



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

COORDENADORIA DE PROGRAMAS ESPECIAIS

PIBIC 2014/2015 / FACEPE / UFRPE

Título do Projeto

Estudos hidrológicos e sedimentológicos em Bacias experimentais e representativas do
semiárido

Título do Plano de Trabalho

Estudo do potencial agrícola e hidrológico das águas subterrâneas da
Bacia do Riacho Mimoso e ações de extensão rural

Recife - Pernambuco

2015

IDENTIFICAÇÃO

PIBIC: João Carlos de Melo Loreto

Curso: Engenharia Agrícola e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro

Departamento: Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI)

Área: Água e Solo

TÍTULO DO PROJETO

Projeto de Pesquisa: Estudos hidrológicos e sedimentológicos em Bacias experimentais e representativas do semiárido

Plano de Trabalho: Estudo do potencial agrícola e hidrológico das águas subterrâneas da Bacia do Riacho Mimoso e ações de extensão rural

Relatório final referente às atividades desenvolvidas no período de agosto de 2014 a Agosto de 2015 como parte das exigências do Programa de Iniciação Científica da UFRPE.

Recife - Pernambuco

2015

RESUMO

Este relatório aborda estudos de um dos principais problemas da região do semiárido, que é a disponibilidade hídrica para abastecimento da população local, seja na agricultura, atividades agropastoris ou abastecimento. O presente estudo desenvolve uma análise da disponibilidade hídrica e da dinâmica temporal da superfície freática de aquífero aluvial por meio de um monitoramento sistemático em uma rede de piezômetros. A área estudada está localizada no município de Pesqueira-PE, é dividida em lotes que apresentam atividade predominantemente agrícola. O uso de água na região é intenso, e devido ao regime pluviométrico intermitente e ao grande intervalo entre os eventos de precipitação, a água subterrânea torna-se a principal fonte de água para a realização das atividades de subsistência. Dando continuidade ao monitoramento sistemático realizado desde 1997, vem sendo realizadas medições dos níveis piezométricos, cálculo de medidas estatísticas de dispersão, tendência central e variabilidade, registro de uso e ocupação dos lotes, estimativa do potencial de recarga e elaboração de modelo numérico para simular o fluxo das águas subterrâneas. Correlações entre o nível piezométrico e a pluviometria têm sido desenvolvidas. Observou-se contínuo aumento da profundidade do nível de água ao longo do período analisado, não acontecendo recarga pronunciada no aquífero, dado o baixo índice pluviométrico médio anual em comparação com anos anteriores. Esta insuficiência de água vem impactando o desenvolvimento econômico da região.

INTRODUÇÃO

As regiões de clima semiárido têm como características rios intermitentes, alta taxa de evaporação, precipitação com grande variabilidade espaço-temporal e escassez de recursos hídricos, aspecto que se agrava no Estado de Pernambuco, estado com menor disponibilidade hídrica per capita, com aproximados 1320 m³/hab/ano (MONTENEGRO et al., 2003; DA SILVA et al., 2009). A extração de água subterrânea é comum nesta região, dada a baixa disponibilidade pluviométrica e a grande necessidade de água para o desenvolvimento das práticas de agricultura familiar, que constitui atividade econômica relevante para a população da área onde o estudo foi realizado. Segundo Montenegro e Montenegro (2004), os vales aluviais dos rios se constituem, normalmente, em bons aquíferos, representando importantes reservas para o semiárido.

A estimativa do potencial de recarga é de grande importância para o cálculo de disponibilidade hídrica para agricultura e conseqüentemente para um manejo eficiente dos recursos hídricos subterrâneos, conforme Andrade (2010) não se pode explorar e garantir uso sustentável de reservas de água subterrânea sem o conhecimento dos mecanismos de recarga anual em que o aquífero é submetido.

Um modelo matemático das águas subterrâneas para as condições de regime permanente consiste de uma equação governante e condições de contorno que simulam o fluxo das águas subterrâneas em um problema de domínio particular a partir da introdução de suposições simplificadoras e de técnicas numéricas para aproximar-se ao máximo da realidade. A técnica numérica utilizada foi o método iterativo das Diferenças Finitas de Gauss-Seidel que é calculado através de uma matriz. Pretendeu-se portanto neste trabalho, com este modelo, analisar o impacto do bombeamento de água nos poços, na superfície de água subterrânea, e avaliar o fluxo simulado em comparação com a dinâmica dos níveis mensais medidos em campo durante o período da pesquisa (WANG e ANDERSON, 1995).

