

Water table fluctuation monitoring of Gramame watershed unconfined aquifer in the Brazilian Northeast

Victor Hugo Rabelo Coelho; Cristiano das Neves Almeida; Uíara Talitta Martins Araújo; Diego Ferreira Targino; Franklin Mendonça Linhares; Davi de Carvalho Diniz Melo

Federal University of Paraíba – Center of Technology – Water Resources and Environmental Engineering Laboratory
Author e-mail address: victor-coelho@hotmail.com

Abstract – Water scarcity in some regions of the World is a main cause for an increasing of groundwater exploitation. In some regions this type of water resources represents the main source of supply. Groundwater management and planning are necessary to assure water for different uses. This paper presents the results of water table fluctuation monitoring which was carried out with support of 27 shallow wells. Gramame watershed located in the Northwestern coastal region from Brazil was the study area. The research was carried out for a hydrological year, from November 2009 to October 2010. A Geographic Information System was used to support spatial distribution analyses. Three different situations were found in terms of water table fluctuation, depending of the shallow well deep. Results show that for some shallow wells the level just decreased during a year. This set of wells is located in a region where the rainfall was lower than the yearly average rainfall.

Key words: groundwater, quantitative monitoring, shallow wells.

INTRODUÇÃO

A carência de água superficial em algumas localidades do planeta provocou o crescimento da exploração da água subterrânea, que atualmente representa uma das principais fontes de abastecimento, principalmente nas várias regiões áridas e semi-áridas do mundo (Tilahun and Merkel, 2009). A exploração excessiva dos mananciais subterrâneos, em desequilíbrio com o processo de recarga natural, pode provocar o rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero, podendo provocar o esgotamento desta fonte de água potável. Em decorrência disto, muitos problemas ambientais, sociais e de engenharia podem acontecer (Zhang, 2003).

Para que a retirada de água dos aquíferos não exceda sua capacidade de recarga, é necessário o conhecimento das propriedades físicas do aquífero e dos vários fatores que provocam as diferentes flutuações do seu nível estático. O entendimento da variabilidade espacial da recarga é de grande importância para um adequado gerenciamento e preservação dos recursos hídricos subterrâneos (Moon et al., 2004). Muitos trabalhos, desenvolvidos em âmbito nacional e internacional, vêm sendo realizados na tentativa de compreender as mudanças do nível estático e encontrar um método confiável para encontrar a recarga líquida. Moon et al. (2004) realizaram uma análise estatística das flutuações do nível estático para estimar a recarga em um aquífero da Coreia do Sul. No Brasil, trabalhos semelhantes seguem a mesma linha de estudo, como os desenvolvidos por Wendland (2007) e Coelho (2011) para os aquíferos Guarani e Barreiras, respectivamente.

O objetivo deste estudo foi classificar as diferentes hidrógrafas de água subterrânea, obtidos através do monitoramento da variação do nível d'água de 27 poços rasos distribuídos na bacia hidrográfica do rio Gramame, e correlacionar às diferentes situações de variação encontradas com a profundidade da camada não saturada do solo e as precipitações na região. Este estudo faz parte de uma investigação inicial do monitoramento quantitativo da bacia, iniciada no âmbito do projeto BEER (Bacias Experimentais e Representativas do Semi-Árido). O estudo também é fruto de uma dissertação de mestrado realizada no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Gramame está localizada na região litorânea do Nordeste brasileiro, mais especificamente entre as coordenadas de 7°11' e 7°24' de latitude sul e 34°48' e 35°10' de longitude oeste, como mostra a Figura 1. Sua área de drenagem é de aproximadamente 590 km², banhando sete municípios do Estado da Paraíba, incluindo a sua capital João Pessoa. É considerada de grande importância para a região metropolitana de João Pessoa, devido à sua contribuição para o abastecimento d'água de cerca de

um quarto da população do Estado da Paraíba, através do açude Gramame-Mamuaba, com capacidade de armazenamento na ordem de 56 milhões de m³ (PDRH, 2000).

Nesta região, encontram-se inseridas quatro unidades litoestratigráficas, depositadas em períodos geológicos distintos (Barbosa, 2007), formando a Bacia Sedimentar Paraíba. A unidade da camada superior, que recobre as outras rochas sedimentares da bacia e o embasamento cristalino é a Formação Barreiras, formada por sedimentos areno-argilosos (Furrier et al., 2006), podendo atingir até 80 m de espessura. Aluviões e coberturas arenosas mais específicas também se fazem presente na Bacia hidrográfica. A classificação climática para a região, de acordo com Köeppen, indica para um clima tropical chuvoso do tipo As', quente e úmido, sem períodos frios e com chuva predominante de outono-inverno. A proximidade da região com a linha do Equador determina as altas temperaturas durante o ano inteiro, com média superior aos 26°C, enquanto que a precipitação média anual varia entre 1400-1800 mm (Paraíba, 1985).

