

# ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS NA BACIA DO ENGENHO NOGUEIRA

Vinícius V. M. Ferreira<sup>1</sup>; Leilane C. G. Sobrinho<sup>2</sup>

**RESUMO** - Em todo o mundo as atividades humanas são responsáveis por inúmeros danos ao meio ambiente, sendo os solos e as águas superficiais e subterrâneas severamente afetados. Alguns impactos são irreversíveis e sua quantificação é extremamente difícil. Como exemplo, uma contaminação causada por mercúrio foi detectada em 2002 no município de Descoberto, situado a 300 km de Belo Horizonte, o que inclusive gerou a interrupção do abastecimento de água a população local. O problema foi identificado durante alguns trabalhos rotineiros de manutenção de estrada. As avaliações geoquímicas efetuadas delimitaram uma área de maior contaminação, com valores superiores a 8.800 ppm[1]. Este trabalho visa avaliar uma hipotética contaminação na bacia hidrológica do Engenho Nogueira utilizando o programa FRACTRAN, que simula o transporte de contaminantes em meios porosos e discretamente fraturados. O objetivo é verificar os potenciais riscos de contaminação do sistema aquífero local.

**ABSTRACT** - All around the world human activities are responsible for several environmental damages, being the soil and the underground and ground waters severely affected. Some of the impacts are irreversible and difficult to measure. As example, a soil contamination caused by mercury was detected in 2002, in the municipality of Descoberto, located 300 km far from Belo Horizonte. The problem was detected during some routine maintenance works near a road. The geochemistry evaluations delimited an area of larger contamination, where the value of total Hg found was higher than 8.800 ppm. This work aims to evaluate a hypothetical contamination in the Engenho Nogueira hydrological basin, using the program FRACTRAN, which simulates the contaminants transport in porous and slightly fractured soils. The objective is to verify the potential risk of contamination of underground waters in the area.

**PALAVRAS CHAVES** – FRACTRAN, contaminação, Bacia do Engenho Nogueira

---

1 - Tecnologista do CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear. Av. Antônio Carlos 6627 - Campus UFMG – CEP: 31270-901, Belo Horizonte – MG, telefone: 031-30693127, fax 031-30693174 - [vvmf@cdtn.br](mailto:vvmf@cdtn.br).

2 - Geógrafa, Mestranda em Geografia – Instituto de Geo Ciências da UFMG – Av. Antônio Carlos 6627 - Campus UFMG – CEP: 31270-901, Belo Horizonte – MG. [leilanesobrinho@gmail.com](mailto:leilanesobrinho@gmail.com)

## 1 - INTRODUÇÃO

Apesar de todo o progresso que rege a ciência em inúmeros aspectos da vida humana, a contaminação de solos e águas subterrâneas ainda se constitui em um grave problema que atinge praticamente todo o planeta. Esta questão é parte integrante da realidade brasileira visto que grandes cidades do país utilizam recursos hídricos subterrâneos para complementação do abastecimento humano, industrial e agrícola, o que ocorre por exemplo em Fortaleza, Recife, São Luís, Florianópolis, Maceió, Ribeirão Preto, Araçatuba e Campos dos Goytacazes.

Exemplos inúmeros do problema referentes a estas contaminações podem ser encontrados na literatura. A presença de diversos metais pesados no chorume, nas águas superficiais e subterrâneas, solos e sedimentos da área do aterro controlado do Morro do Céu (Niterói - RJ), principalmente no solo do sítio limítrofe ao aterro e no sedimento da vala do mesmo, indica tendência à retenção destes elementos nesses segmentos. A qualidade das águas superficiais e subterrâneas era ruim, destacando-se a presença de coliformes e de grande carga de compostos orgânicos acima dos limites permissíveis pela legislação ambiental [2].

Elevados níveis de arsênico nas águas subterrâneas utilizadas para consumo historicamente causam graves problemas de saúde a milhões de pessoas na Ásia, entre os quais a hiperpigmentação, hiperqueratose e doença de Bowen [3].

Outro fator problemático no que se refere a contaminação de solos e águas subterrâneas são as práticas agrícolas. A avaliação do potencial de lixiviação de pesticidas, comparando diferentes métodos, demonstrou que modelos mais simples podem ser úteis para avaliar o potencial de contaminação da água subterrânea em grandes áreas de monocultura, fornecendo subsídios para tomadas de decisões mais rápidas e eficientes pelos órgãos competentes [4]. Estimativas de predição do comportamento de pesticidas no solo, e a conseqüente possibilidade da contaminação de águas subterrâneas também foram pesquisadas. Os resultados geraram subsídios para tomadas de decisão mais rápidas e eficientes [5].

No Quadrilátero Ferrífero, o abastecimento público de água é feito em alguns locais com a captação de águas subterrâneas provenientes de nascentes ou minas abandonadas. Em águas coletadas em minas auríferas subterrâneas e nascentes das regiões de Ouro Preto e Mariana, foram encontradas concentrações de arsênio total variando de 2 a 2980 $\mu$ g/L e de As<sup>3+</sup> de 1 até 86  $\mu$ g/L, valores estes superiores ao máximo permitido para consumo humano [6].

Esta questão é tão relevante que em 1990, a Associação Nacional para o Desenvolvimento Agrícola na França passou a conceder um título a agricultores que se comprometem a alterar seu modo de fertilização e reduzir o uso de pesticidas, visto que nas últimas décadas, houve um comprometimento da qualidade das águas subterrâneas [7].

