

UNIVERSIDADE SANTO AMARO
Curso Engenharia Química

Alexandro Louis

**DETERMINAÇÃO DO IMPACTO DO
URANIO NOS USOS TECNOLOGICOS, NO MEIO AMBIENTE E NA
SAUDE HUMANA**

São Paulo

2020

ALEXANDRO LOUIS

**DETERMINAÇÃO DO IMPACTO DO
URANIO NOS USOS RECNOLÓGICOS, NO MEIO AMBIENTE E NA
SAUDE HUMANA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia de
Química da Universidade de Santo –
UNISA, como requisito parcial para
obtenção do título Bacharel em Engenharia
de Química.

Orientador: Prof. MSc. Claudio Monico Innocêncio

São Paulo

2020

L926d Louis, Alexandre

Determinação do impacto do urânio nos usos tecnológicos, no meio ambiente e na saúde humana / Alexandre Louis. – São Paulo, 2020.

56 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Química) - Universidade Santo Amaro, 2020.

Orientador: Prof. Me. Cláudio Monico Innocêncio.

1. ADN. 2. Urânio. 3. Ph. 4. Câncer. 5. Nanopartículas. I. Innocêncio, Cláudio Monico, orient. II. Universidade Santo Amaro. III. Título.

Elaborado por Janice Toledo dos Santos – CRB 8 / 8391

ALEXANDRO LOUIS

**DETERMINAÇÃO DO IMPACTO DO
URANIO NOS USOS RECNOLÓGICOS, NO MEIO AMBIENTE E NA SAUDE
HUMANA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade de Santo – UNISA, como requisito parcial para obtenção do título Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Claudio Mônico Innocencio

São Paulo, _____ de _____ de 2020.

Banca Examinadora

Prof. Dr.

Prof. Dr.

Prof. Dr.

Conceito Final: _____

Dedico este trabalho de conclusão de curso aos meus pais que sempre pensaram na educação como parte fundamental da minha formação pessoal, que sempre me apoiaram nas minhas escolhas e me incentivaram para que eu chegasse até aqui, dedico também a todas as professoras e professores aos quais tive a sorte de ser aluno e que influenciaram de alguma forma no meu crescimento

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus em primeiro lugar, pois foi nele onde busquei e orei muito para ele me dá sabedoria, saúde, coragem e disposição. O resto eu corri atrás com perseverança, também aos professores do curso de Engenharia Química, pois transmitiram fontes de conhecimento que me fortaleceram na minha formação acadêmica. Aos meus colegas de curso que me ajudaram muito. Agradecimento em especial a minha família, que sempre confiaram em mim e que me deram voto de credibilidade e respeito nas minhas tomadas de decisões ao longo da minha vida. À minha mãe Marie Carmelle Colas, meus irmãos e finalmente a todos a quem teve a honra de conhecer na UNISA, onde eu conheci um dos melhores amigos durante o percurso (Alison), Enfim, a todos que me acolheram e me deram segurança naquele lugar. Meus agradecimentos a todos os grupos que participei durante os cinco anos sempre tinham paciências para me ensinar as coisas certas, agradecimento a meu orientador Claudio Mônico sempre que estava pronto para me servir e guiar e em fim agradeço a quem me deram a oportunidade de fazer parte da história da UNISA.

