

MODELAGEM DA CONTAMINAÇÃO DE SOLOS NA UNIDADE DE CONCENTRADO DE URÂNIO EM CAETITÉ, BAHIA

Vinícius Verna M. Ferreira¹; Cláudio Costa Camargos²; Rosana A. M. Santos³

RESUMO - Existem hoje no Brasil, armazenados em depósitos intermediários da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, aproximadamente 3000 m³ de rejeitos radioativos de baixo e médio níveis oriundos das mais variadas aplicações da energia nuclear, não incluídos os volumes referentes ao ciclo do combustível nuclear. A taxa de crescimento deste volume é estimada em 50% a cada 10 anos, prevendo-se para curto prazo o esgotamento da capacidade instalada dos depósitos intermediários dos Institutos da CNEN. Neste trabalho efetua-se uma modelagem da Unidade de Concentrado de Urânio em Caetité – BA utilizando o programa FRACTRAN, que simula o transporte de radionuclídeos em meios porosos e discretamente fraturados. O objetivo é verificar os potenciais riscos de contaminação do sistema aquífero no local. O radionuclídeo simulado foi o rádio 226. Os resultados mostraram que a possibilidade de contaminação na área é pequena, visto que o empreendimento está localizado numa área de baixa vulnerabilidade do aquífero.

ABSTRACT - Today in Brazil there are stored in intermediate deposits of the Nuclear Energy National Commission - CNEN, approximately 3000 m³ of low and medium level radioactive wastes originated from nuclear energy varied applications, not included the volumes regarding to the nuclear fuel cycle. The growth rate of this volume is estimated in 50% every 10 years, being possible in a short period the exhaustion of the CNEN institutes intermediate deposits installed capacity. In this work a modeling of the Uranium Concentrate Unit in Caetité – BA, was made using the program FRACTRAN, that simulates the radionuclides transport in porous and slightly fractured soils. The objective is to verify the potential risk of contamination of underground waters in the area. The radionuclide simulated was the radium-226. The results show that the possibility of contamination in the place is small, because the facility is located in a low vulnerability area.

Palavras chave: contaminantes, águas subterrâneas, hidrogeologia.

1 - Tecnologista do CDTN/CNEN. Av. Antônio Carlos 6627 - Campus UFMG – CEP: 31270-901, Belo Horizonte - MG - vvmf@cdtn.br.

2 - Idem 1, ccc@cdtn.br

3 - Graduada em Engenharia Ambiental, Universidade FUMEC, Bolsista FAPEMIG junto ao CDTN/CNEN. zaninhamenezes@hotmail.com.

INTRODUÇÃO

Apesar dos inúmeros estudos referentes aos diversos impactos ambientais oriundos das atividades humanas, e de todo o esforço efetuado para mitigar estes danos, a contaminação de solos e águas subterrâneas permanece sendo um problema de grande relevância. Grandes capitais brasileiras situadas na faixa costeira utilizam recursos hídricos subterrâneos para complementação do abastecimento humano, industrial e agrícola, o que ocorre por exemplo em Fortaleza, Recife, São Luís, Florianópolis e Maceió. Municípios do interior tais como Ribeirão Preto, Araçatuba, Campos dos Goytacazes e Araguari também utilizam reservas de águas subterrâneas para diversos fins. Desta forma esta questão é parte integrante da realidade brasileira [PORTAL CELULOSE ONLINE (2003)].

Nas áreas com grande concentração de indústrias ou densamente ocupadas sem saneamento básico, muitas vezes ocorre a instalação de poços tubulares, inicialmente com água de boa qualidade, mas que com o decorrer do tempo começam a apresentar problemas de contaminação. As cargas contaminantes atingem o aquífero através de poços mal construídos ou abandonados, que servem de conduto para os poluentes. O prolongado bombeamento de poços é capaz de deslocar a pluma de poluição para locais do aquífero que ainda não estavam contaminados. Além do mais, a ocupação inadequada das áreas de recarga dos aquíferos compromete sua qualidade e disponibilidade hídrica [ANA (2005)].

Estudos visando identificar os fatores de transferência de radionuclídeos entre o solo e as plantas foram efetuados na Romênia, considerando-se fatores radiológicos, químicos e pedológicos. Amostras de solo e de leguminosas foram especificamente preparadas para os experimentos. Como resultado, para todos os radionuclídeos testados, verificou-se que o fator de transferência para batatas é menor que para cenouras. No caso do milho, sua semente acumulou uma quantidade menor de radionuclídeos do que o restante da planta [Dobrin et al. (2006)].