OBJETIVO GERAL

Caracterização hidrológica de aquífero aluvial no semiárido, na Bacia do Riacho

Mimoso, sub-bacia do Alto Ipanema, dando continuidade a estudos anteriores na mesma bacia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterização da variabilidade espacial e temporal de níveis potenciométricos de águas subterrâneas;
- Monitoramento sistemático das águas subterrâneas, do uso e ocupação do solo, e das precipitações;
- Ações de extensão voltadas ao monitoramento participativo, envolvendo agricultores locais, que praticam a pequena agricultura irrigada de base familiar;
- Elaboração de modelos matemáticos que representem adequadamente as características hidrológicas de modo a obter resultados confiáveis quanto à simulação dos impactos;
- Estimativa do potencial de recarga da bacia.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área experimental, representada na figura 1, é a Fazenda Nossa Senhora do Rosário, a qual está inserida na Bacia do Alto Ipanema localizada entre as coordenadas geográficas 8° 15' e 8° 30' de Latitude Sul, 31° 45' e 37° 00' de Longitude Oeste de Greenwich (ANDRADE et al. 2010), no município de Pesqueira, Agreste Pernambucano. Pela classificação de Köeppen o clima na região é do tipo BSh (extremamente quente, semiárido). A altura média da área é de 630 m, e a declividade média é de 0,3%. O aquífero aluvial em estudo possui profundidade média de 10,0 m, cerca de 15,0 km de extensão e 300 m de largura, segundo Montenegro et al. (2003). A precipitação média anual segundo Santos et al. (2012) é de 730 mm.

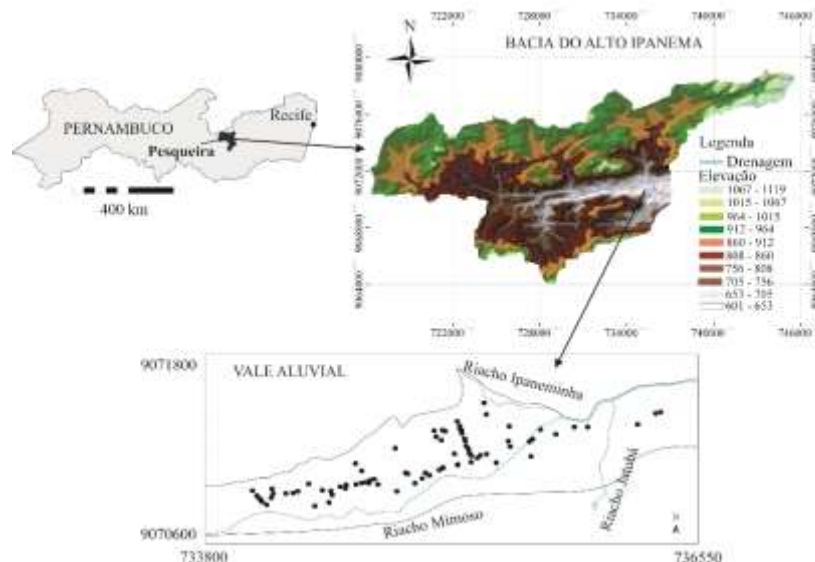


Figura 1- Mapa do estado de Pernambuco, da Bacia do Alto Ipanema e malha de piezômetros do vale aluvial.

Monitoramento das águas subterrâneas

Para as medições do nível piezométrico (Figura 2) utilizou-se a trena sonora para medição de nível da marca Solinst (Solinst 2015) em uma rede de monitoramento local ao longo do vale aluvial, cujo perímetro é dividido em lotes de 1 hectare

aproximadamente onde estão situados os piezômetros, poços comunitários e cacimbões, que totalizam 98 pontos de monitoramento. Caracteriza-se o uso e ocupação destes lotes em tipo de cultura e área cultivada, bem como se estima o volume de água bombeada dos poços com base no tempo de irrigação diária e na potência da bomba utilizada.