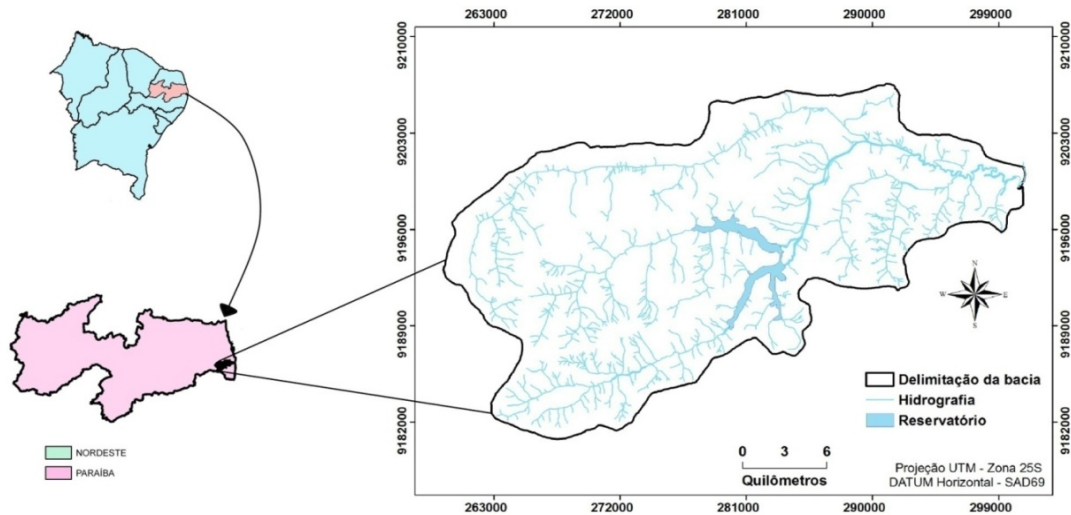


Figura 1 - Localização da bacia do rio Gramame.

Monitoramento do nível estático

O monitoramento do nível estático (NE) do aquífero livre da BRG foi realizado através de 27 poços do tipo amazonas existentes na região (Figura 2). A maioria dos poços cadastrados encontra-se na zona rural, e foram identificados com uma numeração de 1 a 27, antecedida da letra P. Possuem profundidade variando entre 3,5 e 36 m, sendo que a profundidade média destes poços é de 11,5 metros. Os dados das variações foram adquiridos manualmente, através de um medidor de nível da marca Brasbailer, com dispositivo de contato elétrico. Estes dados são correspondentes ao período de um ano hidrológico (novembro de 2009 até outubro de 2010).

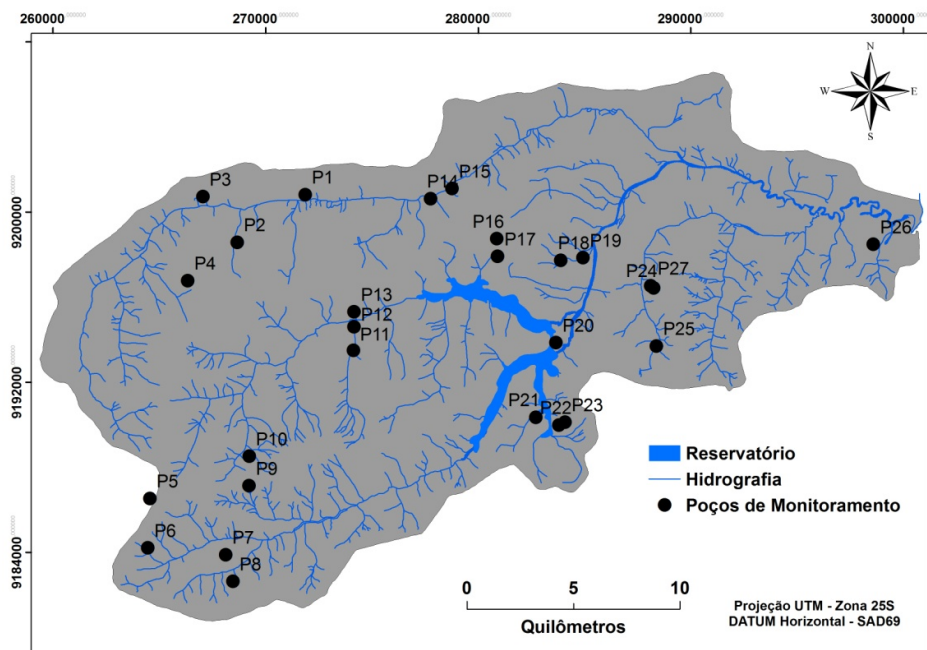


Figura 2 - Distribuição espacial dos poços de monitoramento.

A freqüência na coleta dos dados foi baseada nos estudos realizados por Zhou (1996), que estabeleceu uma periodicidade mensal na coleta dos dados como sendo suficiente para determinar estudos de níveis de água, e Wendland et al. (2007) que realizaram medições quinzenais. Neste estudo os dados mensais foram medidos quando as precipitações foram menores na região, e os dados quinzenais coletados nos meses de maio, junho e julho, quando as precipitações são mais freqüentes e intensas.

Todos os poços monitorados são utilizados para o consumo humano e algumas atividades domésticas, com pequena retirada de água. Alguns deles não estão sendo utilizados, como é o caso dos poços 6, 8, 10 e 11. Antes das visitas para fazer as medições dos níveis os proprietários dos poços com bombeamento eram comunicados, para que a retirada de água pudesse ser paralisada.

Dados de precipitação

Os dados de precipitação foram adquiridos através de nove estações pluviométricas inseridas na bacia e seu entorno, e são referentes ao período de monitoramento do nível estático do aquífero. Os dados do ano hidrológico anterior ao da pesquisa também foram utilizados para efeito de comparação. As falhas existentes foram corrigidas e homogeneizadas através do método do vetor regional. A precipitação média da bacia e a área de influência de cada posto pluviométrico foram determinadas através do método dos polígonos de Thiessen, que estabelece que a chuva registrada em qualquer ponto da bacia é igual aquela registrada no pluviômetro mais próximo. A Figura 3 mostra a distribuição espacial das nove estações pluviométricas.