Investigações referentes ao movimento de águas efetuadas no Deserto de Amargosa nos Estados Unidos demonstraram que gases contendo trítio e carbono 14 estão migrando através de uma zona não saturada. No local existe a primeira instalação comercial americana destinada ao armazenamento de rejeitos radioativos de baixa atividade. Desde 1976 estudos hidrogeológicos são realizados na região, situada na fronteira dos Estados de Nevada e da Califórnia. Em 1997 o local se tornou parte do “Programa Hidrológico de Substâncias Tóxicas” após a constatação de altas concentrações de trítio nas amostras de gases oriundas da área que, entre 1962 e 1992, recebeu rejeitos radioativos. O transporte de radionuclídeos e de compostos orgânicos voláteis ainda é objeto de estudos no local [Stonestrom et al. (2004)].

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 [Selinus et al. (2007)].

Em 1965 em Semipalatinsk, Rússia, foram efetuados testes nucleares a 48 metros de profundidade. Em 2003, dando seqüência a trabalhos anteriores, estudos foram realizados com o intuito de se avaliar o status da contaminação existente no solo e nas águas subterrâneas locais. Métodos de extração química que levam em conta a composição das águas minerais, cintilografia líquida, espectrometrias alfa e gama foram algumas das técnicas utilizadas para se avaliar a concentração de radionuclídeos no local, entre os quais cézio 137, estrôncio 90 e amerício 241. Os resultados mostraram a rota de migração dos contaminantes na região [Gordeev et al. (2005)].

Pesquisas relativas aos impactos ambientais associados ao parque nuclear russo, incluindo a contaminação de águas subterrâneas e superficiais, de solos e da atmosfera, foram realizadas para a avaliação dos potenciais danos ambientais. O trabalho envolveu os Ministérios de Energia Atômica e Departamentos de Segurança, Ecologia e Emergências, e considerou como objeto de estudo todo o ciclo do combustível nuclear. Exames periódicos nas áreas impactadas demonstraram que, apesar dos programas para a sua recuperação, houve um aumento na quantidade de águas contaminadas. Flocos de neve coletados também apresentaram-se contaminados [Golashvili et al. (1998)].

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 [Figuera & Cunha (1998)].

Outro fator problemático no que se refere a contaminação de solos e águas subterrâneas são as práticas agrícolas. Ciente desta grave situação, em 1990, a Associação Nacional para o Desenvolvimento Agrícola na França (Añada) passou a conceder um título a agricultores que se comprometem a alterar seu modo de fertilização e reduzir o uso de pesticidas. A legislação referente ao descarte de resíduos industriais tornou-se mais rígida enquanto que paralelamente a capacidade de saneamento aumentou. Apesar dessas importantes ações, o descarte de poluentes é ainda inevitável e ações corretivas e preventivas complementares são necessárias. Como conseqüência desta degradação ambiental, ao longo das últimas décadas, houve um comprometimento da qualidade das águas subterrâneas em muitos casos [Pennequien (2008)].

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar a contaminação de solos e águas subterrâneas no local onde está instalada a Unidade de Concentrado de Urânio em Caetité. Para tal será utilizado o programa FRACTRAN, que simula o transporte de radionuclídeos em meios porosos e discretamente fraturados. A seguir apresentam-se algumas informações utilizadas na modelagem do cenário simulado.

CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

O empreendimento minero-industrial da Unidade de Concentrado de Urânio da INB - Indústrias Nucleares do Brasil, está 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. Faz parte deste complexo um sistema de bacias de contenção e reciclagem dos efluentes líquidos tratados da Unidade de Concentrado de Urânio, doravante denominada de Pond (figura 1). Para delimitar a área de estudo adotou-se a bacia hidrográfica do Riacho das Vacas como condição de contorno, até o ponto localizado 2,3 km à montante de sua afluição ao Riacho Fundo, ocupando uma área de 94,5 km², sendo que a extensão da rede de drenagem é de 314,9 km. Esta bacia integra a bacia hidrográfica do Rio de Contas. A área compreende as localidades de Maniaçú, município de Caetité, e São Timóteo, município de Livramento de Brumado, distando estas 12 e 14 km do local estudado, respectivamente [CNEN (2007)].



Figura 1 - Pond – INB (Caetité, BA)

Desta forma, os limites da área de estudo:

- compreendem os limites físicos do complexo minero-industrial de Caetité;
- abrangem os principais pontos mais prováveis de descarga do sistema aquífero local, e por conseguinte de uma pluma de contaminação advinda do Pond;
- e englobam os principais poços tubulares, passíveis de exploração de água subterrânea, e por essa razão locais para simulação de dose ao público.

