S_r \quad \text{Equação 2}$$

Onde  $\phi$  é a porosidade e  $S_r$  é a retenção específica (volume de água retido pela rocha por unidade de volume da rocha). A porosidade efetiva é tratada como um termo de armazenamento, independente do tempo, que, em teoria, contribui com a liberação instantânea de água para o armazenamento. Na realidade, a liberação de água não é instantânea. Em vez disso, a liberação pode tomar um tempo excepcionalmente longo, especialmente para sedimentos de granulação fina. Estes problemas sem dúvida têm contribuído para a ampla variação de valores que são reportados na literatura.

A subida do nível da água  $\Delta H(t_j)$  é estimada como a diferença entre o pico de um aumento do NA e o valor da curva de recessão antecedente extrapolada no momento do pico (Figura 1). A curva de recessão é o traço que o hidrograma teria seguido se não houvesse qualquer recarga. A extrapolação da curva de recessão nem sempre é simples. Pelo menos duas abordagens podem ser utilizadas para estimar o  $\Delta H(t_j)$ , a extrapolação gráfica e o cálculo a partir de uma curva principal de recessão (MRC – *Master Recession Curve*). As duas abordagens serão discutidas a seguir.

## 2.1 – Abordagem Gráfica

No método gráfico, a curva de recessão antecedente a uma subida no NA é extrapolada manualmente com base na análise de todo o conjunto de dados para determinar o valor de  $\Delta H$ . Quando o NA é visualizado com os dados pluviométricos correspondentes, as subidas que não são causadas pela chuva (e, portanto, não indicam recarga) podem ser identificadas claramente e eliminadas do cálculo de recarga. Exemplos de elevação do NA não causadas pela chuva são: surtos elétricos, mudanças na pressão barométrica, cessação de bombeamento, efeitos de maré, variações de temperatura, bolsões de ar e erros do equipamento de medição do NA (Heppner e Nimmo, 2005).

Uma desvantagem desta técnica é o fato dele ser subjetivo, ou seja, diferentes usuários produzirão curvas de recessão também diferentes.

## 2.2 – Abordagem da Curva Principal de Recessão

A aplicação do método WTF através da MRC é um procedimento automático ou semiautomático para calcular  $\Delta H$ . Nesta abordagem uma expressão é desenvolvida para prever o declive da hidrógrafa na ausência de recarga. Uma vez que a MRC é estabelecida, os desvios positivos do hidrograma da MRC são atribuídos à recarga.

Mesmo que vários passos sejam necessários, a abordagem do MRC é simples e fácil de aplicar. A técnica evita a subjetividade após a estimação dos parâmetros da MRC, mas ainda há a possibilidade de que o aumento do NA, não relativo à chuva, seja indevidamente incluído nos cálculos. Pelo menos três abordagens MRC diferentes foram desenvolvidas (Heppner e Nimmo, 2005; Crosbie *et al.*, 2005; Delin *et al.*, 2007). A técnica desenvolvida por Heppner & Nimmo (2005) será discutida com mais detalhes nos parágrafos subsequentes, por ser a mais simples e factível de ser aplicada utilizando os recursos disponíveis na elaboração deste trabalho.

Heppner & Nimmo (2005) desenvolveram o programa MRCR, que deve ser executado no MATLAB, um programa comercial utilizado em diversas áreas, voltado para resolução de problemas numéricos. Os dados iniciais necessários correspondem ao tempo e elevação do NA. A partir desses dados são calculados os tempos médios, as elevações médias do NA e a taxa de flutuação do NA ( $dNA/dt$ ) com cada par sucessivo de pontos da série de dados. Os pontos cuja taxa de flutuação do NA é negativa indicam períodos nos quais a superfície do NA está em declínio e são extraídos para constituir as bases da curva MRC.

