



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

IV-005 - ABASTECIMENTO COMPLEMENTAR COM ÁGUA DE POÇOS NOS BAIRROS CENTRAIS DA CIDADE DE RECIFE: PROBLEMAS DE SALINIZAÇÃO E MODELAGEM DE FLUXO

Anderson Luiz Ribeiro de Paiva ⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. Mestrando em Recursos Hídricos do Grupo de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pernambuco.

Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral ⁽²⁾

PhD em Engenharia Civil pela Wessex Institute of Technology, Inglaterra. Professor do Grupo de Recursos Hídricos, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

Veronilton Pereira de Farias ⁽³⁾

Geólogo da Companhia Pernambucana de Meio Ambiente (CPRH) e Mestre em Gestão e Políticas Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco.

Endereço⁽¹⁾: Rua Dr. Luiz Correia de Oliveira, 90 - apt 103 - Boa Viagem - Recife – PE - Brasil - CEP: 51030-200 - Tel: (81) 34623816 - Fax: (81) 32718223



anderson.paiva@ufpe.br, alrpaiva@yahoo.com

RESUMO

A cidade de Recife, nos últimos anos, tem sofrido racionamento no abastecimento público de água e tem havido muita perfuração de poços particulares para complementar o abastecimento. A vazão bombeada tem superado as taxas de recarga natural do aquífero, de modo que está ocorrendo um rebaixamento excessivo da carga hidráulica nos poços, inclusive com risco de exaustão dos aquíferos e de salinização. A área estudada, na região central do Recife, é uma região plana de baixa altitude entrecortada pelo rio Capibaribe e alguns pequenos afluentes canalizados. Na região ocorre o aquífero Boa Viagem com espessura média de 50 metros, formado por sedimentos quaternários e abaixo dele ocorre o aquífero Beberibe, com origem no Cretáceo, e que faz parte da Bacia sedimentar Pernambuco-Paraíba. A área simulada é de 4,5x5,0 Km, limitada pelas coordenadas UTM 289.000m a 293.500m E e 9.107.000m a 9.112.000m N. Sendo assim, na modelagem foram consideradas três camadas para todo o sistema na área. A primeira camada representando o aquífero Boa Viagem, a segunda camada sendo a semiconfinante, e a terceira camada representando o aquífero Beberibe. Para simulação computacional dos fluxos e de rebaixamento da carga potenciométrica dos aquíferos foi utilizado o programa VISUAL MODFLOW (2002) na sua versão 3.0, incluindo também a estimativa de parâmetros para calibração do modelo, WinPest. Inicialmente, foi considerada uma malha com todas as células de dimensões 125x125 m. Resultando em 36 colunas e 40 linhas. As isolinhas iniciais foram obtidas pelo ajuste de uma superfície potenciométrica, a partir de informações de níveis estáticos de diversos poços na área. Como também foi gerada uma outra superfície potenciométrica com dados de alguns anos depois, que foi utilizada para a calibragem do modelo. As curvas foram geradas no programa Surfer e importadas para o Visual Modflow. Foram implementados os dados de 1640 poços existentes na área e foram colocadas as condições de contorno de fluxo nulo no lado sul, fluxo especificado nos lados norte e oeste e GHB no lado leste, bem como as condições de infiltração, evapotranspiração e recarga pelo rio. Foram realizados alguns ajustes e realizadas diversas simulações. Pôde ser observado que existe uma grande recarga tanto para o aquífero Beberibe quanto para o aquífero Boa Viagem nos limites norte e oeste, pela existência dos morros e de grandes áreas verdes nas proximidades do contorno dessa área. Além disso, foi observado que deve existir uma considerável recarga do aquífero superior para o inferior, pois sem essa recarga os níveis do aquífero Beberibe estariam bem mais baixos. E também se pode dizer que com a crescente exploração existe a tendência do fluxo do mar para o continente, pois a área costeira é bastante impermeabilizada, dificultando a recarga dos aquíferos. O presente estudo analisa a condição de super-exploração dos aquíferos na região central da cidade

incluindo 28 bairros e apresenta uma modelagem computacional para avaliar a dinâmica do fluxo subterrâneo e melhorar o entendimento dos processos de recarga e de rebaixamento dos aquíferos.