Conforme levantamento geológico efetuado no local onde o Pond está instalado, o principal sistema existente é um aquífero fissural composto por rochas graníticas e gnáissicas, associadas às rochas do Complexo Lagoa Real. Em um aquífero fissural, o fluxo da água subterrânea ocorre quase que exclusivamente através da porosidade secundária, constituída pelas discontinuidades ou pela intercessão dessas presentes nas litologias (fraturas, falhas, foliação ou fissuras).

Na área de estudo também existe um sistema aquífero granular constituído pelas coberturas sedimentares detríticas, pelo solo de alteração das rochas do Complexo Lagoa Real e pelos aluviões que se distribuem nas calhas dos rios. Entretanto, este sistema é muito pouco significativo, visto que sua espessura é desprezível, e portanto o mesmo não será considerado no contexto destas simulações.

Ressalta-se aqui que trata-se da mesma área adotada em um trabalho anterior, o que permite o aproveitamento por parte do presente estudo, de toda a cartografia utilizada nestas atividades pregressas [Cota et al. (2007)].

A operação industrial do complexo está prevista para um período de 16 anos, para processamento de minério explotado da Jazida da Cachoeira - Anomalia 13, com teor médio de 2.900 ppm de U_3O_8 , para produção anual de DUA, de 300 toneladas em equivalente a U_3O_8 . Em março de 2000 foi concedida a Autorização para Operação Inicial (AOI) do empreendimento.

Termo Fonte

A análise de segurança do Pond contempla a cadeia de decaimento da série de urânio 238, que engloba seguintes radionuclídeos: U-238, U-234, Th-230, Ra-226 e Pb-210. Os demais radionuclídeos da cadeia do urânio foram eliminados devido à sua meia vida ser muito inferior à meia vida dos demais membros da série. A cadeia da série do tório (Th-232) foi desprezada devido às baixas concentrações desses radionuclídeos no minério de urânio processado na URA – Unidade de Concentrado de Urânio, tendo sido considerado que esses radionuclídeos estão presentes em concentrações irrisórias e que não contribuem significativamente para a dose efetiva total.

No caso deste estudo, a simulação computacional foi efetuada apenas para o rádio 226. 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 a 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 [Michels (2005)].

A concentração inicial do rádio 226 foi obtida através da estimativa do inventário no termo fonte a partir de dados medidos no efluente líquido (incluindo fase líquida e polpa) tratado no Pond, após os 4 anos de operação do mesmo. O valor utilizado representa a mediana de 13 valores de concentração medidos no trabalho de Cota et al..

Ressalta-se aqui que a produção de combustíveis nucleares envolve vários estágios, nos quais são gerados resíduos radioativos. Esses estágios incluem mineração, trituração, refinamento e enriquecimento de urânio, fabricação, consumo e reprocessamento de combustível, solidificação de resíduos e armazenagem de resíduos em repositórios geológicos profundos.

Aspectos de segurança

Barreiras de engenharia e naturais são utilizadas para prevenir o transporte e a liberação dos radionuclídeos, sendo componentes essenciais de repositórios de rejeitos radioativos. Estas barreiras são obstruções físicas que previnem ou inibem o movimento de pessoas e radionuclídeos, incluindo-se eventos tais como incêndios, protegendo o meio ambiente e os seres vivos das radiações. É necessário que estas barreiras atuem na escala de tempo proposta pelo projeto, que pode atingir centenas de anos.

O sistema de barreiras múltiplas tem sido internacionalmente considerado e consiste em sobrepor sucessivas obstruções físicas ou químicas entre o rejeito e a biosfera, com o intuito de evitar a contaminação do meio ambiente e dos seres vivos. Deve-se assegurar também que os níveis de exposição estejam dentro dos limites das normas de radioproteção [Freire (2007)].

A modelagem efetuada considerará que apesar do sistema de proteção existente no local, os efluentes líquidos armazenados no Pond atingiram o solo através do meio poroso adjacente, para que seja avaliada a hipotética contaminação do mesmo e das águas subterrâneas.

METODOLOGIA

Utilizou-se o software FRACTRAN para a simulação do transporte de radionuclídeos em águas subterrâneas visando avaliar as previsões de cenários futuros sobre a evolução das plumas de contaminação, a predição do transporte de contaminantes para a avaliação de risco e a seleção de alternativas de remediação no terreno do Pond.

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 do solo, 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 [Sudicky & McLaren (1998)]. O FRACTRAN sempre considera o terreno como sendo saturado, todavia se o gradiente hidráulico existente for muito pequeno, o transporte por difusão molecular predominará.