A contaminação de solos e águas subterrâneas pode também surgir devido a presença de radionuclídeos. Exemplos desta situação podem ser vistos no Deserto de Amargosa nos Estados Unidos [8] e na Rússia [9] e [10].

Ressalta-se aqui que a poluição radioativa compreende mais de 200 nuclídeos, sendo que devido ao alto rendimento de fissão e a elevada meia-vida do cézio-137 e do estrôncio-90, estes elementos são considerados como potenciais geradores de problemas ambientais. Nos processos biológicos, o cézio e o estrôncio, semelhantes quimicamente ao potássio e ao cálcio, tendem a acompanhá-los depositando-se parcialmente nos músculos e ossos, respectivamente. Já o plutônio-239, mesmo em quantidades mínimas, é altamente nocivo. Sua meia-vida de 24.000 anos demonstra que enormes cuidados devem ser tomados para a proteção do ser humano e preservação do meio ambiente [11].

O efeito da contaminação de um solo agrícola sob influência de um sistema de exaustão de uma mina de urânio em descomissionamento foi estudado por Szeles [12], sendo que a técnica desenvolvida permitiu a avaliação da contaminação, apesar da instalação não apresentar dados de monitoração pré operacional e operacional. Constatou-se que o chumbo 210 apresentou a maior contaminação, sendo que efeitos menores foram observados para o urânio 238 e rádio 226.

Os radionuclídeos artificiais dispersos nos oceanos provém de testes com artefatos nucleares, acidentes e liberação de material radioativo através das descargas de efluentes de reatores e usinas de reprocessamento, sendo distribuídos pelo fallout e circulação oceânica. A maior contribuição de radionuclídeos antropogênicos no meio marinho ocorreu durante as décadas de 1950 e 1960 como resultado dos testes nucleares realizados na atmosfera. As figuras 1 e 2 apresentam alguns resultados associados a esta pesquisa.

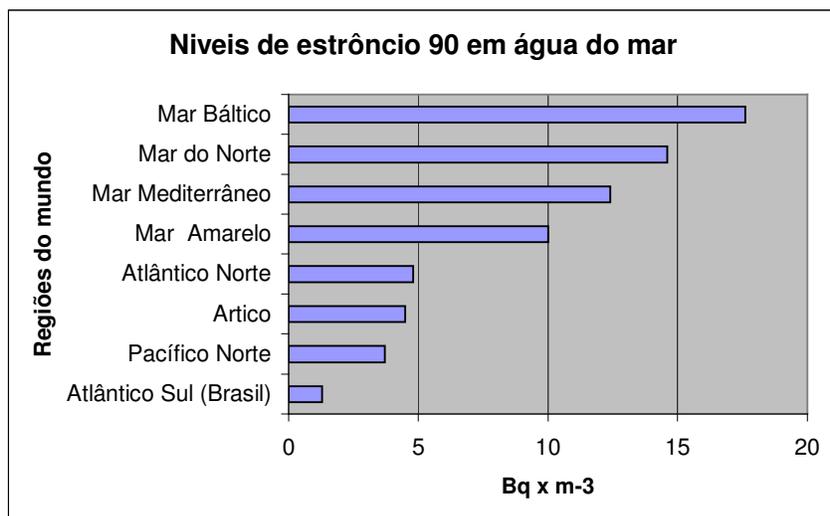


Figura 1 – Radionuclídeos dispersos no mar: estrôncio 90 [11]

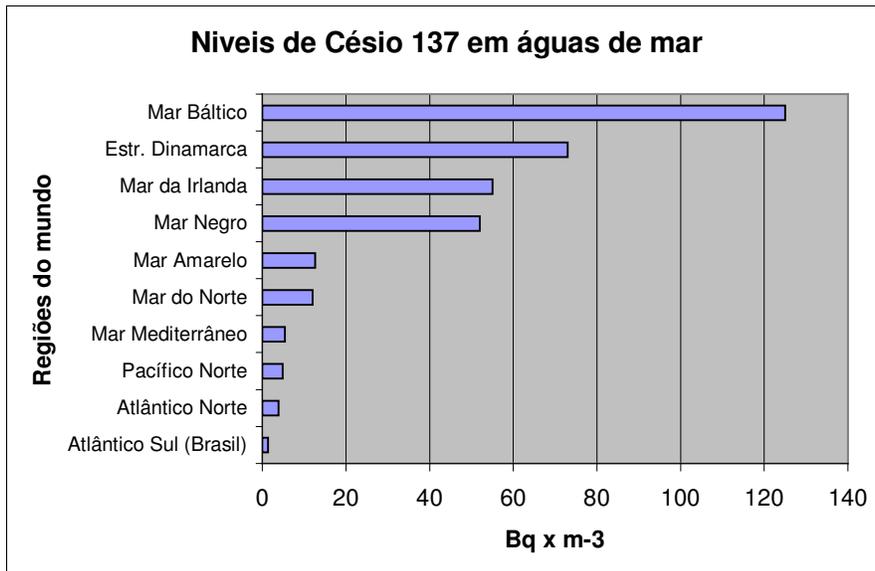


Figura 2 – Radionuclídeos dispersos no mar: césio 137 [11]

## 2 - OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar uma hipotética contaminação nos solos e águas subterrâneas da bacia hidrogeológica do Engenho Nogueira. Para tal será utilizado o programa FRACTRAN, que simula o transporte de contaminantes em meios porosos e discretamente fraturados. A seguir apresentam-se algumas informações utilizadas na modelagem do cenário simulado.

