

1 Introdução

A contaminação interna constitui um dos maiores riscos para trabalhadores nas indústrias nucleares e de beneficiamento dos minérios de urânio. Valores padrões ocupacionais para urânio estão baseados na dose (ICRP 1994, OJEC 1996), ou na toxicidade química do composto (NIOSH 2000, ACGIH, 2000). No entanto, os dados de toxicidade química deste elemento, ainda estão baseados em conceitos usados na década de 60 (ICRP 1959).

Nas últimas décadas, a exposição a metais tem sido considerada o principal problema ocupacional e ambiental. As principais fontes de metais no meio ambiente são as substâncias utilizadas em atividades industriais.

O Brasil possui uma das maiores reservas de urânio do mundo, com cerca de 309.000t de U_3O_8 nos estados da Bahia, Ceará, Paraná e Minas Gerais, entre outras ocorrências (INB, 2001). No Brasil e no mundo existem regiões anômalas onde há elevadas concentrações de urânio e tório no solo e nas rochas (Anjos, 2004a). Assim, é fundamental conhecer as características minerais destes materiais e estimar qual seria sua taxa de dose de radiação natural para a exposição humana.

O ciclo do combustível nuclear é o conjunto de etapas do processo industrial que transforma o mineral urânio, desde quando ele é encontrado em estado natural até sua utilização como combustível, em uma usina nuclear.

A mineração e a concentração são as primeiras etapas do ciclo do combustível nuclear. O minério de urânio é extraído da mina e concentrado sob a forma de diuranato de amônia (DUA) conhecido como "yellowcake".

Nas diferentes etapas para a extração e beneficiamento do minério de U os trabalhadores estão expostos a partículas de poeira de minério. Os principais processos de incorporação dos metais são a ingestão e a inalação. Para avaliar os riscos aos seres humanos devido a esta incorporação deve-se conhecer o comportamento biocinético do elemento em questão.

O comportamento e os efeitos das substâncias tóxicas no meio ambiente e sobre os seres humanos estão associados às características do meio às concentrações e forma química do elemento, e às propriedades físico-químicas dos compostos. Na interação dos metais com os organismos vivos podem-se

distinguir duas fases principais: fase toxicocinética (metabolismo) e fase toxicodinâmica (efeito).

Os danos biológicos provocados por materiais inalados dependem sobretudo da cinética de deposição, retenção, distribuição e absorção do composto.

Para avaliar os riscos devidos à inalação de partículas, é necessário determinar: i) o tamanho das partículas às quais o elemento está associado, pois este parâmetro determina o local de deposição da partícula no trato respiratório, a fração inalada depositada em cada compartimento do trato respiratório e a cinética das partículas ao penetrarem no trato respiratório (ICRP,1979); ii) a forma química, que determina a solubilidade da partícula no líquido pulmonar e o comportamento biocinético do elemento (Watson, 1983; Snipes,1994; ICRP, 1994). O comportamento biocinético das partículas depende das propriedades físicas e das propriedades morfológicas e fisiológicas do trato respiratório (Lippmann *et al*, 1969; Lippmann, 1970; Barnes, 1971; Morgan *et al.*, 1983; ICRP, 1994).

Uma vez depositadas no trato respiratório, as partículas são removidas por processo de depuração, este processo pode ser: mecânico e/ou dissolução. O processo de depuração por dissolução-absorção é aquele no qual ocorre a dissociação dos constituintes da partícula dependendo, assim, de sua composição química, ocorrendo principalmente na região profunda do pulmão (Watson, 1983; Snipes, 1994; ICRP, 1994).

Estudos com animais submetidos à exposição crônica a pequenas quantidades de urânio solúvel via ingestão, por mais de um ano, revelam que o urânio afeta principalmente os rins, e é depositado no tecido ósseo (Leggett, 1989). No caso da incorporação ocorrer via inalação na forma insolúvel os pulmões são os órgãos mais afetados (Ansoborlo, 1998).

A taxa de dissolução de diferentes metais no trato respiratório vem sendo estudada e os fatores que afetam essas taxas, como temperatura, pH e granulometria da amostra (Kanapilly *et al*, 1973, Cusbert *et al.* 1994). Pesquisas recentes de material inalado em usinas de beneficiamento de minério mostraram que a solubilidade tem um papel importante na determinação do comportamento biocinético do urânio, incluindo as funções de retenção e excreção. Os testes de solubilidade *in vitro*, permitem estudo sistemático da solubilidade de qualquer composto (Ansoborlo *et al.*,1998).

Os resultados da monitoração de trabalhadores do ciclo do combustível nuclear mostram que fatores de transferência estabelecidos internacionalmente,

e adotados pelos órgãos de controle no Brasil, não são representativos do comportamento biocinético dos compostos de urânio brasileiro (Castro, 2005; Santos, 2006).

A contaminação interna constitui um dos maiores riscos para trabalhadores nas indústrias nucleares e no beneficiamento dos minérios de urânio. A dose efetiva dos trabalhadores devido à incorporação de urânio é estimada através de modelos que simulam a forma de exposição. No cálculo da dose para trabalhadores devido à inalação de partículas contendo urânio, a determinação da solubilidade dos compostos de urânio nas diferentes etapas do ciclo do combustível continua sendo uma das fontes de incerteza.

Os coeficientes de dose para indivíduos ocupacionalmente expostos são estabelecidos de modo que a dose para o trabalhador não ultrapasse o limite de dose efetiva (20 mSv/ano). Nos casos em que toxidez química do elemento seja mais restritiva que a radiológica, os coeficientes de dose são estabelecidos com base na toxidez química. (CNEN NN-3.01, 2005).

A solubilidade da partícula no líquido pulmonar depende do comportamento biocinético e da forma química dos elementos contidos na partícula (Watson, 1983; Snipes, 1994; ICRP, 1979; ICRP, 1994). O comportamento biocinético das partículas pode ser simulado, levando em consideração as propriedades físicas, morfológicas e fisiológicas do trato respiratório (Lippmann, 1970; ICRP, 1994).

Pesquisas recentes de material inalado em plantas industriais mostraram que a solubilidade tem um importante papel na determinação do comportamento biocinético do urânio, incluindo as funções de retenção e excreção. Os testes de solubilidade *in vitro*, permitem um estudo sistemático da solubilidade de qualquer composto (Ansoborlo 1998).

Extrapolações para seres humanos dos resultados de solubilidade *in vitro* são muito utilizados para estimar o comportamento biocinético metais nos pulmões.