

IV-122 – MODELAGEM DAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO EM UM AQUÍFERO SEDIMENTAR NA REGIÃO DO MUNICÍPIO DO CRATO, CEARÁ, BRASIL

Jean Leite Tavares⁽¹⁾

Engenheiro Civil e Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento pela Universidade Federal de Campina Grande. Doutor em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. Professor Efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – Campus Natal Central.

Paulo Roberto Lacerda Tavares

Engenheiro Civil, Mestre e Doutor em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. Professor Adjunto III da Universidade Federal do Cariri, no curso de graduação em Engenharia Civil e professor do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Área de Concentração Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

Marco Aurélio Holanda de Castro

Engenheiro Civil pela Universidade de Brasília (1986), M.Sc em Engenharia Civil - Recursos Hídricos - University of New Hampshire (1990) e Ph.D. em Engenharia - Drexel University (1994). Atualmente é professor Titular da Universidade Federal do Ceará.

Francimara Costa de Souza Tavares

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Pará. Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal de Campina Grande. Professora Efetiva do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – Campus São Gonçalo.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Senador Salgado Filho, 1559 – Tirol – Natal - RN - CEP: 59015-000 - Brasil - Tel: (84) 996483595 - e-mail: jean.tavares@ifrn.edu.br

RESUMO

O uso de ferramentas tecnológicas se apresenta como fundamental para a moderna gestão dos recursos hídricos, incluindo as águas subterrâneas. A avaliação preditiva do comportamento de poluentes em aquíferos possibilita aos tomadores de decisão avaliarem as melhores alternativas de controle dessas plumas de contaminação. Neste contexto, a problemática da contaminação dos mananciais subterrâneos por nitrato se apresenta como um problema de abrangência global. Esta situação se torna mais urgente em áreas como o cariri cearense e a região do município do Crato, a qual possui uma grande dependência socioeconômica dos recursos hídricos subterrâneos. Daí a necessidade de se desenvolver um estudo sobre a dispersão do nitrato no aquífero situado na referida área. Foi elaborada uma rotina de modelagem que utilizou de forma integrada um modelo hidrodinâmico (MODFLOW®) e outro de transporte de solutos (MT3DMS®), ambos inseridos em uma plataforma computacional (PMWIN®), além de planilhas computacionais para o desenvolvimento dos ciclos de iterações, envolvendo critérios de otimização e de minimização do erro médio quadrático entre as concentrações observadas e calculadas e os ângulos dos gradientes de concentração observados e calculados. Os resultados obtidos podem ser utilizadas para determinar pontos estratégicos de proteção na região do aquífero e devem servir de base para a elaboração de políticas de monitoramento e proteção do manancial, fundamental para o desenvolvimento sustentável local.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem, nitrato, aquífero, MT3DMS.

INTRODUÇÃO

A adequada gestão dos mananciais hídricos, inclusive os subterrâneos, depende de estudos que possibilitem o desenvolvimento de ferramentas técnicas que traduzem o comportamento desses sistemas, subsidiando os tomadores de decisão (FRAGOSO JR., 2009; LAVOIE *et al.*, 2013).

Dentre estas ferramentas, a modelagem matemática, associada ao avanço da computação, permite desenvolver programas preditivos que tanto auxiliam na gestão dos aspectos quantitativos quanto dos qualitativos (TAVARES, 2014).

A exploração sustentável dos mananciais subterrâneos conta com o recurso dos modelos de fluxo, nos quais são feitas simulações em diversas situações de usos e recargas. Atualmente, tais simulações utilizam sobretudo os Modelos Computacionais Numéricos, que apresentam a grande vantagem de permitirem a avaliação conjunta dos aspectos quantitativos e qualitativos (SOUZA, 2007; BEAR, 1972).

A proteção e descontaminação dos recursos hídricos subterrâneos dependem principalmente da quantificação do fluxo e do transporte de contaminantes em seu interior. Estes parâmetros podem ser determinados por medidas de campo e por modelagem matemática. A abordagem, utilizando as medidas de campo, é a mais direta e a mais precisa; entretanto, raramente é a única a ser utilizada, devido às questões de alto custo e de dificuldades operacionais (CLEARY, 1991 *apud* RIBEIRO *et al.*, 2007).