## 3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO AQUÍFERO ENGENHO NOGUEIRA.

A área em estudo pertence à bacia do córrego Engenho Nogueira, tendo sua maior parte inserida nos limites do Campus da UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. O córrego Engenho Nogueira percorre cerca de 2.400 metros, em sentido sul-nordeste, dos quais os últimos 1.500 metros são canalizados. Seu desague ocorre no ribeirão Pampulha. Em toda a área os terrenos são urbanizados com exceção de pequenas áreas de cultivo de forrageiras destinadas à Escola de Veterinária da UFMG.

Quanto à geologia a área em estudo se insere no domínio do Complexo Belo Horizonte, que representa cerca de 70% do território do município. Neste complexo predominam rochas gnáissicas arqueanas que foram parcialmente remobilizadas e migmatizadas no Paleoproterozóico. Tais rochas estão representadas no local por seus produtos de decomposição, recobertos por depósitos de formações superficiais [13].



## 4 - METODOLOGIA

Utilizou-se o software FRACTRAN para a simulação do transporte de contaminantes em solos águas subterrâneas visando avaliar as previsões de cenários futuros sobre a evolução das plumas de contaminação e sua predição de transporte para a avaliação de risco.

Este programa é um modelo bidimensional, que através do método numérico dos elementos finitos simula cenários de contaminação de aquíferos não confinados, porosos e fissurados, em regime permanente. O meio poroso é representado por blocos, enquanto que as fraturas o são por linhas (verticais e/ou horizontais). Ao contrário de outros modelos de fluxo em meios fraturados, o FRACTRAN considera os mecanismos de transporte e o fluxo através de ambos os meios fraturados e no bloco da matriz principal que o configura.

Os principais parâmetros solicitados pelo programas são relacionados a fonte de contaminação e a caracterização hidrogeológica, incluindo as fraturas. O programa também pode ser utilizado para outras propostas, tais como cálculos de transientes de condução térmica e problemas de fluxo subterrâneo [14]. O FRACTRAN sempre considera o terreno como sendo saturado, todavia se o gradiente hidráulico existente for muito pequeno, o transporte por difusão molecular predominará.

Este modelo já foi utilizado em um estudo hidrogeológico no empreendimento minero-industrial da Unidade de Concentrado de Urânio da INB - Indústrias Nucleares do Brasil, localizado na região sudoeste do Estado da Bahia, à nordeste da cidade de Caetité. No local são conduzidas atividades de pesquisa mineral, lavra e processamento metalúrgico de minério de urânio, para produção de concentrado de urânio na forma de diuranato de amônio - DUA. O estudo realizado avaliou a contaminação de solos e águas subterrâneas no local [15].

Alguns dos parâmetros hidrogeológicos utilizados nas simulações são citados abaixo:

- Condutividade hidráulica vertical:  $5 \times 10^{-8}$  m/s (aquífero poroso)
- Condutividade hidráulica horizontal:  $5 \times 10^{-6}$  m/s (aquífero poroso)
- Dispersividade Longitudinal: 10 metros
- Dispersividade Transversal: 1 metro
- Porosidade – 0,09 m<sup>2</sup>/s
- Rádio 226 – contaminante simulado: fator de retardo 1 e meia vida de 1.602 anos.

A figura 4 apresenta o modelo do terreno simulado sendo que a concentração inicial da fonte contaminante de rádio 226 simulada foi 10,0 kg/m<sup>3</sup>. Este radionuclídeo foi escolhido pois seu fator de retardo é igual ao da água. Este fator indica o atraso no transporte dos contaminantes adsorvidos em relação à velocidade advectiva da água subterrânea. Se a velocidade média de transporte dos

contaminantes no aquífero for menor que a velocidade de infiltração da água subterrânea é dito que os contaminantes estão sofrendo retardo. Isto ocorre por que os contaminantes hidrofóbicos tendem a adsorver-se à matriz do aquífero. Como exemplo, um valor do fator de retardo 2 indica que a velocidade da água subterrânea é duas vezes maior que a velocidade de transporte dos contaminantes. Valores elevados para o fator de retardo implicam numa menor mobilidade do contaminante [16].