RESUMO

As atividades de extração dos metais podem ser uma fonte importante na contaminação do meio ambiente. Os descartes dos mineiros contêm muitas vezes de uma grande concentração de metais que tem propriedades físico-química e mobilidade tóxicos. Neste estudo nós vamos avaliar e determinar os impactos de uranio a partir dos rejeitos dos mineiros no meio ambiente e seus usos tecnológicos. Os efeitos das diferentes condições ambientais pH, durabilidade da água e a presença da matéria orgânica natural foi avaliado. Consultamos várias revistas, várias fóruns, vários livros e vários artigos acadêmicos, observamos vários acidentes industriais, várias guerras mundiais e muitos conflitos principalmente no oriente médio , constatamos que nenhum uso do uranio é saudável ao meio ambiente e na saúde humana pois várias contaminantes foram geradas e elas tem um poder de destruição enorme da ADN e podem causa câncer no pulmão dos trabalhadores das fabricas ou das industriais nucleares. As pessoas que vivem e se alimentam nos lugares que tem exploração desse mineiro ou sevem como aterros para descartes dos rejeitos das usinas nucleares são totalmente expostos à contaminação radiológica e a toxicidade química pois os gases gerados pela desintegração do uranio podem espalhar no meio ambiente e tem grande influência sobre a cadeia alimentar dos seres humanos. Nessa perspectiva a sociedade precisa saber os riscos que existem a cada vez um mineiro seja explorado e as consequências que essa atividade pode causar na saúde das gerações futuras.

Palavras chaves: ADN, Urânio, pH, Câncer, Nanopartículas

ABSTRACT

Metal mining activities can be a major source of contamination in the environment. Mining waste often contains high concentrations of metals and has physiochemical conditions that promote the mobility toxic trace metals. In this study, we evaluated the mobility and the impact of thorium, uranium, in the reject of environment. The effect of different environmental conditions pH, water hardness and presence of natural organic matter was evaluated. In this study we will evaluate and determine the impacts of uranium from the miners' tailings on the environment and their technological uses. The effects of different environmental conditions, pH, water durability and the presence of natural organic matter were evaluated. We consulted several magazines, several forums, several books and several academic articles, we observed several industrial accidents, several world wars and many conflicts mainly in the Middle East, we found that no use of uranium is healthy for the environment and human health because several contaminants were generated and they have enormous DNA-destroying power and can cause lung cancer in factory workers or nuclear industrial workers. People who live and eat in places where these miners are exploited or serve as landfills for the disposal of waste from nuclear power plants are totally exposed to radiological contamination and chemical toxicity because the gases generated by the disintegration of uranium can spread in the environment and have great influence on the food chain of human beings. In this perspective, society needs to know the risks that exist every time a miner is exploited and the consequences that this activity can cause on the health of future generations.

Keywords:ADN,Uranium; pH; Cancer; Nanoparticulas

Lista de figuras

Figura 1. A produção mundial do uranio em 2019	17
Figura 2. produção mundial dos metais em 2019.....	18
Figura 3. valores dos metais em 2019.....	20
Figura 4. Localização das reservas de Urânio no Brasil	28
Figura 5. A distribuição dos especes de tório inorgânica	37
Figure 6: A distribuição dos especes de uranio inorgânica	38
Figura 7: Decaimento da família do uranio	42
Figura 8. Decaimento de tório	43
Figura 9: Criança pendurado no tanque na guerra do Sarajevo.....	49
Figura 10. Modelo 3D de uma munição do urânio empobrecido	50
Figura 11. Corte vertical e composição de uma munição traçante de urânio depletado.....	51
Figura 12: Camelo caminhando ao lado da fumaça de uma bomba.....	53
Figura 13: tanque americano na guerra do golfo.....	54
Figura 14: submarino americano na guerra do golfo.....	55
Figura 15: Usina de reprocessamento de Uranio em Niger	56

Lista das abreviações

Kg.....Quilograma
g.....Grama
ml.....Miligrama
MON.....Matéria orgânica natural
g L-1.....Grama por litro
EDTA.....Etileno diamina tetra acético
NTA..... Acido nitrila tri acético
DLS.....Difusão de luz dinâmica
TEM.....Microscopia eletrônica a transmissão
FA.....Acido fúlvico
HÁ.....Acido húmico
Nm.....Nanômetro
REE.....Elemento de terre rara (Rare earth element)

