

MODELAGEM DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM AQUÍFERO ALUVIAL COMO SUBSÍDIO A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA CIDADE DE SUMÉ/PB

Mateus Rodrigues da Costa ¹
Lucas de Assis Wanderley Araújo²
Sonaly Mendes Arruda ³
Carmem Júlia Firmino Araruna ⁴
Janiro Costa Rêgo ⁵

RESUMO

Este trabalho tem como área de estudo um trecho do aquífero aluvial do Rio Sucuru, visando calibração e aplicação de um modelo matemático de simulação como suporte a gestão de recursos hídricos. Para isso, foi realizado o aprimoramento, e calibração de modelo matemático previamente desenvolvido, utilizando o software Feflow, com dados de monitoramento de nível do lençol freático, de forma a obter melhores dados de condutividade para as subseqüentes aplicações. Foram realizadas análises iniciais, calibração e simulação de cenários. Obteve-se significativos aprimoramentos nos dados topográficos, e na análise dos dados. Com as análises iniciais foi possível identificar rápidos padrões de recarga e menores de descarga. A calibração apresentou coeficientes de correlação superiores a 0,93, e a presença de zonas com alta variabilidade de condutividade, além de zonas melhores condutoras de comportamento similar, como as zonas 1 e 3, além de zonas piores condutoras cujo comportamento sugere diminuição da condutividade conforme aumento nos níveis, zonas 5. A análise dos cenários mostrou para o cenário 1 rebaixamento de 8,6% e volumes de 88,86 mil m³ de evapotranspiração, e, para o cenário 2, rebaixamento de 13% com volumes de 90,4 mil m³ de evapotranspiração, referentes aos primeiros 90 dias. Conclui-se, a partir do modelo calibrado, que o aquífero de Sumé é capaz de atender até 2 dois ciclos de cultivo referente as áreas dos lotes atuais, sem necessidade de recarga, no primeiro cenário; e garante pelo menos safra para uma reativação de 1/4 das áreas de milho e capim do antigo perímetro irrigado.

Palavras-chave: Aquíferos Aluviais, Calibração, Gestão de Recursos Hídricos.

INTRODUÇÃO

O uso de águas subterrâneas é bastante disseminado mundialmente, principalmente para atendimento urbano e irrigação, e em regiões semiáridas, caracterizadas por alta variabilidade temporal e espacial de precipitação juntamente, com evaporação elevada, o uso

¹ Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM) – UFPB, mateus.rodrigues@ct.ufpb.br;

² Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) – UFCG, lucassis7@outlook.com;

³ Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) – UFCG, sonaly_mendes@hotmail.com;

⁴ Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, carmem_araruna@hotmail.com;

⁵ Professor orientador: Doutorado, Professor Titular da Universidade Federal de Campina grande – UFCG, janiro_rego@yahoo.com.br;

de águas subterrâneas torna-se especialmente importante, diante do contexto de escassez hídrica, considerados em tais regiões, um recurso estratégico, dada a qualidade das águas, baixa evaporação e capacidade de armazenamento (LIBANIO, 2010; GALVÃO, 2011).

O aproveitamento de pequenos aquíferos aluviais é prática comum com relevante papel na mitigação da escassez hídrica na região semiárida, e tem sua importância constatada em todo seu domínio, no qual a geologia é predominantemente impermeável, apresentando litologia, dimensão e características favoráveis para exploração (ALBUQUERQUE, 1986; RÊGO *et al.*, 1999).

Diante desse quadro, a gestão de recursos hídricos merece uma atenção devida, sobretudo em regiões como no semiárido, onde para o desenvolvimento da irrigação e mesmo para o abastecimento é fundamental o conhecimento acerca da disponibilidade de água em quantidade e qualidade, além do que devem ser propostas alternativas de uso e compartilhamento adequadas à realidade local.

No que diz respeito a gestão de recursos hídricos, a modelagem numérica de fluxo de água subterrânea é ferramenta imprescindível de suporte a decisões de gestão de recursos visto que fornece informações importantes para gerenciamento de poços, simulação de cenários futuros, e muitos outros (CARVALHO, 2013).