Figura 2- Monitoramento hidrológico em poço comunitário, cultivo de milho em lote irrigado no vale aluvial e trena automática sonora Solinst.

Análise estatística

Em laboratório são calculadas as medidas estatísticas de dispersão e tendência central, observadas medidas estatísticas de simetria e analisa-se a normalidade na distribuição dos valores obtidos em campo pelo teste de ajustamento de Kolmogorov-Smirnov, com nível de significância de 5%, que quando Normal indica que as medidas de tendência central não são influenciadas por valores discrepantes que possam influenciar na tendência dos dados (FONTES JUNIOR et al., 2014).

Análise da recarga

O método utilizado como indicador da recarga efetiva foi o da variação do nível piezométrico, que se baseia na premissa de que sempre que houver variações positivas de nível piezométrico é porque houve recarga na zona saturada do aquífero. São então tomados os valores mensais de nível de água nos piezômetros e a pluviometria local para então a partir da taxa mensal de variação do nível (Δh) e assumindo coeficiente de armazenamento ($S = 0,10$), obtido através dos testes de bombeamento realizados na instalação dos poços, identificar os meses onde ocorreu recuperação do nível no vale aluvial e então poder quantificar aproximadamente a recarga R através da Equação 1 (MONTENEGRO et al., 2003; ANDRADE, 2010).

$$R = \frac{\Delta h}{S} \quad \text{Eq. 1}$$

Modelo de diferenças finitas

Para obter um modelo mais próximo da realidade foram introduzidas as suposições simplificadoras considerando o aquífero como homogêneo e isotrópico e aproximou-se a área de estudo a um retângulo. Recorre-se, portanto, a técnica numérica do método das diferenças finitas para aproximar ao máximo da realidade a solução analítica.

No método das diferenças finitas iterativo de Gauss-Seidel calcula-se através de uma matriz de forma ordenada, isto é, começa-se com $i=2$ e $j=2$, por causa dos valores de contorno, e calcula-se os valores da esquerda para direita e para baixo, linha após

linha, como se estivesse lendo uma página. Em outras palavras $h_{i-1,j}$ e $h_{i,j-1}$ serão conhecidos na iteração $m+1$ para avaliar $h_{i,j}$. Desta forma, nós podemos usar dois novos valores que foram computados na formula iterativa de Gauss-Seidel (Equação 2) na obtenção do terceiro valor. Os novos valores computados sempre que possível farão a iteração de Gauss-Seidel mais eficiente (WANG e ANDERSON, 1995).

$$h_{i,j} = \frac{1}{4} \cdot (h_{i-1,j} + h_{i+1,j} + h_{i,j-1} + h_{i,j+1} - \frac{Q \cdot \Delta x}{T}) \quad \text{Eq. 2}$$

Q – Vazão [m³/d];

Δx – Distância entre os pontos da malha [m];

T – Transmissividade [m²/d].

Utilizou-se o software Microsoft Office Excel onde foi aplicada a equação de Gauss-Siedel para uma malha de 4x6 representando uma área de 60 m x 90 m, onde há cultivo de milho que pertencente a agricultor local. Na área existe 1 poço de bombeamento e um piezômetro de observação. Assumiu-se o valor de bombeamento, no ponto interno da malha que representa o poço, com base na bomba utilizada e tempo de irrigação informado pelo agricultor, e como valor de recarga para os outros pontos internos da malha foi considerado 10% da precipitação total mensal. Foi suposto que não irrigou nos dias que choveu. A transmissividade utilizada para os pontos da malha que representam os poços de bombeamento e observação foi de 100 m²/d, enquanto para os outros pontos internos da malha foi utilizada transmissividade variando de acordo com valores descritos em trabalhos anteriores no vale aluvial do Riacho Mimoso (MONTEIRO et al., 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

É clara a diminuição do nível piezométrico médio para o período de julho/2014 a agosto/2015, apresentando valores de 4,65 m e 5,87 m respectivamente. Observa-se que 83,24% dos valores estão ajustados a uma linha de tendência (Figura 3) da profundidade do lençol freático, e o decréscimo do nível linear foi de aproximadamente 9 cm por mês ao longo do período. No último mês foi medido o nível em apenas 28 pontos, apenas 62 foram efetivamente monitorados devido ao período seco e ao aquífero não ter recarregado. Nos lotes são realizadas atividades agrícolas de pequena escala e agropastoris, para suporte à agricultura familiar irrigada. Tal comportamento é coerente com caracterizações obtidas anteriormente em estudos neste vale aluvial (SILVA et al., 2013; FONTES JÚNIOR et al., 2012; MONTENEGRO et al., 2003).