A curva MRC é construída com base na relação entre a taxa de declínio da elevação do NA e a própria elevação do NA. A partir destes dados é elaborado um gráfico de dispersão que pode ser ajustado a uma curva. O MRCR permite quatro tipos de ajustes: (1) linear; (2) potencial; (3) classe

média; e (4) definido pelo usuário. A decisão sobre qual tipo de ajuste aplicar é baseada no exame dos dados e no conhecimento sobre a área de estudo. Se os dados forem esparsos, mas exibirem um padrão claro de comportamento, então uma função linear ou potencial pode ser a melhor escolha. O ajuste pela classe média consiste em separar os dados (taxa de declínio e NA) em classes (como para a elaboração de um histograma). Os dados de NA e taxa de declínio são então organizados nas suas respectivas classes de elevação. A média e a mediana dos dados presentes em cada classe são calculadas e o usuário tem a opção de utilizar uma ou outra para a construção da curva MRC. Para o cálculo da recarga, o programa MRCR interpola entre estes pontos médios objetivando calcular a taxa de declínio. Quando se usa o método da separação em classes, é desejável ter o maior número de classes possível levando em conta o cálculo significativo da média ou mediana dentro de cada classe.

### **3 - ÁREA DE ESTUDO**

O Sistema Aquífero Urucuia (SAU) representa atualmente uma nova fronteira de estudo, uma vez que o seu potencial hidrogeológico só foi totalmente reconhecido após a caracterização regional realizada por Gaspar (2006). O SAU é um aquífero livre, poroso e governado pela área de drenagem das bacias hidrográficas associadas. A recarga se processa diretamente em toda a área de exposição do aquífero e as descargas ocorrem pela rede de drenagem. Constitui-se, sobretudo, por arenitos muito finos a médios intercalados por camadas siltosas e lentes silicificadas.

O município de São Desidério engloba parte da bacia hidrográfica do Rio Grande, que por sua vez é um afluente da margem esquerda do Rio São Francisco. As sub-bacias associadas são as dos rios das Fêmeas, Fervedouro e Gado Bravo.

A estação pluviométrica 1245015 monitorada pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), cujos dados encontram-se disponíveis no endereço eletrônico <http://hidroweb.ana.gov.br>, está situada na porção centro-oeste do município (Figura 3), e apresenta 32 anos de série histórica (1984-2015). O tratamento dos dados pluviométricos revelou que os meses mais secos são de maio a setembro, e os meses mais chuvosos vão de outubro até abril do ano seguinte. A média pluviométrica anual é de 1174 mm, o máximo anual registrado foi de 1861 mm no ano hidrológico 1996/1997, e o mínimo foi 634 no ano 2004/2005 (Figura 2).

Em grande parte dos municípios do oeste baiano há o desenvolvimento de atividades agrícolas intensas desde os anos 80, com culturas, sobretudo, de soja, algodão, milho e café. Os solos da região são constantemente submetidos ao preparo agrícola que compreende uma série de práticas que são responsáveis pela compactação do solo e conseqüente diminuição da infiltração. Gaspar (2006) executou ensaios de infiltração na zona de recarga do SAU e observou uma redução nos valores de condutividade hidráulica, a partir de profundidades maiores que um metro (essa redução

foi atribuída ao manejo e aumento de argila no perfil do solo). Esse comportamento diferenciado em profundidade pode retardar ou desviar o fluxo vertical da água durante a recarga, induzindo um certo volume ao interfluxo, dependendo do padrão geomorfológico local.