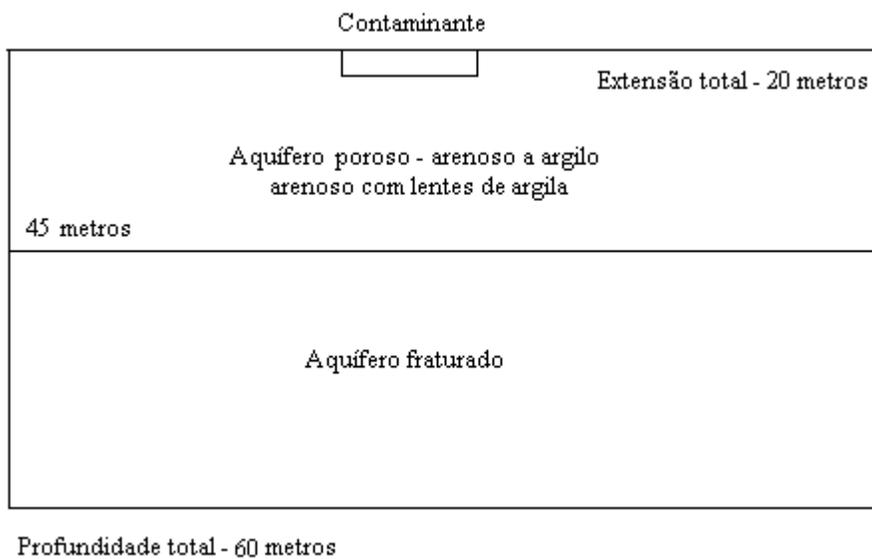


Figura 4 – Modelo conceitual simulado

O modelo conceitual e estrutural foi definido num perfil de terreno de 60 metros de profundidade e 20 metros de extensão, composto por 2 aquíferos não confinados sobrepostos interconectados hidráulicamente, conforme apresentado na figura 3.

Para uma representação mais próxima o possível do cenário real, foram geradas fraturas randômicas verticais e horizontais. Quando não foi possível a obtenção de parâmetros específicos do terreno necessários para a simulação, optou-se por utilizar nesses casos valores de referência existentes na literatura.

## 5 - RESULTADOS

As figuras a seguir apresentam alguns resultados obtidos com as simulações efetuadas com o uso do software FRACTRAN, sempre considerando um cenário de 72 horas após o início da contaminação.

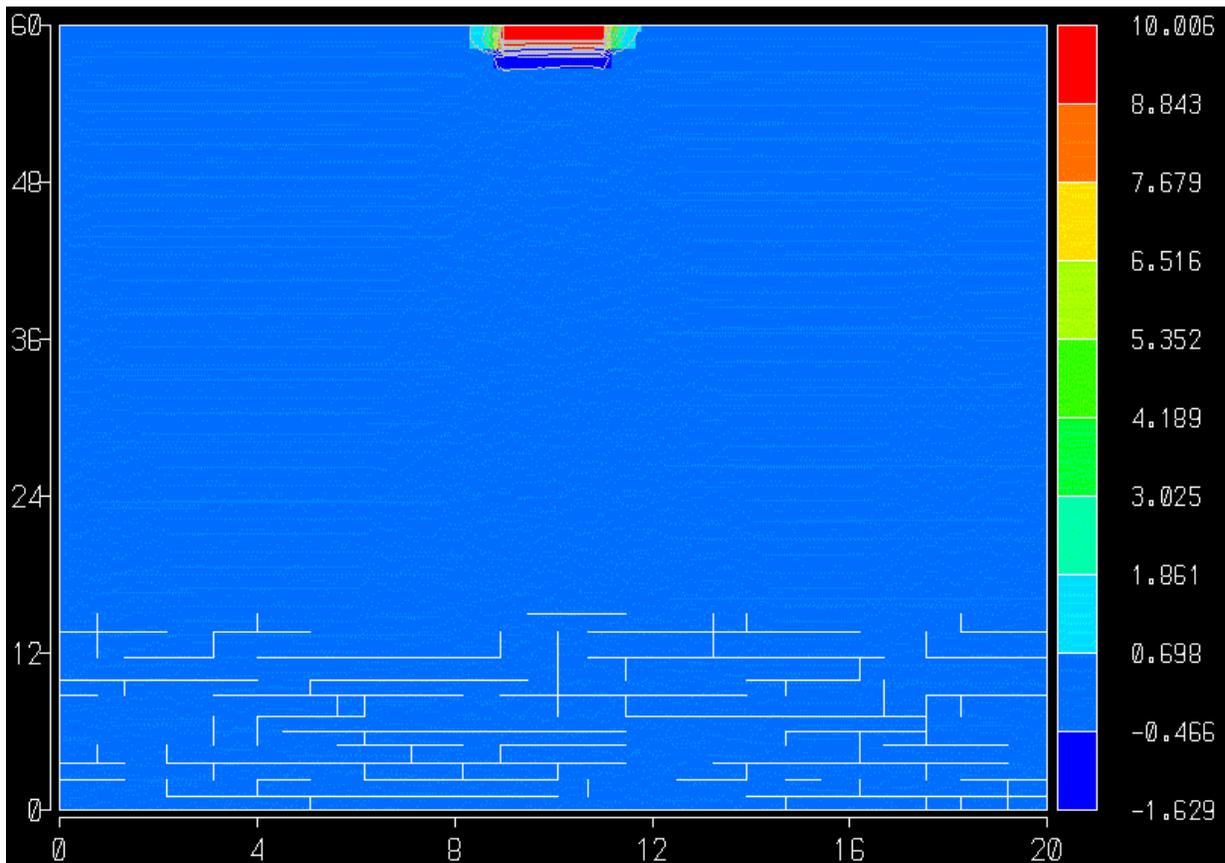


Figura 4 – Resultados das simulações: contaminação da bacia do Engenho Nogueira – cenário base