Estima-se que sejam extraídos por dia 150 m³ de água para irrigação, de acordo com os registros de uso e ocupação e diálogo com agricultores locais. Nos lotes agrícolas são cultivados principalmente pimentão (*Capsicum annuum L*), tomate (*Solanumly copersicum*), goiaba (*Psidium guajava*), milho (*Zea Mays*), capim elefante (*Pennisetum purpureum*), feijão e hortaliças (alface, coentro, cebolinha) (Tabela 1), utilizando irrigação por aspersão e microaspersão, nota-se gradativamente a utilização da técnica de irrigação por gotejamento.

De acordo com as medidas estatística de tendência central, dispersão e variabilidade (Tabela 2) observa-se que a série de dados apresenta medias e medianas geralmente próximas entre 0,01 a 0,08 com poucos valores discrepantes. A variabilidade foi classificada segundo Warrick e Nielsen (1980), em baixa (CV ≤ 12%); média (12 ≤ CV ≤ 60%) e alta variabilidade (CV ≥ 60%), conforme a Tabela 2 os coeficientes de variação calculados apresentam de baixa a média variabilidade, mostrando boa

homogeneização dos dados.

Não houve recarga pronunciada dentro do período avaliado na média de nível de água do vale aluvial, o maior evento de recarga foi entre os meses de setembro e outubro de 2014, quando o nível médio aumentou em 39 cm. Os valores, de nível piezométrico, máximos elevados impossibilitam o bombeamento de água dos poços, restringindo o abastecimento.

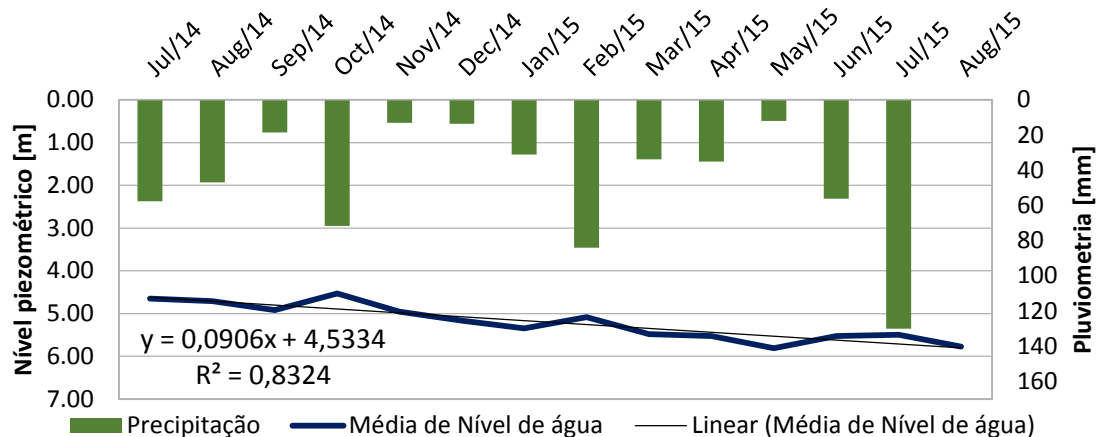


Figura 3 – Gráfico de variação temporal no nível potenciométrico médio no vale aluvial do Mimoso, Pesqueira-PE.

Tabela 1 – Uso e ocupação do solo agrícola de acordo com os cacimbões, poços e piezômetros.

