

ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS HIDRÁULICOS/HIDRODINÂMICOS DA BACIA SEDIMENTAR COSTEIRA PARAÍBA/PERNAMBUCO

Geovanna Santos Oliveira ¹
Janiro Costa Rêgo ²

RESUMO

As bacias sedimentares possuem as maiores reservas de água subterrânea no mundo. A bacia Sedimentar Costeira Paraíba/Pernambuco contribui para o abastecimento da cidade de João Pessoa, tanto para consumo doméstico, quanto para a irrigação. Frente ao cenário de escassez hídrica, e a ausência de gestão desse recurso, faz-se necessário um estudo completo e detalhado de suas características e disposição para uma exploração sustentável desse recurso primordial a vida humana - a água. Dessa forma, o objetivo desse estudo é estimar os parâmetros hidráulicos/hidrodinâmicos em um sistema aquífero sedimentar na região costeira através de Cooper & Jacob, que consiste em um método da hidráulica de poços. Com os resultados obtidos, pôde-se observar quais áreas da região de João Pessoa/Cabedelo possuem poços com maior produtividade. Os valores obtidos de T e K variaram entre 5,31 a 359,51 m²/dia, e 0,04 a 1,8 m/dia, com uma média não representativa da ordem de 100,65 m²/dia e 0,53 m/dia, respectivamente, que se mostraram condizentes com a bibliografia estudada. Os resultados encontrados podem servir como dados que auxiliam uma gestão sustentável de recursos hídricos na região.

Palavras-chave: Bacia Sedimentar, Águas Subterrâneas, Parâmetros Hidráulicos.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso imprescindível à vida humana. O crescimento acelerado da população mundial tem demandado cada vez mais desse recurso para irrigação, uso industrial e consumo pessoal.

Estima-se que 97,5% do volume de água existente no planeta sejam formados pelos oceanos. A água doce do planeta ocorre na forma de calotas polares, geleiras, águas superficiais e águas subterrâneas. Excluindo as calotas polares e geleiras, as águas subterrâneas somam mais de 95% da água doce do planeta (CLEARY, 2007).

¹ Graduando do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, geooliveira99@gmail.com;

² Professor Orientador: Doutor em Recursos Hídricos - Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, janiro_rego@yahoo.com.br;

A água subterrânea tem sido uma importante fonte de recursos hídricos para parte da população que sofre com a escassez de águas superficiais, seja pela ausência de chuvas regulares, ou falta de gestão no Nordeste brasileiro (FERNANDES, 2017).

As bacias sedimentares têm os maiores potenciais de água subterrânea. Nelas, os depósitos constituem-se de camadas ou corpos rochosos, extensos mais ou menos consolidados e nessa área os aquíferos são predominantemente confinados (FEITOSA et al., 2008). Por estarem localizadas sob camadas confinantes, ou semipermeáveis as águas desse tipo de aquífero, apresentam boa qualidade para o consumo.

Na Paraíba uma importante fonte de abastecimento é a bacia sedimentar costeira Paraíba-Pernambuco. Este sistema aquífero abastece parte da região metropolitana de João Pessoa e municípios circunvizinhos, com uma população estimada de mais de 1 milhão de habitantes e com usos industriais, agrícolas e urbanos. Problemas de exploração acima da disponibilidade foram já detectados nesta área (BATISTA et al., 2011).

Diante disso, se faz necessária a realização de pesquisas que tenham como objetivo estudar, tanto alternativas de manejo para as reservas de água existentes, de forma que estas possam ser exploradas com mais sustentabilidade, quanto alternativas para aumento na disponibilidade hídrica na região.

O estudo dos parâmetros hidráulicos no aquífero é imprescindível para os estudos hidrogeológicos, e o conhecimento dos sistemas aquíferos e das suas respectivas disponibilidades hídricas facilitarão o estabelecimento de uma política de gestão de águas subterrâneas, proporcionando um manejo adequado.