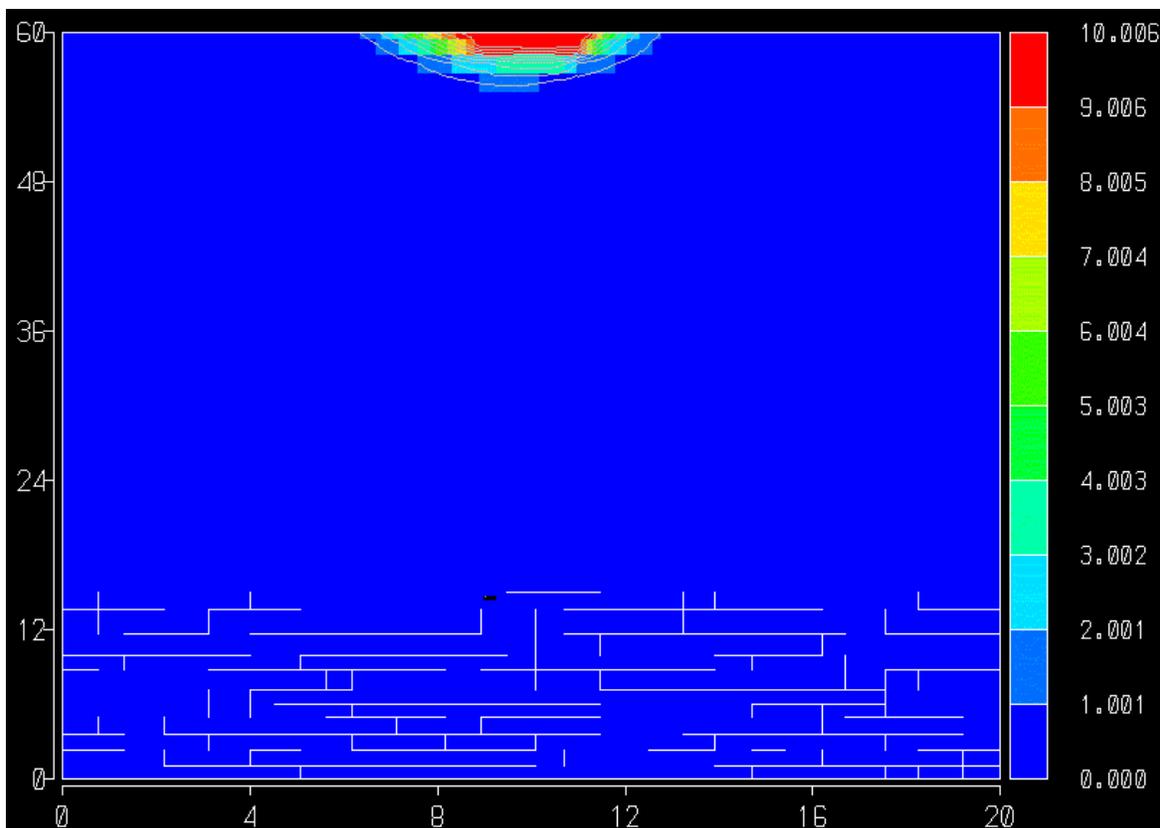


Figura 5 – Resultados das simulações: aumento da condutividade hidráulica em 10.000 vezes

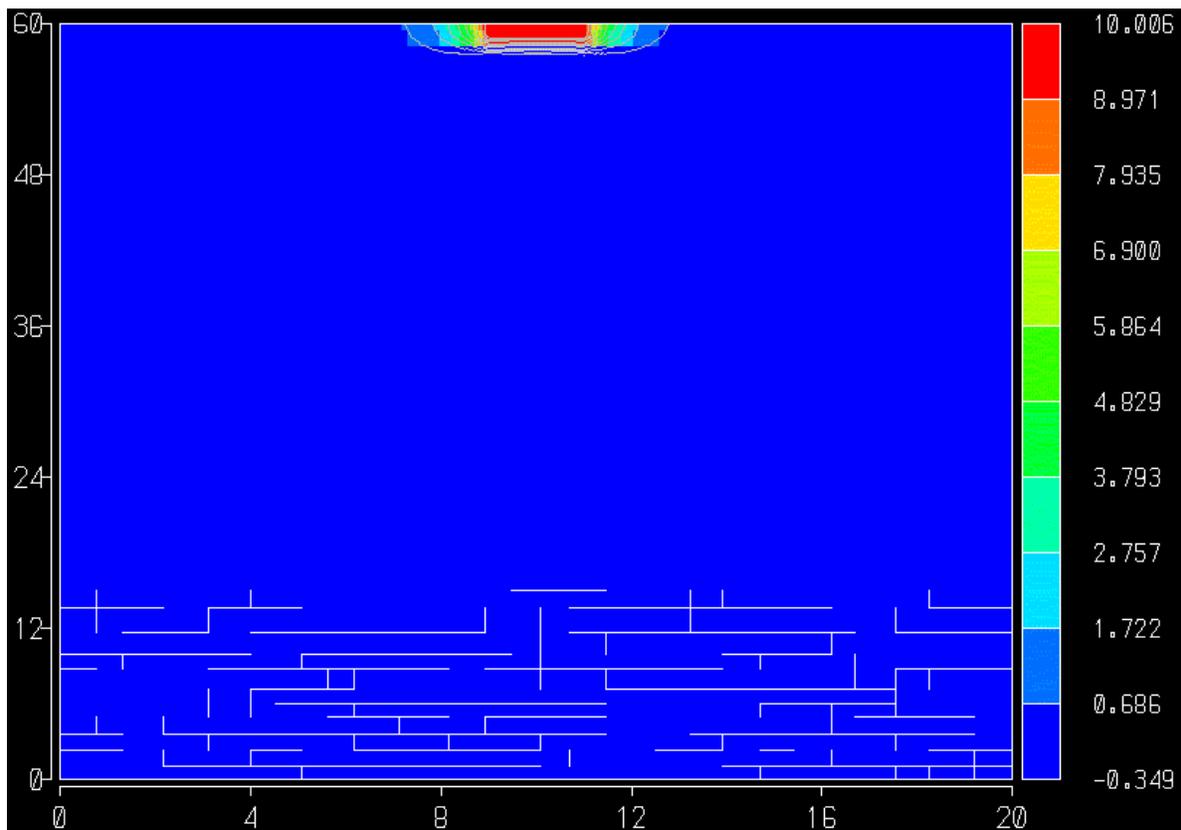


Figura 6 – Resultados das simulações: aumento do coeficiente de dispersão em 100 vezes