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
2.	JUSTIFICATIVA.....	14
3.	OBJETIVOS.....	15
	3.1 Objetivo Gerais.....	15
	3.2 Objetivo específico.....	15
4.	METODOLOGIA.....	16
5.	REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	17
	5.1 Os metais e a Sociedade.....	17
	5.2 Exploração dos mineiros na américa do sul.....	18
	5.3 Breve História sobre o impacto da radioatividade no mundo.....	20
	5.4 Urânio no Brasil.....	26
6.	ESTUDO DE CASO.....	28
	6.1 Os esforços para isolar o urânio-235 e o Projeto Manhattan.....	28
	6.2 O Radio-226 na Natureza.....	33
	6.3 Radônio-222 na Natureza	33
	6.4 Polônio-210 na natureza.....	34
	6.5 A Química e a Rádio Química do Tório e Urânio.....	34
	6.6 Comportamento do urânio e do tório no meio ambiente.....	40
7.	RESULTADO E DISCUSSÕES.....	44
	7.1 O Urânio na saúde Humana e na Natureza.....	45
	7.2 Aplicações Militares.....	48
	7.3 A Guerra No Golfo.....	52
8.	CONCLUSÃO	55
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	57

1. INTRODUÇÃO

A história do urânio é relativamente nova pois esse metal foi descoberto em 1789, mas somente em 1896 que foram percebido que o urânio consegue emitir radiações radioativas. O interesse da exploração do elemento começa no século 20 quando realizaram que o mineiro também contém o rádio que favorizava a extração.

Os metais são provavelmente os elementos tóxicos mais antigos conhecidos pelo homem. A influência antrópica altera a potencialidade de seus efeitos sobre a saúde em pelo menos duas grandes formas: transporte de metais entre diferentes regiões do planeta, através do ar, água, solo e alimentação, e a forma química ou bioquímica dos elementos (BEIJER e JERNELOV, 1986, apud: GOYER, 2001).

Nem todos os metais são tóxicos: existem os essenciais, que possuem funções biológicas importantes no corpo humano. São exemplos de metais essenciais: o ferro, zinco, manganês, cromo, cobalto e o cobre (CORDEIRO, LIMA FILHO e SALGADO, 1996).

Sabe-se, por exemplo, que mesmo os elementos químicos e não essenciais, quando em excesso, podem ser tóxicos, constituindo área de grande interesse para a toxicologia. O monitoramento contínuo desses minerais tem grande interesse comercial, pois permite identificar e corrigir deficiências dietéticas, revelar a incidência de doses excessivas, verificar as condições gerais de pacientes, e quem sabe, futuramente fazer diagnóstico precoce de doenças associando desordens no metabolismo humano com composição e/ou contaminação nutricional. Metais são redistribuídos naturalmente no meio ambiente através dos ciclos geológicos e biológicos. As águas da chuva dissolvem as rochas e minérios transportando os elementos para rios e cursos d'água, depositando-os no solo e, eventualmente, transportando essas substâncias para o oceano de onde posteriormente serão precipitadas em outras localidades.

Os ciclos biológicos dos metais incluem bioconcentração por plantas e animais e incorporação na cadeia alimentar. A atividade industrial pode encurtar enormemente

o tempo de residência dos metais nos minérios, pode formar novos compostos e aumentar em muito o transporte e distribuição desses elementos no mundo, não apenas através da transferência desses para o solo e para a água, mas também através da sua descarga na atmosfera. Quando descarregados na forma gasosa ou em finíssimas partículas, os metais podem ser transportados a longas distâncias, em escala global (GOYER, 2001), o que leva à união de diversos países em torno de políticas públicas que visem à diminuição da emissão de poluentes, enquanto seus pesquisadores buscam um melhor entendimento das interações destes com a natureza e a saúde humana.

2. Justificativa

O meio ambiente é composto de dois sistemas: a biótica (a fauna e a flora) e a abiótica (a atmosfera, a terra e a água). Impacto é tudo que pode alterar o sistema existente temporariamente ou permanentemente. Qualquer exploração de minério consome uma quantidade de materiais primas (energia, água e solo) e gera também uma quantidade de rejeitos no meio ambiente, de efluentes no ar, na água e no solo.