PALAVRAS-CHAVE: Abastecimento Complementar, Água Subterrânea, Modelagem de Fluxo.

INTRODUÇÃO

Nos últimos 20 anos a cidade de Recife tem sofrido racionamento no abastecimento público de água e muitos hospitais, condomínios residenciais e de escritórios perfuraram poços para complementar o abastecimento d'água.

Foram perfurados bastantes poços e a vazão bombeada supera as taxas de recarga natural do aquífero, de modo que está ocorrendo um rebaixamento excessivo da carga hidráulica nos poços, inclusive com risco de salinização, devido à inversão dos gradientes hidráulicos.

O presente estudo analisa a condição de super-exploração dos aquíferos na região central da cidade incluindo 28 bairros e apresenta uma modelagem computacional para avaliar a dinâmica do fluxo subterrâneo e posteriormente ter condições de simular cenários futuros do rebaixamento dos aquíferos.

ÁREA ESTUDADA

A área estudada, na região central do Recife, inclui 28 bairros, é uma região plana de baixa altitude (cota variando de 1,0m a 10,0m), entrecortada pelo rio Capibaribe e alguns pequenos afluentes canalizados.

Na região ocorre o aquífero Boa Viagem (Costa et al, 1994) com espessura média de 50 metros, formado por sedimentos quaternários, incluindo o Terraço Marinho Pleistocênico, Terraço Marinho Pleistocênico Modificado, Terraço Marinho Holocênico e depósitos Fluvio-lagunares.

Abaixo dele ocorre o aquífero Beberibe, com origem no Cretáceo, e que faz parte da Bacia sedimentar Pernambuco-Paraíba. É composto de uma seqüência essencialmente arenosa, com uma espessura média de 200m, em geral sem fósseis, constituindo-se de arenitos friáveis, cinzentos a cremes, mal selecionados, com componentes argilosos.

A área simulada é de 4,5x5,0 Km, limitada pelas coordenadas UTM 289.000m a 293.500m E e 9.107.000m a 9.112.000m N.

Foram cadastrados na área 1707 poços, sendo que deste total cerca de 20 poços foram cimentados devido a problemas de salinização e cerca de 40 poços só se dispunha de endereço e os proprietários não sabiam de nenhuma informação. As informações dos poços foram retiradas do projeto Hidrorec II (Costa, 2002). Trabalhou-se então com 1640 poços dos quais foi possível obter pelo menos os dados mais importantes.

Na Figura 1 é apresentado o mapa da área de estudo, com a locação dos poços rasos em vermelho e poços profundos em azul que se encontram na área. É de se salientar uma maior concentração de poços profundos nos bairros de Madalena, Graças, Espinheiro e Aflitos, devido ao maior poder aquisitivo das residências nessa área. Também é importante registrar que na área existem 161 estabelecimentos de serviço de saúde com grandes vazões, os quais se concentram na região central da área (Farias, 2003).