Poços	Cultura
Poço Comunitário 1	Goiaba, Mandioca, Coentro, Capim-elefante.
PZ Josa 2	Feijão.
Poço Comunitário 2	Goiaba, Pimentão.
CA 15	Capim-elefante.
CA 16	Capim-elefante.
CA 20	Tomate.
CA Nildo	Goiaba.
CA 2	Alface, Rúcula, Beterraba, Goiaba, Cenoura, Manga, Caju, Feijão Caupi, Pimentão, Acerola, Neem, Pimenta.
CA 27	Tomate.
CA 3	Feijão Caupi, Mamão, Banana, Couve, Macaxeira e Milho (sequeiro), Coentro, Caju, Manga.
CA 6	Milho em sequeiro.
Poço Comunitário 4	Pimentão.
Pz 5.1	Milho.
Poço Comunitário 3	Milho.
Pz 2.1	Capim-elefante.
Pz 3.11b	Pimentão.
Pz 4.9	Capim-elefante.
Pz 4.10	Capim-elefante.
CA 1	Caju, manga
CA 5	Goiaba
CA 9	Caju, Pinha, Coco, Mamão, Cana, Laranja
CA 10	Milho, Pasto.
CA 24	Caju, Manga, Pinha, Café, Laranja.
CA Novo Carlinhos	Milho
CA Novo Malaquias	Coentro, Alface, Banana,

Tabela 2 – Medidas estatísticas de tendência central, dispersão e variabilidade.

	jul/14	ago/14	set/14	out/14	nov/14	dez/14	jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15
Média	4,648	4,709	4,922	4,530	4,961	5,164	5,346	5,087	5,481	5,524	5,812	5,527	5,499	5,771
Desvio Padrão	0,806	0,960	0,851	0,575	0,886	0,943	1,152	1,131	1,179	1,232	1,285	1,032	1,016	1,211
Máx	7,050	7,000	7,300	5,780	8,100	7,440	7,900	7,250	7,950	8,880	8,710	7,500	7,450	8,110
Min	2,500	2,460	2,430	3,120	2,690	2,800	2,800	2,500	2,300	2,460	3,200	3,150	2,680	3,000
Moda	4,430	5,150	4,900	4,840	4,570	4,560	6,400	5,170	5,190	4,800	5,470	5,540	5,470	7,000
Mediana	4,585	4,720	4,900	4,540	4,880	5,115	5,300	5,070	5,310	5,380	5,505	5,545	5,470	5,580
Variância	0,649	0,921	0,725	0,331	0,785	0,890	1,327	1,278	1,390	1,517	1,651	1,064	1,033	1,465
Coef. de Variação	0,173	0,204	0,173	0,127	0,179	0,183	0,215	0,222	0,215	0,223	0,221	0,187	0,185	0,210
Recarga	-	-	-	0,392	-	-	-	0,259	-	-	-	0,285	0,028	-

O modelo matemático foi calibrado utilizando dados de monitoramento do ano de 2013 retirados do banco de dados do Laboratório de água e solo (LAS-UFRPE). Foram relacionados os valores dos níveis medidos em campo com os valores simulados pelo modelo durante os anos de 2013 e 2014 (Figuras 5 e 6). Os valores de transmissividade que melhor ajustaram o modelo foram de 15 a 30 m²/d. A simulação para o ano de 2014 obteve um ajustamento de 71,2% dos pontos a uma tendência linear quando correlacionado valores dos níveis medidos em campo com os níveis simulados (Figura 6) . Percebe-se insensibilidade do modelo frente a bombeamentos extraordinários o que justificaria a instalação de hidrômetros nos poços que possibilitaria quantificar precisamente o volume de água.

