

---

## DILEMAS DA GESTÃO PARA TECNOLOGIAS COMPLEXAS E PERIGOSAS: O CASO DA MINERAÇÃO DE URÂNIO

Gabriel Eduardo Schütz<sup>1</sup>

Marcelo Firpo de Souza Porto<sup>2</sup>

Renan Finamore Gomes da Silva<sup>3</sup>

**Resumo:** Este artigo discute o atual modelo regulatório e de gestão ambiental relativo aos riscos da exploração do Urânio no Brasil. Especificamente, se propõe a mostrar, por meio de uma abordagem integrada, ecossistêmica e crítica, que a indistinção entre o antes e o depois da mineração de Urânio em lugares naturalmente radioativos conduz a um tipo de gestão ambiental inapropriada para a proteção da saúde das comunidades e dos trabalhadores expostos. Invisibilizar tal diferença entre os dois cenários de exposição ambiental pode resultar conveniente aos interesses da indústria nuclear, mas não contribui para que os processos decisórios sobre o licenciamento, a gestão ambiental e a comunicação de riscos sejam efetivos e democráticos. Considera-se necessário rediscutir o papel da vigilância em saúde ambiental assumindo a complexidade e as incertezas relativas à radiação ionizante e à mineração de Urânio. Abordagens técnico-científicas restritas, além de não contribuírem para a proteção da saúde, também não facilitam o diálogo entre atores sociais em conflito nos territórios afetados por estes empreendimentos.

**Palavras chave:** ambiente; saúde; gestão; mineração; urânio.

### Dilemmas of management for complex and dangerous technologies: The case of uranium mining

**Abstract:** This article discusses the current regulatory and environmental pattern concerned to the risks of the extracting uranium in Brazil. Specifically it proposes to show, through an integrated, ecosystem and critical approach, that the lack of distinction between the before and after the uranium mining in naturally radioactive places leads to an inappropriate type of environmental management to protect the health of

---

<sup>1</sup> Professor Adjunto Saúde Ambiental e dos Trabalhadores do Instituto de Estudos em Saúde Coletiva da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IESC/UFRJ). E-mail: gabriel@iesc.ufrj.br.

<sup>2</sup> Pesquisador Titular em Saúde Pública da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz (ENSP/ Fiocruz). E-mail: marcelo.firpo@ensp.fiocruz.br.

<sup>3</sup> Doutorando em Saúde Pública na Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz (ENSP/ Fiocruz). E-mail: renan.finamore@gmail.com.

exposed communities and workers. To make invisible the difference between these two scenarios of environmental exposure could result convenient for the interests of the nuclear industry, but does not contribute to the decision-making on effective and democratic licensing, environmental management and risk communication processes. We consider important to revisit the role of environmental health surveillance taking into account the complexity and uncertainties related to ionizing radiation and uranium mining. Restricted technical-scientific approaches, besides not contributing to health protection, do not facilitate dialogues between social actors in conflict in the territories affected by these enterprises.

**Keywords:** environment, health, management, mining, uranium.

## Introdução

Através do Ministério de Minas e Energia (MME), o Estado brasileiro define oficialmente a radioatividade como a *“desintegração natural de elementos químicos com a emissão de radiações e formação de novos elementos que possuem pesos atômicos menores”* (BRASIL, 2011a). As radiações emitidas no processo assim definido constituem uma fonte de energia natural, como a eólica, a geotérmica e a hidráulica. Diferentemente da solar, essas fontes não compõem o insumo energético que sustenta a vida na biosfera, embora possam condicioná-la. Todavia, nem todos os elementos químicos presentes na natureza são radioativos; só possuem essa característica os denominados “nucleares”, cujo átomo é mais pesado e instável, e são definidos pela Lei nº 4.118/62 como: *“todo elemento químico que possa ser utilizado na liberação de energia em reatores nucleares ou que possa dar origem a elementos químicos que possa ser utilizados para esse fim”* (BRASIL, 1962).

Da segunda definição se deduz que o fenômeno da radioatividade não se restringe ao mundo “natural”, como sugere a primeira, mas que também pode ser desencadeado por meio de processos tecnológicos. Em efeito, é possível quebrar artificialmente o núcleo de um átomo pesado instável em dois átomos menores com liberação de energia. Esse processo, chamado fissão nuclear, geralmente consiste em provocar a colisão de um átomo de Urânio de número de massa 235 (U-235) com uma partícula nêutron para formar Urânio de número de massa 236 (U-236), ainda mais pesado e instável, que acaba se dividindo em dois núcleos mais leves e estáveis: Bário de número de massa 144 (Ba-144) e Criptônio de número de massa 89 (Kr-89). Neste processo libera-se energia de ligação nuclear (radiação gama) e mais nêutrons que irão colidir com mais átomos de U-235, dando lugar a uma reação em cadeia que deve ser cuidadosamente mantida sob controle nos reatores nucleares. A liberação descontrolada da energia de uma reação nuclear em cadeia pode produzir a explosão

de uma onda expansiva de grande magnitude, acompanhada da liberação de emissões radioativas. Esse é o fundamento de destruição em massa das armas nucleares e também a razão da temática nuclear se inserir em programas estratégicos de segurança militar e nacional nos vários países, embora esta tendência possa influenciar de diferentes maneiras o modelo regulatório e de gestão das instalações nucleares, dependendo do nível de organização democrática e dos debates públicos em cada sociedade.

As emissões gama são caracterizadas como radiação ionizante, quer dizer, como uma forma de energia que, na forma de ondas eletromagnéticas, possui a capacidade de penetrar e de absorver-se em materiais densos. A ação ionizante dessas emissões consiste na modificação de moléculas por meio da alteração de sua estrutura eletrônica, resultando muito prejudiciais aos organismos vivos, que podem sofrer mutação, carcinogênese e/ou teratogênese, dentre outros efeitos adversos à saúde.

O insumo energético introduzido em um ecossistema por materiais radioativos de ocorrência natural é, no máximo, capaz de condicionar a biodiversidade local. Um efeito, por certo, pouco comparável aos da radiação nuclear gerada por meio de processos tecnológicos, uma vez que esta pode alcançar um potencial catastrófico capaz de colapsar as condições sociais e ambientais em larga escala.

Pelo exposto, poder-se-ia pensar que a redução da radioatividade a um fenômeno apenas natural no glossário do MME foi resultado de uma distração ou, pelo contrário, resultado de um lapso que revela a construção simbólica hegemônica em setores científicos e oficiais brasileiros, empenhada em naturalizar a radiação ionizante enquanto parte de uma estratégia de comunicação de risco. A segunda hipótese é razoável se levarmos em consideração que a primeira frase da apostila educativa *“Radiações Ionizantes e a vida”*, divulgada na página oficial da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), expressa que: *“As radiações ionizantes existem no Planeta Terra desde a sua origem, sendo, portanto um fenômeno natural”* (BRASIL, 2011b) com a palavra “natural” em negrito.

Com foco nos cenários de exposição relacionados à mineração de Urânio, o objetivo do artigo é mostrar que a indistinção entre o antes e o depois da intervenção tecnológica em lugares naturalmente radioativos conduz a um tipo de gestão ambiental inapropriada para a proteção da saúde das comunidades e dos trabalhadores. Por meio de uma abordagem integrada, ecossistêmica e crítica, propõe-se analisar as relações e interações socioecológicas estabelecidas a partir de diferentes insumos energéticos, visando mostrar a inconsistência da indistinção entre um cenário de exposição ambiental conformado por materiais radioativos de ocorrência natural e um cenário de exposição à radiação derivado de intervenções tecnológicas. Posteriormente, são analisados os desdobramentos discursivos e de gestão derivados da invisibilização da diferença socioambiental entre os dois cenários.



parques eólicos podem gerar conflitos e injustiças ambientais, dependendo da forma como alteram os ambientes e as populações locais (PORTO; MILANEZ, 2009). De todas as fontes energéticas alternativas à solar, esta última é a que possui maior capacidade para alterar os ciclos vitais ecossistêmicos. Contudo, existem ecossistemas que conseguem estabilizar-se em territórios onde ocorre radiação natural pela presença de materiais radioativos. Nos planaltos de Minas Gerais, por exemplo, encontra-se a maior área de radiação natural da América do Sul: o Complexo Alcalino de Poços de Caldas, com um diâmetro médio aproximado de 33 km. Dentro dele, a área conhecida como Morro do Ferro é considerada pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos como o lugar mais radioativo na superfície do planeta (SHEA, 1991). Formado na Era Mesozóica, há mais de 250 milhões de anos, o solo dessa região apresenta rochas alcalinas vulcânicas e plutônicas contendo Urânio, Tório e Elementos de Terras Raras (REE, do inglês *Rare Earth Element*) (SCHORSCHER; SHEAB, 1992).