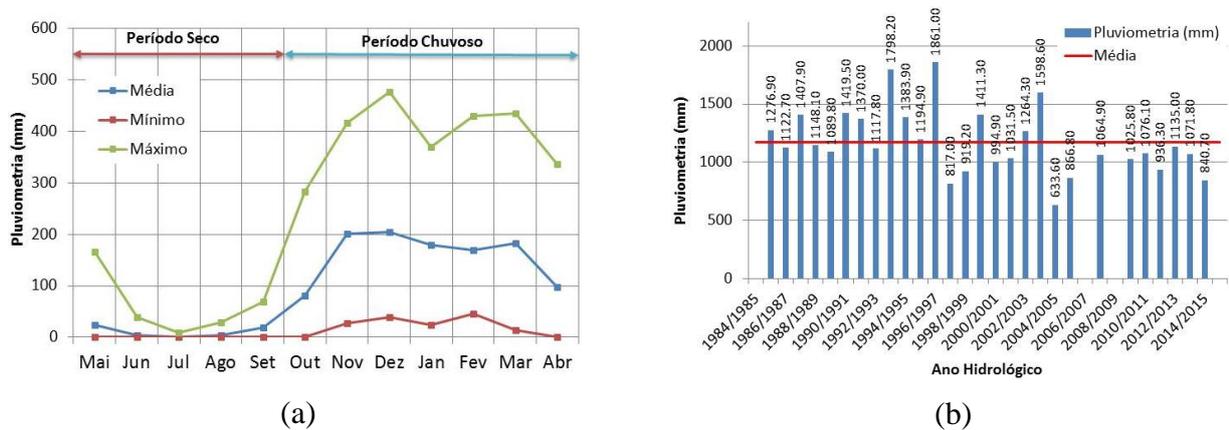


Figura 2: Estação 1245015 - (a) Pluviometria média, máxima e mínima mensal; (b) Pluviometria média anual.

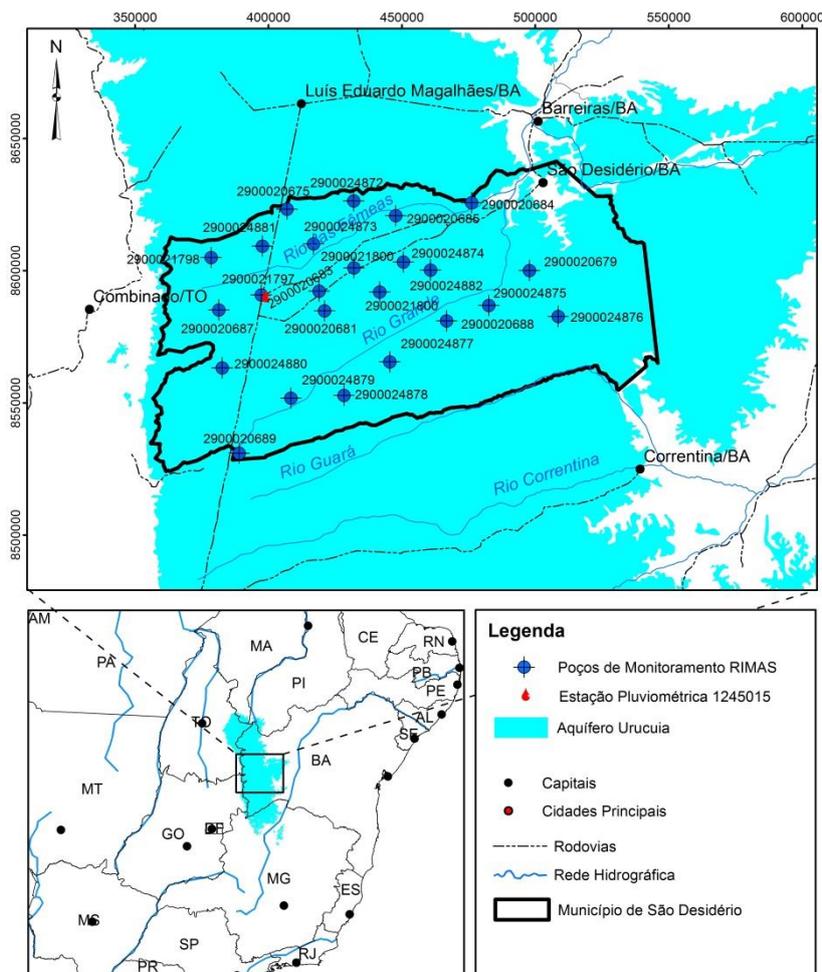


Figura 3: Localização da Área de Estudo.