O uso de modelos matemáticos realiza a representação aproximada da realidade mediante a resolução das equações que descrevem o processo físico, sendo assim, uma vez que se obtenha um modelo que represente adequadamente um determinado fenômeno ou processo, este poderá ser empregado para simular diversos cenários (GONÇALVES, 2013).

Assim, esta pesquisa vem complementar estudos realizados no aquífero aluvial do Rio Sucuru na cidade de Sumé – PB, tais como Vieira *et al.* (2002), Rêgo *et al.* (2013), Alves (2016), de forma a realizar aprimoramentos e aplicações de modelos iniciados, de modo a possibilitar a análise de cenários e respectivos impactos sobre as águas subterrâneas, fornecendo suporte à gestão integrada de recursos hídricos na região.

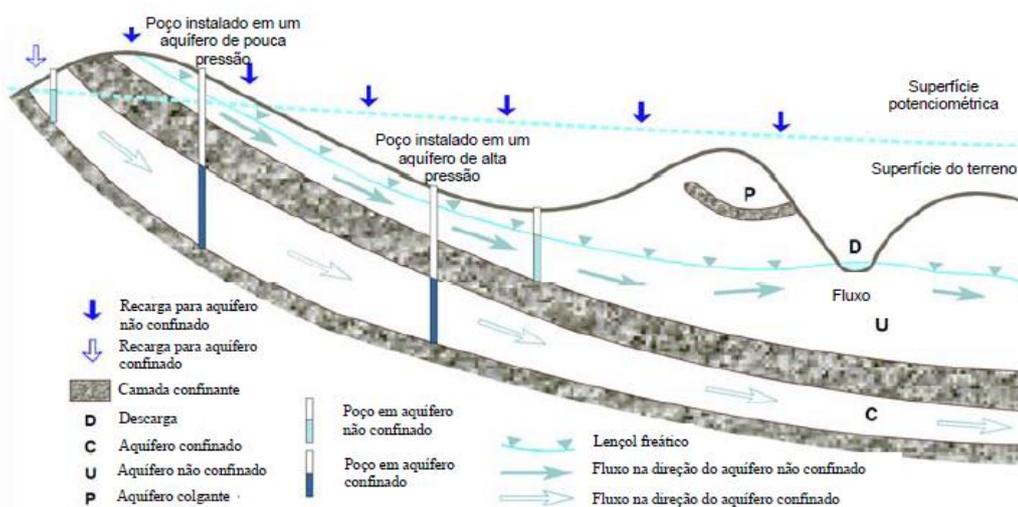
Sendo assim, o objetivo desse trabalho consiste em aplicar um modelo matemático de fluxo de água subterrânea no aquífero aluvial do Rio Sucuru na cidade de Sumé/PB, de modo a oferecer suporte a gestão de recursos hídricos.

DESENVOLVIMENTO

Águas subterrâneas, ou águas subsuperficiais, é o termo usado para denotar toda a água que se encontra abaixo da superfície do terreno, a qual se armazena nos poros entre os grãos minerais, em fraturas ou em feições cársticas do maciço rochoso. Geralmente provenientes de precipitação ou derretimento de neve, esta infiltra-se no solo até ficar localizada em camadas subjacentes (DE LA CRUZ, 2014).

A Figura 1, apresenta uma ilustração esquemática de um sistema de águas subterrâneas mostrando áreas de recarga e descarga, aquífero confinado, não confinado e em repouso, nível do lençol freático, superfície potenciométrica, camadas confinantes e a direção do fluxo das águas subterrâneas.

Figura 1 – Tipos de aquíferos, com respectivos níveis de pressão.



Fonte: Best (1998).

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

Classificam-se tradicionalmente três tipos de aquíferos, a saber:

- Aquífero confinado – Trata-se de uma formação geológica permeável confinada entre duas camadas impermeáveis, caracterizando uma pressão interior sempre maior do que a pressão atmosférica. Possuem grande extensão e produção.