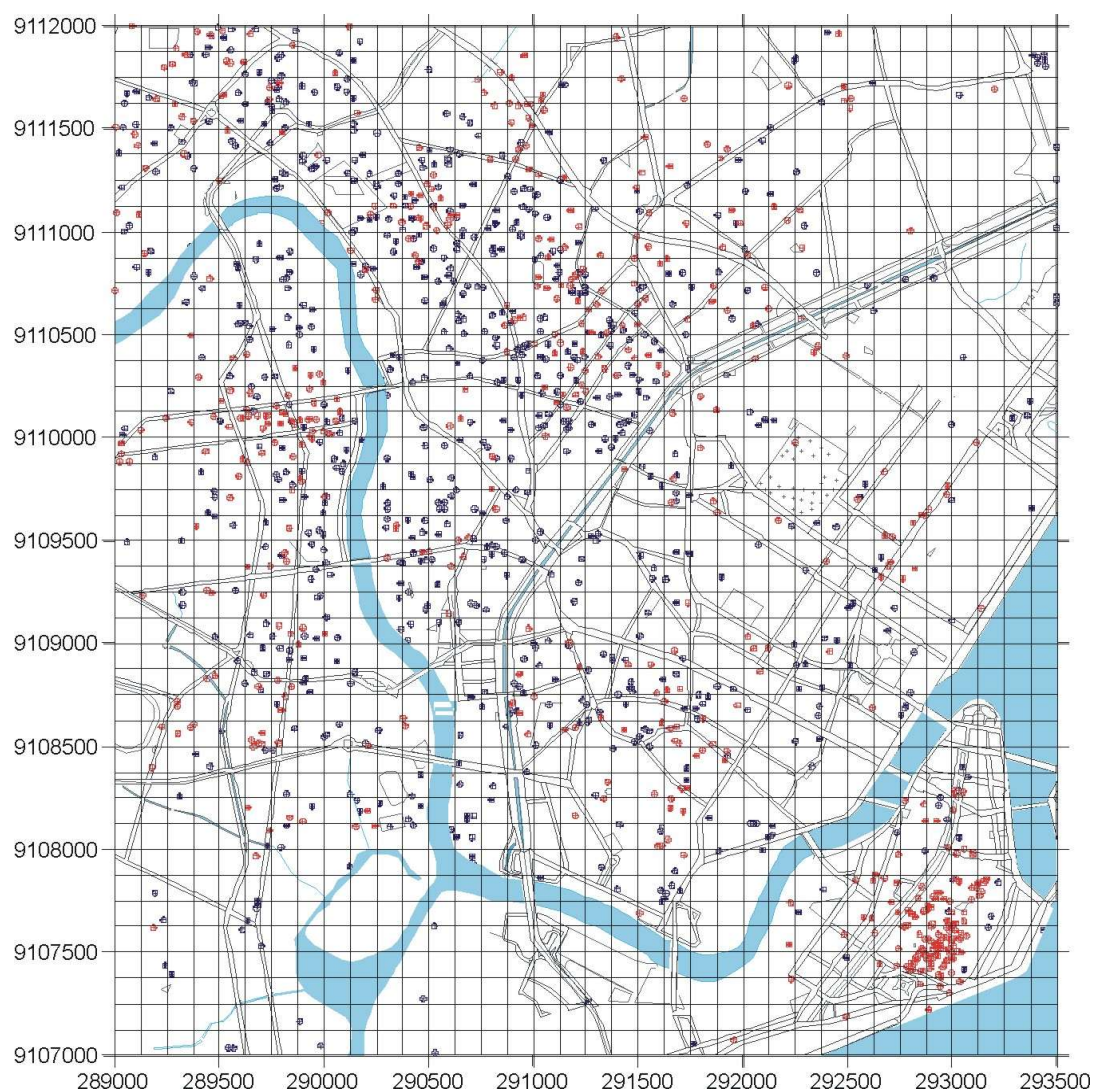


Figura 1 – Área de estudo com malha e a localização dos poços rasos (vermelhos) e poços profundos (azuis).

MODELAGEM

Os principais sistemas hidrogeológicos são representados pelo aquífero Boa Viagem e pela formação Beberibe. O aquífero Boa Viagem é um aquífero livre, enquanto a formação Beberibe é semiconfinado. Sendo assim, na modelagem foram consideradas três camadas para todo o sistema na área. A primeira camada representando o aquífero Boa Viagem, a segunda camada sendo a semiconfinante, e a terceira camada representando o aquífero Beberibe. Na Figura 2 podemos visualizar a representação das três camadas. Para constituir as superfícies das camadas de topo e base do sistema modelado, foram retiradas informações dos dados dos poços para a geração das superfícies no programa Surfer. Para a superfície de topo e base da camada semiconfinante foram analisados os perfis litológicos construídos da área (Farias, 2003) e para evitar erros numéricos, foi adotada uma camada com espessura de 20m.