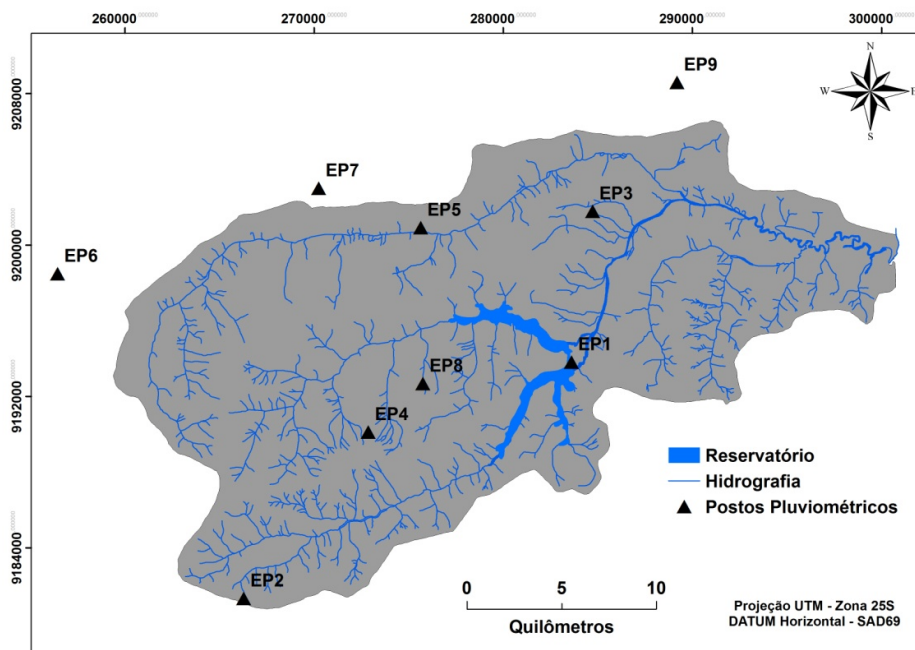


Figura 3 - Distribuição dos postos pluviométricos.

Análises do monitoramento dos níveis d'água

Com os dados das variações dos níveis d'água e de precipitação, foram gerados hidrogramas da água subterrânea, analisados de acordo com os fatores que geralmente influenciam nas oscilações dos níveis freáticos. Apesar de esta correlação estar associada a diversos fatores (precipitação, variáveis hidrológicas, topografia, espessura da camada não saturada, e composição dos materiais da zona saturada e não saturada da formação) (Moon et al., 2004), apenas a distribuição espacial da precipitação e a espessura da camada não saturada do solo foram utilizadas neste trabalho para identificar as diferentes classes das hidrógrafas das águas subterrâneas existentes na região.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Precipitação

Os dados mensais de precipitação, obtidos através das nove estações pluviométricas durante o período do monitoramento, foram comparados com os dados do ano hidrológico anterior a pesquisa, e representam cerca de 42 % a menos da precipitação, como mostra a Figura 4. Na comparação mensal entre os dois períodos, os meses de fevereiro, março, maio e julho ficaram bem abaixo da precipitação ocorrida no ano anterior à pesquisa, estes bem próximos da média para a região. A Figura 5 apresenta a área de influência de cada estação pluviométrica e seus respectivos valores de chuva. Nela, observa-se que os maiores índices pluviométricos anuais estão concentrados na região norte e leste da bacia, mais especificamente nas estações EP9 e EP3, com 1286 e 1195 mm, respectivamente. Já os menores índices anuais foram registrados nas estações EP6 e EP7, com 584 e 763 mm, respectivamente, localizadas na porção nordeste da bacia. Quase todas as estações exercem influência em pelo menos um dos poços monitorados, com exceção da EP6, que não possui nenhum poço em sua área de influência.

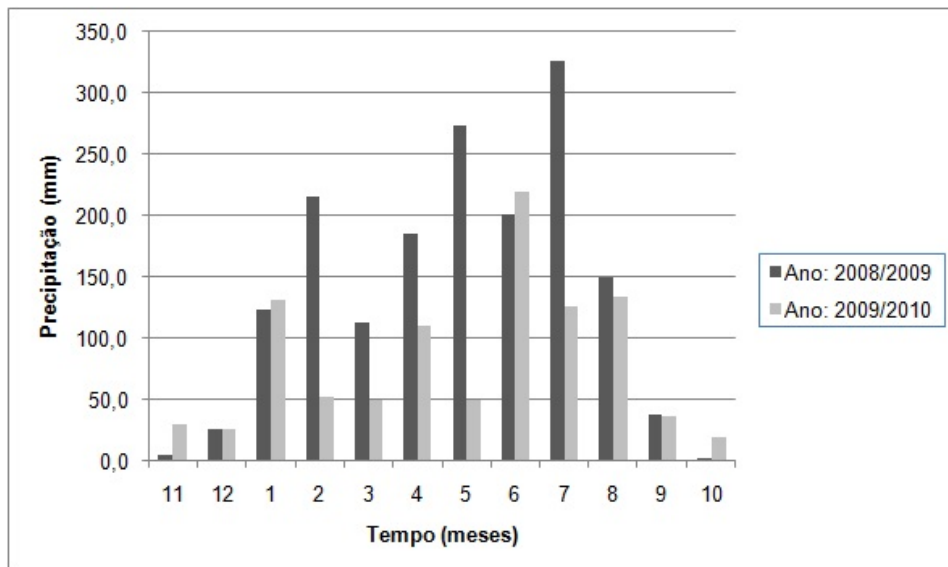


Figura 4 - Comparação mensal da precipitação entre os anos hidrológicos de 2008/2009 e 2009/2010.