Este trabalho objetiva estimar os parâmetros hidráulicos em um sistema aquífero sedimentar na região costeira de modo a caracterizá-lo melhor em termos de fluxo e armazenamento.

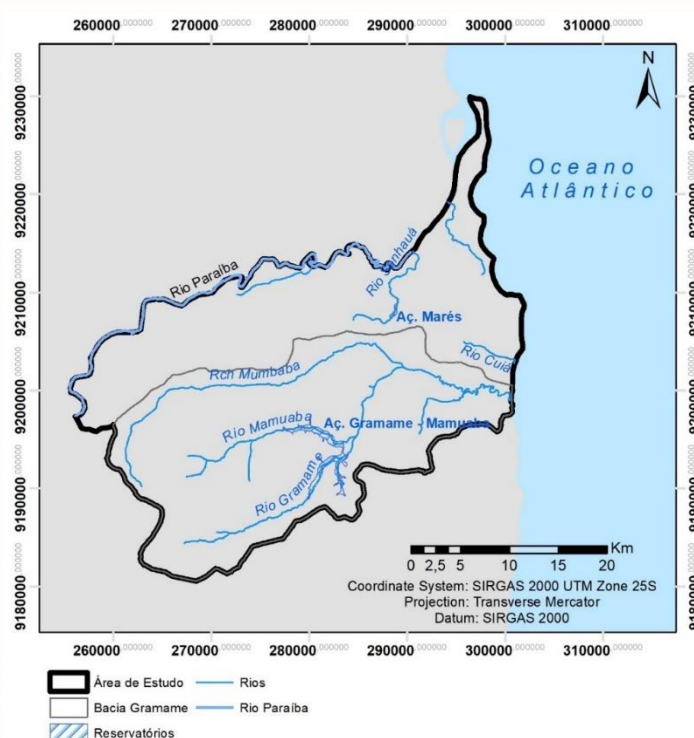
METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo consiste em regiões litorâneas localizadas no estado da Paraíba e corresponde a uma parcela da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco, situada na sua interseção com as Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba e do Rio Gramame (Figura 1). Com área de 1.032,31km², ela é delimitada ao norte pelo próprio Rio Paraíba, ao sul e oeste pelos divisores

da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame e ao leste pelo oceano Atlântico. O sistema de recursos hídricos em estudo consiste da bacia do rio Gramame, do reservatório Gramame-Mamuaba e um sistema aquífero composto pelas formações geológicas sedimentares Barreiras e Beberibe, separadas em parte pela formação Gramame. O subsistema aquífero Barreiras é livre enquanto que o subsistema Beberibe é confinado. A bacia do Rio Gramame tem alta importância socioeconômica, e é responsável por abastecer a cidade de João Pessoa.

Figura (1) – Área de Estudo



Aspectos Fisiográficos da Área Estudada

O clima da região é classificado como tropical úmido, com chuvas concentradas no outono e inverno e o verão predominantemente seco. O mês mais seco do ano é setembro, quando a umidade relativa do ar chega a 67%, já o mês de julho é o mais úmido, com máximo de 87% de umidade.

A região ainda possui áreas com a vegetação nativa da mata atlântica, manguezais, campos de várzea cerrados e restingas. Mas devido a urbanização do território e a exploração das áreas para diferentes plantações, a região se encontra bastante devastada (REIS, 2008).

Segundo os dados de FERNANDES (2017) quanto ao uso e ocupação do solo, a principal cultura de exploração nesta área é a cana de açúcar, que representa 33,66%. A área residencial de alta densidade ocupa 162,55 km². A vegetação nativa e vegetação rasteira representam o terceiro e quarto lugar em relação ao uso e ocupação do solo, com 147,78 km² e 108,63 km², respectivamente.

A área de estudo está localizada na bacia sedimentar costeira Paraíba-Pernambuco, que é dividida em três sub-bacias: Miriri, Alhandra e Olinda. A área estudada está localizada na sub-bacia Alhandra. Esta apresenta três formações geológicas sedimentares: formação Barreiras, formação Gramame e formação Beberibe, que foram depositados em períodos litológicos distintos.