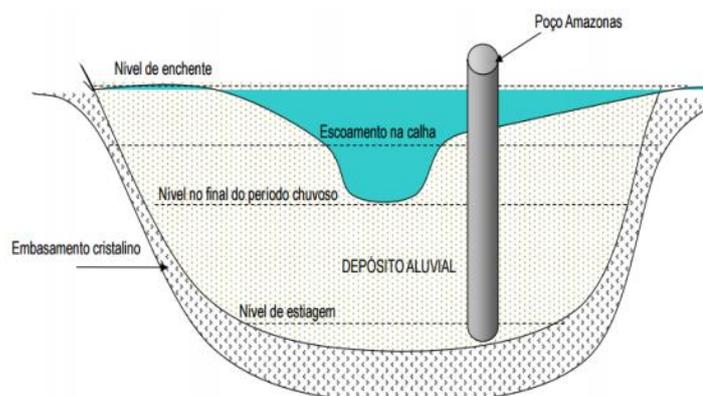
- Aquífero semipermeável – É um aquífero localizado entre duas camadas semipermeáveis e consideravelmente delgadas. Considera-se possível o fluxo de água do aquífero e para o aquífero a depender da diferença de potencial hidráulico.
- Aquífero livre (ou freático) – Possui a superfície freática como fronteira superior, estando, pois, sujeito sempre a pressão atmosférica. São os aquíferos mais comuns e os mais exploráveis pela população, apresentando, devido à vulnerabilidade, maiores problemas com contaminação.

Segundo Costa (1986) depósitos aluviais podem ser constituídos de detritos das mais variadas frações granulométricas, desde seixos até argilas, com predomínio majoritário de frações arenosas. Tais aquíferos são de origem recente (quaternária), os quais estão relacionados diretamente com o desenvolvimento dos rios e riachos, cuja origem dá-se por diversos processos que atuam na superfície da bacia hidrográfica, conforme ilustrado na Figura 2. Assim, tais aquíferos podem ser definidos como pacotes de sedimentos dendríticos, formados de cascalho, areia, silte e argilas.

Bem conhecidos como aluviões, estes iniciam-se com a erosão das rochas, provocada por processos de variação de temperatura e ação de agentes químicos e biológicos, seguidos por transporte pela água, e, finalmente, de sedimentação ou deposição desse material no próprio leito, um pouco abaixo das fontes de erosão.

Os aluviões possuem papel de destaque no que diz respeito a mitigar o impacto da estiagem em regiões semiáridas. Uma alternativa bastante utilizada diz respeito a perfuração de poços de grandes diâmetros (conhecidos como poços amazonas, ou “cacimbões”) em vales aluviais de rios ou riachos intermitentes. Além disso, o papel da perfuração de poços em leitos aluviais para irrigação de pequena escala e dessedentação animal é bastante destacado (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2012).

Figura 2 – Esquemática de um aquífero aluvial



Fonte: ABAS (2015).

Em se tratando da modelagem de águas subterrâneas, é crescente o uso de modelos de simulação de fluxo de águas subterrâneas, se justificando pelos vários objetivos associados ao uso desta fonte de recursos. A previsão de efeitos causados pela concentração de poços e vazões bombeadas é geralmente o que mais se procura (CIRILO & CABRAL, 1989).

Um modelo matemático trata-se de uma representação simplificada de uma situação real, através de equações matemáticas, no caso da hidrogeologia, tem-se o uso das equações que regem o fluxo subterrâneo.

O modelo conceitual tem como objetivo a representação e simplificação do problema, de forma a esquematizar as camadas confinantes, recargas e descargas, conexões hidráulicas, bem como definir quais são as implicações do uso desta simplificação, ou seja, relação causa-consequência. É importante ressaltar que busca-se conciliar a representação da realidade do aquífero juntamente à descrição do comportamento deste.

Um modelo matemático apresenta-se estruturado em equações governantes, condições de contorno, e condições iniciais (para o caso de regimes não-permanentes). As equações governantes que representam o fluxo de água subterrânea são derivadas da combinação da Lei de Darcy com e Lei de Conservação da Massa

METODOLOGIA

A construção do modelo matemático aplicada ao caso de estudo já fora anteriormente iniciada em projeto de iniciação científica (COSTA & RÊGO, 2017), sendo o presente projeto a etapa seguinte no que diz respeito à modelagem, destacada a importância.