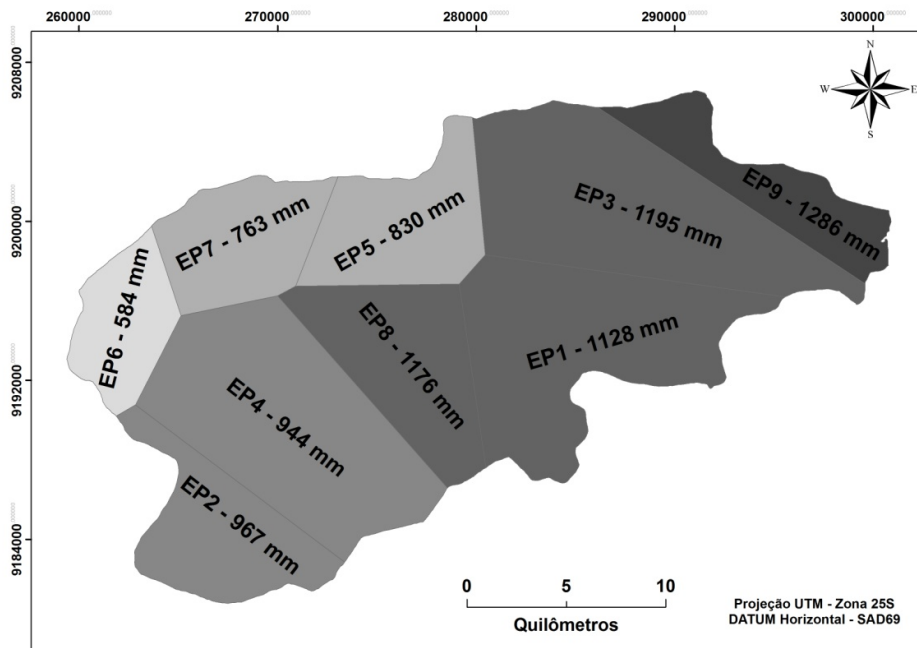


Figura 5 - Polígonos de Thiessen e precipitação por estação no período do monitoramento.

Variação temporal do nível estático

Dos 27 poços monitorados, três foram descartados devido à influência do bombeamento momentos antes e durante a coleta dos dados. Esta influência pode ser representada na Figura 6 para dois meses de coleta. Os dados aproveitados deveriam ter o bombeamento paralisado pelo menos 12 horas antes das coletas, como proposto por Feitosa & Feitosa (2008). O poço 2 também foi descartado deste estudo, pois apresentou comportamento fora dos padrões durante algumas campanhas, onde o nível do aquífero chegou a subir quase 3 metros no intervalo de trinta dias, como mostra a Figura 7. Neste poço não há bombeamento, e os moradores locais pouco utilizam sua água, pois fazem referência ao alto teor de sais presente nele.

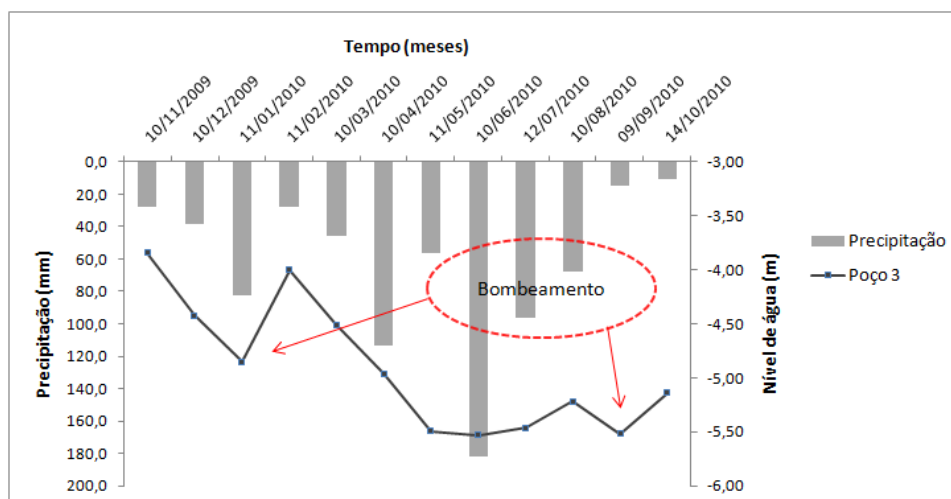


Figura 6 - Variação do nível estático do poço 3 com influência de bombeamento.

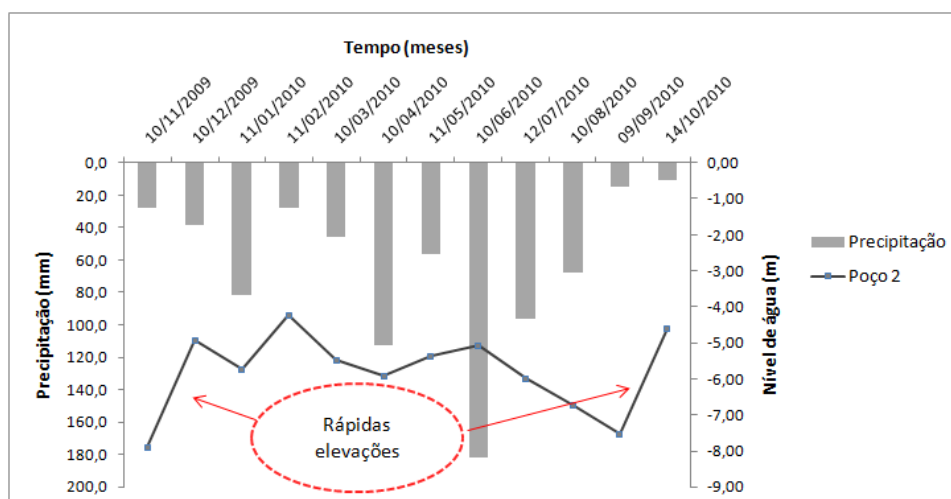


Figura 7 - Variação do nível estático do poço 2 com rápidas elevações.