De acordo com a denominação adotada pela EPA – Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency*) dos Estados Unidos – o material geológico radioativo é denominado NORM, do inglês *Naturally-Occurring Radioactive Material*, e constitui mais um componente abiótico do ecossistema. Dependendo da magnitude dessa presença, o sistema estabelecerá as interações que lhe seja possível estabilizar, condicionando a biodiversidade da comunidade biótica. Da mesma maneira, um território com estas características pode ser um lugar mais ou menos apropriado para a ocupação humana, uma vez que as radiações ionizantes naturais também podem causar, dependendo da sua intensidade, insidiosos efeitos crônicos adversos à saúde. Contudo, atividades antrópicas tais como a mineração do urânio e o uso de fertilizantes agrícolas mobilizam e concentram os NORM em compartimentos bióticos [B'] e abióticos [B''] mostrados na Figura 2.

Os materiais radioativos naturais sofrem, a partir de intervenções tecnológicas determinadas, alterações na sua disponibilidade química e uma eventual maior proximidade dos NORM com a comunidade biótica (incremento da exposição radioativa); por esta razão, passam a ser denominados TENORM, do inglês *Technologically-Enhanced Naturally-Occurring Radioactive Materials* (US-EPA, 2011a). Os TENORM não são um componente “original” de um ecossistema, mas um insumo introduzido ou produzido nele, com efeitos variados dependendo da magnitude da matéria/energia mobilizada. Alguns desses efeitos são intencionais, tal como no caso da introdução de uma carga de radiação ionizante mais ou menos intensa na forma de insumo energético (por exemplo: radiação ionizante gama) ou material (fertilizantes fosfatos derivados de TENORM) para aumentar sua produtividade.

O setor do agronegócio é um bom exemplo dessa possibilidade: alimentos tais como frutas, grãos, especiarias e cereais podem ser expostos a uma quantidade controlada de raios gama produzidos com fontes radioativas de Cobalto 60 e Césio 137. Para os especialistas em produção agrícola, a irradiação de alimentos é uma técnica eficiente na conservação dos produtos, uma vez que reduz as perdas naturais provocadas por processos fisiológicos (brotamento, maturação e envelhecimento), além de reduzir a quantidade de microrganismos parasitas, sem aparentemente causar prejuízo ao alimento, tornando-os mais seguros ao consumidor. Atualmente, esta

prática está sendo ativamente promovida pelo governo brasileiro e pelos setores envolvidos na produção de mercadorias agrícolas (BRASIL, 2011d). No caso dos fertilizantes, um exemplo de insumo material importado nos ecossistemas para sustentar processos intensivos de produção agrícola, a eventual introdução de radiação ionizante constitui um “efeito colateral”, não desejado, ao uso de adubos fosfatados produzidos a partir de Fosforita. Este minério ocorre naturalmente na crosta terrestre como rocha sedimentar com alto teor de minerais fosfatados e concentrações naturais variáveis de elementos radioativos, chegando a conter até 120 ppm de Urânio (US-EPA, 2011b).

O adubo produzido a partir dessa matéria prima é particularmente valorizado no agronegócio, pois além de ter a vantagem de poder ser utilizado em forma direta, é considerado o fertilizante de fosfato mais econômico por unidade de aplicação (MARCO, 2007). O nível de radiação importado ao ecossistema pela utilização deste TENORM estará determinado por: (a) a origem geológica da rocha fosfática utilizada como matéria prima; (b) o tipo de mistura de minérios fósforo, nitrogênio e potássio empregados na fabricação do fertilizante e; (c) pela taxa de aplicação do adubo, uma variável que depende do tipo de culturas e solos a serem fertilizados. Em termos materiais, a quantidade de insumo externo que ingressa no ecossistema através desta prática é muito intensa, de aproximadamente 40 kg de fertilizante por hectare/ano. Nos Estados Unidos (EUA) são produzidos cerca de 50 milhões de toneladas de fertilizante fosfato por ano, aportando até 10.000 Bq/kg de radiatividade total. Nesse país, o consumo médio anual de fertilizantes fosfatados até 2007 foi de 5,8 milhões MT (toneladas métricas), tendo aumentado para mais de 8,5 milhões MT a partir desse ano (US-EPA, 2011b).

No Brasil, a elevada concentração de Urânio que se encontra acompanhando a Fosforita da jazida de Itataia, na região de Santa Quitéria, no Ceará, vem sendo usada como justificativa para sua exploração econômica como produto secundário à fabricação de adubos fosfatados. De acordo com os registros disponíveis, a reserva lavrável em Itataia tem 8,9 milhões de toneladas de Óxido de Fósforo ( $P_2O_5$ ) e 79,3 mil toneladas de Óxido de Urânio ( $U_3O_8$ ) (BRASIL, 2011e). Em termos comparativos, poder-se-ia dizer que Itataia contém 3,4 e 47% das reservas brasileiras atuais de  $P_2O_5$  e  $U_3O_8$ , respectivamente (RIBEIRO et al, 2008).

Seja associado ou não à produção de fertilizantes fosfatados, o Urânio que será utilizado como combustível em reatores de usinas nucleares deve ser extraído da crosta terrestre por meio dos processos sequenciais de mineração, beneficiamento, conversão, enriquecimento, fabricação do combustível, abastecimento do reator para geração de energia, armazenamento provisório, reprocessamento do combustível utilizado, e disposição final dos resíduos não recicláveis (BODANSKY, 2004). O ciclo do urânio em todas as fases entre a mineração, transporte, beneficiamento, uso em usinas e descarte envolve riscos tecnológicos e ambientais extremamente complexos e perigosos: desde o potencial catastrófico revelado por acidentes em usinas atômicas como Three Mile Island nos EUA em 1979, Chernobyl na antiga União Soviética (atual Ucrânia) em 1986, e o recente acidente em Fukushima no Japão em 2011; até os riscos com elevadas incertezas e ignorância científica relacionadas aos efeitos à saúde dos

trabalhadores e da população em geral decorrentes da exposição crônica a baixas doses de radiação nas diversas fases do urânio (EISENBUD; GESELL, 1997; BUTLER, 2011).

Por força de lei 4.118/1962, a mineração, produção e comércio de materiais radioativos no país é um monopólio do Estado brasileiro exercido pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), vinculado ao Ministério de Ciência e Tecnologia (BRASIL, 1962). Esse órgão, criado em 1956, tem a função de planejar, estabelecer normas, fiscalizar, licenciar e controlar a atividade nuclear no País. A exploração de Urânio, especificamente, está sob responsabilidade das Indústrias Nucleares do Brasil (INB). Prévio à criação da INB, as atribuições dessa empresa eram prerrogativas da extinta Empresas Nucleares Brasileiras S. A. (NUCLEBRÁS). Atualmente, a INB é responsável pela produção dos combustíveis nucleares no Brasil, desde a mineração e o beneficiamento primário dos elementos radioativos retirados das jazidas até a sua montagem. A CNEN detém 99,9983% do pacote acionário da INB (BRASIL, 2011e).

A exploração conjunta de fertilizantes para agronegócio e de combustível para reatores nucleares no Brasil pode ser realizada por meio de uma parceria da INB com uma empresa de mineração comercial. Precisamente, em setembro de 2007, o Jornal Valor Econômico publicava uma matéria segundo a qual o presidente da INB (Indústrias Nucleares Brasileiras) estimava que a parceria entre essa estatal junto com mineradoras privadas era uma grande oportunidade para quadruplicar a produção brasileira de urânio, passando de 400 para 1.600 toneladas ao ano até 2012 (DURÃO; SANTOS, 2007).

O Brasil possui a sétima maior reserva de urânio do mundo, levando-se em consideração apenas o urânio economicamente viável, ou seja, o que é possível de se obter a custos inferiores a US\$130.00 / kg. Estima-se que as jazidas prospectadas até o momento nos estados da Bahia, Ceará, Paraná e Minas Gerais contém aproximadamente 300.000 toneladas de minério U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>. O País possui também ocorrências uraníferas associadas a outros minerais, como aqueles encontrados nos depósitos de Pitinga no Estado do Amazonas e área de Carajás, no Estado do Pará, com um potencial adicional estimado de 150.000t (BRASIL, 2007).

O território brasileiro foi inspecionado para identificar as áreas com maior concentração de urânio no governo da ditadura militar, entre os anos 1960 e 1970. Esses estudos de prospecção geológica foram realizados em apenas 25% do território nacional. Só essa disponibilidade identificada já permitiria o suprimento das necessidades previstas pelo Programa Nuclear Brasileiro em longo prazo, bem como disponibilizar o excedente para o mercado externo. Vale destacar que a legislação vigente no Brasil só permite a exportação de materiais nucleares quando há excedente do produto no país. Deste modo, o grande incentivo à mineração de urânio não é estimulado pela necessidade do mercado interno, mas com a finalidade de gerar a disponibilidade de excedente exportável (SUCHANEK; SUCHANEK, 2008). Por sua vez, a mineração de fosfato para adubo agrícola é impulsionada pelo forte estímulo político e financeiro que o agronegócio, como modalidade de produção de alimentos e agrocombustíveis, vêm recebendo no Brasil e em boa parte do mundo (PORTO; MILANEZ, 2009).