Assim, a abordagem quantitativa utilizada com maior frequência é a modelagem matemática. Os modelos matemáticos empregam uma série de equações que simulam e preveem respostas de um aquífero sujeito a modificações tais como o transporte de um poluente no seio da massa líquida.

O município do Crato possui uma população de mais de 121 mil pessoas com 83% do contingente populacional vivendo na zona urbana. (IPECE, 2013).

A principal fonte de abastecimento do município é o aquífero médio na região do cariri cearense. A pressão ambiental sobre o manancial aumenta a cada ano com o crescimento populacional e a falta de investimentos em saneamento ambiental.

Destaca-se o baixo índice referente a coleta e tratamento de esgotos, o que indica maior possibilidade de contaminação do aquífero. Outro fator que mostra a necessidade de desenvolver estratégias de controle e gestão da qualidade da água subterrânea no município do Crato é que o mesmo possui 54% da extensão do seu aquífero classificada como altamente vulnerável (TAVARES *et al.*, 2009).

O estudo de modelagem matemática hidrológica realizado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH) e financiado pelo Banco Mundial, concluído em 2011, alerta para a necessidade de se prosseguir com o monitoramento e a caracterização da evolução da contaminação por nitrato já instalada na região (COGERH, 2011).

A presença de nitrato nas águas, sobretudo as subterrâneas, é citada na literatura mundial como um dos principais fatores de riscos à saúde relacionados direta ou indiretamente à água de abastecimento, como por exemplo, a metemoglobinemia, doença que dificulta o transporte de oxigênio no sangue e pode ser fatal principalmente para crianças recém-nascidas (FERNÍCOLA & AZEVEDO 1981; FEWTRELL, 2004).

O objetivo do presente trabalho é avaliar a dispersão do nitrato em um aquífero sedimentar localizado na região do município do Crato com auxílio de modelagem matemática e computacional.

MATERIAIS E MÉTODOS

O local de estudo possui uma área de aproximadamente 49,7km² e está localizado na porção cearense da Bacia Sedimentar do Araripe, região Nordeste do Brasil. A área tem como limites o rio Batateira, o riacho São José e a Chapada do Araripe e está praticamente, em sua totalidade, inserida no Município do Crato, conforme figura 1.