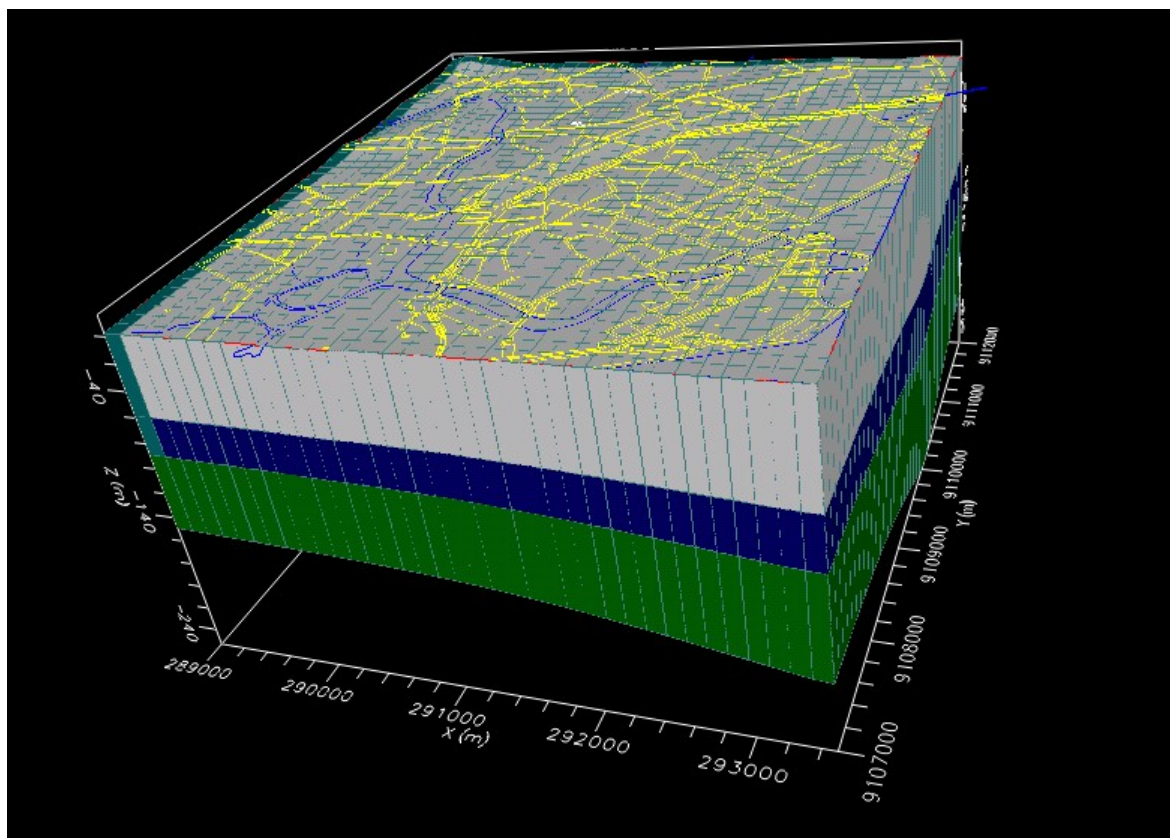


Figura 2 – Representação das camadas do sistema aquífero em estudo.

Quanto às águas superficiais, a região pode ser considerada como um complexo estuarino-fluvial com o aporte de águas oceânicas pelo Porto do Recife e entradas de água doce oriundas dos rios Capibaribe e Beberibe com a presença em destaque da ilha origem da cidade do Recife, do cordão de arrecifes naturais base da atual barra do Porto e partes ocupadas por manguezais.

Para simulação computacional dos fluxos e de rebaixamento da carga potenciométrica dos aquíferos foi utilizado o programa VISUAL MODFLOW (2002) na sua versão 3.0, incluindo também a estimativa de parâmetros para calibração do modelo, WinPest.