A formação Beberibe se assenta discordantemente sobre o embasamento cristalino, podendo aflorar nas partes oeste e sul da bacia sedimentar. A parcela denominada Beberibe Inferior é caracterizada por arenitos continentais, quartzosos, com uma espessura média de 50 metros. São arenitos médios, finos e grossos, de coloração cinzenta, creme, vermelha e roxa, apresentando grãos sub-angulosos a sub-arredondados, com partículas argilosas. Sobre a formação Beberibe repousa horizontalmente a formação Gramame. Ela consiste, basicamente, de pedra calcária argilosa cinzenta, com algumas intercalações finas de argila. Esse pacote sedimentar tem espessura média de 50 metros, podendo chegar a 102 metros na região de Jacumã. (FERNANDES, 2017)

A formação Barreiras é formada por sedimentos clásticos, colorações vivas e variadas, mal consolidadas, e correspondem a areias, siltes, argilas e areias com seixos e cascalhos (REIS, 2008).

Coleta de Dados

Inicialmente foram coletados no banco de dados do projeto BRAMAR – Estratégias e tecnologias para escassez de água no Nordeste brasileiro, fichas de poços cadastrados localizados na região de estudo. Um total de 102 poços localizados nos municípios de João Pessoa, Lucena, Conde, Santa Rita, Cruz do Espírito, Rio Tinto, Alhandra, São Miguel de Itaipu, Cabedelo. Utilizando-se da ferramenta Excel foram geradas planilhas de organização, nomeando o poço e destacando: localização, proprietário, data de construção do poço, raio de poço, latitude e longitude, altitude, profundidade, Nível Estático (nível da água medido antes do bombeamento), Nível Dinâmico (nível da água medido durante bombeamento) e vazão. Ainda foi especificado se o aquífero em que é localizado classificava-se como Barreiras ou Beberibe e se o poço construído se situava na parte livre ou confinada do aquífero. Além disso,

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

foi observado se a ficha fornecia o perfil litológico do poço e Teste de produção. Todos os dados dos testes de produção foram fornecidos por empresas públicas e privadas de perfuração de poços tubulares, sendo estas: HIDROGESP, HIDROTEC, CONESP, CORNER, CIVILTEC e POCORESE LTDA.

As fichas que possuíam dados suficientes, informação do perfil litológico e Teste de produção foram analisadas, utilizando as informações de latitude e longitude foram plotados no software ArcGIS e verificado quais estavam dentro da área de estudo, que está situada entre as longitudes $-34,793364^\circ$ e $-35,214766^\circ$ e latitudes $-6,959107^\circ$ e $-7,404173^\circ$.

DESENVOLVIMENTO

O estudo das águas subterrâneas é de suma importância para a sociedade. O atual cenário de crise hídrica em várias partes do mundo reforça a necessidade de se conhecer adequadamente o seu comportamento e distribuição. No entanto, ainda há uma carência de informações detalhadas sobre essa fonte.

Através de um estudo aprofundado, conhecendo-se a sua ocorrência, fluxo e a quantificação deste recurso, é possível gerenciar adequadamente o seu uso, garantindo soluções apropriadas para sua exploração, de modo racionalizado.

Aquíferos e suas propriedades

Aquífero é uma formação geológica com porosidade interconectada e permeabilidade suficiente para armazenar e transmitir água em quantidades significativas, sob gradientes hidráulicos naturais. A aquíferos comumente são associados aos meios geológicos de areias e cascalhos inconsolidados, arenitos friáveis ou não, basaltos ou outras rochas cristalinas fraturadas, e outros (CLEARY, 2007).

De acordo com MANOEL FILHO (2000), os aquíferos confinados são aqueles onde a pressão da água em seu topo é maior que a pressão atmosférica. Em função das camadas limítrofes, estes podem ser classificados como: confinados não drenantes e confinados drenantes. O primeiro é caracterizado por camadas limítrofes impermeáveis e o segundo pela presença de pelo menos uma das camadas limítrofes semi-permeável, permitindo a entrada ou saída de água pelo topo e/ou pela base.