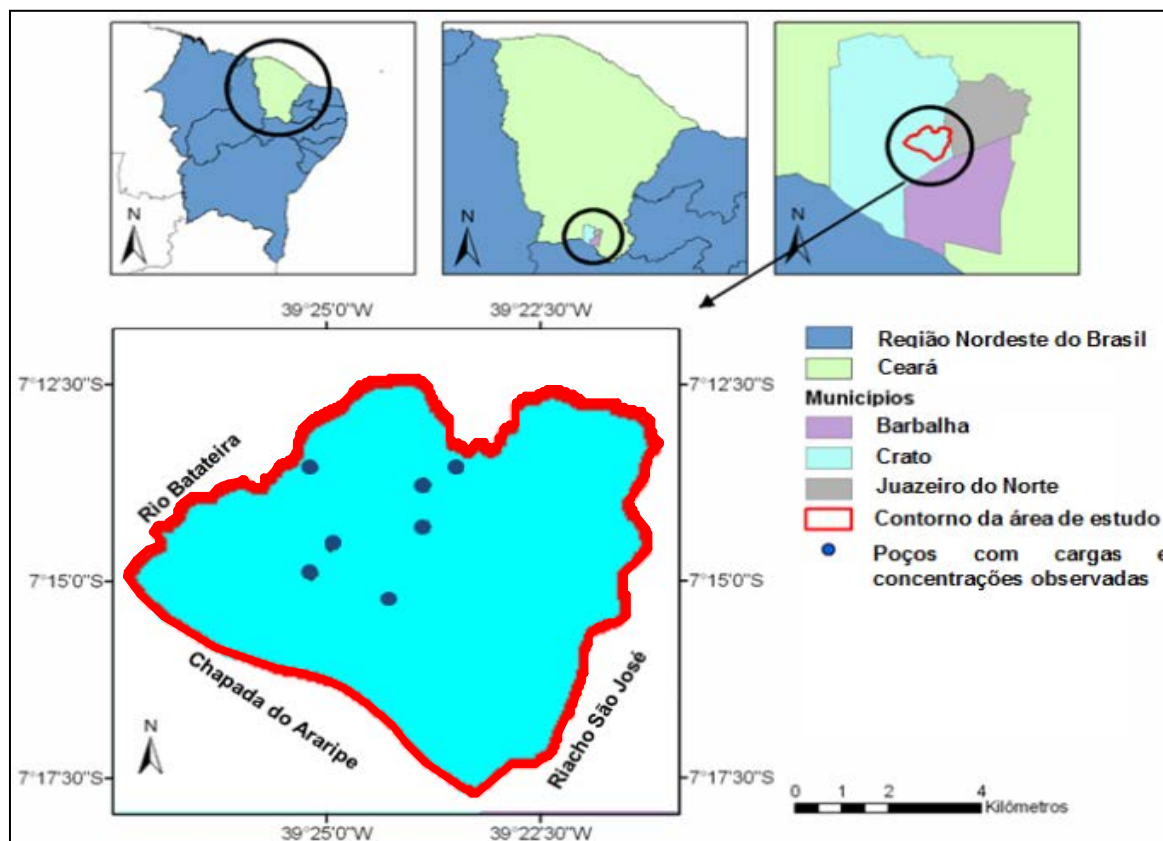


Figura 1 – Localização da Área, incluindo poços com dados de concentrações.

O presente estudo desenvolveu uma rotina de modelagem que utilizou de forma integrada um modelo hidrodinâmico (MODFLOW®) e outro de transporte de solutos (MT3DMS®), ambos inseridos em uma plataforma computacional (PMWIN®), além de planilhas computacionais para o desenvolvimento dos ciclos de iterações, envolvendo critérios de otimização e de minimização do erro médio quadrático entre as concentrações observadas e calculadas e os ângulos dos gradientes de concentração observados e calculados.

A estruturação da área a ser modelada considerou que havia uma concentração de 8,8 mg/L na parte nordeste da área (Figura 2), além disso, o modelo de transporte foi aplicado com o uso de um valor estimado para a dispersividade longitudinal. A partir daí, foi gerado um mapa potenciométrico com concentrações em todas as células. Este processo garantiu uma maior distribuição de concentrações na área do aquífero. Em seguida foi feita a fixação das concentrações de pico, dando origem a um modelo fixo mais abrangente.

O contorno hidrodinâmico da área ficou caracterizado por condições do tipo fluxo dependendo da carga hidráulica, caracterizado pelo rio Batateira e riacho São José e na porção sudoeste tem-se a Chapada do Araripe, onde se identifica uma contribuição de exutório naturais de água (fontes), com vazão total contribuinte de 0,285 m³/s, distribuída por 34 células. Para o zoneamento da condutividade hidráulica horizontal, adotou-se que o aquífero possui três zonas com os valores de K1 = 0,000347 m/s, K2 = 0,000191 m/s e K3 = 0,000139 m/s. Para a modelagem de transporte de solutos foram utilizadas as concentrações iniciais apresentadas na tabela 1.

Além desses valores referentes aos poços, o trecho a jusante do município, na fronteira nordeste, apresentou uma concentração de 8,8 mg/L.