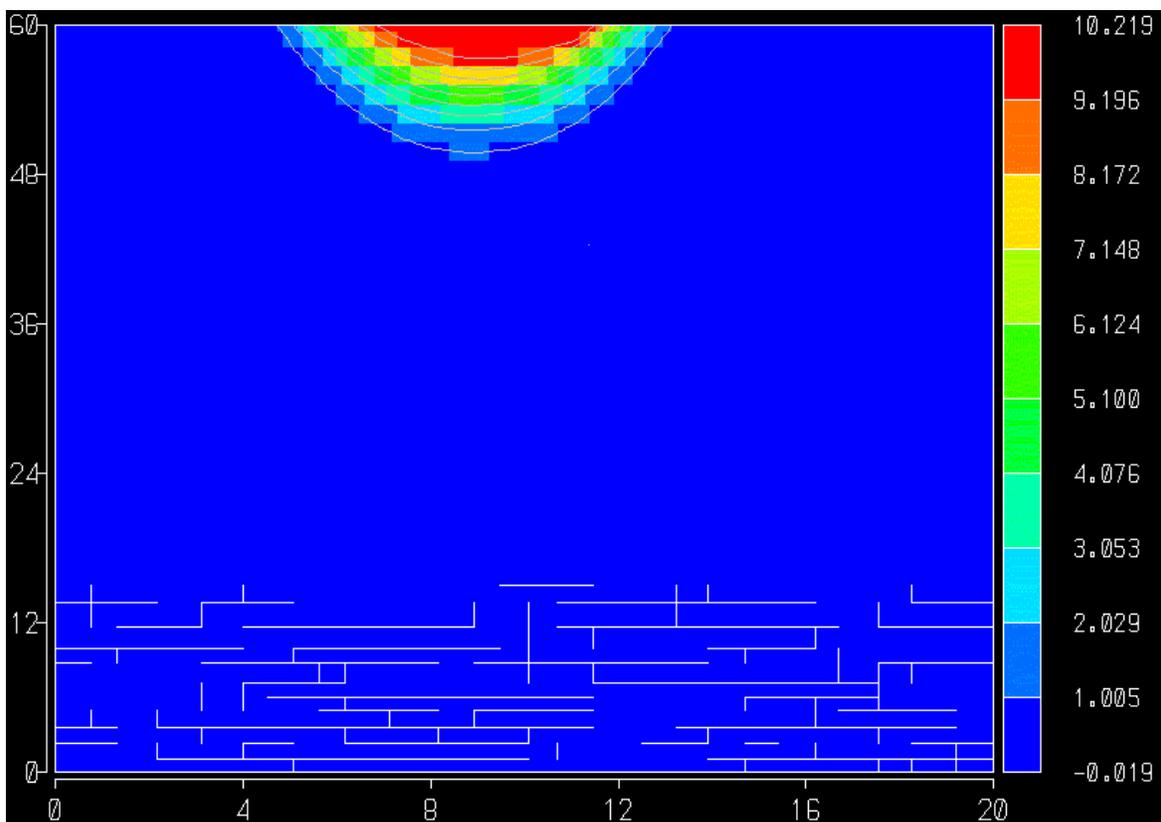


Figura 7 – Resultados das simulações: aumento simultâneo da condutividade hidráulica (10 mil vezes) e da dispersividade longitudinal (100 vezes)

Os códigos de cores apresentados nas figuras indicam o grau de contaminação do local, sendo que a cor vermelha indica uma maior contaminação. Verifica-se na figura 4 que não ocorre uma dispersão significativa dos contaminantes no terreno, pois os mesmos continuam situados no local. Isto acontece devido, entre outros fatores, aos pequenos valores da condutividade hidráulica e ao tempo simulado de apenas 3 dias.

Já nas figuras 5, 6 e 7, com o aumento da condutividade hidráulica e do coeficiente de dispersão, observa-se que o contaminante se espalha de forma bem mais pronunciada no solo, atingindo zonas mais profundas. Conforme pode ser verificado na figura 7, o aumento simultâneo da condutividade hidráulica e da dispersividade gera impactos ainda mais significativos no que se refere a uma hipotética contaminação local.

Considerando-se o cenário base e aumentando-se o tempo de simulação, verifica-se que ocorre uma pequena alteração, e a pluma de contaminação atinge uma maior profundidade. Como exemplo, a figura 8 apresenta o resultado das simulações para um período de 50 anos. Observa-se que neste cenário a contaminação atinge camadas ligeiramente mais profundas, comparado a um cenário de apenas 3 dias, conforme apresentado na figura 4.