A área simulada é de 4,5x5,0 Km, limitada pelas coordenadas UTM 289.000m a 293.500m E e 9.107.000m a 9.112.000m N. Inicialmente, foi considerada uma malha com todas as células de dimensões 125x125 m. Resultando em 36 colunas e 40 linhas, como pode ser visto na Figura 1.

As isolinhas iniciais foram obtidas pelo ajuste de uma superfície potenciométrica, a partir de informações de níveis estáticos de diversos poços na área. Como também foi gerada uma outra superfície potenciométrica com dados de alguns anos depois, que será utilizada para a calibragem do modelo. As curvas foram geradas no programa Surfer e importadas para o Visual Modflow.

Os parâmetros hidrogeológicos foram obtidos analisando-se as informações de Monteiro (2000) e Costa (2002), os quais poderão ser ajustados posteriormente. A primeira camada possui condutividade hidráulica (m/s) de 9×10^{-4} , a terceira camada 4×10^{-5} , e a segunda camada 1×10^{-9} com algumas células com valores de 1×10^{-8} , pois existem áreas observadas por Monteiro (2000) em que a camada semiconfinante é mais permeável. O armazenamento específico é de $2 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$, a porosidade eficaz de 0,1 e o coeficiente de armazenamento de 0,1.

As informações sobre as camadas subjacentes ao Rio Capibaribe, que atravessa toda a área em estudo, foram tiradas de dois trabalhos de sondagens realizados no leito do rio pela Ensolo para construção de uma ponte e para dragagem do leito. Para o leito do rio foi fornecida uma espessura de 12m e uma condutividade hidráulica de $1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$. Na Figura 3 podem ser vistas as células que constituem o módulo Rio.