Gaspar (2006) calculou a recarga em bacias hidrográficas (rios Formoso, Arrojado, Correntina e Guará) do SAU e chegou ao valor de recarga média de  $1,57 \cdot 10^9$  m<sup>3</sup> para o período de 1982 a 2002

na área analisada, o que corresponde a aproximadamente 24% da precipitação na área para o período. Pimentel *et al.* (2000, *apud* Gaspar, 2006) obteve percentuais semelhantes (20%) dos valores de recarga em relação à precipitação na bacia do Rio das Fêmeas no período de 1984 a 1995. Albuquerque (2009) estimou a recarga especificamente na Bacia do Rio das Fêmeas utilizando metodologias automáticas e manuais de separação do escoamento de base. O autor encontrou a recarga de 17% como a mais coerente para a região.

Quanto à porosidade efetiva, numa avaliação das reservas hídricas do Aquífero Urucuia na bacia do rio das Fêmeas, Nascimento (2003) aplicou a porosidade efetiva do arenito fino (10%), descrito na literatura, no seu estudo. Gaspar (2006) também efetuou o cálculo das reservas hídricas para o SAU utilizando valores médios de porosidade efetiva de 0,15 (15%). Dados da SRH-BA (2006, *apud* Gaspar, 2006) mostram que a porosidade efetiva do aquífero oscila entre 12,5% a 14,3%.

A rede de monitoramento das águas subterrâneas na região é composta por 24 poços de monitoramento (Figura 3) com profundidades que variam entre 51 e 131 metros. Todas as informações (localização – coordenadas, parâmetros construtivos, perfil geológico, ensaios de bombeamento e séries históricas horárias de NA) sobre os poços de monitoramento podem ser visualizadas no endereço eletrônico <http://rimasweb.cprm.gov.br>.

#### **4 - METODOLOGIA**

O cálculo da recarga pelo método WTF seguiu uma série de etapas, cujas principais estão listadas a seguir:

1. Pesquisa bibliográfica sobre o valor de  $S_y$  na área estudada e os fatores que poderiam influenciar no cálculo da recarga;
2. Tratamento e análise dos dados pluviométricos – definição dos anos hidrológicos;
3. Tratamento e análise das séries temporais de monitoramento do NA;
4. Seleção dos poços que apresentaram séries históricas adequadas para a aplicação do método WTF;
5. Agrupamento das séries de monitoramento do NA por anos hidrológicos para o cálculo da recarga anual;
6. Aplicação da abordagem gráfica para o poço 2900020681
7. Aplicação da abordagem MRC em todos os poços selecionados na etapa 4.
8. Avaliação e discussão dos resultados.

Como o período chuvoso na região começa em outubro e a recarga é resultado da chuva, decidiu-se que o ano hidrológico se iniciaria em outubro e seguiria até setembro do ano seguinte.

Assim os dados de monitoramento foram agrupados nos anos hidrológicos: out/2011-set/2012; out/2012-set/2013, out/2013-set/2014, out/2014-set/2015.

Foram selecionados os poços que apresentaram séries históricas adequadas para a aplicação do método WTF. Embora muitos gráficos mostrem a tendência de rebaixamento do NA, quando observado apenas o ano hidrológico considerou-se que essa tendência não era significativa.

Com relação ao  $S_y$ , a pesquisa bibliográfica indicou que este parâmetro pode variar entre 0,1 e 0,15 na área de estudo, assim optou-se por calcular a recarga utilizando três valores, 0,1, 0,125 e 0,15, e discutir os valores obtidos como um intervalo de valores de recarga.

A abordagem gráfica foi aplicada para o poço 2900020681, que tem série histórica simples com apenas um pico de recarga, no período de 1 ano hidrológico (2011-2012) visando exemplificar este método e comparar com o resultado obtido na abordagem MRC. Os passos para o cálculo do valor da recarga utilizando a abordagem gráfica foram: (1) Elaborar o gráfico da elevação do NA *versus* tempo; (2) Identificar os picos do NA associados a uma recarga; (3) Desenhar a curva de recessão, ou seja, interpretar como a curva original se comportaria se não houvesse recarga; (4) Subtrair o valor da elevação do NA no pico, do valor na curva de recessão, o que corresponde ao  $\Delta H$ ; e (5) Aplicar a Equação 1 e determinar a recarga. A Figura 4 ilustra a aplicação da abordagem gráfica para o cálculo da recarga.