O modelo conceitual e estrutural é definido num perfil de terreno de 15 metros de profundidade e 750 metros de extensão, composto por 2 aquíferos não confinados sobrepostos interconectados hidráulicamente, sendo que no superficial a densidade das fraturas é mais intensa e atinge a profundidade média de 4 metros. O extrato inferior possui menor degradação refletida num menor fraturamento.

Para uma representação mais próxima o possível do cenário real, foram geradas fraturas randômicas verticais e horizontais. A bacia de contenção de rejeitos possui uma extensão aproximada de 150 metros. 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.

De acordo com os dados já existentes dos parâmetros hidrogeológicos do solo, os valores específicos utilizados na modelagem dos aquíferos foram:

- ◆ Condutividade hidráulica (m/s): $1,57 \times 10^{-6}$ – superficial e - subterrâneo
- ◆ Densidade do solo seco – 2.750 kg/m^3
- ◆ Porosidade – $5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
- ◆ Rádio 226: fator de retardo = 1 e meia vida = 1.602 anos.

A figura 2 apresenta o modelo do terreno simulado, e a figura 3 mostra um mapa da região de interesse que inclui as principais rotas de migração dos radionuclídeos no caso de sua não contenção na lagoa de efluentes. Conforme pode ser visto na figura 3, o sistema de bacias de contenção é composto por mais de uma unidade. Neste trabalho, o Pond 2 é o objeto de estudo sendo que a concentração inicial da fonte de rádio 226 simulada foi $5,0 \text{ kg/m}^3$.

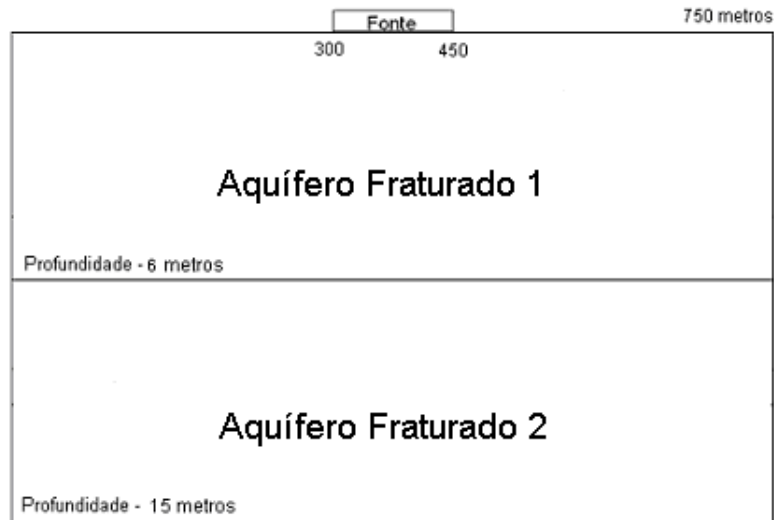


Figura 2 – Esquemático do terreno simulado

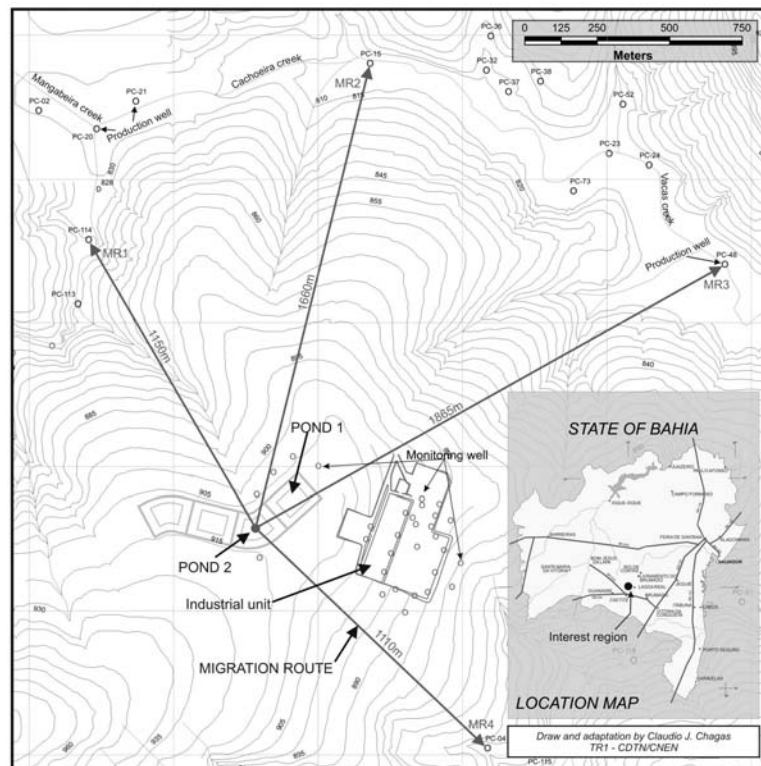


Figura 3 – Mapa da localização do Pond

RESULTADOS

O FRACTRAN foi utilizado na simulação de cenários futuros sobre a evolução das plumas de contaminação no sistema aquífero, após ter sido efetuada uma avaliação de sua sensibilidade, ou seja, da calibração do mesmo utilizando informações monitoradas.