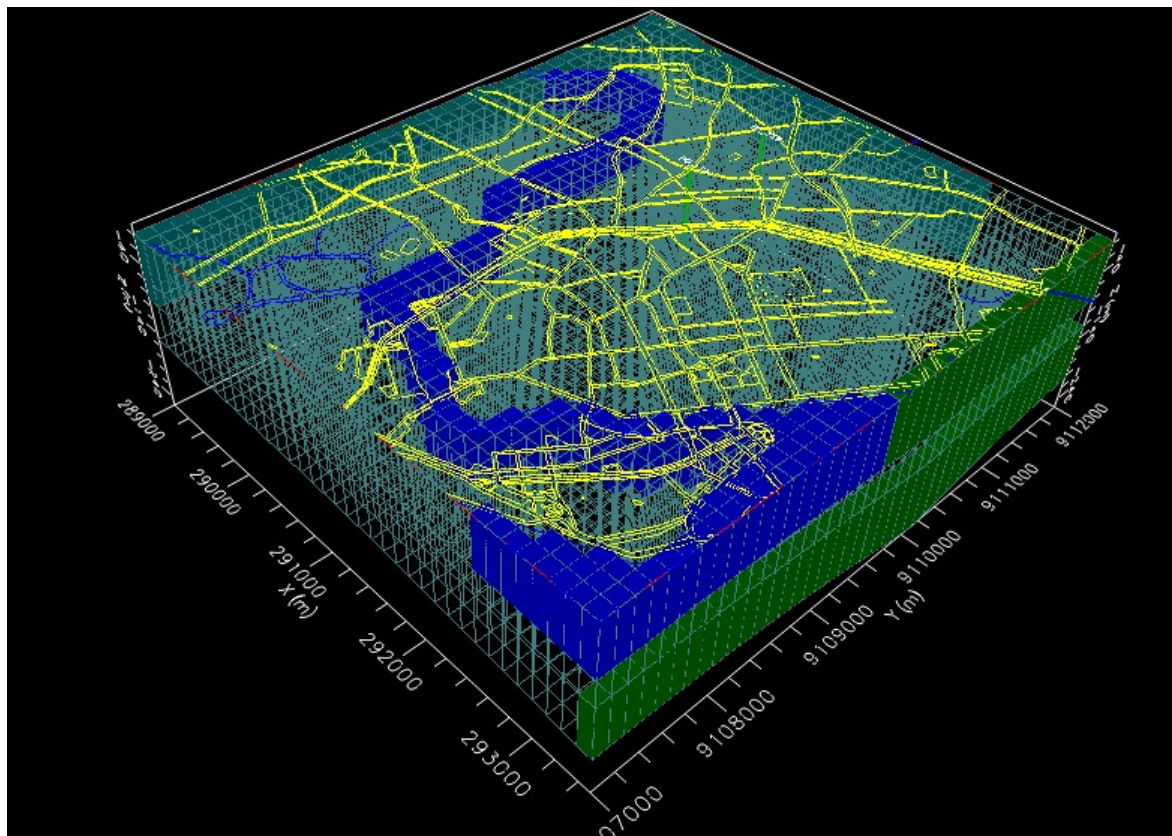


Figura 3 – Representação do Rio e das condições de contorno ao leste da área.

Com relação às condições de contorno, o limite sul foi considerado com fluxo nulo. Para o limite leste foi utilizado o módulo GHB (General Head Boundary Conditions) para representar a influência do mar, tendo valores diferentes para a primeira e terceira camadas, como pode ser visto na Figura 3 pelas células em verde. Para a terceira camada foram fornecidos os seguintes dados: 5000m como a distância da célula ao contorno, uma carga de zero metros para o contorno e uma condutividade hidráulica de 1×10^{-6} para o material que separa a fonte da célula. Para a primeira camada: distância de 1000m, carga de 0m e condutividade de 1×10^{-4} . Para os limites norte e oeste, foram colocadas células inativas para a primeira e segunda camada, com a finalidade de representar uma recarga entrando no aquífero Beberibe (3ª camada). Para a primeira camada também foi considerado um fluxo lateral entrando nos lados oeste e norte.

Foi colocada uma recarga de 200mm/ano para toda a área e uma evapotranspiração de 100mm/ano, pois a área é bastante impermeabilizada, exceto uma pequena área no canto superior esquerdo foi inserido uma recarga de 400mm/ano, por ser uma área verde.

Na área modelada foram inseridos 1640 poços de bombeamento. Para cada poço foram implementados os dados de profundidade, posição do filtro, vazão, coordenadas e tempo de bombeamento. O tempo de partida (tempo = 0 dia) para a modelagem foi 01 de janeiro de 1998. Sendo simulado até 01 de janeiro de 2001 (tempo = 1460 dias). Pois é um período razoável para o estudo do problema, no qual se dispunha de informações dos níveis d'água de alguns poços.

DISCUSSÃO E RESULTADOS

O nível estático d'água dos poços vem baixando excessivamente nos últimos anos. Em bairros como Espinheiro e Graças o rebaixamento chegou a atingir 20m de 1996 a 2002.

Outro problema é a salinização de alguns poços, que iniciam o bombeamento com água de boa qualidade e após alguns meses a água inicia um processo de aumento do teor de sais.

Após alguns ajustes na modelagem da área de estudo, obtivemos as velocidades e direção de fluxo subterrâneo com as

curvas equipotenciais de carga hidráulica, para o sistema aquífero Boa Viagem (1ª camada) e o sistema aquífero Beberibe (3ª camada), como podem ser vistas nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