Esses rejeitos radioativos podem ter efeitos sobre os seres humanos e outros organismos vivendo na região também podem alterar a qualidade da água, dos sedimentos ou do ar.

Esse trabalho tem como objetivo de identificar os riscos principais causados pela exploração de urânio e seus usos tecnológicos, seus efeitos biológicos sobre o corpo humano, a maneira os contaminantes introduzem no meio ambiente, na saúde pública e a avaliação dos impactos sobre as águas superficiais e subterrâneo.

3. Objetivos

3.1 Objetivo Geral

Avaliar os impactos causados pelas contaminações do urânio ao quais estão expostos o meio ambiente e as populações residentes em áreas contaminadas, ou próximas a agentes contaminadores.

3.2 Objetivos Específicos

- 1 Quantificar os efeitos causados pelos rejeitos do urânio descartados no meio ambiente, e seus usos tecnológicos
- 2 Determina o impacto na utilização do urânio como arma nuclear e influências sobre os indivíduos na absorção desse metal

4. Metodologia

Foi realizado uma metodologia de pesquisa bibliográfica envolvendo livros, jornais, artigos do Google acadêmico, revistas e endereços eletrônicos.

5.REVISÃO BIBLIOGRAFICA

5.1 Os metais e a Sociedade

Na nossa sociedade os metais estão em todos os lugares. Por exemplo, um carro tem mais ou menos 1000 kg de ferro e de aço, 109 kg de Alumínio, 19 kg de cobre, 18 kg de silício, 10 kg de zinco e mais de trinta produtos minerais contendo titânio, platina e 23 kg de carbono. O chumbo, o níquel, cádmio, lítio, são utilizados na fabricação das baterias que estocam energia para os celulares.

O alumínio, grafite, titânio, berílio, cobre, tungstênio e aço agora são usados no lugar de bastão de árvore no baseball, no tênis e nos clubes de golfs para deixar mais leve e mais forte. Utilizamos no dia a dia mais metais por exemplo o ferro e utilizado nas indústrias de construção e do transporte, cobalto na construção de turbo dos motores, o cobre na fabricação de circuito elétrico, ouro, platina, Plata são utilizados nas joias.

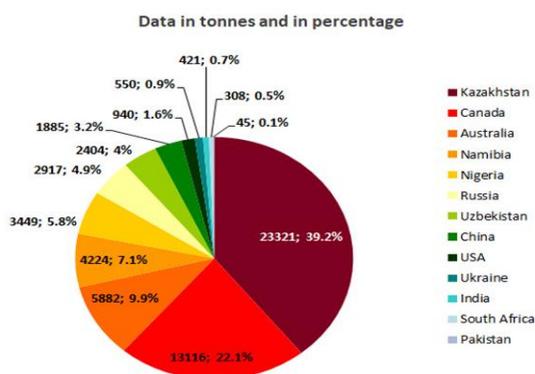


Figura 1: produção mundial de uranio em 2019

Fonte: FMI

Na América do Norte, todo ano, cada indivíduo utiliza mais de 11340 kg de novos minerais não combustíveis para fabricar coisas que nos utilizamos todos os dias. Um ser humano pelo menos consome desde seu nascimento até a sua morte 1450 toneladas de minerais e a tendência continua aumentando a cada vez mais segundo a pesquisa da NASA.