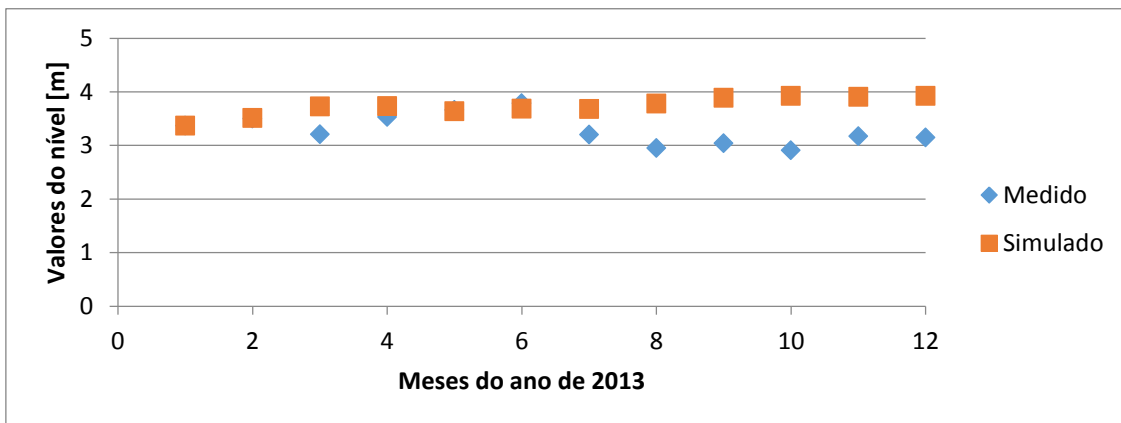


Figura 4 – Relação entre valores simulado e medido do piezômetro de observação da malha experimental durante o ano de 2013 para calibração do modelo.

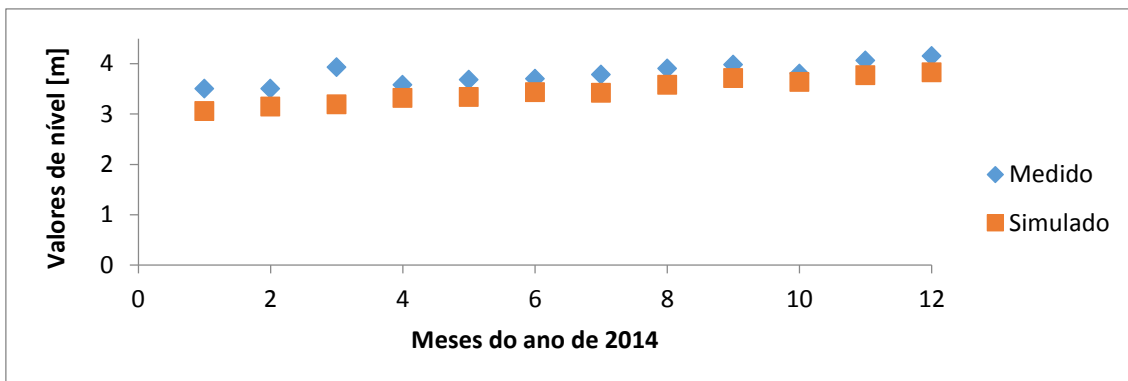


Figura 5 – Relação entre valores simulado e medido do piezômetro de observação da malha experimental durante o ano de 2014.

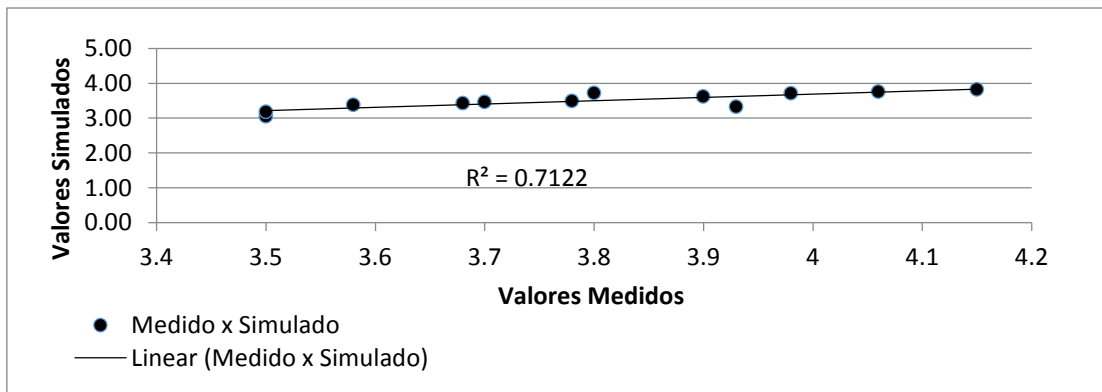


Figura 6 – Correlação entre os valores medidos e valores simulados para o ano de 2014.