No entanto, o projeto de parceria público privada para a mineração de Urânio e Fosfato no Ceará não vem avançando como previsto. Em protestos realizados em março de 2011, a iniciativa continuou rejeitada por organizações ambientalistas e camponesas, cujos protestos contra o empreendimento com essas características está baseado nos impactos socioambientais e para a saúde da população que vive e trabalha na região. De acordo com os denunciantes, esse tipo de atividade de mineração obrigará à comunidade local a conviver com os riscos associados à contaminação atmosférica, do solo, dos lençóis freáticos e do Rio Groaíras com substâncias tóxicas e radioativas. Além disso, os movimentos sociais camponeses denunciam também o risco de sofrer com a falta de água para consumo humano e para as atividades produtivas tradicionais da região, uma vez que os processos de mineração demandam enormes quantidades desse insumo natural, além de poderem poluir os recursos hídricos da região (MST, 2011).

### **Estabilização e colapso de ecossistemas com incremento de energia nuclear**

Para os ecossistemas e os territórios afetados por empreendimentos com urânio, a energia nuclear ingressa como um insumo de origem tecnológica que incrementa a exergia sistêmica (disponibilidade energética total) e, conseqüentemente, modifica qualitativa e quantitativamente os fluxos materiais e energéticos. Do ponto de vista ecossistêmico, buscando estabilizar-se no seu novo patamar de produtividade o ecossistema estará em condições de aumentar a produção de trabalho parcialmente reversível (por exemplo, produção de biomassa) e trabalho irreversível (geração de resíduos não metabolizáveis; dissipação de energia). Este último é o principal responsável pela geração de situações e eventos de riscos associados ao ciclo nuclear do urânio, sejam os eventos catastróficos, sejam possibilidades de exposição e contaminação com doses mais baixas.



organizacionais em todos os níveis de complexidade, desde o molecular até o ecossistêmico, incluindo dimensões sociais e humanas referentes às comunidades e territórios afetados, bem como aspectos tecnológicos e organizacionais relativos à organização dos processos produtivos, sistemas de armazenamento, transporte e descarte.

Tais interações estruturais e organizacionais decorrentes do incremento das radiações ionizantes podem ser responsáveis por inúmeros problemas ambientais e de saúde, caracterizados por serem perigosos, complexos e incertos. Para Van der Sluijs (2006), as incertezas relacionadas aos riscos ambientais podem ser classificadas em três grandes grupos, apresentados a seguir em ordem crescente de complexidade: (i) os riscos probabilísticos sobre problemas teoricamente bem modelados e bases de dados coerentes; (ii) as indeterminâncias típicas de problemas de maior complexidade os quais, ainda que bem modelados, envolvem fenômenos não lineares e com elevada imprevisibilidade; (iii) a ignorância do próprio conhecimento científico, denominada de incerteza epistemológica, diante de problemas com grande defasagem teórica e grau de incompreensão. Os riscos do ciclo nuclear do urânio envolvem várias incertezas do segundo e terceiro grupos, sendo, portanto, complexos, perigosos e incertos.

Para Funtowicz e Ravetz (1994), tais riscos não podem ser analisados e enfrentados adequadamente pela Ciência Normal, no sentido dado por Thomas Kuhn (1987), por sua prática de aparente “neutralidade” e “objetividade” que explicita fatos duros e oculta tanto os valores quanto as incertezas em jogo. Este modelo de prática científica se reproduz através de padrões de qualidade mantidos por comunidades especializadas de pares cerradas em torno de paradigmas hegemônicos, e quando os objetos da investigação envolvem análises dos problemas ambientais, muitas vezes as pesquisas são financiadas por organizações e corporações cujos interesses econômicos orbitam em torno justamente da manutenção e expansão de atividades geradoras dos problemas em jogo. Portanto, para os autores o modelo de ciência especializada que participou da criação dos principais riscos ambientais modernos não será o mesmo que os resolverá.

Embora se disponha de um sólido nível de conhecimentos em relação às interações radiações ionizantes no nível molecular, o estado da arte do conhecimento sobre as consequências ecossistêmicas dessas interações ainda exhibe um alto grau de incerteza, indeterminância e ignorância. No entanto, o senso comum identifica a energia nuclear como o principal insumo externo aos ecossistemas com a capacidade potencial de exterminar a vida em amplas escalas geográficas, ou seja, de colapsar irreversivelmente os ciclos vitais na biosfera.

Nesse sentido, a Figura 3 mostra um cenário extremo resultante de um insumo energético radioativo de grande escala em evento único (ex: uma explosão radioativa provocada pelo descontrole de uma reação nuclear em cadeia). A dissipação da energia liberada no ecossistema, especialmente nas formas de calor e de onda expansiva, colapsam as interações da comunidade biótica, inviabilizando seus ciclos vitais (reciclagem de nutrientes e dissipação da energia solar armazenada). Nesse espaço colapsado, somente permanecem depósitos abióticos de radiação [B''] e depósitos de biomassa estéril também radioativa [B'].

A tomada de consciência coletiva em relação a esta ameaça é identificada por muitos especialistas como uma das principais determinantes da percepção social de risco em torno à energia nuclear. Com efeito, vários estudos de percepção de risco realizados desde a década de 1970 vêm mostrando que o público frequentemente expressa uma visão sobre os riscos que difere do ponto de vista dos especialistas. Essa discrepância é particularmente crítica no domínio da tecnologia nuclear, em especial em relação à construção de novas instalações nucleares e à gestão de resíduos radioativos (SJÖBERG; DROTZ-SJÖBERG, 1997).

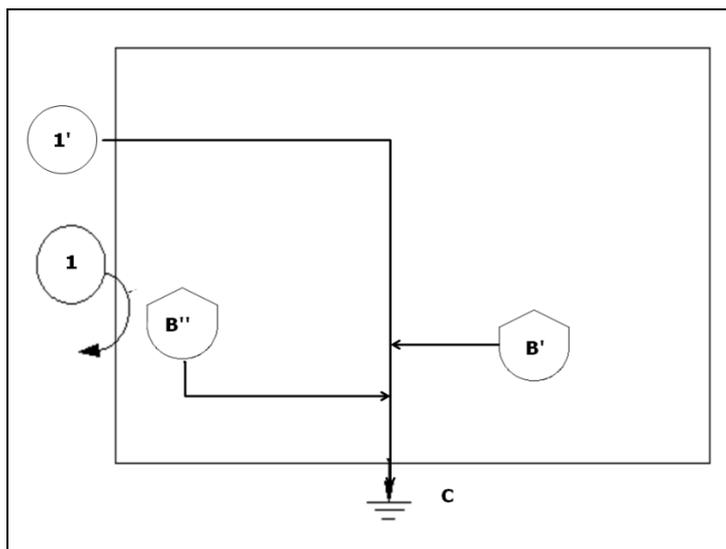


Figura 3. Fluxos básicos remanescentes em um ecossistema colapsado pelo excesso de energia nuclear

Por outro lado, o reconhecimento por parte dos técnicos do potencial destrutivo das radiações ionizantes e das reações nucleares em cadeia determinou também a instituição de instrumentos políticos para a gestão diferencial dos riscos nos planos nacional e internacional. Experiências históricas tais como os ataques estadunidenses com bombas atômicas às cidades japonesas Hiroshima e Nagasaki, em 1945; os já mencionados acidentes radioativos que foram comunicados ao público com grande repercussão (Three Miles Island em 1979; Chernobyl em 1986; e o recente na cidade de Fukushima em 2011); bem como a agenda antiterrorista das potências militares ocidentais, têm consolidado tanto a percepção social do risco radioativo como a modalidade da agenda oficial para a gestão da tecnologia nuclear. É interessante observar que a destruição em massa das bombas atômicas lançadas em Hiroshima e Nagasaki, seguida da corrida armamentista, foram responsáveis pela consciência de que, pela primeira vez na história da humanidade, o fim da vida no planeta poderia ser gerado pelo próprio homem, o que provocou uma série de filmes e obras literárias que difundiram, através de uma forte narrativa apocalíptica, a relação entre tecnologia nuclear, catástrofes e sofrimento humano (SHAPIRO, 1998). A

ocorrência das catástrofes de 1979, 1986 e 2011 reacende e atualiza este debate no atual contexto de crise socioambiental, busca de sustentabilidade e justiça ambiental.

### **Dilemas da gestão para a tecnologia nuclear**

A pesquisa tecnológica sobre a radioatividade obteve um marcado impulso a partir da década de 1950, aumentando e diversificando as atividades envolvendo o uso de materiais radioativos. Esse processo apontou para a necessidade de estabelecer requisitos de radioproteção e segurança. Naquela época, o desafio principal era plasmar acordos entre as partes interessadas a fim de garantir um nível adequado de controle da eventual exposição de pessoas e bens à radiação ionizante (MEZRAHI, 2005).