Estas simulações abordaram os horizontes de 5 e 10 mil anos, conforme se pode verificar nas figuras 4 e 5, que apresentam as evoluções das plumas de contaminantes obtidas para as condições anteriormente citadas. Verifica-se que a contaminação do solo (unidade – kg/m^3) é reduzida para ambos os casos, e que com o decorrer do tempo a mesma aumenta.

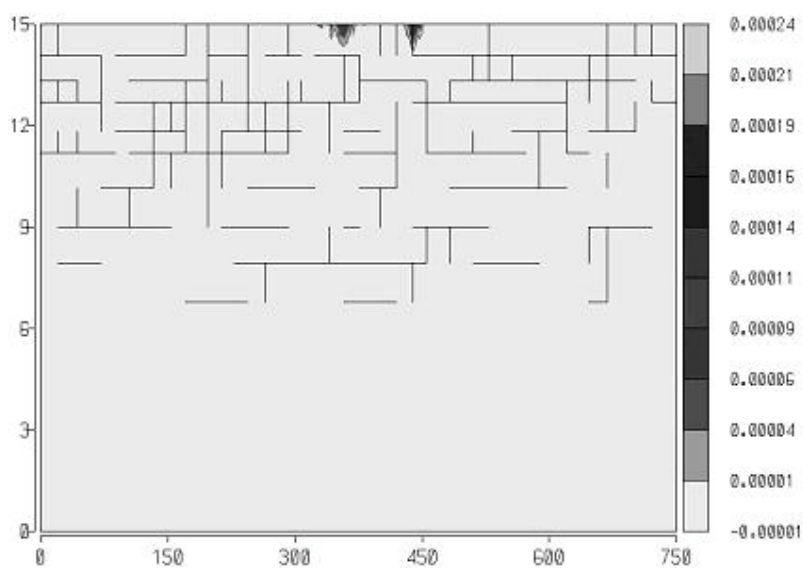


Figura 4 – FRACTRAN: contaminação após 5 mil anos.

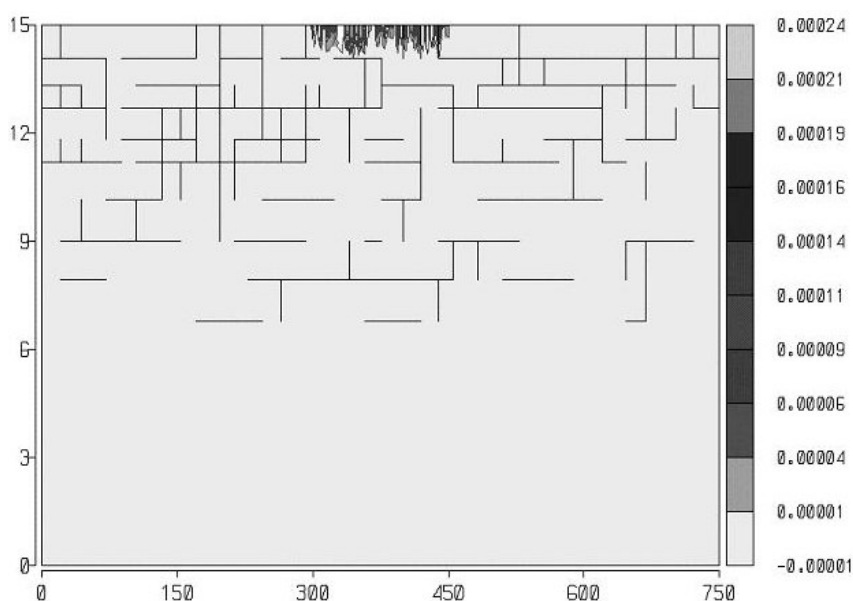


Figura 5 – FRACTRAN: contaminação após 10 mil anos.

Caso os parâmetros hidrogeológicos do local onde o Pond está instalado fossem diferentes, a dispersão de contaminantes poderia ser mais significativa. Como exemplo, a figura 6 apresenta um cenário que possui as mesmas condições anteriores, exceto no que diz respeito ao valor da condutividade hidráulica do solo, que foi aumentada em mil vezes para que uma avaliação comparativa seja realizada. Verifica-se que nesta situação, a pluma contaminante se dispersa pelo terreno de maneira mais pronunciada e atinge profundidades maiores para um mesmo intervalo de tempo. Na figura 7, o coeficiente de difusão efetiva foi aumentado cem vezes em relação ao cenário básico, e já na avaliação de 5 mil anos, uma contaminação mais profunda pode ser observada.