A fase inicial para o cumprimento do escopo deste trabalho refere-se à etapa de revisão bibliográfica, em que foram realizadas pesquisas em diversos livros, revistas, artigos, dissertações, de forma a obter familiarização com o tema de hidrogeologia, modelagem e aquíferos aluviais, bem como coletar/processar dados obtidos através do Projeto Bramar e em pesquisas anteriores acerca da área de estudo.

Com base nisso, com intuito de aprimorar o modelo já iniciado, foram adicionados novos parâmetros, como a taxa de evapotranspiração, contemplando a espacialização da variação de parâmetros já adicionados, como condutividade, antes atribuída com valor constante. Alterações na malha e parâmetros de elevação também demandaram ajustes.

Após isso, foi feita a revisão do modelo conceitual que melhor representa o sistema aquífero físico, e com isso, necessariamente, as condições de contorno. Essa etapa foi

realizada em consonância com os cenários a serem analisados. Em seguida, realizou-se a etapa de calibração do modelo, em que é feito o ajuste de parâmetros hidrogeológicos do modelo (condutividade), de forma a ajustar os resultados de níveis calculados pelo programa, com os dados medidos nas campanhas de monitoramento.

Finalmente, após a calibração, foi desenvolvida a simulação de cenários representativos de condições encontradas em campo, de forma a obter resultados reais, bem como foram simulados também cenários hipotéticos passíveis de execução no âmbito da gestão de recursos hídricos, permitindo assim previsões acerca de alternativas de manejo.

Figura 3 – Fluxograma de execução metodológica do trabalho.

Aprimoramento do modelo existente	<ul style="list-style-type: none"> •Melhoramento de dados topográficos e sondagens; •Melhoramentos da malha;
Revisão de modelo conceitual e condições de contorno	<ul style="list-style-type: none"> •Definição de modelo transiente e permanente;
Calibração	<ul style="list-style-type: none"> •Realizada para 3 datas; •Níveis médios, baixos e altos;
Simulação de Cenário	<ul style="list-style-type: none"> •Cenário 1 (2 ciclos simulados) •Canário 2 (1 ciclo simulado)

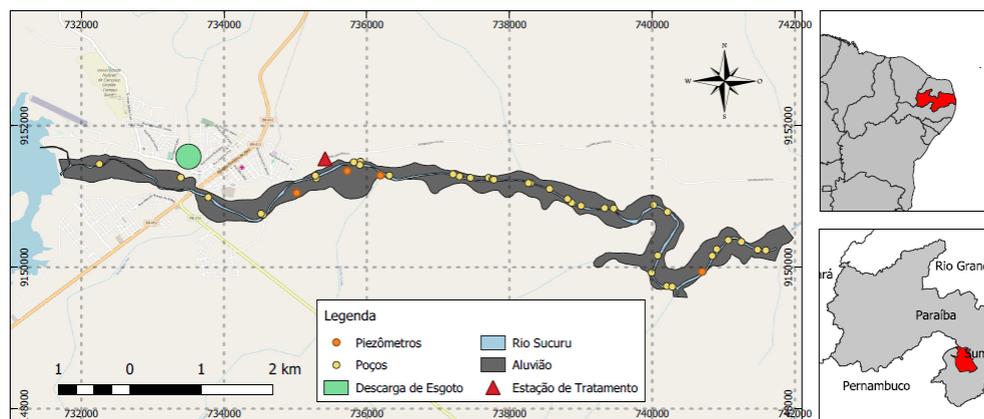
Fonte: O Autor (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área de estudo (Figura 4) encontra-se na microrregião dos Cariris Velhos do Estado da Paraíba, diz respeito ao pacote aluvial que se estende desde a jusante do reservatório de Sumé, até o limite do Perímetro Irrigado.

Em se tratando de suas características dimensionais, a porção do aquífero que compreende o perímetro irrigado possui área de 3,52 km², extensão de aproximadamente 14 km e perímetro de 27,84 km. Neste trecho encontram-se 42 poços, dos quais a grande maioria encontra-se ativa, 16 piezômetros (sendo 2 destes equipados com medidores automáticos), 3 barragens subterrâneas, uma estação de tratamento de esgoto que lança seu efluentes sobre o rio, além de uma descarga de esgoto não tratado próximo à barragem municipal.