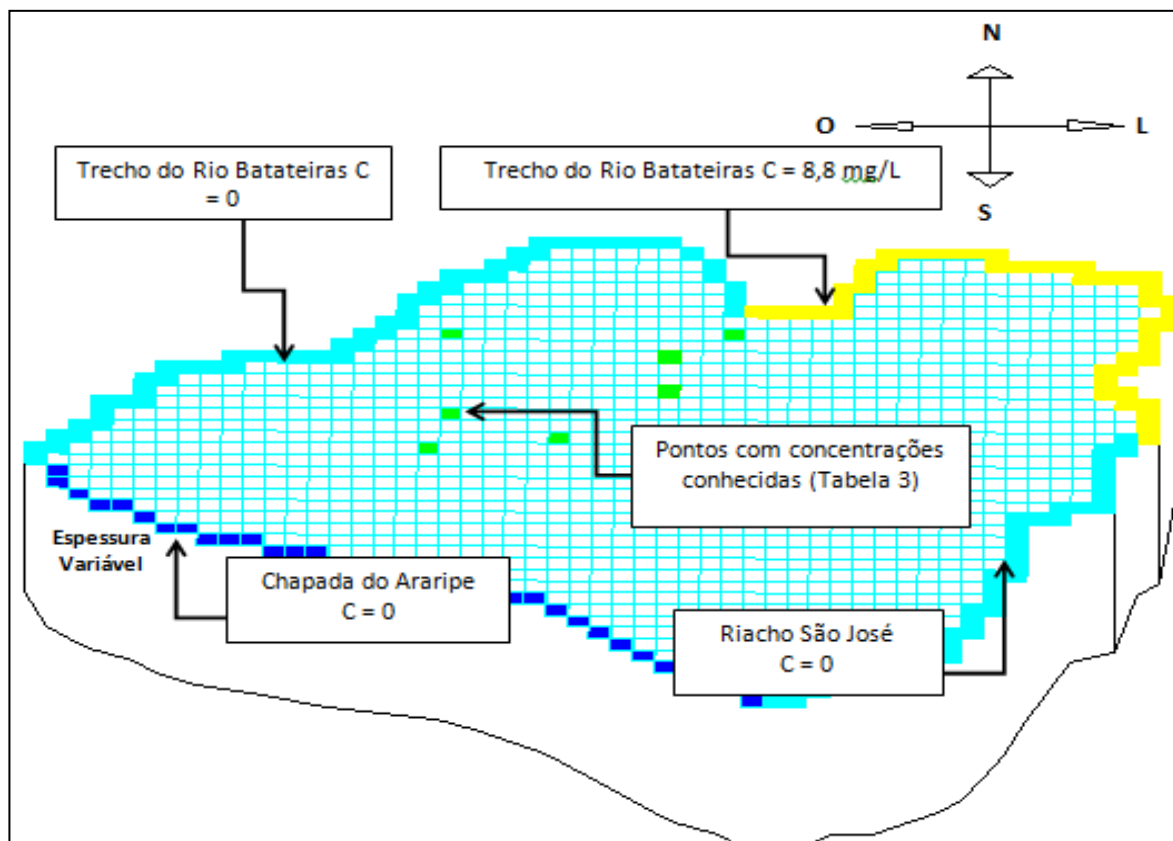


Figura 2 – Representação do aquífero estudado

Tabela 1 - Identificação e localização dos poços com respectivas concentrações usadas nas modelagens do caso real.

Poço	UTM Leste (m)	UTM Norte (m)	C (mg/L)
CRT/04	454310	9201543	1,88
CRT/05	456936	9201544	12,81
CRT/07	455187	9199608	12,34
CRT/09	454000	9199465	6,22
CRT/10	454168	9200085	3,80
CRT/11	456272	9200409	5,99
CRT/13	456307	9201152	12,7

RESULTADOS

Para a modelagem foram consideradas a modelagem hidrodinâmica e as concentrações obtidas em campo (Tabela 1). Além disso, houve uma nova etapa na qual se produziu uma matriz com valores de concentrações gerados a partir de uma simulação inicial com o uso de um valor estimado para o coeficiente de dispersividade natural.

Os resultados das isolinhas de concentração no início final do processo de de modelagem são apresentados na figura 3.

A distribuição espacial dos valores da dispersividade longitudinal na área do caso real é apresentada na figura 4.