Com exceção dos quatro poços citados anteriormente, todos os outros foram utilizados para a análise da variação do nível estático do aquífero, totalizando assim 23. Para estes 23 poços foram constatados três diferentes tipos de variação dos níveis, são eles:

Tipo 1

As variações do tipo 1 são aquelas que se apresentaram constantes durante o período de estudo, em resposta aos maiores eventos de precipitação. Apesar de estarem sob influência de diferentes postos pluviométricos, apresentaram elevações do nível estático, provocadas pelas precipitações dos meses de janeiro, abril, junho, julho e agosto. Este tipo de variação foi a que apresentou o maior número de poços, doze no total. A Figura 8 apresenta a hidrógrafa da água subterrânea do poço 12, classificado como sendo do tipo 1.

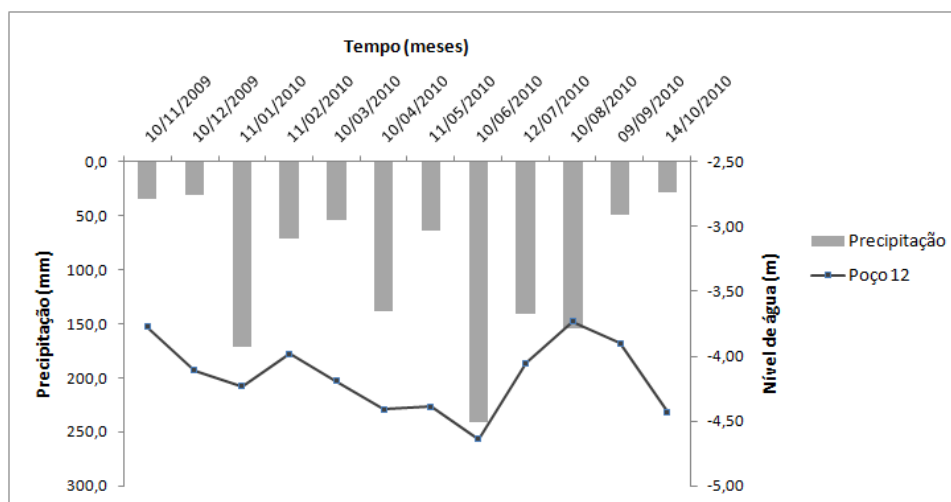


Figura 8 - Variação do nível estático do poço 12, exemplo do tipo 1.

Tipo 2

O tipo 2 é representado por aqueles poços que apresentaram respostas lentas às precipitações. Em geral, apenas os eventos de chuva dos meses de junho, julho e agosto atingiram a zona saturada do solo, provocando pequenas elevações dos níveis. Um exemplo deste tipo de variação é apresentado na Figura 9.

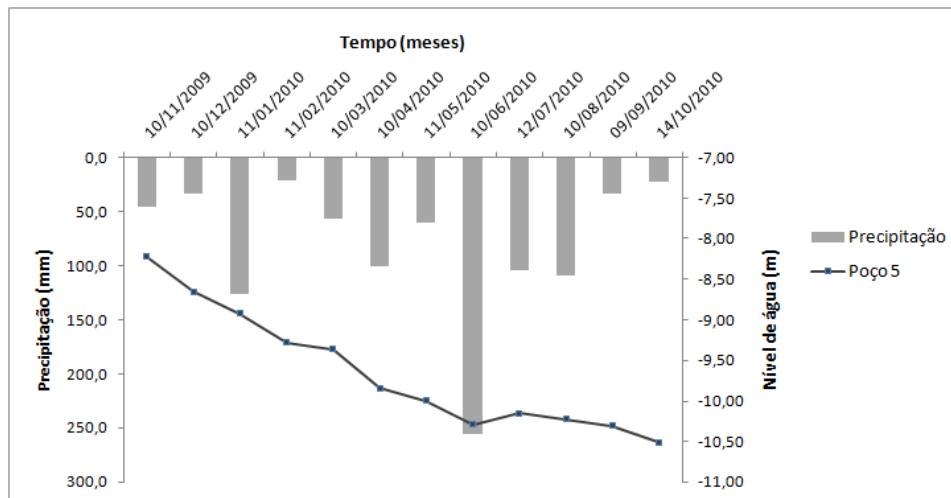


Figura 9 - Variação do nível estático do poço 5, exemplo do tipo 2.

Tipo 3

As variações do tipo 3 são aquelas que não apresentaram respostas aos eventos de precipitação, ou seja, sem nenhuma ascensão do nível em relação à medição anterior. Apenas três poços apresentaram esta tendência. A Figura 10 mostra o exemplo do poço 23, que apresentou este tipo de variação.