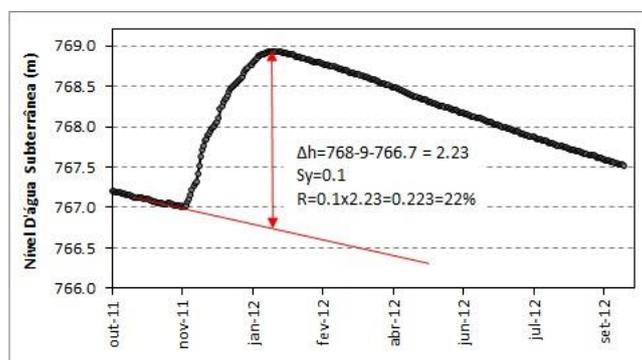


Figura 4: Cálculo da recarga pela abordagem gráfica no poço 2900020681.

O cálculo da recarga utilizando a abordagem MRC foi executado para todos os poços selecionados na Etapa 4, através dos passos: (1) Elaborar o arquivo de entrada (Tempo x NA) e inserir no programa MRCR; (2) Definir o tipo de ajuste da MRC (Linear, Potencial, Classes ou definido pelo usuário); (3) Calcular e Recarga; (4) Analisar e interpretar o resultado. Para todos os poços, foi escolhido o ajuste da MRC pela separação em classes. Os dados não exibiram aproximação com uma reta ou curva potencial, além disso, comparando os resultados do cálculo pelas duas abordagens, gráfica e MRC, o valor resultante da MRC quando usado o ajuste da separação em classes era muito mais próximo do valor resultante da MRC construída pelo ajuste linear.

## 5 - RESULTADOS

Dos 24 poços que monitoram a área de estudo, 13 apresentam tendência de rebaixamento do NA (2900020675, 2900020679, 2900020682, 2900020684, 2900020685, 2900020689, 2900021797, 2900021798, 2900024872, 2900024873, 2900024877, 2900024879, 2900024881), 4 estavam estáveis (2900020681, 2900021800, 2900024874, 2900024876), 5 tem séries muito curtas, irregulares, ou com erros (2900020683, 2900020687, 2900024875, 2900024878, 2900024880), 1 exibe tendência de recuperação do NA (2900024882), e 1 não tinha dados disponíveis (2900020688), como mostram os gráficos da Figura 5.