Os aquíferos livres, também chamados de freáticos ou não confinados, são aqueles nos quais todos os pontos da sua camada limítrofe de topo se encontram à pressão atmosférica, ou seja, seu limite superior é a superfície freática (CLEARY, 2007).

O conhecimento das propriedades hidrogeológicas permitem a compreensão e caracterização do comportamento hidráulico dos sistemas aquíferos, possibilitando o conhecimento das propriedades de fluxo e armazenamento. Dentre as propriedades dos aquíferos estão:

- Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica é uma medida da habilidade do aquífero de conduzir água sob a influência do gradiente de uma superfície potenciométrica (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1994).

Para compreensão do fluxo de água subterrânea, destaca-se a Lei de Darcy, estabelecida pelo engenheiro hidráulico francês, Henri Darcy, de acordo com a qual a velocidade ou vazão de escoamento é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico. Assim, a fórmula de Darcy, válida somente para escoamento laminar, é pode ser observada pela Equação 1:

$$Q = KA \left(\frac{dh}{dl} \right) \quad (1)$$

Onde:

Q: Vazão que atravessa uma seção transversal ao fluxo

A: Área da seção de fluxo

Dh/dl : Gradiente hidráulico ou queda de potencial hidráulico por unidade de distância percorrida pelo fluxo

- Transmissividade

A transmissividade é um parâmetro hidráulico que corresponde a quantidade de água que pode ser transmitida horizontalmente por um aquífero. E para FEITOSA & MANOEL FILHO (1997) pode ser conceituado como a taxa de água escoada através de uma faixa vertical do aquífero de largura unitária, submetido a um gradiente hidráulico unitário. É calculado utilizando a Equação 2:

$$T = Kb \quad (2)$$

No qual,

T = transmissividade [L²/T]

K = condutividade hidráulica [L/T]

b = espessura do aquífero [L]

As unidades são m^2/s , m^2/dia . A transmissividade pode variar em diferentes aquíferos e diferentes pontos de um mesmo aquífero. Os valores variam de 1 m/d em algumas rochas ígneas e sedimentares até 100.000 m/d para carbonatos cavernosos e corridas de lava (HEATH, 1982).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de Dados

Os dados de testes de vazão concedidos pelas empresas citadas anteriormente, foram analisados a fim de se estimar, essencialmente, a transmissividade de cada poço. Todos os testes de produção realizados eram escalonados. Para a análise, a vazão (Q), rebaixamento, ou seja, o nível estático (h_0), nível dinâmico (h) e tempo de bombeamento foram utilizados.

A equação diferencial geral do fluxo subterrâneo é a seguinte:

$$h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{-e^u}{u} du \quad (3)$$

Onde:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (4)$$

Theis (1935) propôs a resolução para a equação diferencial inexata acima, através da seguinte série convergente:

$$0,5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} + \frac{u^4}{4.4!} \dots = W(u) \quad (5)$$

Como $h_0 - h = s$ (rebaixamento), tem-se:

$$s = \frac{Q}{4Tt} W(u) \quad (6)$$

Tirando-se o valor de T em (6) e S em (4) teremos:

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u) \quad (7)$$

$$S = \frac{4Ttu}{r^2} \quad (8)$$

Onde:

T = transmissividade (m² /s);

Q = vazão de bombeamento (m³ /h);

s = rebaixamento a uma distância r do poço bombeado (L);

S = coeficiente de armazenamento (adimensional);

t = tempo a partir do início do bombeamento (s);

r = distância do poço de bombeamento ao ponto de rebaixamento s (m);

W(u) = função de poço para aquífero confinado não drenante.