Figura 4 – Mapa de Localização da Área de Estudo.



Fonte: O Autor (2019)

O modelo que será utilizado, foi desenvolvido por Costa e Rêgo (2017), e encontra-se ilustrado na Figura 5. Este modelo foi desenvolvido no software FEFLOW, e já foi parametrizado para alguns dados, como os de condutividade em camada única de simulação, porém ainda não se encontra calibrado.

O modelo de interesse conta com uma malha de pouco mais de 10 mil elementos finitos (triângulos irregulares), com 5530 nós iterativos, conforme Figura 5. Há um maior refinamento nos locais onde serão simulados os poços e piezômetros de forma a permitir uma correta atribuição de parâmetros, bem como verificação de resultados. Não há elementos que possuam ângulo obtuso maior que 120° , e apenas 14,7% possuem ângulo acima de 90° , caracterizando uma malha de boa qualidade, conforme Gonçalves (2013) afirma.

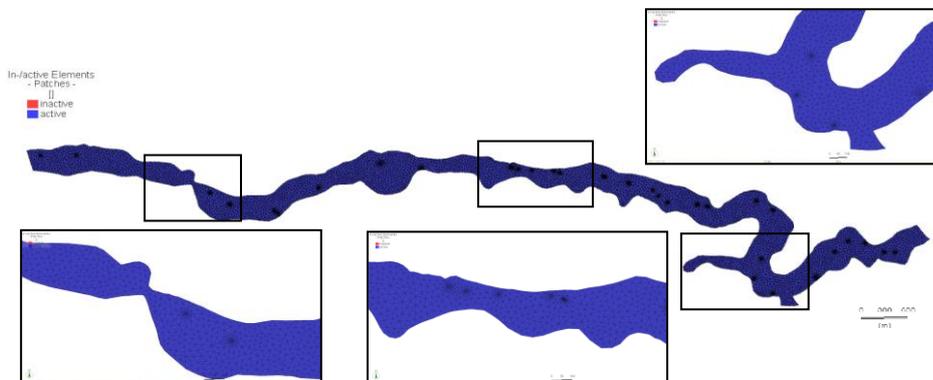
Nas análises iniciais, foram realizadas simulações em regime permanente a partir da informação das cargas hidráulicas medidas especificadas, de forma a obter para diferentes datas a distribuição de carga hidráulica, assim como dados de volume armazenado, condições de carga hidráulica permanente, e outros. É importante mencionar que tais análises foram importantes para compreensão do sistema e definição das condições iniciais, condições de contorno e dos cenários.

A calibração da condutividade é feita em regime permanente. Em relação ao modelo, foram adicionadas 07 zonas de condutividade, as quais foram definidas com bases nos perfis litográficos da área de estudo, em que foram identificadas áreas com características litográficas semelhantes baseadas nos perfis de sondagens. Tais zonas foram usadas também por Tsuyuguchi *et al.* (2017), e serão utilizadas para a calibração do modelo.

Os resultados encontrados com a realização deste trabalho vão desde os incrementos e aperfeiçoamentos no modelo já existente, passando pela calibração, simulações iniciais e

aplicação deste modelo. E não só, serão apresentadas análises relativas aos próprios dados, tanto de níveis quanto de condutividade, conforme abaixo.

Figura 5 – Malha de elementos finitos da área de estudos.



Fonte: O Autor (2019).

O nível do aquífero freático é refletido diretamente no comportamento dos poços, quando cessado o bombeamento por tempo suficiente para estabilização, dessa forma as medições dos níveis estáticos correspondem a uma amostra pontual do comportamento do aquífero. Sendo assim, a importância em se ter uma base de dados consistente e confiável é fundamental para o estudo da dinâmica de águas subterrâneas.

Em termos quantitativos destaca-se a evolução do volume de água armazenado no aquífero, ao longo do tempo, em que é possível notar um decréscimo do volume, condizente com o período de longa estiagem, conforme ilustrado na Figura 6.