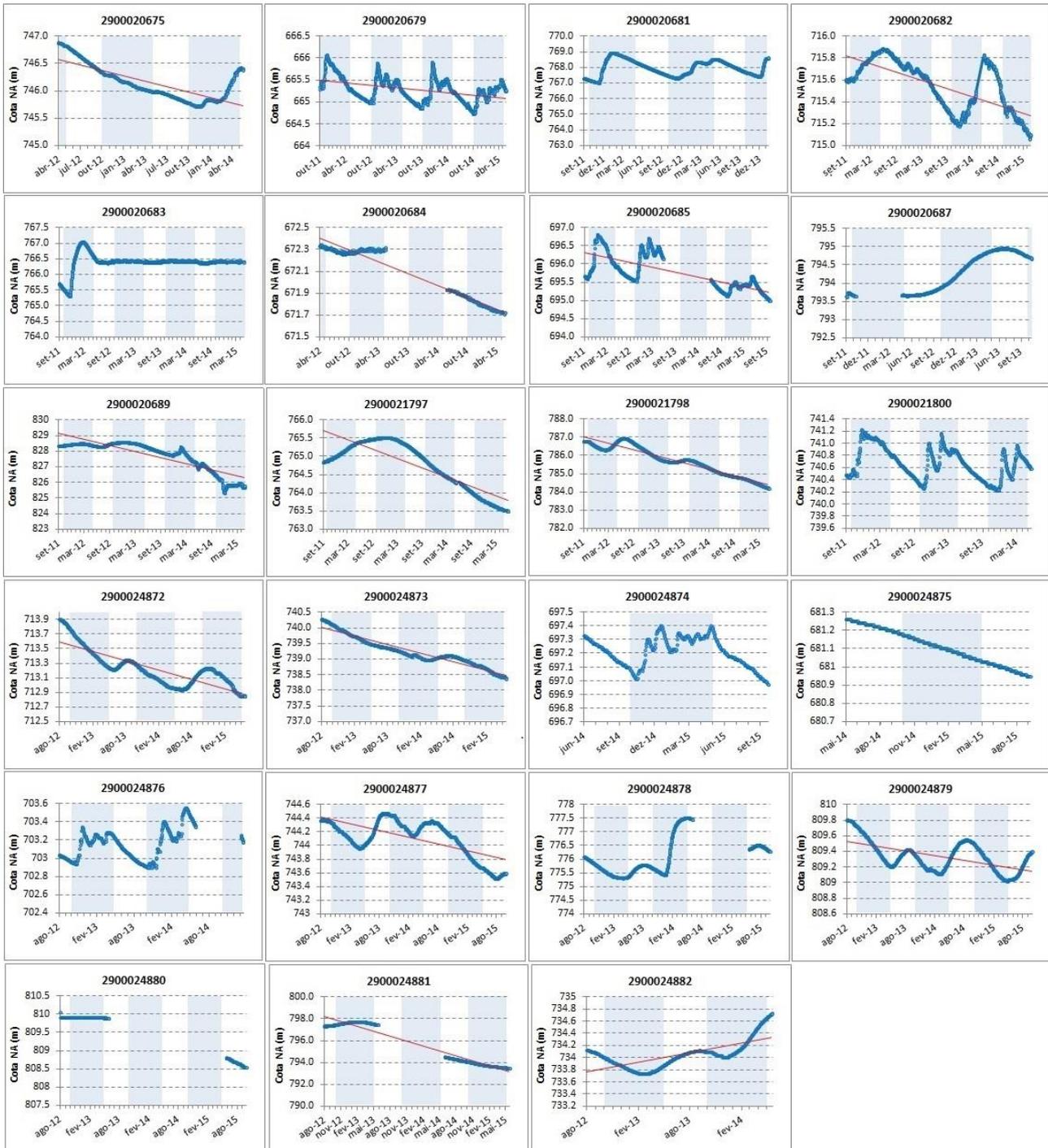


Figura 2: Séries históricas de monitoramento do nível d'água subterrânea.

Diante das séries históricas exibidas nos gráficos da Figura 5, 11 poços foram considerados como adequados para a aplicação do método WTF. Os resultados obtidos estão agrupados na Tabela 1. Considerando o  $S_y$  igual a 0,1, a recarga média anual dos 11 poços variou entre 14% no ano 2014/2015 e 17% no ano 2011/2012. Já se o  $S_y$  for igual a 0,125, a recarga média anual varia entre 19% no ano 2014/2015 e 22% no ano 2011/2012. Por fim, fixando o  $S_y$  igual a 0,15, obtêm-se valores de recargas médias anuais da ordem de 22% no ano 2014/2015 a 26% no ano 2011/2012.

Tabela 1: Recargas calculadas.

Poços	out-2011/set-2012			out-2012/set-2013			out-2013/set-2014			out-2014/set-2015		
	$S_y=0,1$	$S_y=0,125$	$S_y=0,15$									
2900020679	16%	20%	24%	28%	36%	43%	26%	33%	39%	-	-	-
2900020681	22%	27%	33%	25%	31%	38%	-	-	-	-	-	-
2900020682	15%	18%	22%	-	-	-	11%	14%	17%	-	-	-
2900020685	22%	27%	32%	-	-	-	-	-	-	19%	25%	30%
2900021798	13%	16%	20%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2900021800	17%	22%	26%	21%	27%	32%	-	-	-	-	-	-
2900024874	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18%	23%	28%
2900024876	-	-	-	11%	14%	17%	-	-	-	-	-	-
2900024877	-	-	-	14%	18%	22%	-	-	-	-	-	-
2900024879	-	-	-	5%	6%	8%	10%	13%	16%	6%	8%	10%
2900024882	-	-	-	7%	9%	11%	-	-	-	-	-	-
Mínimo	13%	16%	20%	5%	6%	8%	10%	13%	16%	6%	8%	10%
Máximo	22%	27%	33%	28%	36%	43%	26%	33%	39%	19%	25%	30%
Média	17%	22%	26%	16%	20%	24%	16%	20%	24%	14%	19%	22%