Cooper & Jacob (1946) constataram que para valores de u muito pequenos, $u < 0,01$, os dois primeiros termos da série de Theis eram suficientes para apresentar uma aproximação bastante confiável do valor de W(u). Obtendo a seguinte equação para o rebaixamento:

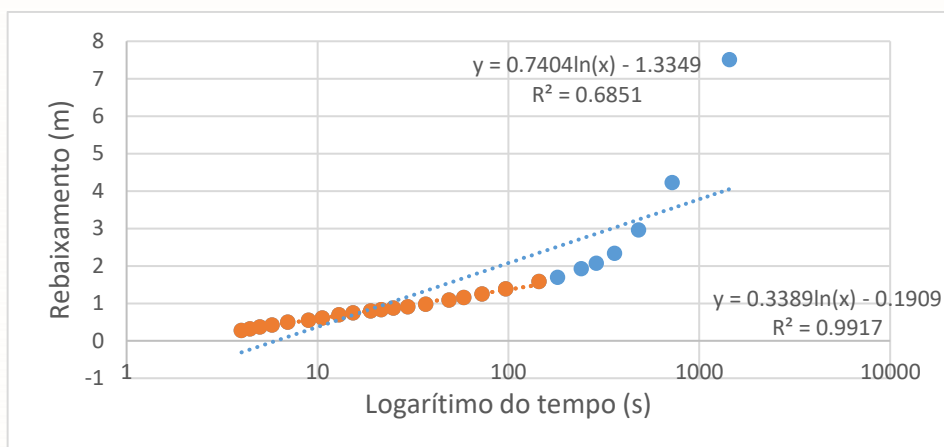
$$s = h_0 - h = \frac{-2,30Q}{4\pi T} \log_{10} \left(\frac{0,445r^2 S}{Tt} \right) \quad (9)$$

Para uma dada vazão (Q) são plotados os dados de rebaixamento (s) e tempo de bombeamento (t) em partir do gráfico entre o tempo de bombeamento (t, em segundos) em escala logarítmica versus rebaixamento (s, em metros). Para calcular o valor da transmissividade (T) foi aplicada a equação:

$$T = \frac{2,303Q}{4\pi(h_1 - h_2)} \log_{10} \left(\frac{t_2}{t_1} \right) \quad (10)$$

Isto posto, a interpretação dos testes de produção foi realizada segundo as equações pelo método de Cooper & Jacob (1946). Para isto, foram plotados os valores do logaritmo do tempo, em segundos, versus o rebaixamento (s), em metros, para cada ficha selecionada como na Figura 2. A análise das curvas formadas pela plotagem dos pontos remete ao cone de rebaixamento do aquífero, que representa o rebaixamento do nível da água no poço durante o bombeamento.

Figura (2) - Gráfico da curva de recuperação do poço 47-P4



A partir do processamento das informações que foram obtidas durante dos testes de bombeamento e as equações já citadas anteriormente foram calculados os valores de transmissividade. A partir disso, tendo que a espessura da formação Beberibe é 200 metros, foi calculado a condutividade hidráulica do aquífero pela equação (4).

Na figura 2a, temos a distribuição espacial da T, onde pode-se observar um aumento em determinadas localidades da cidade. O mesmo comportamento reflete-se para a condutividade hidráulica K, como na figura 5b. Os valores de T e K encontrados variaram de 5,31 a 359,51 m²/dia (6,15E-05 a 4,16E-3 m²/s), e 0,04 a 1,8 m/dia (ou 3,07E-07 a 2,08E-05 m/s), respectivamente.

Com base na constituição litológica do aquífero, os poços estão localizados na formação Beberibe/Confinado.

COSTA et al. (2007) afirmou que foram observados na literatura valores estimados pelo Estudo de Caracterização e Verificação da Disponibilidade Hídrica da Vertente Litorânea do Estado da Paraíba, realizado em 2007 pelo Ministério da Integração Nacional. Através de 11 ensaios de bombeamento realizados em poços situados no município de João Pessoa e cidades circunvizinhas foram estudados os parâmetros hidrodinâmicos de transmissividade e condutividade hidráulica.