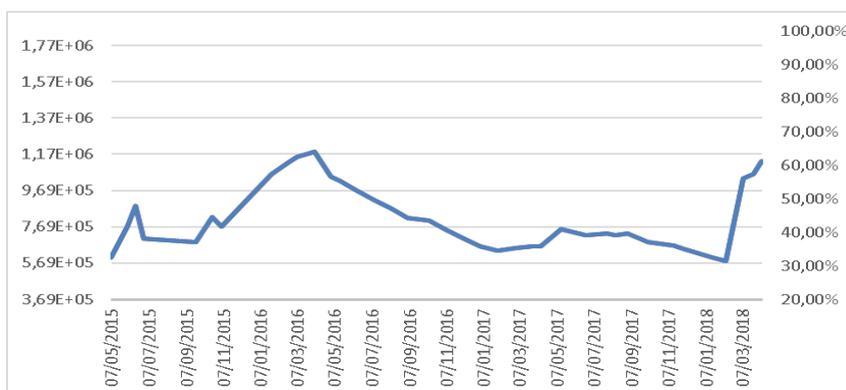
É possível perceber ainda que os níveis registrados correspondem a cerca de 65% da capacidade total do aquífero, provenientes de um período de precipitação sazonal abaixo da média. Além disso, é possível destacar a rápida resposta do aquífero tanto a precipitação, quanto aos períodos de estiagem, característico de aquíferos aluviais, os quais apresentam pequena dimensão e, litologia propícia.

Entretanto o que se nota é uma resposta um pouco mais rápida aos estímulos de precipitação, visto que no período analisado, ele recuperou níveis de 34% a 65% da capacidade em um período de 5 meses de precipitações ainda abaixo da média no ano de 2015, enquanto que para o período de estiagem o aquífero que tinha 65% da capacidade de armazenamento preenchida com água, passou para 37% em cerca de 10 meses, no ano de 2016, e de 41% a 30% em 9 meses.

O processo de calibração apresentou resultados satisfatórios, de forma que foi possível a obtenção de coeficientes de correlação da ordem acima de 0,93 para as datas analisadas, caracterizando uma boa representação dos dados simulados aos observados. Além disso,

apresentou NRMSE (Raiz do Erro Quadrático Médio Normalizado) baixos valores, da ordem de 10%.

Figura 6 – Evolução do volume do aquífero (m³).



Fonte: O Autor (2019).

Conforme Figura 7, é possível notar a grande correspondência dos dados estimados com os dados simulados, para as condições de contorno apresentadas, havendo também alguns valores com diferenças superiores a 1m, mas que não afetaram de maneira significativa os coeficientes de correlação. A data de 07/11/2016 foi a que melhor correlacionou os dados observados com os simulados.

De uma maneira geral, as simulações mostraram como o aquífero se apresenta diante da situação de bombeamento.

Cenário: Continuidade do cultivo de capim e milho ao fim de estação chuvosa de elevada precipitação.

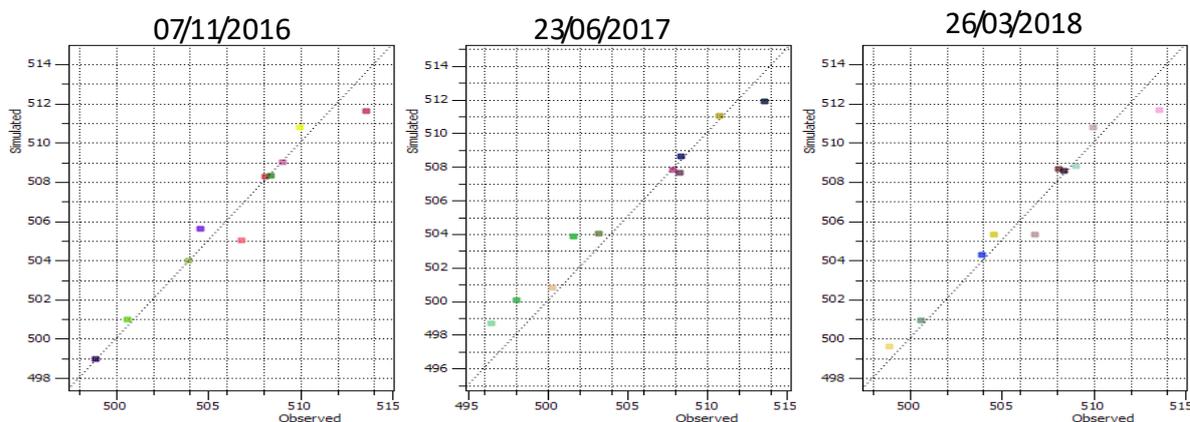
Nesse cenário foi simulada inicialmente a situação do aquífero para um ciclo de cultivo de culturas de capim e milho, que dura aproximadamente 3 meses.