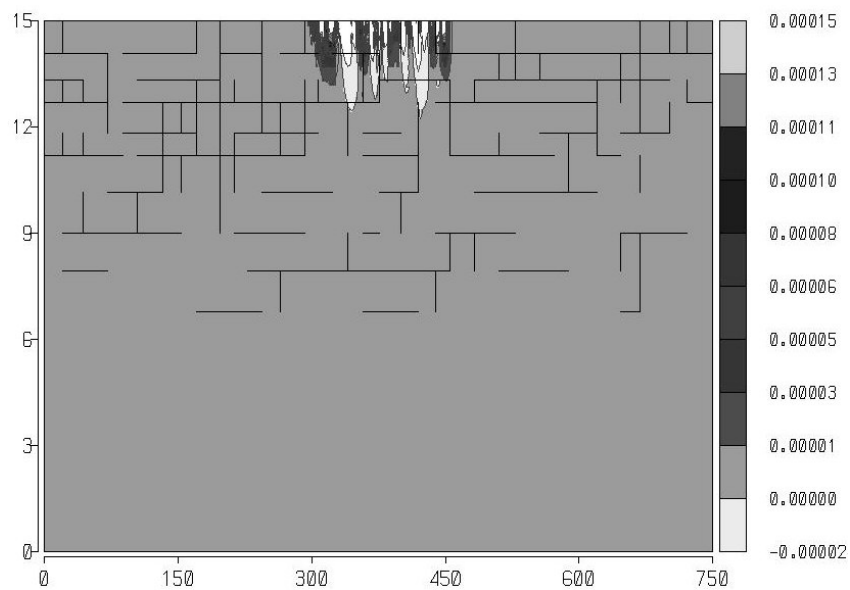


Figura 6 – Cenário alternativo 1: contaminação após 10 mil anos.

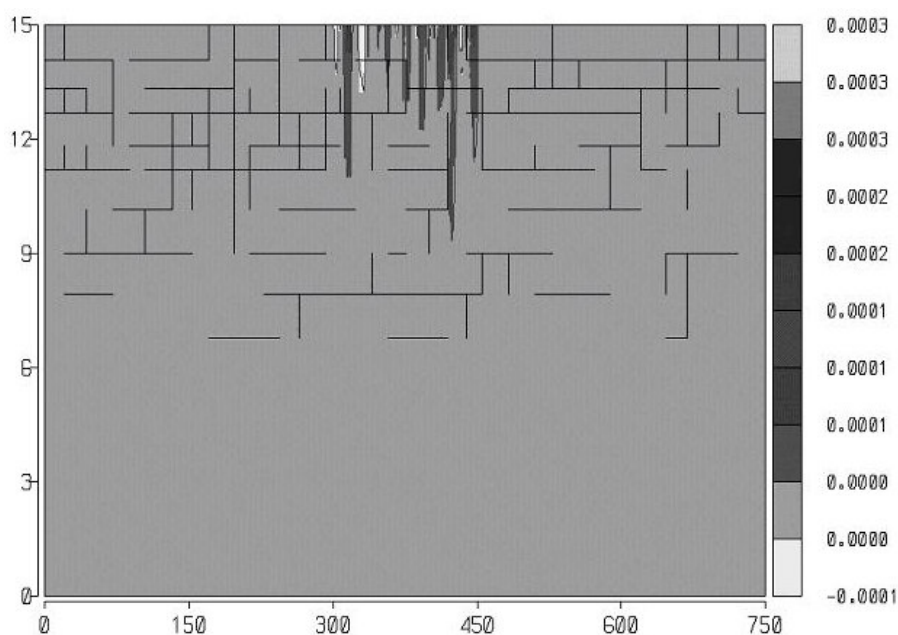


Figura 7 – Cenário alternativo 2: contaminação após 5 mil anos.

O tom mais escuro que pode ser observado nas figuras 6 e 7 significa uma contaminação de fundo, e este aumento do background ocorre devido a maior vulnerabilidade existente nestes novos cenários devido ao aumento dos parâmetros anteriormente citados.

Ressalta-se aqui que as figuras geradas pelo software são originariamente coloridas, todavia foram convertidas para o formato preto e branco devido a seu grande tamanho, da ordem de 2 mega bytes cada.