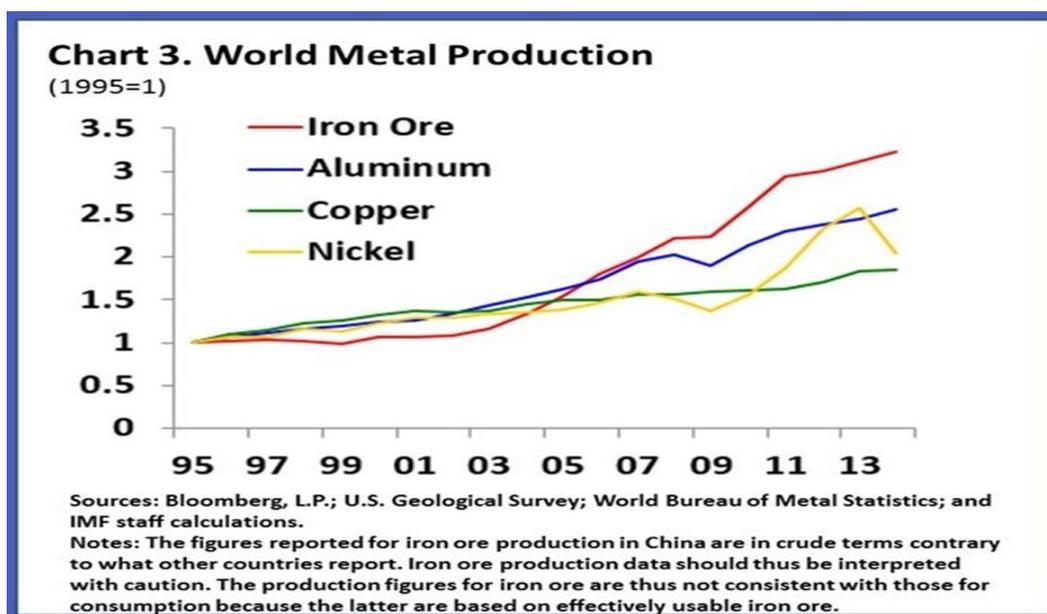


Figura 2: Produção mundiais de metais em 2018

Fonte: FMI

5.2 Exploração dos mineiros na América do Sul

É indiscutível que a extração dos recursos minerais é um pilar essencial para os diferentes países e sociedades. Esta atividade não é somente essencial como condiciona sob todos os aspectos, os minerais influenciam todos os aspectos cotidianos e estão no centro da nossa sociedade e desenvolvimento tecnológico.

O atual nível de vida seria impossível caso não fossem explorados recursos minerais. São estes que constituem a base de sustentação de vários setores industriais e outras

atividades económicas relevantes, integram bens de equipamento e consumo, duradouros ou não, essenciais aos padrões de qualidade de vida atuais. Em todas as etapas associadas à uma exploração mineira é necessária uma grande mobilização de pessoas. Sob um outro ponto de vista, é necessário também um grande investimento económico e uma tecnologia evoluída. As acessibilidades também são alvo de preocupação para o escoamento da matéria-prima.

A América do Sul ocupa 12,1% da superfície mundial, possui 5,7% da população mundial (United Nations Population Fund, 2014), e 4,9% do Produto Interno Bruto, medido a preços correntes (Fundo Monetário Internacional, 2014).

Em 2014, a América do Sul produzia cerca de 15% do valor dos metais, incluídos carvão, ferro, alumínio, cobre, ouro, prata, molibdênio, estanho, níquel, chumbo e zinco (Centro de Mineira, 2015).

Em 2014, a produção mineral dos países sul-americanos incluía praticamente todos os metais e minerais produzidos no mundo. Possuíam especial importância: o cobre, a bauxita, o ferro, a prata, o ouro, o chumbo, o molibdênio, o níquel, o estanho, o zinco, o nióbio, o selênio, o antimônio, o lítio, o iodo, o carvão, a tantalita e o manganês. Quatro países sul-americanos estavam, em 2014, entre os cinco produtores mundiais dos seguintes minerais: o Peru era o primeiro produtor de prata, o segundo de zinco, o terceiro de cobre e estanho, o quarto de molibdênio e chumbo, e o quinto de ouro; o Chile era o primeiro produtor de cobre, lítio e iodo, o segundo de selênio, o terceiro de molibdênio, e o quinto produtor de prata; o Brasil era o primeiro produtor de nióbio, o segundo de minério de ferro, o terceiro de bauxita e o quinto de estanho; e a Bolívia era o terceiro produtor de antimônio e o quarto de estanho. A Colômbia é o maior produtor de carvão do continente e figura no décimo

lugar entre os maiores produtores mundiais. A América do Sul produzia, em 2014, 91,9% do nióbio do mundo, 54,8% do lítio, 44,6% do cobre, 33,5% da prata, 23,1% do minério de ferro, 22,4% do estanho, e 21,2% do molibdênio (WBMS, 2015)