No plano internacional, quem assumiu a liderança para a elaboração de normas de radioproteção foi a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), uma organização autônoma criada no seio das Nações Unidas em 29 de julho de 1957. Desde então, a AIEA se ocupa do estabelecimento de regulamentos de segurança e a assinatura de acordos internacionais por parte dos Estados Membros que a compõem. Com sede em Viena, Áustria, a AIEA está constituída por 137 Estados-Membros, constituindo um fórum intergovernamental para a cooperação científica e técnica do uso pacífico da tecnologia nuclear (FISCHER, 1997).

Apesar de que, em termos semânticos, segurança e seguridade possam ser considerados sinônimos, em termos de radioproteção deve ser percebida uma sutil diferença entre essas categorias: segurança (*safety*) se refere ao conjunto de normas para o manejo técnico da radiação nuclear sem pôr em risco nem os trabalhadores nem o ambiente. Isto é, a segurança nuclear se refere à realização das condições adequadas de funcionamento, prevenção ou mitigação de acidentes ou de suas consequências. Já a seguridade (*security*), por sua vez, se refere ao conjunto de ações que devem ser implantadas no sentido de se tentar manter a tecnologia nuclear restrita ao seu uso pacífico, ou seja, a seguridade nuclear diz respeito à proteção de instalações nucleares e do transporte de materiais radioativos contra eventuais atos maliciosos (IAEA, 2007).

De acordo com Mezrahi (2005), a única regulamentação da AIEA adotada na íntegra pelos Estados-Membros é a que diz respeito ao armazenamento e transporte de materiais radioativos. Para este autor, a AIEA ainda não propôs modificações significativas nos cenários de exposição e, conseqüentemente, não têm atualizado os requisitos de radioproteção por ela estabelecidos, priorizando medidas de seguridade em relação às de segurança, esta última mais voltada à proteção dos cidadãos que possam ser prejudicados dentro de territórios e países específicos onde existam materiais, instalações e atividades nucleares.

No âmbito dos Estados nacionais, as regulamentações para a gestão de materiais radioativos esbarram, muitas vezes, com a segmentação geográfica das atribuições políticas. Nos EUA, embora 50 estados apresentem existência confirmada

de NORM, não há nenhuma regulamentação federal. A Comissão Reguladora Nuclear (NRC) só tem jurisdição sobre um espectro relativamente estreito de radiação. Portanto, essa responsabilidade recai sobre os estados federados, os quais podem impor rigor às regras ou negligenciar os riscos. Por sua vez, a EPA – agência ambiental com jurisdição federal – tem se ocupado dos TENORM e se encontra, no momento atual, em plena revisão das normas de segurança para instalações de mineração e trituração de Urânio.

Por meio da CNEN, o Estado brasileiro exerce seu monopólio sobre os usos da energia nuclear em todas as áreas de aplicação: área médica, industrial, na pesquisa científica ou na geração de eletricidade. A Comissão também é a responsável pelo destino final dos rejeitos radioativos gerados nestas atividades. Além de representar o país em organismos internacionais que tratam de assuntos nucleares, a CNEN licencia e controla as instalações nucleares e radioativas no território nacional; credencia os profissionais especializados em tecnologia nuclear e responde pelas atividades de calibração e pelos padrões de medida na área nuclear brasileira.

Desde 1989, contudo, a construção de novas instalações nucleares no Brasil está submetida a um processo de licenciamento duplo: o nuclear, sob a responsabilidade da CNEN, e o ambiental, a cargo do IBAMA. Ambas estatais avaliam eventuais impactos e, a partir daí, é possível emitir ou não licenças ou autorizações necessárias ao funcionamento das atividades nucleares, bem como estabelecer condicionantes e exigências a serem cumpridas pelos empreendedores/operadores. Antes de 1989, houve duas modalidades de licenciamento diferente para as instalações nucleares brasileiras: uma para o período entre 1974 e 1981, em que o licenciamento duplo era realizado pela CNEN, de acordo com o artigo 7º da Lei nº. 6.874/74, e pelo órgão estadual de meio ambiente; e outro entre 1981 e 1989, quando essa atividade foi de exclusiva competência da CNEN.

Consubstanciado na Lei nº 6.938, de 31/08/81, o licenciamento ambiental é o processo de avaliação dos condicionantes e exigências que deverão ser cumpridas pelo empreendedor/operador de qualquer atividade de exploração de recursos ambientais considerada efetiva e potencialmente poluidora ou capaz de causar degradação ambiental. O processo de licenciamento é composto por etapas definidas que devem ser cumpridas, visando minimizar os impactos negativos do empreendimento, sob a pena de tornar inválidas as licenças recebidas (BRASIL, 2011f).

Um dos grandes dilemas determinantes do modelo de gestão ambiental da tecnologia nuclear no Brasil reside no fato que a CNEN é, ao mesmo tempo, o órgão regulador, o incentivador, e – via INB – o empreendedor. Em outras palavras, a CNEN é a agência reguladora responsável pelo estabelecimento das normas de radioproteção no Brasil, bem como da fiscalização do cumprimento dessas normas em atividades que ela mesma promove e executa. Trata-se, portanto, de um paradoxo e problema estrutural do sistema regulatório brasileiro. Nesse sentido, um dos mais reconhecidos expoentes do campo da tecnologia nuclear do Brasil, o químico Moacir Cipriani, falecido em 2008 e ex-diretor do Laboratório Poços de Caldas (LAPOC) da CNEN, expressou na sua tese doutoral:

Consideramos que, para o futuro do Programa Nuclear Brasileiro, é importante e necessária uma separação orgânica da produção e incentivo, da regulamentação e fiscalização. Esta situação daria maior credibilidade à atuação da CNEN, tanto no país como no exterior. (CIPRIANI, 2002, p. 278)

Na perspectiva da proteção e promoção da saúde coletiva de perigos decorrentes da tecnologia nuclear, há um grave inconveniente no fato que qualquer atividade de pesquisa ou vigilância da situação de saúde envolvendo radiação ou materiais radioativos no Brasil somente possa ser feita em parceria com a CNEN, detentora do monopólio do manejo das tecnologias e dos instrumentos de medição de radiações.

Por um lado, o inconveniente tem a ver com princípios fundamentais de ética em pesquisa, uma vez que por seu caráter de acionista majoritária da INB, a participação da comissão em projetos de pesquisa de agravos a saúde associados, por exemplo, à mineração de urânio representa um claro caso de conflito de interesses; e, por outro lado, a insistente naturalização da radiação defendida pela CNEN / INB conduz a uma invisibilização do risco tecnológico, posição esta que tem condicionado os resultados de estudos de impacto ambientais e a saúde. Como exemplo deste condicionamento pode ser utilizado o caso da primeira exploração uranífera no Brasil, no Complexo Alcalino de Poços de Caldas, em Minas Gerais.

### **O passivo ambiental da mineração de Urânio em Caldas, MG**

As primeiras notícias da ocorrência de radioatividade no Planalto de Poços de Caldas, MG, datam de 1948, quando técnicos do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) detectaram radioatividade em minerais de zircônio provenientes dessa região. Em 1952, técnicos norte-americanos da companhia *US Geological Survey* contataram a presença de urânio no local. Em 1965, foi descoberta a jazida de urânio que, anos depois, daria origem ao Complexo Industrial do Planalto de Poços de Caldas (CIPC), o primeiro Complexo Minerio-Industrial de urânio instalado no Brasil (FLÔRES, 2006).

A atividade concentrou-se na mina chamada Osamu Utsumi, descoberta em 1970, localizada a uns 35 km do principal núcleo urbano desse planalto, a cidade de Poços de Caldas. Além desse município, a área do complexo alcalino envolve outros quatro: Andradas; Caldas; Ibitiúra de Minas; e Santa Rita de Caldas.

Como parte do Programa Nuclear Brasileiro, em 1976 a hoje extinta NUCLEBRÁS contratou a empresa *Uranium Pechiney Ugine Kuhlman* (UPUK), de origem francesa, para executar um projeto básico da mina e da usina. A exploração da mina teve início em 1977, com o decapeamento do material sotoposto à jazida (uns cinco milhões de metros cúbicos de material estéril), com o objetivo de viabilizar a lavra de urânio em cava a céu aberto. Estimava-se que a mina produziria ao redor de 425

tU/ano. A operação comercial iniciou-se em 1982 e funcionou de forma descontínua até 1995, não atingindo as metas de produção anteriormente previstas (FAGUNDES, 2005). As reservas de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> nesta jazida tinham sido estimadas em 4.500 toneladas. Com a exaustão dessas reservas, a mina Osamu Utsumi passou à fase de descomissionamento e fechamento (NOBREGA et al, 2008). Durante os 16 anos de operação, a INB processou cerca de 2,3 milhões de toneladas de urânio em sua unidade de processamento, depositando uma quantidade semelhante de resíduos do processo na bacia de rejeitos radioativos (MACACINI, 2008).