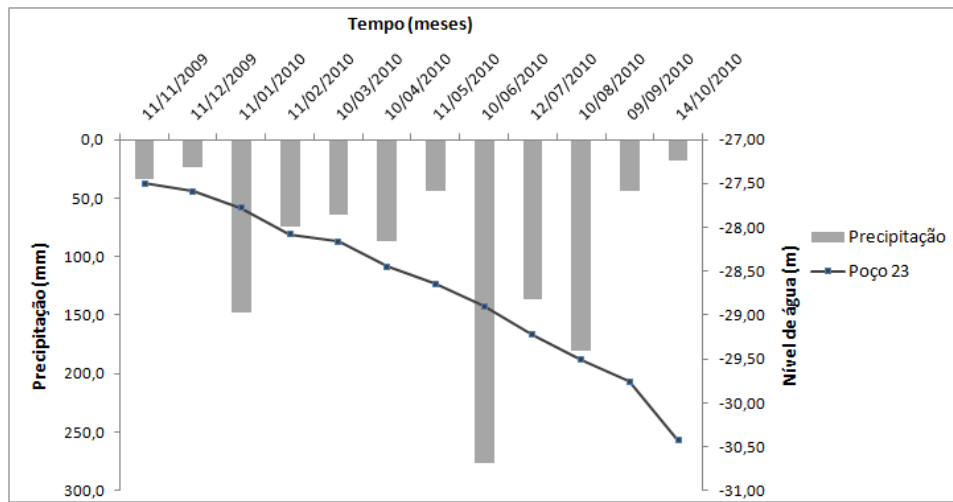


Figura 10 – Variação do nível estático do poço 23, exemplo do tipo 3.

Precipitação x variação dos níveis

A precipitação na bacia para o ano hidrológico foi abaixo da média, o que possivelmente impossibilitou que a frente de molhamento atingisse as camadas mais profundas do solo e recarregasse alguns poços, como aconteceu com o P4, P7 e P23. A fim de analisar a influência da precipitação nos níveis dos poços, as informações das condições de variação foram cruzadas com a distribuição espacial da chuva durante o período hidrológico estudado, através da utilização de GIS (*Geographic Information System*).

A Figura 11 mostra as isoietas na bacia, obtidas através do método do inverso da distância ao quadrado, a partir das informações dos postos pluviométricos utilizados. Com as informações das condições de variação sobrepostas, pode-se notar uma maior concentração de poços que apresentaram rápidas respostas às precipitações na região onde a chuva foi maior. Na região de maior concentração das precipitações está inserido apenas o poço 23, o mais profundo dentre os monitorados e que apresentou variação do tipo 3. Nas regiões mais claras do mapa, onde as chuvas foram menores, apenas quatro poços apresentaram respostas rápidas.

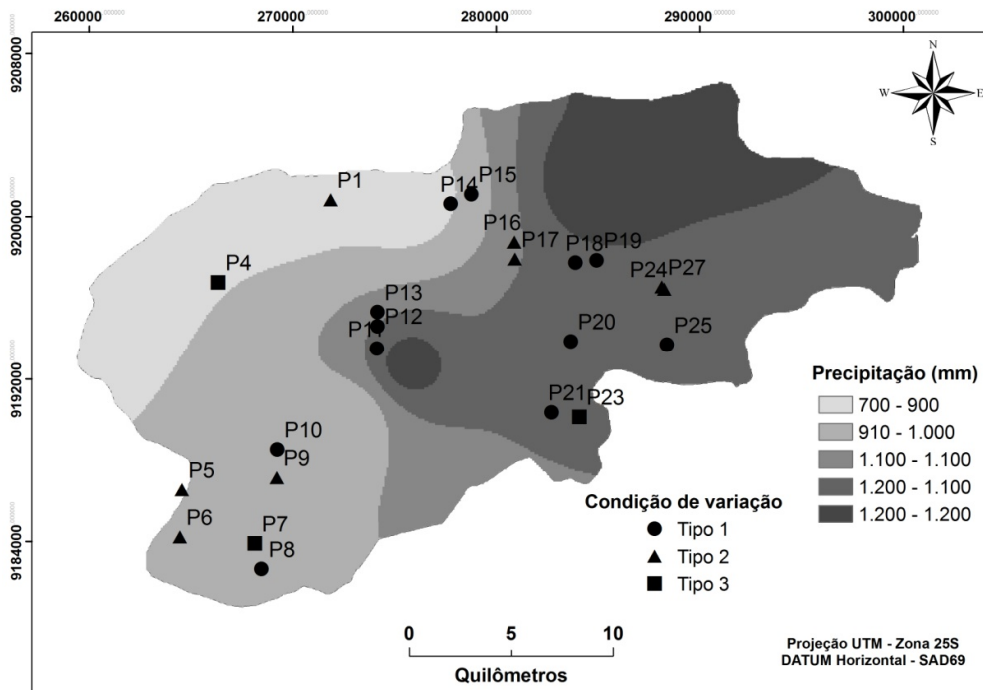


Figura 11 - Isoietas da precipitação na bacia e poços por tipo de variação.

Espessura da zona vadosa média x variação dos níveis

A espessura da zona vadosa também influenciou no comportamento da flutuação do nível estático do aquífero. Comparando os níveis agrupados dos três conjuntos de poços, nota-se que a mudança de comportamento acontece de acordo com a espessura da camada não-saturada do solo. As Figura 12, Figura 13 e Figura 14 mostram as variações dos níveis de alguns poços, agrupados de acordo com o tipo de variação. Nota-se, através das figuras citadas anteriormente, que as flutuações dos níveis estáticos seguem o mesmo tipo de flutuação de acordo com a profundidade dos poços.