O modelo matemático se comportou bem, e ao fim dos 3 meses foi notória uma baixa significativa de aproximadamente 8,6% da capacidade, caracterizando uma redução de 160 mil m³, que se mostra um valor considerável para o período. Parte desse valor é parcela do próprio bombeamento que está sendo executado, que consomem 58 m³, e não só, o modelo mostra parcela considerável de perdas por evapotranspiração, cerca de 88,86 m³.

A exploração dessa vazão, como esperado, já foi suficiente para promover alterações na distribuição geral das cargas hidráulicas, conforme é possível notar na Figura 8.

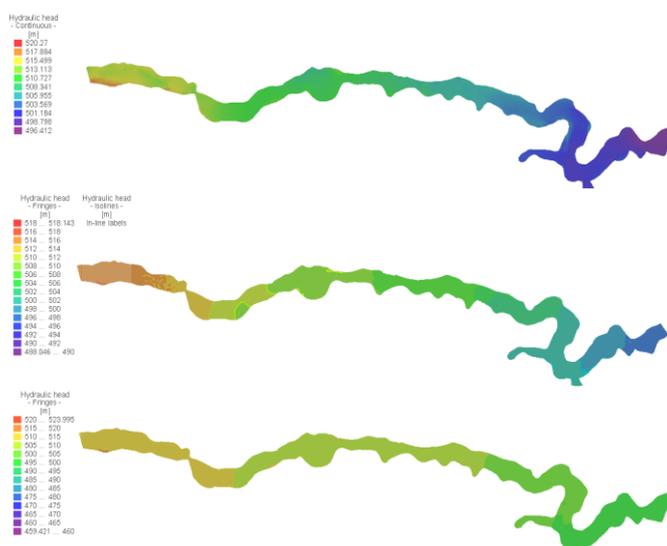
Sendo assim, o modelo já indica que, de fato, pelo menos um ciclo de cultivo das culturas de milho e capim, pode ser realizado com segurança no aquífero em questão, de forma a não comprometer os demais usuários além do perímetro irrigado, tampouco a aceleração do processo de secagem do aquífero.

Figura 7– Diagrama de Dispersão de cargas hidráulicas para datas calculadas.



Fonte: O Autor (2019).

Figura 8 – Cargas hidráulicas iniciais, para 1º e 2º ciclo de cultivo.



Fonte: O Autor (2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final, tem-se que foram realizados vários incrementos no modelo, como melhoramento de dados topográficos, maior tratamento dos dados, além da calibração realizada. O modelo se mostrou uma ferramenta bastante aplicável e útil de subsidiar a gestão, permitindo análises de cenários.

Conforme as descrições apresentadas, destaca-se, portanto, que a construção de um modelo de simulação contempla diversas etapas qualitativas e quantitativas, inclusive o levantamento e tratamento de diversos dados de campo. Dentro de tais etapas envolvem-se

incertezas metodológicas e simplificações diversas, caracterizando um processo constante de aperfeiçoamento e reformulação das hipóteses, sempre se adequando à realidade de campo.

Em se tratando da calibração, notou-se definido comportamento heterogêneo do aquífero com relação às zonas de condutividade, apresentando valores variáveis espacial e temporalmente, correlacionados com aumentos e decréscimos nos níveis, ou não. Nota-se presença de zonas com condutividades mais elevadas e regulares para as três simulações, como a zona 1 e 3 com condutividades próxima a sugerida por Vieira (2002), além de zonas menos condutoras, e com padrão de condutividade diminuindo conforme aumentam-se os níveis, que é o caso da zona 5.