Em fevereiro de 2004, o IBAMA, juntamente com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), firmou um Termo de Referência para Elaboração e Apresentação do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) para o CIPC (FLÔRES, 2006). De acordo com Nobrega et al (2008), o principal passivo enfrentado pela INB, para o fechamento do complexo mineiro Osamu Utsumi é provocado pela drenagem ácida de mina (DAM). Tecnicamente, como explicam os citados autores, a DAM é causada pela oxidação natural dos sulfetos metálicos em presença de água e oxigênio, dando como resultado a formação de ácido sulfúrico. Logo, a consequente redução do pH dos corpos hídricos implica na dissolução de metais pesados associados às matrizes rochosas com graves impactos ambientais.

A drenagem ácida provoca degradação físico-química de corpos d'água como lagos, córregos e lençóis freáticos. Dependendo da dinâmica das bacias, uma DAM pode vir a causar mortandade de peixes e a afetação de todo tipo de espécies aquáticas, provocando alterações ecológicas importantes. A magnitude da contribuição dos *bota-foras*, como são chamados os depósitos de resíduos, para a degradação ambiental na região de abrangência ainda é desconhecida.

O processo DAM observado na mina de Caldas é uma consequência direta da política ambiental praticada pela antiga NUCLEBRÁS: os resíduos gerados na exploração de urânio na mina Osamu Utsumi eram dispostos nos bota-foras, lançados segundo o método de ponta de aterro, sem nenhuma selagem de base. Ou seja, as drenagens ácidas oriundas dos resíduos da mina eram lançadas diretamente nos córregos Consulta e Cercado. Em 1983, a CNEN obrigou a mineradora a implantar um sistema de coleta e tratamento dessas águas. Para cumprir com essa decisão, foi montada uma Estação de Águas Marginais da mina, utilizando tratamento alcalino na base de cal hidratada (para elevar o pH) e floculantes (para facilitar a separação sólido-líquido) (FAGUNDES, 2005). Os bota-foras da mina Osamu Otsumi continuam a ser os responsáveis pelo volume total de efluentes ácidos tratados pela INB no local, um passivo ambiental cujo tratamento representa um alto custo financeiro à INB (CIPRIANI, 2002).

O Código de Mineração do Brasil define lavra como o conjunto de operações necessárias para o aproveitamento industrial da jazida, incluindo a exploração e o beneficiamento. Para a obtenção de um Alvará de Lavra, tais operações devem ser apresentadas no Plano de Aproveitamento Econômico (PAE), que deve demonstrar a exequibilidade técnica e econômica da lavra de uma jazida. Porém, só a partir de 2002 a inclusão do plano de fechamento de mina no PAE passou a ser uma exigência, conforme a Norma Reguladora de mineração NRM-20 (BRASIL, 2001). Em artigo

recente, pesquisadores da UFOP ressaltam a falta de diretrizes por parte do governo para a avaliação dos PAEs com foco no plano de fechamento de mina. Por parte das empresas de mineração, os especialistas destacaram a falha em se considerar o custo de fechamento como o custo de contratação de consultoria para elaboração do plano de fechamento (RESENDE et al, 2010).

Para Nóbrega et al (2008), a solução econômica e ambientalmente mais atrativa no longo prazo seria a total remoção do estéril da mina Osamu Otsumi e a sua disposição na cava da mina. Promover o retorno das antigas pilhas de material estéril removido ao interior da cava permitiria também que nela sejam depositados os materiais e equipamentos das instalações de beneficiamento que não puderem ser descontaminados (e, portanto, representarão risco à saúde), promovendo-se, posteriormente, a vedação de toda a área, como forma de se tentar impedir o acesso da água e do oxigênio ao material contaminado por elementos radioativos, bem como às fontes de geração de drenagem ácida (FLÔRES, 2006).

No entanto, de acordo com a informação disponível na página web da INB, a reintegração e estabilização do potencial de poluição dessas áreas foram feitos através do desenvolvimento de um Programa de Controle e Proteção do Meio Ambiente e, na atualidade, está sendo promovido um completo levantamento do meio ambiente (água, ar, solo, vegetação e fauna) com o objetivo de manter sob controle estrito as áreas sob sua influência e circunvizinhança (BRASIL, 2011g). Contudo, ao menos nesse espaço de comunicação, a empresa não só não oferece detalhes técnicos sobre qual é a atual situação do passivo ambiental da drenagem ácida nessa área, como sequer o menciona.

Todavia, o eventual passivo ambiental radioativo é um grande ausente tanto na comunicação social da INB quanto, em grande parte, da produção acadêmica (artigos científicos, teses e dissertações) em relação à mineração uranífera nessa região. Em dezembro de 2010 foi realizada uma busca na Biblioteca Virtual em Saúde (<http://regional.bvsalud.org/php/index.php>) utilizando a palavra chave Osamu Otsumi. Verificou-se que praticamente a totalidade do material bibliográfico localizado por meio desse procedimento estava orientada a estudar e/ou a dar solução ao passivo ambiental químico (DAM), o qual parece ser o único empecilho para que a mina seja definitivamente fechada; mas poucas remetem à avaliação do potencial risco radioativo à saúde associado à problemática gestão ambiental dos estéreis praticado nessa mineração.

Otero et al. (2007) publicaram os resultados de uma pesquisa que teve três objetivos principais: conhecer o padrão de mortalidade por câncer em municípios do sul de Minas Gerais; avaliar se existe excesso de óbitos; e discutir os possíveis fatores de risco associados a esse aumento, considerando a possibilidade de aumento na incidência de câncer devido a maior exposição à radiação natural em alguns deles. De acordo com os autores, os dados mostram que existe um excesso de óbitos por câncer no sul de Minas Gerais, obtido a partir do cálculo da razão de mortalidade padronizada (RMP). O RMP mede a proporção de óbitos de pessoas com 50 anos e mais em relação ao total de óbitos ocorridos em um dado local e período, e é calculado dividindo-se o número de óbitos com pessoas com mais de 50 anos em um dado local e período pelo

total de óbitos no mesmo local e período, multiplicando-se o resultado por 100. Os municípios considerados de altíssima prioridade para investigação foram: Andradas – câncer de pulmão em homens [RMP = 208 (106-310)] e fígado em mulheres [RMP = 403 (104-701)]; Poços de Caldas – leucemia em homens e mulheres (RMP = 284 (156-412) e RMP = 211 (111-312), respectivamente); Pouso Alegre – leucemia em homens [RMP = 333 (127- 540)] e cânceres hematológicos em mulheres [RMP = 257 (188-396)] (Otero et al, 2007: S546). Andradas e Poços de Caldas são os municípios mais populosos do planalto em que está localizado o complexo alcalino radioativo (radiação natural), ou seja, os maiores centros urbanos vizinhos à jazida em que foi desenvolvida atividade uranífera (modificação tecnológica da disposição e mobilidade do material radioativo natural).

Nas suas conclusões, os pesquisadores sugerem que estudos epidemiológicos devem ser conduzidos para avaliar a contribuição da radiação e outros fatores de riscos relacionados ao câncer e assim subsidiar futuras medidas de prevenção e controle. Para Otero et al (2007), novas investigações deveriam incluir estudos observacionais analíticos que permitam estabelecer relação denexo causal entre os fatores de risco ambientais e/ou ocupacionais relacionados ao comprovado excesso de óbitos e à maior incidência de câncer nessa região.

Tendo em consideração que causa específica do óbito muitas vezes não é bem caracterizada na declaração de óbito, em 2009 a Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais publicou os resultados de uma pesquisa dirigida à validação dos óbitos por câncer e radiação natural nos cinco municípios do Planalto Poços de Caldas (Andradas; Caldas; Ibitiúra de Minas; Poços de Caldas; e Santa Rita de Caldas). Segundo Monteiro et al (1997), a validação de óbitos consiste em uma análise de concordância (Método Kappa) entre a causa básica do óbito informada no sistema de mortalidade e os dados obtidos na investigação do óbito. O projeto de pesquisa se denominou “Projeto Poços de Caldas: Pesquisa Câncer e Radiação Natural” e foi desenvolvido no período 2004-2009 como resultado de uma parceria institucional entre a Secretaria Nacional de Vigilância em Saúde (Coordenação Geral da Vigilância em Saúde); o Instituto Nacional de Câncer (Coordenação de Prevenção e Vigilância); a Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais (Subsecretaria de Vigilância em Saúde); e a Comissão Nacional de Energia Nuclear (Laboratório de Poços de Caldas).