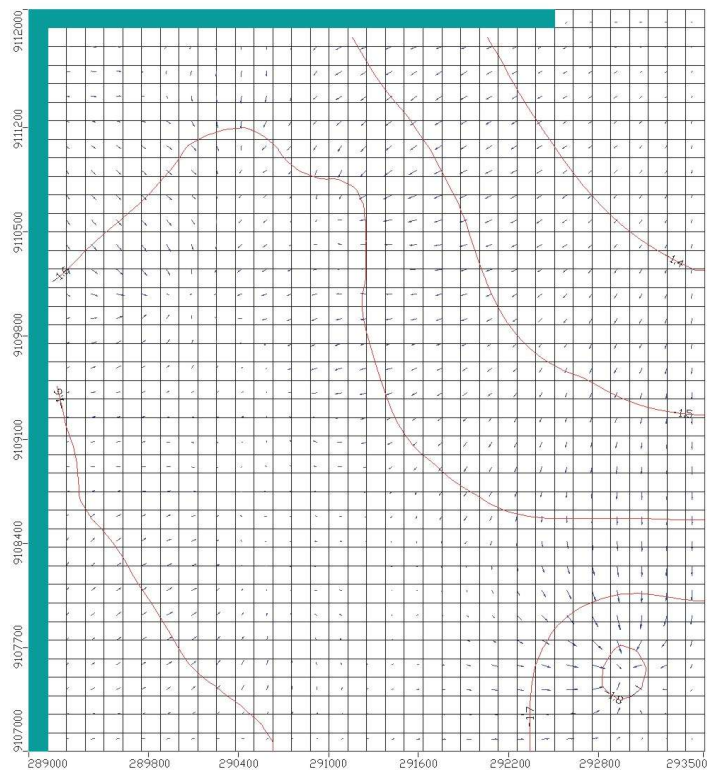


Figura 4 – Linhas equipotenciais e de fluxo para o período final da simulação, no Aquífero Boa Viagem.

Na Figura 4 pode se observado que as cargas hidráulicas variam de -1,3m a -2,0m, e que existe um rebaixamento maior na região dos bairros dos São José e Santo Antônio, e como um todo as cargas são mais baixas na área oeste. Resultados estes, que representam bem a realidade da época.

A Figura 5 mostra o resultado para o aquífero Beberibe, no qual existe o maior número de poços e com maiores vazões de exploração. As cargas hidráulicas chegam até valores de -75m. Existe uma grande depressão no centro da área, resultado da existência de um número maior de poços com grandes vazões. Isso pode ser explicado porque os bairros dessa área possuem grandes condomínios, os quais têm maior poder aquisitivo.

Pôde ser observado que existe uma grande recarga tanto para o aquífero Beberibe quanto para o aquífero Boa Viagem nos limites norte e oeste, pela existência dos morros e de grandes áreas verdes nas proximidades do contorno da área estudada. Analisando a modelagem e pelas várias tentativas observou-se que deve existir uma considerável recarga do aquífero superior para o inferior, pois sem essa recarga os níveis do aquífero Beberibe estariam bem mais baixos. E também pode ser afirmado que com a crescente exploração existe a tendência do fluxo do mar para o continente, pois a área costeira é bastante impermeabilizada, dificultando a recarga dos aquíferos.

Mesmo com os resultados sendo satisfatórios, haverá continuidade nesse trabalho, fazendo novos ajustes para chegarmos numa melhor calibração do modelo. Posteriormente, serão simulados cenários futuros para as próximas décadas, considerando os níveis atuais de bombeamento e também considerando outros casos de mudança dos bombeamentos.

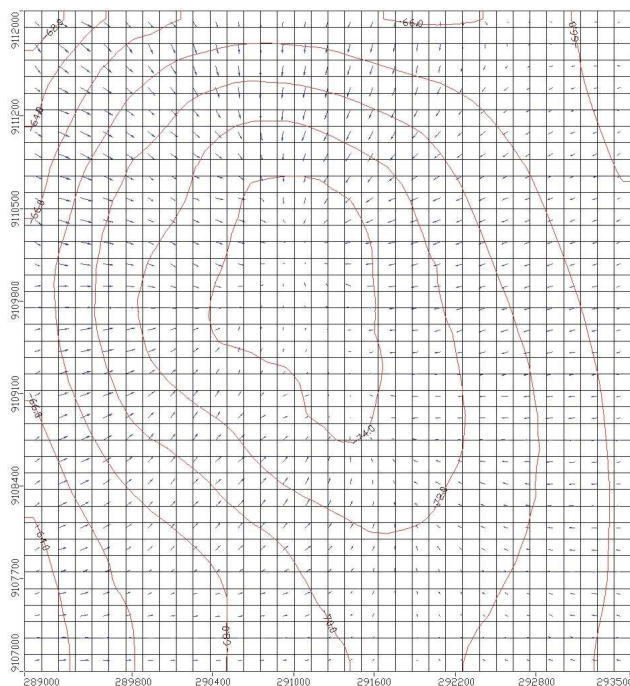


Figura 5 – Linhas equipotenciais e de fluxo para o período final da simulação, no Aquífero Beberibe.