## 6 - CONCLUSÕES

O método da flutuação do nível d'água (WTF) para o cálculo da recarga do Aquífero Urucuia, no município de São Desidério, gerou resultados bastante coerentes com aqueles descritos na bibliografia da região. As vantagens percebidas na aplicação da abordagem MRC pelo programa MRCR foram a redução da subjetividade (quando comparado com a abordagem gráfica) e a facilidade de uso. A desvantagem notada foi a dependência da porosidade efetiva. O valor da porosidade efetiva tem grande influência no cálculo da recarga, e é difícil de determinar. Como este parâmetro pode ser variável no tempo e no espaço, neste trabalho foram usados três valores de  $S_y$  (0,1, 0,125 e 0,15) indicados na literatura, para gerar um intervalo de recargas possíveis.

Nos anos hidrológicos de 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015 os intervalos de recarga média anual obtidos foram, respectivamente, 17% a 26%, 16% a 24%, 16% a 24% e 14% a 22%. Verifica-se a tendência de diminuição da recarga ao longo dos anos. Essa situação pode estar associada tanto à precipitação pluviométrica abaixo da média histórica verificada desde 2004, quanto a compactação dos solos na região pela atividade agrícola.

Verificou-se tendência de rebaixamento do nível d'água subterrânea em 13 dos 24 poços de monitoramento analisados, esta tendência é preocupante já que pode indicar uma diminuição da disponibilidade hídrica subterrânea. Sugere-se a avaliação conjunta com as vazões dos rios e cursos d'água com o objetivo de esclarecer se está havendo impacto no escoamento de base.

Frente aos resultados obtidos é importante dar continuidade do monitoramento para avaliação do comportamento do NA em longo prazo como subsídio para a tomada de decisões quanto ao uso e conservação dos recursos hídricos.

## **7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

CROSBIE, R. S.; BINNING, P.; KALMA, J. D. A time series approach to inferring groundwater recharge using the water table fluctuation method. *Water Resources Research*, v. 41, n. 1, p. 1–9, 2005.

DELIN, G. *et al.* Comparison of local- to regional-scale estimates of ground-water recharge in Minnesota, USA. *Journal of Hydrology*, v. 334, n. 1-2, p. 231–249, 2007.

FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A. *Groundwater*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 604 p, 1979.

GASPAR, M.T. P. *Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização Regional e Propostas de Gestão*. 2006. 204 f. Universidade de Brasília, 2006.

HEALY, R. W.; COOK, P. G. Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal*, v. 10, p. 91–109, 2002.

HEPPNER, C. S.; NIMMO, J. R. A Computer Program for Predicting Recharge with a Master Recession Curve. p. 8, 2005.

MEINZER, O. E. The occurrence of groundwater in the United States, with a discussion of principles. U.S. Geological Survey Water -Supply Paper, p. 489, 1923.

NASCIMENTO, K. R. F. *Resumo Executivo - Uso Conjunto das Águas Superficiais e Subterrâneas da Sub-bacia do Rio das Fêmeas - BA. . Salvador: Superintendência de Recursos Hídricos - Bahia (SRH-BA). , 2003*

SOPHOCLEOUS, M. A. Combining the soilwater balance and water-level fluctuation methods to estimate natural groundwater recharge: practical aspects. *Journal of Hydrology*, v. 124, p. 229–241, 1991.

SRH-BA SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS DA BAHIA. 2006. *Estatísticas da concessão de outorga de Água*. Disponível em: <http://www.srh.ba.gov.br>. Acesso em: junho de 2006.