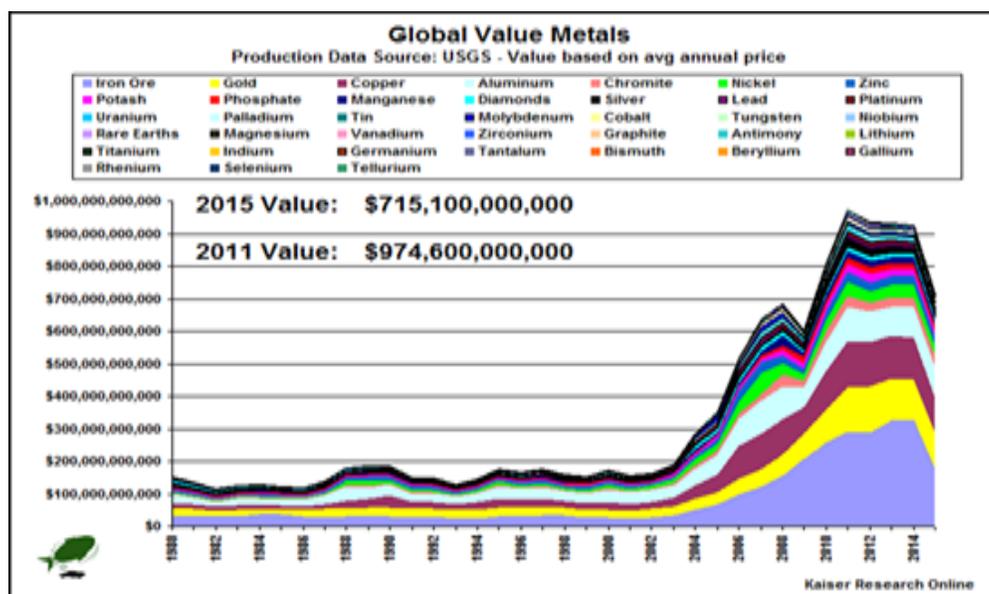


Figura 3: Valores dos metais em 2018

Fonte: FMI

5.3 Breve História sobre o impacto da radioatividade no mundo

A exploração do urânio é uma fonte de preocupação para a população morando perto das usinas nucleares ou perto das áreas exploradas. Essa atividade pode ter incidência negativa sobre a saúde dos habitantes e dos trabalhadores na área. O impacto gerado com a produção nuclear trouxe alguns passivos ambientais altamente perigosos para a saúde da humanidade. Após a construção das bombas atômicas, no Projeto Mahatma, em 1942, a contaminação do rio Columbia, elevou o indicador de câncer no Estado de Washington, nos EUA, revelando ao mundo a principal controvérsia da fonte nuclear: a contaminação do ambiente natural.

O conhecimento sobre os efeitos nefastos da radioatividade para o ambiente e, conseqüentemente, para a saúde humana, só estavam começando a emergir na década de 40. Os bombardeios nas cidades de Hiroshima e Nagasaki representa um marco referencial para avaliar o nível do impacto gerado por um evento nuclear, devido aos efeitos significativos, materiais, sociais, psicológicos e ambientais sob a população japonesa. Nada obstante, ao longo da era nuclear, muitos outros incidentes e/ou acidentes ocorreram em quase todas as regiões do mundo, como veremos a seguir.