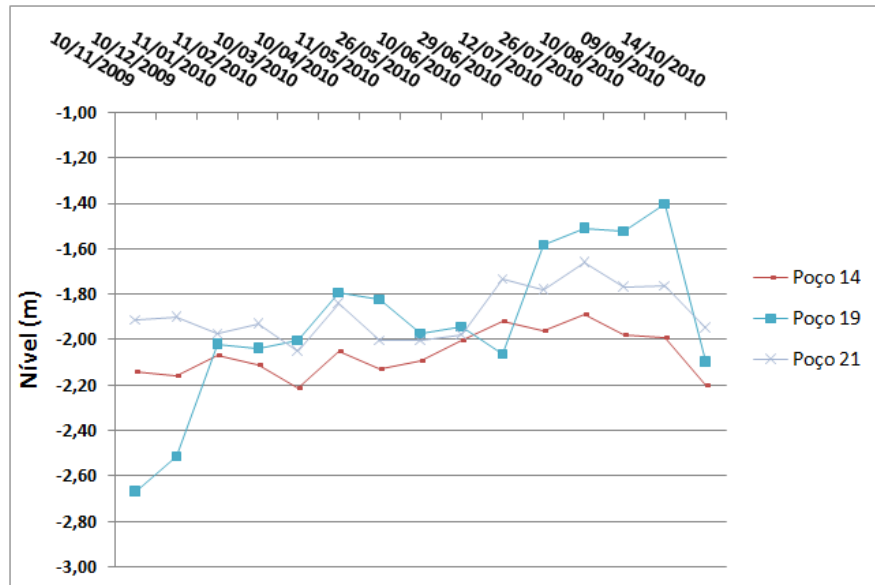


Figura 12 - Grupo de poços com variação do tipo 1.

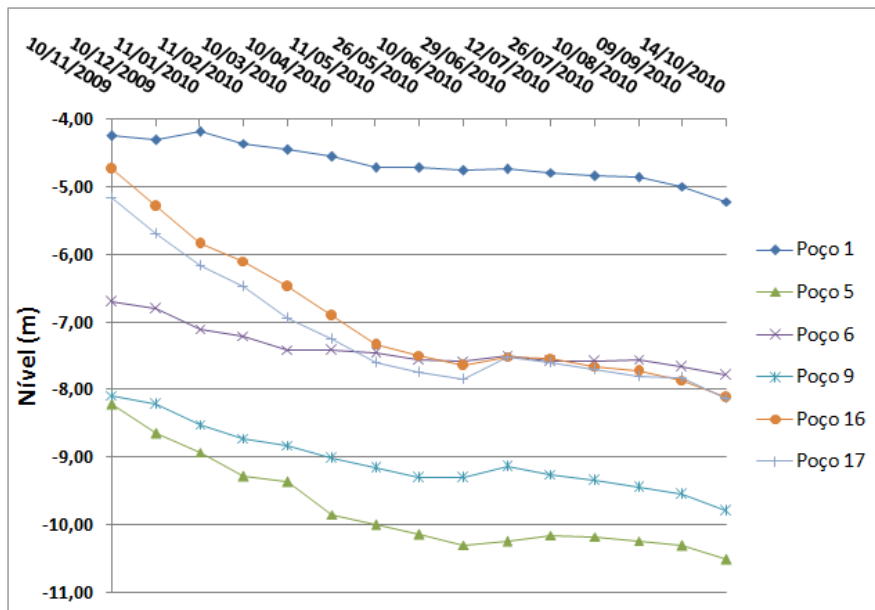


Figura 13 - Grupo de poços com variação do tipo 2.

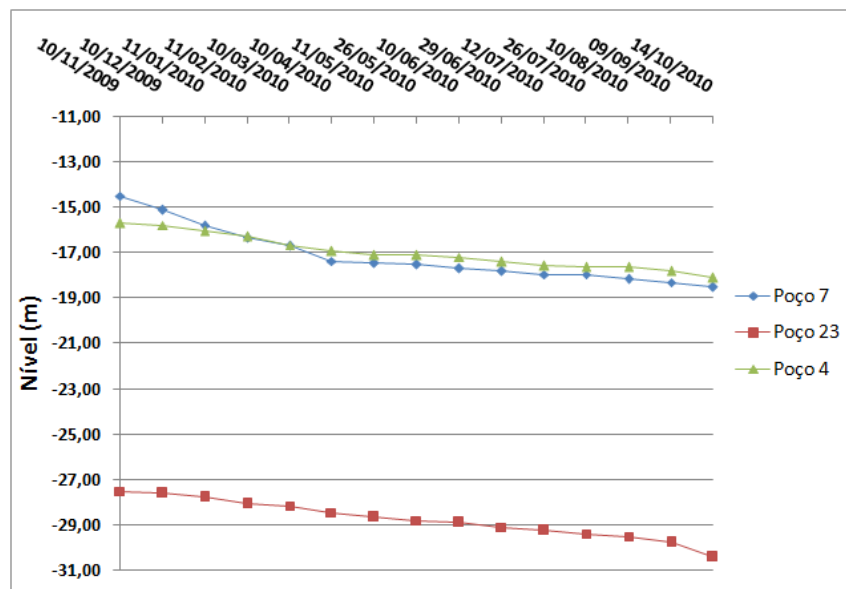


Figura 14 – Grupo de poços com variação do tipo 3.