Figura (3) – Resultados de transmissividade e condutividade Hidráulica calculados pelo Método Cooper & Jacob nos municípios de João Pessoa e Cabedelo.

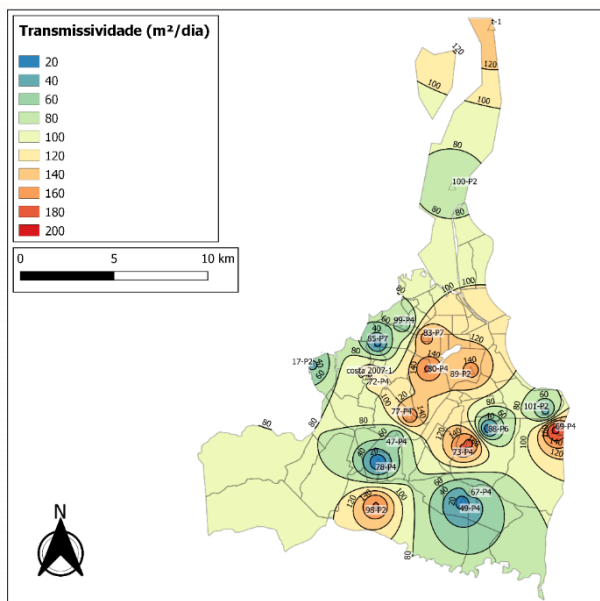


Figura 3a – Espacialização de valores de transmissividade (m²/dia)

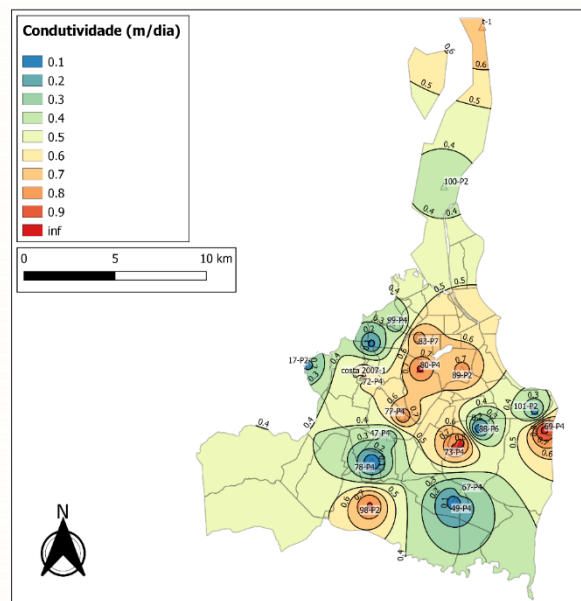


Figura 3b – Espacialização de valores de Condutividade Hidráulica (m/dia)

Foi observado que no aquífero Beberibe os valores de transmissividade variam de 21,25 m² /d ($2,45 \times 10^{-4}$ m²/s) e 414,26 m² /d ($4,78 \times 10^{-3}$ m² /s). A condutividade hidráulica variou entre 0,23 m/dia (ou $2,66 \times 10^{-6}$ m/s) até 5,94 m/dia (ou $6,87 \times 10^{-5}$ m/s). Já o estudo realizado pela Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais - CDRM que consistiram em 8 testes de bombeamento no aquífero Beberibe mostraram valores de T variando desde o mínimo de 15,64 m² /dia (ou $1,0 \times 10^{-5}$ m² /s) ao máximo de 154,65 m² /dia (ou $1,79 \times 10^{-3}$ m² /s). A condutividade hidráulica (K), foi avaliada em apenas 4 ensaios, variando entre 0,26 m/dia (ou $3,0 \times 10^{-6}$ m/s) e 43,72 m/dia (ou $5,06 \times 10^{-4}$ m/s). Isto posto, pode-se dizer que os resultados encontrados neste trabalho condizem com a bibliografia estudada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os intervalos de variação dos valores obtidos de T e K são grandes, estando entre 5,31 a 359,51 m²/dia, e 0,04 a 1,8 m/dia, com uma média não representativa da ordem de 100,65 m²/dia e 0,53 m/dia, respectivamente. Vale salientar que esses valores possuem incertezas e estão localizados dentro de uma faixa em que o resultado pode estar localizado.