Os objetivos principais desse estudo foram: (a) disponibilizar para a população do Planalto Poços de Caldas informações científicas, tecnicamente confiáveis e eticamente seguras sobre a ocorrência de câncer; e (b) realizar as medições da radiação ionizante natural externa, em 100% dos cinco municípios pesquisados (SES-MG, 2009: 5). A informação prévia dos registros da Vigilância Estadual de Câncer conduziu à investigação de 254 casos de óbitos registrados no Sistema de Mortalidade SIM Minas Gerais para cânceres de Pulmão (CID-10 C34), Leucemia (CID-10 C90-95) e Linfoma (CID-10 C81-C85), ocorridos entre 1999 a 2005, classificados por sexo e residência nos municípios selecionados. No entanto, os dois municípios de menor população, Ibitiúra de Minas e Santa Rita de Caldas, não registraram óbitos para os tipos de câncer selecionados na pesquisa.

De acordo com o relatório da SES-MG (2009), o primeiro objetivo do projeto, de proceder à validação dos óbitos registrados no SIM, resultou dificultado por causa do alto percentual de perdas (49,6%) ocasionadas pela falta de exames de diagnóstico do câncer pesquisado ou por insuficiente anotação médica na documentação consultada. Essa limitação metodológica amplia as incertezas sobre o problema e é uma consequência da fragilidade dos sistemas de informação em saúde no Brasil, em especial, em referência às causas de óbitos; e reafirma a necessidade de fortalecer dois pilares fundamentais da Vigilância do Câncer: o Registro de Câncer de Base Populacional (RCBP) e o Registro Hospitalar de Câncer (RHC). O RCBP é um instrumento que permite coletar informações de uma população específica (com diagnóstico de câncer) em uma área geográfica delimitada e, dessa maneira, fornece informações sobre o número de casos novos (incidência) e permite detectar fatores que podem estar relacionados na determinação do número de casos da doença (prevalência) nessa área. Por sua vez, o RHC é um instrumento que permite avaliar a qualidade da assistência à população com diagnóstico de câncer (BRASIL, 2011h).

Nesse sentido, o relatório informa que os trabalhos do RCBP - Poços de Caldas (pertencente à vigilância epidemiológica da secretaria municipal de saúde) encontram-se na fase inicial de estudos de incidência, coletando casos novos em fontes como hospitais, laboratórios e clínicas (SES-MG, 2009).

O segundo objetivo do projeto, isto é, a realização de medições da dose de radiação natural - consideradas necessárias para possibilitar a necessária avaliação de risco à saúde – foi realizada por técnicos do Laboratório Poços de Caldas, da Comissão Nacional de Energia Nuclear (LAPOC-CNEN). Para medir as doses de radiação gama proveniente do solo, foi utilizado um sistema móvel medição da radioatividade gama ambiental (marca Eberline Modelo FHT 1376). Esse equipamento é formado por um detector gama de alta sensibilidade acoplado a um GPS (*Global Positioning System*) e a um microcomputador configurado para tomar uma medida de dose a cada segundo. As medições foram realizadas sobre toda a malha viária (asfaltada ou não): *“409.257 pontos de medição formaram a base de cálculo desse estudo e representam toda a extensão territorial dos municípios, uma vez que não foram feitas amostragens”* (SES-MG, 2009: 42). Os resultados do relatório mostram que todos os valores de doses médias, aritmética ou ponderada, foram inferiores a 5mSv/ano, o que corresponde à classificação de área de radioatividade normal. Em aproximadamente 80% do total dos pontos medidos, a maior concentração encontrada é inferior a 1,0 mSv/ano. No entanto, as medições de radiação gama realizadas pelo Projeto Poços de Caldas permitiram confirmar três anomalias já conhecidas: o Morro do Ferro, a Mina de Urânio e o Morro do Taquari. Em efeito, segundo se informa:

Foram encontrados três locais com doses bastante elevadas, todos no interior da caldeira vulcânica: no Morro do Ferro (95,5 mSv/ano), zona rural de Poços de Caldas; no Campo do Cercado – Mina de Urânio (14,43 mSv/ano) e no Morro do Taquari (13,56 mSv/ano), o primeiro na zona rural de Poços de Caldas e os dois últimos na zona

rural de Caldas. Essas áreas possuem baixa (ou nula) densidade demográfica. (SES-MG, 2009, p. 56)

De acordo com os resultados obtidos, confirma-se que a radiação natural no local conhecido como Morro do Ferro é considerada “muito elevada” (Tabela 2), razão pela qual uma ação razoável do planejamento territorial em consonância com a vigilância da saúde consistiria em mantê-lo interdito para assentamentos, exploração e circulação de pessoas. O mesmo poder-se-ia dizer do Morro de Taquari, um local que, aparentemente, ainda não foi ocupado nem explorado por atividades produtivas. Embora a radiação natural nesse local seja considerada “média”, as medições superam o valor de 10 mSv/ano, estabelecido pela norma CNEN 3.01/007 como o valor genérico de referência para uma ação de intervenção em situações de exposição crônica da população a radiação natural. Esse valor limite também é ultrapassado no local a que o relatório se refere como “Mina de Urânio”, ou seja, a mina Osuma Otsumi explorada pela extinta NUCLEBRAS e atualmente sob responsabilidade da INB.

Resulta evidente que, ao “naturalizar” toda a radiação que ocorre na região, o desenho da pesquisa invisibiliza o fato que o cenário de exposição nesse local é diferente dos anteriores. Se, de um lado, é correto afirmar que atualmente essa área possui baixa (ou nula) densidade demográfica, da mesma maneira é possível afirmar a presença de trabalhadores que entre 1982 e 1995 estiveram expostos a essa radiação natural (NORM) e, com certo grau de incerteza, a radiações ainda maiores (TENORM). Como afirma Cipriani (2002, p. 25):

O risco radiológico potencial da mineração de urânio para a saúde do público decorre do fato de que um grande volume de rocha que hospeda a mineração de urânio é removido do subsolo e depositado sobre a superfície do solo. Além disso, o minério é submetido à cominuição (britagem e moagem) e tratamento químico, o que aumenta a exposição dos minerais e a mobilidade dos radionuclídeos no meio ambiente.

Contudo, a estratégia metodológica adotada para a pesquisa epidemiológica do projeto não definiu *clusters* (grupos de população relativamente homogêneos em relação à exposição ao risco), mas considerou a população de cada um dos cinco municípios estudados como uma totalidade. Segundo os coordenadores do Projeto Poços de Caldas: “*Para a Saúde Pública, a forma de cálculo com base no tamanho da população é a mais indicada (TAB. 3)*”. (SES-MG, 2009, p. 56). No entanto, não resulta claro qual informação da referenciada Tabela 3, na página 25 do relatório (“Componentes da dose efetiva mundial com base populacional”) recomenda tal enfoque para uma pesquisa desse tipo. Ainda, os coordenadores do Projeto Poços de Caldas informam limitações metodológicas:

O presente estudo assumiu que as doses externas indoor e outdoor sejam equivalentes, e as melhorias que podem ser realizadas são as medições da dose externa indoor, do Fator de Ocupação – que define o tempo de exposição diário – (...), permitindo assim realizar análise fidedigna do risco à saúde. (SES-MG, 2009, p. 56)

Todavia, os coordenadores da pesquisa assumem também que toda dose externa de radiação na região de Poços de Caldas corresponde à “radiação natural” (NORM) e justificam essa assunção em um raciocínio do próprio Cipriani. De acordo com o especialista, a radiação geológica está presente na região em épocas anteriores mesmo à evolução dos primatas, ocorrendo em forma natural independentemente da exploração mineral. No entanto, a partir do estabelecimento de empreendimentos mineradores na região, é possível pensar em duas vertentes: (1) a extração de minério radioativo diminui os riscos à saúde, uma vez que remove do ambiente o elemento radioativo; e (2) a extração dos minérios tende a concentrar nos seus rejeitos a parte radioativa do solo, exigindo atenção especial para sua disposição final (CIPRIANI, apud SES-MG, 2009). Isto, principalmente porque é característico da mineração de Urânio que os rejeitos contenham baixas concentrações de radionuclídeos, mas que suas quantidades sejam enormes (CIPRIANI, 2002).

A vertente afirmando que a mineração uranífera, por remover do ambiente o elemento radioativo, diminui os riscos à saúde merece, em princípio, duas considerações: (i) no melhor dos cenários, essa diminuição da radioatividade ocorreria no nível da população geral e ao longo prazo; mas expressa uma notável invisibilidade do risco aos que estão expostos os trabalhadores durante a suposta remoção do material radioativo, além da população exposta pelo eventual incremento da exposição local; (ii) as medições informadas no relatório indicam que a exploração uranífera não removeu suficientemente o elemento radioativo da mina Osuma Otsumi (fechada por razões econômicas), e ainda mantém níveis de médios de radiação de 14,43 mSv/ano segundo resultados da própria pesquisa. Tais argumentações são corroborados por Alvim et al. (2007, p. 211) ao afirmarem:

No Brasil, o tipo de dispersão de radiação que mais merece preocupação se relaciona com as atividades de mineração (não obrigatoriamente ligadas ao ciclo nuclear); os afluentes podem gerar disseminação da radioatividade natural contida nos minérios, facilitada pelo ataque químico na extração de urânio ou de outros materiais.