A simulação de cenários mostrou uma que para atender a demanda de até dois períodos de cultivo de culturas como milho e capim, o aquífero se mostra bastante eficaz. Por outro lado, para o atendimento de três ou mais ciclos a influência no fluxo a jusante deve ser melhor analisada, considerando-se ainda a ocorrência de secas plurianuais.

Dentro dessa temática, diversos estudos ainda podem ser realizados, bem como várias aplicações, as quais fogem do escopo deste trabalho, e serão deixadas como sugestão para trabalhos futuros:

- a) Realização de estudos que abordem a espacialização dos litotipos presentes nas sondagens da área de estudo, de forma relacionar de forma mais direta e acurada a relação entre a condutividade e as camadas do aluvião;
- b) Continuidade da parametrização, a calibração e aplicações em regime transiente, uma vez que se terá à disposição uma maior série de dados observados;
- c) Realizar simulações de outros cenários, de forma a investigar mais profundamente a influência da evapotranspiração com os regimes de exploração, bem como definir valores mais representativos conforme a situação dos níveis.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. do P. T. **Sistema Aquífero Aluvial do Estado da Paraíba. IV Congresso Brasileiro de Águas subterrâneas.** In: Anais do IV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. P273-274. Brasília – DF: 1986.

ALVES, E. J. C. **Potencialidade e manejo dos recursos hídricos do aquífero aluvial em Sumé – PB.** Dissertação. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande, 2016.

Best, M. **Introduction to groundwater aquifers.** Publicações digitais para a Municipality of Central Saanich Resource Atlas. 1998. Disponível em:

<http://www.centalsaanic.ca/Assets/Central+Saanic/Publications/CS+Resource+>. Acesso em agosto de 2018.

CARVALHO, A. M.de. **Modelagem numérica como ferramenta para gestão das águas subterrâneas em São José do Rio Preto (SP)**. Dissertação (mestrado) / USP. São Paulo, 2013.

CIRILO, J. A.; CABRAL, J. J. S. P. **Modelos de água subterrânea**. In: SILVA, R. V. da, (Ed.). Métodos numéricos em Recursos Hídricos. p. 303-379. Rio de Janeiro: ABRH, 1989.

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

COSTA, Q. D. **O Aquífero Aluvial E Sua Exploração Racional**. In: Revista Águas Subterrâneas. 1986.

COSTA, M. R; RÊGO; J. C. **Avaliação das condições de fluxo e armazenamento de água subterrânea em um aquífero aluvial com emprego de um modelo matemático de simulação**. In: XIV Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2017.

DE LA CRUZ, H. D. N. **Modelagem numérica para avaliação do controle das águas na mineração**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil. 2014.

GALVÃO, C. O. (Org.) et al. **Recursos hídricos para a convivência com o semiárido: abordagens por pesquisadores no Brasil, Portugal, Cabo Verde, Estados Unidos e Argentina**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2011.

GONÇALVES, R. D. **Simulação numérica de fluxo de águas subterrâneas na bacia do Rio Grande (BA)**. Trabalho de conclusão de curso (Geologia). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 2013.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Alinea. São Paulo, 2010.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. **Olhares sobre as políticas de recursos hídricos para o semiárido. Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas: Estudos e Aplicações**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012.

RÊGO, J. C.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; VIEIRA, L. J. S. **Reativação de perímetros de irrigação através da exploração de aquíferos aluviais - o caso de Sumé**. In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 1999.

RÊGO, J. C; GALVÃO, C. O.; LUCENA, Z. M. C.; RIBEIRO, M. M. R.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; SOUZA, J. A. **Atribuições e responsabilidades na gestão dos recursos hídricos – o caso do açude Epitácio Pessoa/boqueirão no cariri paraibano**. XX Simpósio Brasil de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves/RS, 2013.

VIEIRA, L. J. S.; RÊGO, J. C.; SRINIVASAN, V. S. **Aplicação de um modelo matemático de simulação do fluxo subterrâneo para definição de alternativas de exploração de um aquífero aluvial**. In: VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2002. Anais do VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. v. Unico. p. 55., 2002.