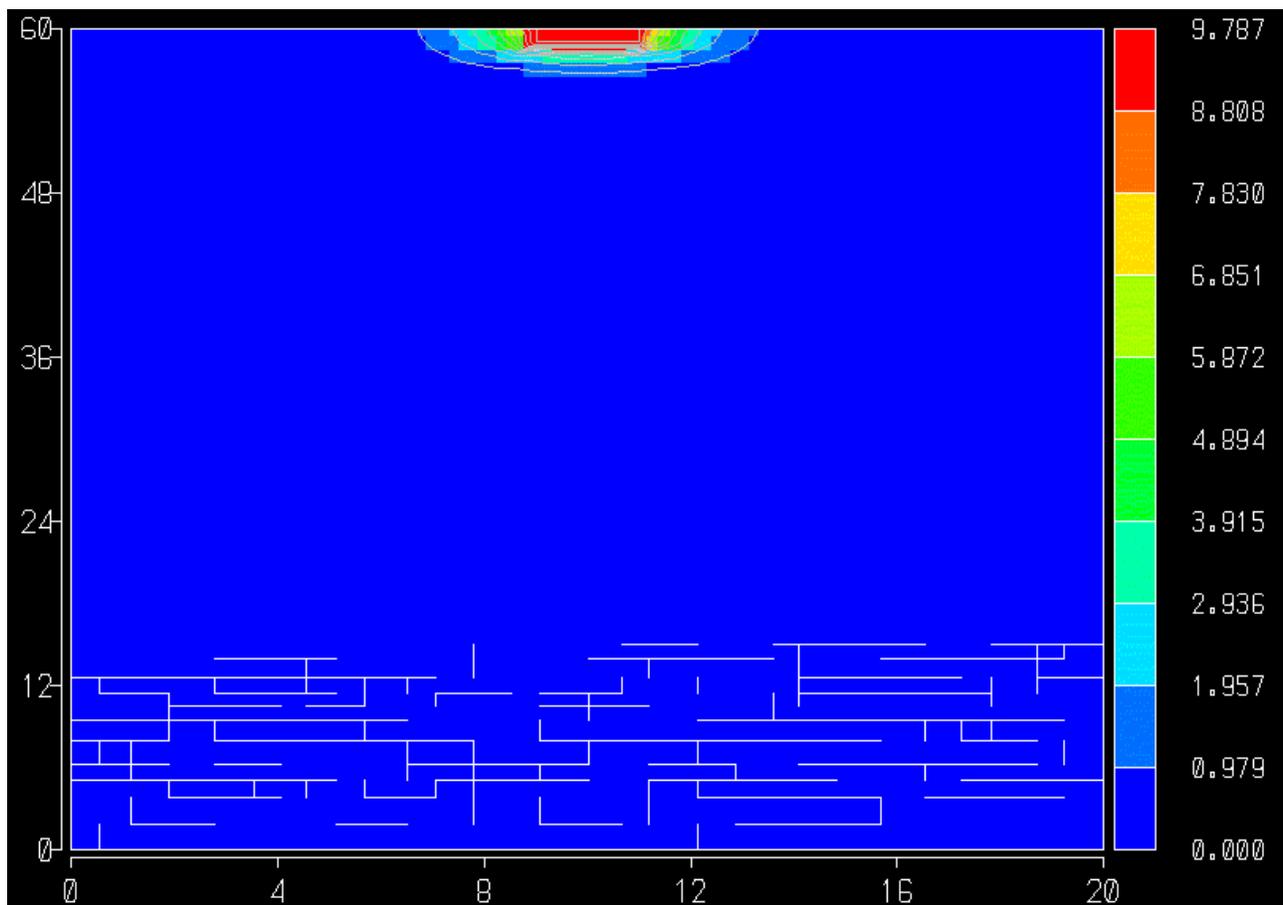


Figura 8 – Resultados das simulações: cenário base considerando 50 anos após a contaminação

## 6 - CONCLUSÕES

O risco de poluição da água subterrânea pode ser definido como a probabilidade de sua contaminação, na parte superior de determinado aquífero, por atividades que ocorrem na superfície do terreno, e que tornam a água subterrânea inadequada ao consumo humano. Este risco é função da interação entre a vulnerabilidade do aquífero à poluição, que por sua vez é resultado das características naturais da camada que separa o aquífero da superfície do terreno e a carga de contaminantes que é, será, ou pode ser aplicada ao ambiente sub superficial como o resultado de atividades humanas [17].

A contaminação de solos e águas subterrâneas tem merecido nos últimos anos uma preocupação crescente da sociedade devido aos efeitos futuros sobre o homem e sobre o meio ambiente. Estudos pretéritos realizados em 11 pontos de amostragem na bacia do Engenho Nogueira – poços tubulares, demonstraram que o limite superior da superfície potenciométrica do sistema aquífero varia de 1,70 a 8,70 m, com média de 5,71 m. Desta forma, considerando o caráter pouco profundo do topo da zona saturada, as simulações efetuadas com o auxílio do FRACTRAN demonstram que o risco de contaminação das águas subterrâneas locais não pode ser desprezado. Ressalta-se aqui que a geologia da bacia do Engenho Nogueira não é homogênea, tendo sido neste trabalho individualizada uma área para a realização das modelagens.