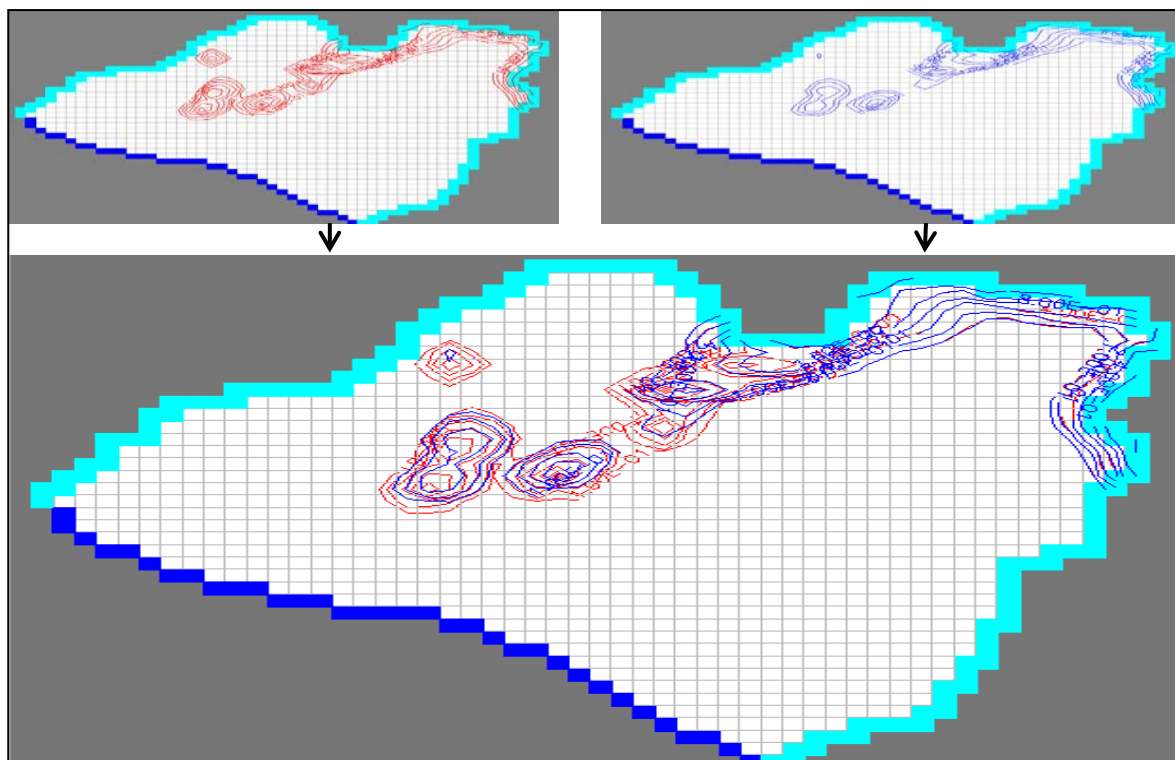


Figura 3 - Linhas potenciométricas finais. Concentrações observadas (vermelho) e concentrações calculadas (azul).