Na América do Norte, na década de 1950, aconteceu o primeiro acidente nuclear civil da história da energia nuclear. As plantas de Chalk River, no Canadá, sofreram dois acidentes. O primeiro, no ano de 1952, quando um dos reatores explodiu e milhares de partículas de fissão nuclear foram liberadas para a atmosfera, juntamente com um milhão de litros de água contaminado radioativamente. A água contaminada teve de ser bombeada para fora do porão e vertida em trincheiras rasas perto do rio Ottawa. O acidente atingiu o nível 5 na escala INES.

O segundo acidente, seis anos depois, em 1958, ocorreu quando as hastes de metal de urânio do combustível nuclear do reator NRU estavam superaquecidas e pegaram fogo. Apesar de o fogo ter sido controlado, representou um grande problema ambiental devido ao aumento do número de pessoas com câncer na região (poluição atmosférica). No entanto, os relatórios oficiais da Atomic Energy of Canada Limited (AECL) relataram que a dose de radiação registrada não ultrapassou os níveis considerados e, portanto, não se podia confirmar que o acidente provocou efeitos adversos para a saúde humana, causados pela exposição à radiação emitida.

Na década de 50, ocorreu também o primeiro acidente nuclear na Rússia, no dia 29 de setembro de 1957, quando explodiu o tanque de rejeitos radioativos do complexo de Mayak (central de produção de plutônio), no Urals, situado na zona de Cheliabinsk, classificado com o nível 6 na escala INES. Segundo os relatos da população, o evento nuclear foi abafado pelas autoridades russas, pela Central Intelligence Agency (CIA) e pela Indústria nuclear, tornando-o pouco conhecido. Nos relatos da população (com base nas pesquisas realizadas pela Greenpeace, em 2014, a cidade de Karabolka foi invadida por uma poeira negra radioativa e devido às conseqüências do efeito da poluição atmosférica, foram notificadas 200 mortes e 270 vítimas, das quais apresentaram doenças como câncer, diabetes e problemas cardíacos.

O complexo de Mayak foi depositando ao longo dos anos os desperdícios radioativos nos lagos do entorno da usina. No entanto, os estudos demonstraram que a água contaminada dos lagos seguia em direção ao rio Techa, que desagua no rio Obi e segue em direção ao mar de Kara, localizado no oceano Ártico.

A análise da CRIIRAD (GREENPEACE, 2014) revelou um alto nível de contaminação no rio Techa por Césio 137, Plutônio 239 e 240, e Trítio, além de ter se transformado em um verdadeiro lixão radioativo a céu aberto. Muslimovo é a cidade mais atingida pela contaminação, apresentando 50 vezes mais radioatividade do que o nível natural do ambiente. O acidente em Mayak representa o terceiro acidente mais grave da história, atrás de Chernobyl (1986) e Fukushima (2011). De 1948 a 1990, os vazamentos em Mayak demonstraram ter liberado no ambiente a maior quantidade de radiação já vista antes na era nuclear. O rio Techa, na Rússia, é conhecido pela contaminação nuclear decorrente do despejo de rejeitos radioativos pelo complexo de Mayak, sendo produzidos 76 milhões de m³ somente entre os anos de 1949 a 1956.

Disponível: https://translate.google.com.br/translate?hl=ptBR&sl=en&u=https://en.wikipedia.org/wiki/Techa_River&prev=search. Acesso em 21 de junho de 2020.

Outro agravante na Rússia, denunciada pela Ong, foi a prática de armazenamento do desperdício radioativo (lixo atômico), produzido pela central francesa La Hage, em Tomsk, na Sibéria, através do envio de contêdores que são mantidos em pátios a céu aberto sem nenhum tipo de sistema de segurança, no caso de ataque externo. O complexo nuclear de La Hage (grupo Areva), vem adotando a mesma prática que a Mayak russa para destinação final dos rejeitos radioativos, armazenando em tambores que são enviados para o fundo do mar.