CONCLUSÕES

Os resultados das simulações realizadas proporcionaram uma maior clareza dos padrões de velocidade e cargas hidráulicas nos aquíferos da região central da planície de Recife.

O sistema aquífero foi simulado em três camadas, sendo a primeira o aquífero Boa Viagem, a segunda o aquífero semiconfinante e a terceira o aquífero Beberibe. Considerou-se a base do Beberibe como impermeável e na parte superior do Boa Viagem foi adotada recarga de 200mm por infiltração, perda de 100mm por evapotranspiração e recarga ao longo do Rio Capibaribe.

Para as condições laterais do contorno, considerou-se fluxo nulo no contorno sul, fluxo especificado entrando no aquífero, nos contornos oeste e norte e condição mista (fluxo dependente do gradiente hidráulico) no contorno leste.

A simulação reproduziu a configuração aproximada das cargas hidráulicas no aquífero Boa Viagem onde existe um rebaixamento maior na região dos bairros dos São José e Santo Antônio.

Os resultados para o aquífero Beberibe, no qual existe o maior número de poços e com maiores vazões de exploração, também foi reproduzido. As cargas hidráulicas chegam até valores de -75m. Existe uma grande depressão no centro da área, resultado da existência de maior concentração de poços. No entanto, depressões mais acentuadas nos bairros de Graças, Espinheiro e Aflitos que haviam sido detectadas no monitoramento não foram reproduzidas no modelo; o modelo encontra um cone central de rebaixamento.

Pôde ser observado que existe uma grande recarga tanto para o aquífero Beberibe quanto para o aquífero Boa Viagem nos limites norte e oeste, pela existência dos morros e de grandes áreas verdes nas proximidades do contorno da área estudada.

Analisando os resultados das simulações observou-se que deve existir uma considerável recarga do aquífero superior para o inferior, pois sem essa recarga os níveis do aquífero Beberibe estariam bem mais baixos.

Também pode ser afirmado que com a crescente exploração existe a tendência do fluxo do mar para o continente devido à inversão do gradiente hidráulico, que atualmente direciona o fluxo vindo de leste no contorno próximo ao mar.

O modelo elaborado será utilizado para simulação de situações futuras nas próximas décadas, considerando o cenário inercial mantidas as taxas de bombeamento atuais e considerando outros cenários com um gerenciamento mais eficaz, com medições de vazões e fiscalização adequada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Waldir Duarte Costa pela disponibilização dos dados do projeto Hidrorec II, e a CPRH pelo apoio fornecido. O aluno de mestrado Anderson Paiva agradece o apoio recebido através de bolsa de estudo do CT-Hidro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Costa, W.D. Estudo Hidrogeológico de Recife, Olinda, Camaragibe e Jaboatão dos Guararapes (HIDROREC II). Recife, Junho, 2002.
2. Costa, W.D., Santos, A.C., Costa Filho, W.D. O Controle Estrutural na Formação dos Aquíferos na Planície do Recife. In: 8º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Recife, ABAS. 38-43, 1994.
3. Farias, V.P. de. Estudo das Águas Subterrâneas na Área do Complexo Médico-Empresarial da Ilha do Leite e Regiões Adjacentes no Município de Recife – PE, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais, 2003.
4. Monteiro, A.B., Modelagem do Fluxo Subterrâneo nos Aquíferos da Planície do Recife e seus Encaixes, Centro de Tecnologia e Geociências, UFPE, Dissertação de Mestrado, 2000.
5. Waterloo Hydrogeologic. Visual MODFLOW Pro – User’s Manual. Waterloo Hydrogeologic Inc. Waterloo, Ontario, Canadá, 2002.