Observa-se o contínuo decréscimo do nível piezométrico, que coloca em risco o suprimento da comunidade local. Os dados são disponibilizados para os agricultores, dentro do aspecto de extensão, com o intuito de construir o planejamento adequado para a exploração de recursos. Dentre os avanços observados para boa gestão, cabe destacar o monitoramento contínuo do nível piezométrico, que é realizado com a participação de agricultores locais.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, T. S. **Variabilidade espacial e temporal de atributos hidrológicos para gerenciamento de recursos hídricos em aluvião no semi-árido sob uso agrícola**. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2010.

DA SILVA, A.M.R.B.; DE OLIVEIRA, M.S.R.; DA MOTA SOBRINHO, M.A.; CORRÊA, M.M.; SILVA, E.F.F.; MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; DA SILVA, V..L. **Caracterização Da Qualidade Das Águas De Poços Rasos E Profundos Da Ilha De Fernando De Noronha Utilizando A Análise De Componentes Principais**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, I., 2009. São Paulo. p. 04.

FONTES JÚNIOR, R. V. P.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, T. E. M. Estabilidade temporal da potenciometria e da salinidade em vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p. 1188-1197, 2012.

FONTES JÚNIOR, R.V.P.; MONTENEGRO, A.A.A.; SILVA, T.S.P.; SILVA, L.D.; MAGALHÃES, A.G. **Potencial das águas subterrâneas aluviais em bacina representativa do semiárido**. In: MATTOS, A.; MATTOS, K.M.C. Monitoramento da Evaporação e das Mudanças Climáticas. 1ed. João pessoa: Projeto Mevemuc, 2014, v. 1 P.405-430.

GOMINHO, M,F,A., Identificação da rede de monitorização da quantidade de água da Bacia Hidrográfica da Ribeira Seca – Cabo Verde. Princípios e Monitorização. **XVI Congresso Brasileiro de águas subterrâneas e XVII Encontro nacional de profuradores de poços**, 2010.

MACKAY, R.; MONTENEGRO A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; WONDEREN, J.V. **Alluvial aquifer indicators for small-scale irrigation in North-East Brazil**. In Sustainability of Groundwater Resources and its Indicators, 302, IAHS Publication:

Wallingford, 2006, p. 117-125.

MONTEIRO, A.L.N.; MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G. Modelagem de Fluxo e Análise do Potencial Hídrico de Aquífero Aluvial no Semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.19, p. 151-163, 2014.

MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; MACKAY, R.; OLIVEIRA, A. S. C. Dinâmica hidro-salina em aquífero aluvial utilizado para agricultura irrigada familiar em região semiárida. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, p.85-92, 2003.

MONTENEGRO, S.M.G.L.; MONTENEGRO, A.A.A. **Aproveitamento sustentável de aquíferos aluviais no semiárido**. In: Cabral Er Al. (Org.) Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento. Tópicos Especiais em Recursos Hídricos Vol. 4. Recife:UFPE, 2004, P.277-322.

MONTENEGRO, A.A.A. Stochastic hydrogeological modelling of aquifer salinization from small scale agriculture in Northeast Brazil. University of Newcastle, 1997. 272p. PhD Thesis.

SANTOS, K.S.; MONTENEGRO, A.A.A.; ALMEIDA, B.G.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; ANDRADE, T.S.; FONTES JÚNIOR, R.V.P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.828-835, 2012.

SILVA, F. P. T.; MONTENEGRO, A. A. A.; FONTES JÚNIOR, R. V. P. Gestão de recursos hídricos subterrâneos em Bacia representativa no agreste de Pernambuco. **XIII JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – JEPEX 2013 – UFRPE**: Recife, 09 a 13 de dezembro.

Solinst 2015 [<http://www.solinst.com/products/level-measurement-devices/102-water-level-indicator/>]. Acessado em 29/09/15.

WANG, H.F.; ANDERSON M.P. Introduction to Groundwater Modeling: Finite Difference and Finite Element Methods. Academic Press, 1995. 237 p.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. (1980). **Spatial variability of soil physical properties in the field** In: Hillel, D. Application of soil physics, New York:Academic, p. 319-344.