Em relação à vertente que a extração dos minérios tende a concentrar nos seus rejeitos a parte radioativa do solo, exigindo atenção especial para sua disposição final, a coordenação interinstitucional do Projeto Poços de Caldas assumiu que: *“Partindo-se do pressuposto aceitável de que o manejo de minérios na região esteja dentro das*

*normas de proteção à saúde, permanece apenas a exposição natural” (SES-MG, 2009, p. 19).*

A presunção de que o manejo de minérios na região tenha guardado os devidos cuidados ambientais e à saúde contradiz os resultados das pesquisas publicados em diversos artigos científicos (Nóbrega et al, 2008; Murta et al, 2008; Lima et al, 2006; dentre outros) e nas várias dissertações e teses defendidas sobre esse assunto, incluída a do próprio Cipriani (2002). Efetivamente, existem evidências suficientes mostrando que ao longo das atividades uraníferas em Caldas, entre 1982 e 1995, a disposição final dos materiais originados na lavra foi manejada de forma incorreta e a consequência disso é um passivo ambiental que produz drenagem ácida, comprometendo ambientalmente à região. É justamente a persistência desse passivo que dificulta o fechamento definitivo da mina Osuma Otsumi da INB e, em consequência, a presunção de que a exposição radioativa em Caldas corresponde à ocorrência natural é desprovida de fundamento.

## Conclusões

Nos territórios em que ocorre, a radiação natural é um componente abiótico do ecossistema. O assentamento de populações humanas nesses territórios pode ser mais ou menos apropriado, e corresponde à vigilância ambiental realizar as avaliações de risco a fatores físicos e os monitoramentos correspondentes que forneçam suporte ao planejamento territorial nas regiões com tais características.

A partir do momento em que nesse território seja iniciada uma atividade de mineração, o ecossistema resulta modificado pela introdução de insumos materiais e energéticos. Nesse contexto, continuar a considerar a exposição radioativa como um fenômeno apenas natural invisibiliza os cenários de exposição produzidos a partir das modificações tecnológicas do ecossistema, ou seja, da ação antrópica. Uma das consequências desta invisibilização é a eventual *falta de definição e monitoramento* de *clusters* de relevância epidemiológica, que distinguiriam entre as populações expostas cronicamente apenas a NORMS, de grupos específicos expostos também a TENORM em locais de trabalho, circulação e moradia em áreas potencialmente contaminadas. Outra consequência relevante diz respeito aos processos de vulnerabilização dos territórios e populações afetados, produzindo situações de injustiça ambiental nas quais os grupos mais vulneráveis e discriminados podem arcar com as cargas mais negativas da poluição (PORTO; PACHECO, 2009). Ocultar a diferença entre um cenário de exposição ambiental à radiação natural e outro em que foi introduzido um processo produtivo de mineração pode resultar conveniente aos interesses da indústria nuclear, mas não contribui para a correta avaliação, prevenção, gerenciamento e comunicação de riscos. Neste sentido, um estudo epidemiológico que pretenda avaliar em forma integral os impactos à saúde de uma população considerada em risco radiológico decorrente da presença de NORM e TENORM no seu território deveria diferenciar os cenários de exposição crônica à radiação natural dos cenários de exposição em que grupos específicos podem ter estado submetidos – em forma crônica e aguda – a

níveis de radiação mais elevados em função dos diferentes modos de inserção no processo de exploração da jazida uranífera.

Resulta, portanto, necessário discutir o marco regulatório, a estrutura institucional e as bases científicas que sustentam o atual modelo de regulação e gestão do ciclo nuclear do urânio, assim como o papel da vigilância saúde ambiental relacionada aos fatores físicos, os quais devem assumir a complexidade e as incertezas envolvidas nas exposições ambientais às radiações ionizantes. O atual sistema regulatório brasileiro é paradoxal e limitado, possuindo dilemas e problemas estruturais que o impedem de proteger de forma mais efetiva a saúde dos cidadãos. Do ponto de vista epistemológico, os problemas decorrentes da mineração de Urânio necessitam uma profunda mudança de abordagem: continuar a insistir na agenda de uma Ciência Normal de natureza positivista, a qual analisa o problema dos riscos complexos e incertos de forma fragmentada e tecnocrática, ocultando as incertezas e os valores em jogo, não contribui para proteção da saúde e do meio ambiente. Tampouco facilita o diálogo entre atores sociais em conflito nos territórios afetados por estes empreendimentos. O atual modelo favorece a vulnerabilidade institucional nos processos regulatórios, incluindo os processos de licenciamento, o controle e a fiscalização, pois o principal órgão (CNEM) é também o principal empreendedor e parte interessada na liberação e expansão das atividades. Uma alternativa é reforçar, através de políticas públicas, o papel do SISNAMA (Sistema Nacional de Meio Ambiente), do SUS, em especial de seu componente de vigilância, da participação pública e do controle social. Órgãos como os Ministérios Públicos também podem contribuir neste processo.

O atual modelo de regulação e gestão também favorece a vulnerabilidade social das populações expostas aos riscos, sejam trabalhadores das minas e instalações, ou moradores das áreas potencialmente afetadas. A vulnerabilidade é intensificada pelo discurso que naturaliza a exposição ao indiferenciar os cenários de radiação natural daqueles decorrentes das atividades de mineração, o que invisibiliza os potenciais problemas das populações expostas. Além disso, práticas pouco transparentes nos processos de licenciamento, comunicação e debates públicos acerca dos riscos agravam os conflitos nos territórios. Portanto, é preciso repensar o problema socioambiental e de saúde decorrente da mineração de urânio de forma sensível e justa, incorporando dimensões fundamentais do problema. Uma importante estratégia envolveria a incorporação, pelas políticas públicas e práticas das instituições, dos avanços conceituais e metodológicos provenientes das abordagens integradas e construtivistas desenvolvidas pelos estudos sobre vulnerabilidade em torno de problemas socioambientais, em articulação com outras bases epistemológicas como a da ciência pós-normal (Funtowicz e Ravetz, 1994). Tais abordagens articulam dimensões mais operacionais e quantitativas, com as de natureza mais qualitativa e contextual relacionadas à complexidade, integrando as contribuições das ciências do risco, as da economia política e da ecologia política (FÜSTER, 2006; CUTTER et al., 2003; TURNER II et al., 2003; PORTO, 2007). Esta reorientação conceitual e metodológica é fundamental para que questões de segurança, saúde, proteção ambiental, cidadania, direitos, justiça social e ambiental

possam ser finalmente trabalhadas no debate público e científico acerca das radiações ionizantes e do ciclo do urânio no país.

## Referências

ALVIM, C. F., EIDELMAN, F., MAFRA, O., FERREIRA, O. C. Energia nuclear em um cenário de trinta anos. *Estud. av.*, São Paulo, v. 21, n. 59, , p. 197-220, Jan./Apr. 2007.

BODANSKY, D. *Nuclear Energy: principles, practices, and prospects*. 2.Ed. New York: Springer-Verlag, 2004.

BRASIL, Departamento Nacional de Produção Mineral. Portaria nº 237 de 18 de outubro de 2001. Disponível em: <[http://www.anepac.org.br/14/pdf\\_nrm/NRM%2020%20Suspensao%20Fechamento%20de%20Mina%20e%20Retomada%20das%20Operacoes%20Mineiras..pdf](http://www.anepac.org.br/14/pdf_nrm/NRM%2020%20Suspensao%20Fechamento%20de%20Mina%20e%20Retomada%20das%20Operacoes%20Mineiras..pdf)>. Acessado em 07/09/2011.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME); colaboração Empresa de Pesquisa Energética (EPE). *Plano Nacional de Energia 2030*. Brasília: MME: EPE, 2007. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/PNE/20070625\\_9.pdf](http://www.epe.gov.br/PNE/20070625_9.pdf)>. Acessado em 07/09/2011.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). *Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Glossário de termos*. 2011a. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/sgm/menu/glossario.html?glossario=R>>. Acessado em 07/09/2011.

BRASIL. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). *Ensino. Apostila educativa: Radiações Ionizantes e a Vida*. 2011b. Disponível em: <[http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/rad\\_ion.pdf](http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/rad_ion.pdf)>. Acessado em 07/09/2011.

BRASIL. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). *Atividades*. 2011c. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/acnen/atividades.asp>>. Acessado em 7 de set. 2011.

BRASIL. *Indústrias Nucleares do Brasil (INB). Santa Quitéria (CE)*. 2011d. Disponível em: <[http://www.inb.gov.br/inb/WebForms/interna.aspx?secao\\_id=98](http://www.inb.gov.br/inb/WebForms/interna.aspx?secao_id=98)>. Acessado em 7 de set. 2011.

BRASIL. *Indústrias Nucleares do Brasil (INB). Institucional*. 2011e. Disponível em: <[http://www.inb.gov.br/inb/WebForms/Interna2.aspx?secao\\_id=4](http://www.inb.gov.br/inb/WebForms/Interna2.aspx?secao_id=4)>. Acessado em 7 de set. 2011.