DISCUSSÃO

A vulnerabilidade de um aquífero à poluição representa as características intrínsecas da camada que o separa da superfície do terreno e que determinam sua sensibilidade para ser adversamente afetado pela aplicação de uma carga de contaminantes em superfície. Este parâmetro é basicamente função da acessibilidade do aquífero, em termos hidráulicos, à penetração de poluentes e da capacidade de atenuação da camada sobreposta à zona saturada, resultante da retenção físico-química ou reação dos poluentes.

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 [Foster et al. (2002)].

A vulnerabilidade dos aquíferos a poluição pode ser representada na forma de mapas, sendo que os resultados do inventário das potenciais fontes de contaminação são sobrepostos aos mapas de vulnerabilidade para a avaliação do risco de poluição dos aquíferos. Contudo, os resultados apresentados nos mapas de vulnerabilidade mostram apenas valores relativos uns aos outros e não valores absolutos, fazendo com que comparações entre áreas distintas seja às vezes difícil.

As águas de superfície e os aquíferos superiores são mais vulneráveis as infiltrações de agentes poluidores que os aquíferos mais profundos. Entretanto, a longo prazo, uma poluição persistente termina sempre por atravessar as camadas menos permeáveis e pode contaminar as águas subterrâneas locais, que sempre são, em algum grau, passíveis de serem atingidas [Brollo et al. (2000)].

As atividades da INB em Caetité foram alvo de críticas em 2008 da ONG – Organização Não Governamental ambientalista Greenpeace, que responsabilizou a empresa por uma suposta contaminação das águas do município. Todavia, próprio o relatório publicado por esta ONG não

comprovava estas denúncias, visto o mesmo declarar que “considerando o escopo limitado, esta pesquisa não responde totalmente se a operação de mineração de urânio causa contaminação ambiental no entorno da mina de Caetité. A natureza uranífera dos minerais que ocorrem na área pode significar que a contaminação é resultado de uma mobilização natural dos radionuclídeos naturais”[(GREENPEACE BRASIL (2008)].

Contudo, análises feitas pelo Instituto de Gestão da Água e do Clima (INGA), ligado ao Governo do Estado da Bahia, comprovaram não haver nenhuma contaminação nos pontos onde o Greenpeace afirmou ter encontrado uma concentração elevada de urânio. Os resultados foram apresentados em audiência pública realizada em Caetité em 07/11/2008. O INGA encontrou teores ligeiramente mais elevados de urânio apenas em um único poço, cujas águas não foram analisadas pela ONG e que fica a 10 km da mina. Mesmo assim, esses teores são dez vezes inferiores aos limites estabelecidos pela CNEN. O relatório do INGA afirma categoricamente que “em todos os demais pontos de água subterrânea e superficial no entorno da empresa INB, as análises não indicaram contaminação por urânio”, acrescentando que “a radioatividade presente na água pode vir da contaminação natural pela situação geológica da região”.

Em todos os outros poços que, segundo o relatório apresentado pelo Greenpeace, estariam com suas águas contaminadas por urânio, as análises do INGA demonstraram não haver nenhuma concentração maior do mineral. Por ser uma região uranífera, é normal que o teor do mineral seja mais elevado em alguns pontos, o que não significa que isso seja causado pelas atividades da INB, nem que haja contaminação [FONTE NUCLEAR (2008)].

CONCLUSÕES

A água subterrânea constitui o principal manancial de água para o complexo minero-industrial de Caetité e para as comunidades rurais vizinhas ao empreendimento. Considerando a importância desse recurso natural para a manutenção das atividades humanas na área estudada, é necessária a proteção dos sistemas aquíferos locais para evitar a deterioração da qualidade da água subterrânea, causada, por exemplo, pela potencial poluição do solo e da água subterrânea.

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que no caso dos efluentes líquidos do Pond ultrapassem as barreiras de engenharia existentes no local, e que estes venham a penetrar no solo, a contaminação gerada será pequena, devido às características hidrogeológicas do local. Desta forma, conclui-se que a lagoa de contenção de efluentes, mesmo classificada de acordo com alguns sistemas de avaliação do risco de poluição das águas subterrâneas como ponto que possui elevado potencial para contaminação subsuperficial, está localizada sobre área de desprezível a baixa vulnerabilidade do aquífero. Estes resultados são compatíveis com outras avaliações efetuadas no

local, que utilizaram outros procedimentos metodológicos, e que chegaram as mesmas conclusões sobre a vulnerabilidade do local diante de uma contaminação.