Nas variações do tipo 1 a menor espessura da camada não-saturada foi a do poço 21, com média de 1,88 metros, como mostra a Tabela 1. Em geral, a maioria dos poços incluídos nesta categoria não possuía espessura da camada não-saturada média do solo superior a 8 metros, com exceção do poço 18, com aproximadamente 8,62 metros. No grupo de poços do tipo 2, que apresentaram elevações dos níveis apenas em resposta as chuvas de inverno, a zona vadosa média da maioria dos poços foi superior a 6,95 metros. Apenas o P1 obteve uma camada não-saturada média inferior a este valor. Analisando as situações extremas, o poço 27 apresentou uma camada média de 14,32 metros. O conjunto de poços que apresentou apenas rebaixamento possui camada não saturada média superior a 16 metros, com o poço 23 atingindo valores próximos dos 30 metros.

Tabela 1 - Espessura média da zona vadosa e tipo de variação do nível d'água por poço.

Poço	Espessura média da zona vadosa (m)	Tipo de variação do nível	Poço	Espessura média da zona vadosa (m)	Tipo de variação do nível
P1	4,65	2	P15	5,63	1
P4	16,99	3	P16	6,95	2
P5	9,75	2	P17	7,16	2
P6	7,39	2	P18	8,62	1
P7	17,14	3	P19	1,93	1
P8	4,96	1	P20	5,70	1
P9	9,04	2	P21	1,88	1
P10	6,86	1	P23	28,75	3
P11	5,23	1	P24	12,86	2
P12	4,16	1	P25	7,64	1
P13	4,27	1	P27	14,32	2
P14	2,06	1	-	-	-

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os dados apresentados neste trabalho mostram uma forte correlação entre as variações dos níveis de água dos poços com a espessura da camada não-saturada do solo e a distribuição da precipitação na região. Em geral, os poços que apresentaram variações do tipo 1 obtiveram boas respostas às precipitações e conseguiram recuperar o nível para patamares semelhantes ao do início do monitoramento durante o ano hidrológico. Os grupos de poços do tipo 2 e 3 apresentaram pouca ou nenhuma ascensão dos níveis, respectivamente, o que pode ocasionar a secagem de alguns poços durante o período de estiagem do próximo ano hidrológico, já que o período chuvoso na região durante o monitoramento foi

abaixo da média. Isso acontece por que a água precipitada que chega a zona saturada necessita de umidade para permitir a formação de água gravitacional e vencer as tensões superficiais entre a água e os grãos, atingindo assim níveis mais profundos pela força da gravidade. Como no período de estiagem a umidade na zona não-saturada do solo é menor, as camadas mais espessas necessitam de uma maior quantidade de água para atingir a camada saturada.

Estudos mais detalhados e monitoramento com uma frequência maior do que mensal e quinzenal precisam ser realizados no poço 2 para saber o motivo das rápidas elevações dos níveis, que pode estar associado à interação do aquífero superficial com a camada de calcário ou a caminhos preferenciais encontrados pela água. O monitoramento sistemático de todos os poços deverá ser realizado por um período mais longo, a fim de dar subsídios na tomada de decisões quanto à utilização da água subterrânea da bacia.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos ao suporte financeiro concedido pela FINEP ao projeto BEER (Bacias Experimentais e Representativas do Semi-Árido), e as bolsas de PIBIC e mestrado fornecidas pelo CNPq e CAPES, respectivamente.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, J. A.; NEUMANN, V. H.; LIMA FILHO, M. F.; SOUZA, E. M. de.; MORAES, M. A. de. (2007).

Estratigrafia da Faixa Costeira Recife-Natal (Bacia da Paraíba e Plataforma de Natal), NE Brasil.

Estudos Geológicos. v.17, p.3-30.

COELHO, V. H. R. (2011). **Monitoramento e análise da variação do nível d'água para estimativa da recarga do aquífero livre da bacia do rio Gramame – PB.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, 146p.

FEITOSA, E. C.; FEITOSA, F. A. C. (2008). **Metodologia básica de pesquisa de água subterrânea.** In: Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Org. por Feitosa, F. A. C.; Manoel Filho, J.; Feitosa, E. C.; Demetrio, J. G. A., CPRM: LABHID, Rio de Janeiro – RJ, p.179-206.

FURRIER, M.; ARAÚJO, M. E. de.; MENESES, L. F. (2006). **Geomorfologia e Tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba.** Geologia USP Série Científica. v.6, p.61-70.

MOON, S.; WOO, N. C.; KWANG, G. L. (2004). **Statistical analysis of hydrographs and water-table fluctuation to estimate groundwater recharge.** Journal of Hydrology, v.292, p.198-209.

PARAÍBA - Secretaria da Educação. (1985). **Atlas geográfico do Estado da Paraíba.** Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, GRAFSET, 1985.

PDRH. (2000). **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame.** SEMARH/SCIENTEC.

TILAHUN, K.; MERKEL, B. J. (2009). **Estimation of groundwater recharge using a GIS-based distributed water balance model in Dire Dawa, Ethiopia.** Hydrogeology Journal, v.17, p.1443-1457.

WENDLAND, E.; BARRETO, C.; GOMES, L. H. (2007). **Water balance in the Guarani Aquifer outcrop zone based on hydrogeologic monitoring.** Journal of Hydrology, v.342, p.261-269, 2007.

ZHANG, L. (2003). **Sustainable development of groundwater resources in urban areas.** Dissertation (Master of Applied Science) - Graduate Department of Civil Engineering, University of Toronto, 97p.

ZHOU, Y. (1996). **Sampling frequency for monitoring the actual state of groundwater systems.** Journal of Hydrology, v.180, p.301-318.