O método proposto por Cooper & Jacob fornece resultados válidos para se obter parâmetros que futuramente servirão como dados de entrada em modelos matemáticos de fluxo. Os valores estimados mostraram-se condizentes com a literatura existente, além de permitir

uma especialização em modelos geoestatísticos. Dessa forma, é possível identificar quais poços da região têm maior produtividade.

Segundo a ANA (2010), todos os resultados obtidos podem ser classificados como capacidade muito baixa, baixa e de média a alta. Observa-se que na região central de João Pessoa há um aumento nos valores da transmissividade, bem como da condutividade hidráulica, na região que engloba os bairros do Cristo Redentor, Castelo Branco, Bancários, Ernane Sátiro, Torre e Tambauzinho. O mesmo ocorre na região onde se localiza o bairro Gramame, na zona Sul da de João Pessoa, em Costa do Sol e Penha, zona Leste da cidade, e no município de Cabedelo.

Esta pesquisa gerou dados que podem ser utilizados como auxílio para uma gestão sustentável de recursos hídricos na região. Recomenda-se, para pesquisas futuras, que sejam aplicados outros métodos para a análise dos testes de produção, destinados a aquíferos confinados, contudo, sempre fazendo a análise das variáveis hidrogeológicas para se obter a melhor interpretação dos resultados.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil. Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa referente ao projeto PIBIC/CNPq-UFCG.

REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas. (2010)

BATISTA, M. L. D. C. et al. **Modelagem do Fluxo Subterrâneo na Bacia Sedimentar Costeira do Baixo Curso do Rio Paraíba como Subsídio à Gestão de Recursos Hídricos.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 16, p. 163–175, 2011.

CHOW, Ven Te; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Hidrologia Aplicada.** Santafé de Bogotá: Mcgraw-hill interamericana, 1994. 943 p. Tradução da primeira edição em inglês de Applied Hydrology. p. 110.

CLEARY, R. W. **Águas Subterrâneas.** Clean Environment Brasil, Princeton Groundwater Inc, ABRH, 112 p., 2007

COOPER, H. H.; JACOB, C. E. **A generalized graphical method for evaluating formational constants and summarizing well field history**. American Geophysical Union Transactions, v. 27, p. 526-634, 1946.

COSTA, W. D. et al. **Estudo de caracterização e verificação da disponibilidade hídrica da vertente litorânea do estado da Paraíba**. Estudos Hidrogeológicos. Relatório Final. Tomo I –Texto. Ministério da Integração Nacional, 2007.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Coords.) 1997 - **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM / LABHID – UFPE, 412 p. il.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. 3ª ed. rev. e ampl. – Rio de Janeiro: CPRM: LABHID. 2008, 812p.

FERNANDES, L. A. **Aplicação do método WTF para estimativa de recarga do aquífero livre da região da Bacia do Rio Gramame e do Baixo curso de Rio Paraíba/PB**. 2017. 183f. Dissertação (mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

HEATH, Ralph C. **Hidrologia Básica de Água Subterrânea**. Carolina do Norte: U.s. Government Printing Office, 1983. Tradução de Mário Wrege e Paul Potter.p. 2,3,4.

MANOEL FILHO, J. In: **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Feitosa, F. A. C. et al. (2ª Ed.). Rio de Janeiro: CPRM – LABHID, 2000. p.9,10,61,62.

REIS, C. M. M. **O litoral de João Pessoa (PB), frente ao problema da erosão costeira**. Tese de Doutorado. PPGG, CTG, UFPE. 123p, 2008.

THEIS, C.V. **The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage**. In: TRANS. AM. GEOPHYS. UNION. 16th. 1935. Proceeding. [S.l.n.], 1935. Part 2.