No caso da ocorrência da contaminação do solo na Unidade de Concentrado de Urânio da INB em Caetité, os impactos ambientais serão pequenos. Ressalta-se aqui que no local onde o Pond está situado existe um programa de monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, que sistematicamente avalia os recursos hídricos locais e o impacto das atividades minerárias e industriais nos mesmos, cujos dados foram utilizados na calibração do FRACTRAN.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao professor Rob McLaren da Universidade de Waterloo, Ontário, Canadá, aos pesquisadores Otávio Branco, Stela Cota e Carlos Alberto Carvalho do CDTN/CNEN e a FAPEMIG - Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais.

BIBLIOGRAFIA

ANA – Agência Nacional de Águas (2005). “*Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil*”. http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/documentos/02b%20Panorama%20da%20Qualidade%20%C1guas%20Subterr%E2neas/VF%20Qualidade%20AguasSubterraneas.pdf.

BROLLO, M.J., VEDOVELLO, R., ODA, G.H. (2000). “*Avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos à contaminação através de um sistema gerenciador de informações geoambientais - um instrumento de gestão ambiental*”. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre – RS. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/vi-049.pdf>

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR – CNEN - Site acessado em 15/04/2007. <http://www.cnen.gov.br/lapoc/tecnica/licfisc.asp>

COTA, S.D.S.; CARVALHO FILHO, C.A.; BRANCO, O.E.A.; COSTA, C.G.S. (2007). “*Preliminary Radiological Safety Assessment Of A Liquid Waste Deposition Cell Of The Unidade De Concentrado De Urânio, Indústrias Nucleares Do Brasil, Caetité – Bahia*”. XXII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Ouro Preto – MG, novembro de 2007.

DOBRIN, R.I.; DULAMA, C.N.; TOMA, AL. (2006). “*Soil – Plant experimental radionuclide transfer factors*”. Romanian Journal of Physics, Vol. 51, Nos. 1–2, P. 73–76, Bucharest. http://www.nipne.ro/rjp/2006_51_1-2/0073_0076.pdf.

FIGUEIRA, R.C.L. & CUNHA, I.I.L. (1998). “*A Contaminação dos oceanos por radionuclídeos antropogênicos*”. Química Nova volume 21, número 1, pgs 73-77. São Paulo, Jan/Fev 1998. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40421998000100012

FONTE NUCLEAR (2008) “*Greenpeace: acusações frágeis e inconsistentes*”. Ano 13, número 22, 7 de novembro de 2008 – 07 de Novembro de 2008

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.A.; GOMES, D.C.; D'ELIA, M.; PARIS, M. (2002). "Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities and environmental agencies." Washington, D. C., The World Bank, 103 páginas.

FREIRE, C.B. (2007) "Estudo de sorção de césio e estrôncio em argilas nacionais para sua utilização como barreira em repositórios de rejeitos radioativos." Dissertação de Mestrado. CDTN/CNEN. 105 páginas.

GOLASHVILI, T.V.; DEMIDOV, A.P.; LBOV, A.A.; STUKIN, A.D.; TERENTJEV, V.G.; TKACHUK, Y.G.; KOMAROV, A.P.; SEREBRYAKOV I.S. (1998). "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. <http://www.ippe.obninsk.ru/podr/cjd/vant/97-2/st8/st8.pdf>

GORDEEV, S.K.; KVASNIKOVA, E.V.; ERMAKOV, A.I. (2005). "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. <http://dx.doi.org/10.1051/radiopro:2005s1-059>

GREENPEACE BRASIL (2008). "Ciclo do Perigo – impactos da produção de combustível nuclear no Brasil". Relatório. São Paulo – SP. 40 páginas.

MICHELS, C. (2005) "Avaliação de risco a saúde humana nos terminais de armazenamento de Petróleo e derivados em Barueri e Cubatão". Dissertação de Mestrado. UFSC, 136 páginas.

PENNEQUIEN, D. (2008). "Dossiê Água potável. Gestão de águas no Brasil". Revista Scientific American Brasil n.70, p. 38-45;

PORTAL CELULOSE ONLINE (2003). "Evento discute sobre águas subterrâneas". <http://www.celuloseonline.com.br/pagina/pagina.asp?IDItem=1883&IDNoticia=1029>.

SELINUS, O.; CENTENO, J.A.; FINKELMAN, R.B.; WEINSTEIN, P.; DERBYSHIRE, E.. (2007). "Terra e saúde - construir um ambiente mais seguro". Comissão Nacional da UNESCO. http://www.yearofplanetearth.org/content/downloads/portugal/brochura4_web.pdf

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. (2004). "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. <http://www.cistems.fsu.edu/PDF/stonestrom.pdf>

SUDICKY, E.A. & MCLAREN, R.G. (1998). "FRACTRAN User's guide". Waterloo Centre for Groundwater Research. Ontário, Canadá.