BRASIL. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). *Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Relatório Parcial: Análise de oportunidades e desafios para o segmento de Irradiadores e Aplicações na Cadeia Produtiva do Agronegócio*. 2011d. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/acnen/pnb/Rel-Parcial-Agronegocio.pdf>>. Acessado em 7 de set. 2011.

BRASIL. *Indústrias Nucleares do Brasil (INB). Licenciamento Nuclear e Ambiental*. 2011f. Disponível em: <[http://www.inb.gov.br/inb/WebForms/Interna2.aspx?secao\\_id=67](http://www.inb.gov.br/inb/WebForms/Interna2.aspx?secao_id=67)>. Acessado em: 15 dez. 2010.

- BRASIL. Indústrias Nucleares do Brasil (INB). Trabalho ambiental Caldas. 2011g. Disponível em: <[http://www.inb.gov.br/inb/WebForms/interna.aspx?secao\\_id=103](http://www.inb.gov.br/inb/WebForms/interna.aspx?secao_id=103)>. Acessado em: 07/09/2011.
- BRASIL. Instituto Nacional de Câncer(INCA). Ministério da Saúde (MS). Registro de Câncer de Base Populacional. 2011h. Disponível em: <[http://www.inca.gov.br/conteudo\\_view.asp?id=353](http://www.inca.gov.br/conteudo_view.asp?id=353)>. Acessado em: 07/09/2011.
- BRASIL. Lei nº 4.118, de 27 de Agosto de 1962. 1962. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L4118.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4118.htm)>. Acessado em: 07/09/2011.
- BUTLER D. Future of Chernobyl health studies in doubt. Nature News. Disponível em <<http://www.nature.com/news/2011/110930/full/news.2011.565.html>>. Acessado em 08/10/2011.
- CUTTER, S. L. et al. Social Vulnerability to Environmental Hazards. Social Science Quaterly, v. 84, n. 2, p. 242-261, 2003.
- DURÃO, V. S., SANTOS, F. INB busca parceiros para explorar urânio. Valor Econômico, setembro de 2007. In: Jornal da Ciência. 2007. Disponível em: <<http://www.jornaldaciencia.org.br/Detalhe.jsp?id=50544>>. Acessado em: 07/09/2011.
- EISENBUD, M., GESELL, T. F. Environmental Radioactivity from Natural, Industrial, and Military Sources. San Diego: Academic Press, 1997.
- FAGUNDES, J. R. T. Balanço hídrico do bota-fora BF4 da Mina Osamu Utsumi, INB, como subsídio para projetos de remediação de drenagem ácida. Ouro Preto: UFOP, 2005. Dissertação (Mestrado).
- FISCHER, D. History of the International Atomic Energy Agency : the first forty Years. Vienna: IAEA, 1997.
- FLÔRES, J. C. C. Fechamento de mina: aspectos técnicos, jurídicos e socioambientais. Campinas: UNICAMP, 2006. Tese (Doutorado).
- FUNTOWICZ, S., RAVETZ, J. Emerging complex systems. Futures, v. 26, n. 6, p. 568-582, 1994.
- FÜSSEL, H.-M. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework. Global Environmental Change, n. 17, p. 155–167, 2006.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). IAEA safety glossary: terminology used innuclear safety and radiation protection: 2007 edition. Vienna: IAEA, 2007.
- KAY, J. J., REGIER H. A., BOYLE, M., FRANCIS, G. An ecosystem approach for sustainability: addressing the challenge of complexity. Futures, v. 31, n. 7, p. 721-742, Set 1999.
- KUHN, T. S. A Estrutura das Revoluções Científicas. São Paulo: Editora Perspectiva, 1987.

MACACINI, J.F. Desenvolvimento de método para quantificação de taxa de exalação de  $^{222}\text{Rn}$  em bacia de rejeitos radioativos e estudo de solo como material mitigador. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2008.

MARCO, M. Fosforita: Consideraciones en su utilización. Revista Plan Agropecuario. nº124, diciembre 2007, p. 46-48.

MEZRAHI, A. Avaliação crítica dos requisitos de segurança e Radioproteção adotados para o transporte de minérios e Concentrados que contêm urânio e tório. Tese Doutorado UFRJ, 2005.

MST (Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra). Via Campesina denuncia riscos de usina de Urânio no Ceará. Página do MST, 3 de março de 2011. Disponível em: <<http://www.mst.org.br/Via-Campesina-denuncia-riscos-de-usina-de-Uranio-no-Ceara>>. Acessado em: 7 de set. 2011.

NOBREGA F. A., LIMA H. M., LEITE A. L. Análise de múltiplas variáveis no fechamento de mina: estudo de caso da pilha de estéril BF-4, Mina Osamu Utsumi, INB Caldas, Minas Gerais. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 61, n. 2, p. 197-202, 2008.

OTEROU, B., ANTONIAZZI, B. N., VEIGA, L. H. S. III; TURCI, S. R., MENDONÇA, G. A. S. Aplicação de uma metodologia de screening para avaliar a mortalidade por câncer em municípios selecionados do Estado de Minas Gerais, Brasil. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 23, suppl.4, p. S537-S548, 2007.

PORTO, M. F. Uma Ecologia Política dos Riscos. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2007.

PORTO, M. F., MILANEZ, B. Eixos de desenvolvimento econômico e geração de conflitos socioambientais no Brasil: desafios para a sustentabilidade e a justiça ambiental. Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 14, p. 1983-1994, 2009.

PORTO, M.F., PACHECO, T. Conflitos e injustiça ambiental em saúde no Brasil. Tempus. Actas em Saúde Coletiva, v. 4, n. 4, p. 26-37, 2009.

RESENDE, A. G., LIMA, H. M., FLÔRES, J. C. C. Análise do plano de fechamento de mina no plano de aproveitamento econômico de uma jazida - uma exigência da NRM-20. Rem: Rev. Esc. Minas. v.63, n.4, p. 685-690, 2010.

RIBEIRO, V. A. L., AFONSO, J. C., WILDHAGEN, G. R. S, CUNHA, J. W. S. D. Extração líquido-líquido de urânio(VI) do colofanito de itataia (Santa Quitéria, Ceará) por extratantes orgânicos em presença de ácido fosfórico. Quím. Nova, v. 31, n. 8. p. 2159-2164, 2008.

SHAPIRO, J. F. Atomic Bomb Cinema: Illness, Suffering, and the Apocalyptic Narrative Literature and Medicine, v. 17, n. 1, p. 126-148, Spring 1998.

SES-MG (Secretaria De Estado De Saúde de Minas Gerais). Projeto Planalto de Poços de Caldas. Pesquisa câncer e radiação natural: Minas Gerais - Brasil: 2004 a 2009 / Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais. – Belo Horizonte: SES-MG, 2009.

SHEA, M. Poços de Caldas Project Study Area. Reno, Nevada: U.S. Department of Energy. Office of Civilian Radioactive Waste Management. 1991. Disponível em: <[www.nwtrb.gov/meetings/1991/april/she.pdf](http://www.nwtrb.gov/meetings/1991/april/she.pdf)>. Acessado em: 7 de set. 2011.

SCHORSCHER, H. D., SHEAB, M. E. The regional geology of the Poços de Caldas alkaline complex: mineralogy and geochemistry of selected nephelinesyenites and phonolites. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 45, n. 1-3, p. 25-51, 1992.

SJÖBERG, L.; DROTZ-SJÖBERG, B. M. La percepción del riesgo. *Revista Seguridad Radiológica*. Edición nº 15, mar 1997. Disponível em:  
<<http://www.sar.radioproteccion.org.ar/15-2.htm>>. Acessado em: 7 de set. 2011.

SUCHANEK, M.G.O., SUCHANEK, N. Efeitos (desconhecidos) da mineração de urânio. *Cidadania & Meio Ambiente*. 2008. Disponível em:  
<<http://www.ecodebate.com.br/2008/12/11/indice-da-edicao-de-11122008/>>. Acessado em: 7 de set. 2011.

TURNER, II, BILLIE, L. et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 100, n. 14, p. 8074-8079, 2003.

US-EPA (United States Environmental Protection Agency) - Technologically-Enhanced Naturally-Occurring Radioactive Materials. 2011a. Disponível em:  
<<http://www.epa.gov/rpdweb00/tenorm/index.html>>. Acessado em: 7 de set. 2011

US-EPA (United States Environmental Protection Agency) - Fertilizer and Fertilizer Production Wastes. 2011b. Disponível em:  
<<http://www.epa.gov/rpdweb00/tenorm/fertilizer.html#fertilizer>>. Acessado em: 7 de set. 2011.

VAN DER SLUJIS, J. Uncertainty assumptions and value commitments in the knowledge base of complex environmental problems. In: PEREIRA, A. G. et al. (org.). *Interfaces between Science and Society*. Sheffield: Greenleaf Publishing, 2006.