## 7 – BIBLIOGRAFIA

1. TRINDADE, M.C.; Branco, O.E.A. “Control measures implemented in area contaminated with mercury from past gold mining activities in the State of Minas Gerais, Brazil”. XIII International Conference of Heavy Metals in Environment. Rio de Janeiro. CETEM/MCT, 2005.
2. SISINNO, C.L.S. e Moreira, J.C. “Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil”. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, volume 12, número 4, 1996. Disponível em [http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-311X1996000400010&lng=en&nrm=iso](http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X1996000400010&lng=en&nrm=iso). Acessado em 10/03/2010.
3. SELINUS, O.; Centeno, J.A.; Finkelman, R.B.; Weinstein, P. e Derbyshire, E. “Terra e saúde - construir um ambiente mais seguro”. Comissão Nacional da UNESCO, 2007. Disponível em [http://www.yearofplanetearth.org/content/downloads/portugal/brochura4\\_web.pdf](http://www.yearofplanetearth.org/content/downloads/portugal/brochura4_web.pdf). Acessado em 12/02/2010.

4. LOURENCETTI, C., Spadotto, C. A., Silva, M. S. e Ribeiro, M. L. “Avaliação do potencial de contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: comparação entre métodos de previsão de lixiviação”. Revista de ecotoxicologia. e meio ambiente, Curitiba, volume 15, jan./dez. 2005. Disponível em <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/pesticidas/article/viewFile/4504/3525>
5. RIBEIRO, M.L., Lourencetti, C., Pereira, S. Y., Marchi, M. R. R. “Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar”. Química Nova, vol.30, no.3, São Paulo Maio/Junho 2007. Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422007000300031&script=sci\\_arttext&tlng=in](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422007000300031&script=sci_arttext&tlng=in). Acessado em 21/01/2010.
6. BORBA, R.P., Figueiredo, B.R. e Cavalcanti, J.A. “Arsênio na água subterrânea em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG)”. Revista da Escola de Minas, vol.57, n.1, pp. 45-51, 2004. Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0370-44672004000100009&script=sci\\_abstract&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0370-44672004000100009&script=sci_abstract&tlng=en). Acessado em 14/01/2010.
7. PENNEQUIEN, D. “Dossiê Água potável. Gestão de águas no Brasil”. Revista Scientific American Brasil n.70, p. 38-45, 2008.
8. STONESTROM, D.A.; Abraham, J.D.; Andraski, B.J.; Baker, R.J.; Mayers, C.J.; Michel, R.L.; Prudic, D.E.; Striegl, R.G.; Walvoord, M.A. “Monitoring radionuclide contamination in the unsaturated zone - lessons learned at the Amargosa Desert research site Nye County, Nevada”. Workshop on long-term performance monitoring of metals and radionuclides in the subsurface. Reston, Virginia, EUA. April 20-22, 2004. Disponível em <http://www.cistems.fsu.edu/PDF/stonestrom.pdf>. Acessado em 17/09/2009.
9. GOLASHVILI, T.V.; Demidov, A.P.; Lbov, A.A.; Stukin, A.D.; Terentjev, V.G.; Tkachuk, Y.G.; Komarov, A.P.; Serebryakov I.S. “Contamination of the environment with radionuclides released from specific nuclear industry plants of Russian Federation Ministry for Atomic Energy in 1996 and ways to mitigate this”. 16-th ICSU-CODATA Conference, India, 1998. Disponível em <http://www.ippe.obninsk.ru/podrcjdvant/97-2/st8/st8.pdf>. Acessado em 22/08/2009.
10. GORDEEV, S.K.; Kvasnikova, E.V.; Ermakov, A.I. “Radionuclide contamination of underground water and soils near the epicentral zone of cratering explosion at the Semipalatinsk Test Site”. Radioprotection, Suppl. 1, vol. 40, S399-S405. EDP Sciences, 2005. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1051/radiopro:2005s1-059>. Acessado em 16/07/2009.
11. FIGUEIRA, R. C. L. e Cunha, I. I. L. “A Contaminação dos Oceanos por Radionuclídeos Antropogênicos”. Revista Química Nova, vol.21, no.1, pgs 73-77. São Paulo, Janeiro/Fevereiro, 1998. Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40421998000100012](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40421998000100012). Acessado em 12/02/2010.

12. SZELES, M. S. F. “*Avaliação da Contaminação Radiológica de um Solo Agrícola nas Proximidades de uma Mina de Urânio*”. Tese Doutorado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 1994.
13. CARVALHO FILHO, C.A. “*Caracterização Hidrogeológica da Bacia Hidrográfica do Campus da UFMG, Belo Horizonte/Minas Gerais*”, DESA/UFMG. Dissertação de Mestrado. 1997.
14. SUDICKY, E.A. e McLaren, R.G. “*FRACTRAN User’s guide*”. Waterloo Centre for Groundwater Research. Ontário, Canadá. 1998.
15. FERREIRA, V.V.M., Camargos, C.C. e Santos, R.A.M. “*Modelagem da contaminação de solos na unidade de concentrado de urânio em Caetité, Bahia*”. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande - MS, novembro de 2009.
16. MICHELS, C. “*Avaliação de risco a saúde humana nos terminais de armazenamento de Petróleo e derivados em Barueri e Cubatão*”. Florianópolis. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
17. FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.A.; GOMES, D.C.; D’ELIA, M.; PARIS, M. “*Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities and environmental agencies.*” Washington, D. C., The World Bank, 103 páginas, 2002.

## **8 - AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a FAPEMIG – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais e ao CNPq, pelo suporte dado ao trabalho, e ao geólogo Carlos Alberto Carvalho Filho, pelas sugestões apresentadas e pela revisão do trabalho.