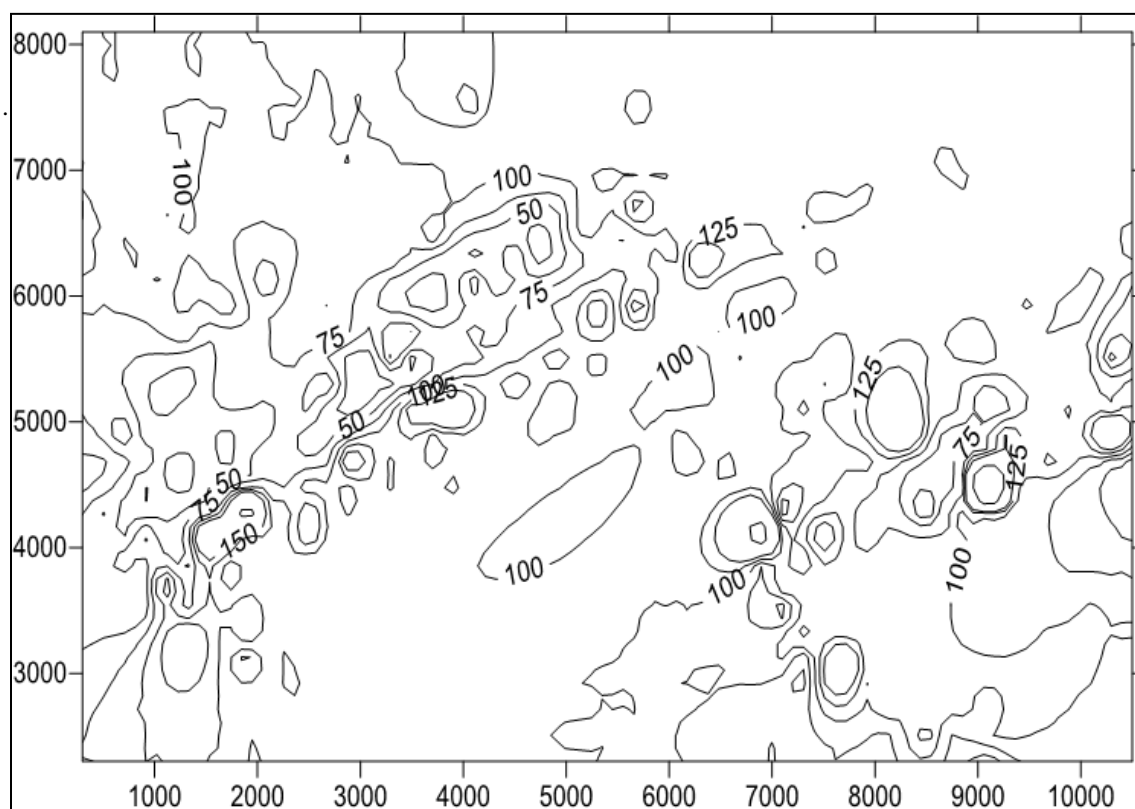


Figura 4 – Distribuição espacial final dos valores da dispersividade longitudinal (m) obtidos no final da modelagem

CONCLUSÕES

Os produtos decorrentes da modelagem dos níveis de nitrato, com destaque aos mapas potenciométricos com valores de concentração e de dispersividade, podem ser utilizados como importantes ferramentas de análise para a predição de impactos em aquíferos subterrâneos associados à expansão da pluma de contaminação.

Os mapas gerados com manchas de diferentes valores de dispersividade longitudinal indicam diferentes níveis de susceptibilidade à contaminação da água subterrânea, o que pode ser utilizado na tomada de decisões referentes ao controle do uso e ocupação do solo.

As modelagens feitas a partir do caso real podem ser utilizadas para determinar pontos estratégicos de proteção na região do aquífero situado no município do Crato e devem servir de base para a elaboração de políticas de monitoramento e proteção do manancial, fundamental para o desenvolvimento sustentável local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BEAR, J. Dynamics of fluids in porous media. New York: American Elsevier, 1972. 764 p.
2. COGERH. Modelagem Matemática Hidrogeológica do Aquífero Médio e do Aquífero Mauriti da Região do Cariri, no Estado do Ceará. Relatório Final. COMPANHIA DE GESTÃO DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS, 2011.
3. FERNÍCOLA, N. G. G.; AZEVEDO, F. A. Metemoglobinemia e nitrato nas águas. Rev. Saúde Pública. V. 15. pp: 242-248, 1981.
4. FRAGOSO Jr, C. R.; MARQUES, D. da M.; FERREIRA, T. F. Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos – São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
5. IPECE. Perfil Básico Municipal do Crato. INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ, 2013.
6. LAVOIE, R.; LEBEL, A.; JOERIN, F.; RODRIGUEZ, M. J. Integration of groundwater information into decision making for regional planning: A portrait for North America. Journal of Environmental Management. Volume 114, pp 496-504, 2013.
7. RIBEIRO, M. L.; BONGANHA, C. A.; GUIGUER Jr., N.; PEREIRA, S. Y.; OLIVEIRA, L. C. Conceitos e Fundamentos da Modelagem Matemática para Gerenciamento de Recursos Hídricos Subterrâneos. Revista Analytica, Nº. 30 – Agosto/Setembro, 2007.
8. SOUZA, C. D. de. Simulação Computacional do Fluxo Hídrico Subterrâneo na Região do Cariri e Calibração Utilizando Gradiente das Cargas Hidráulicas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2007.
9. TAVARES, J. L. Calibração da dispersividade longitudinal de aquíferos através do método iterativo do gradiente de concentração. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
10. TAVARES, P. R. L.; CASTRO, M. A. H.; COSTA, C. T. F.; SILVEIRA, J. G. P.; ALMEIDA JÚNIOR, F. J. B. Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil. R. Esc. Minas, Ouro Preto, 62(2): 227-236, abr. jun. 2009.