Desde o início, a indústria francesa despeja os desperdícios radioativos dentro do mar do norte, à 1.700 km da planta nuclear. Atualmente existe no fundo do mar do norte o equivalente a 33 bilhões de barris, no qual cada um armazena 200 litros de rejeito radioativo (GREENPEACE, 2009). Segundo o Greenpeace (2009), uma equipe foi analisar a região no fundo do mar e os estudos comprovaram a formação de um verdadeiro lixão radioativo no mar do norte. Atualmente, a França está criando novas alternativas para solucionar o problema da destinação final do lixo radioativo, por exemplo, adotando práticas de reprocessamento do combustível já utilizado.

O impacto avaliado pela CRIIRAD (GREENPEACE, 2009) sobre a poluição atmosférica da Europa, verificou que há emissão de gases poluentes de efeito estufa (cripton-85) na região do complexo de La Hage, que podem causar em 1 ano, um impacto mais significativo do que os dois bombardeios atômicos do Japão. Todavia, os especialistas da CRIIRAD afirmam que é um indicador de alerta, sobretudo, porque o ciclo de vida do cripton-85 é de cerca de 10 anos, e a tendência é de que ele se acumule progressivamente na atmosfera, como comprovaram os estudos de 1950 a 1990, mostrando a quantidade relevante de elementos radioativos na atmosfera do norte da Europa.

Todavia, no dia 28 de março de 1979, registra-se no mundo o primeiro acidente nuclear nos EUA, na Central Three Mile Island, localizado no Estado da Pensilvânia, sendo classificado no nível 5 da escala INES. A causa do acidente nos EUA foi atribuída ao vazamento de elementos radioativos para a atmosfera (xenônio e criptônio), além da contaminação do rio Susquehanna, no Condado de Dauphin. De 2010 a 2016, devido à pressão popular sobre os possíveis vazamentos de gás xisto levou ao fechamento de 5 reatores nos EUA.

Ao longo do século XX, os EUA além da contaminação do maior rio da América do Norte (Columbia), e do rio Susquehanna (Pensilvânia), também produziu verdadeiros lixões devido ao descarte inadequado do lixo radioativo em desertos e no fundo do mar (ex. Fosse de la Manche). O fechamento dos reatores foi considerado pelo governo Obama como preocupante para a agenda de mitigação das mudanças climáticas. O acidente Three Mile Island, nos EUA, era considerado o mais grave da história até acontecer o acidente de Chernobyl, na Ucrânia, em 1986. Na década de 80, o primeiro acidente nuclear registrado ocorreu em março de 1980, na França, quando o reator nuclear de Saint-Laurent, na região central do país, teve o derretimento de duas hastas de combustíveis, sendo considerado o maior acidente nuclear na história do país, classificado com o nível 4 da escala INES. Contudo, a Ucrânia (ex-URSS) é considerada o país que recebeu o “maior acidente da História Nuclear”, ocorrido na década de 1980, conhecido por acidente de Chernobyl.

No ano de 1986, que o acidente aconteceu, o evento foi mantido em segredo pelas autoridades russas. Com a pressão popular, devido à contaminação alimentar por Césio e estrôncio no acidente anterior de Mayak, o governo russo tomou maiores providências e retirou a população das áreas atingidas. Dos 4 reatores que estavam em operação naquele ano, o

reator nº4 explodiu, levando gradualmente ao fechamento do reator nuclear nº 2, em 1991, do reator nº 1, em 1996, e do reator nº 3, em 2000, encerrando assim as atividades da usina. O acidente de Chernobyl atingiu o último lugar na escala INES, o nível 7.

Para investigar os danos causados à saúde humana, a Organização Mundial da Saúde (OMS) desenvolveu o Programa Internacional sobre os efeitos do acidente de Chernobyl para a Saúde Humana¹²² (IPHECA). A Agência de Energia Nuclear (AEN) da OCDE, estabeleceu o nível de exposição com base nos intervalos de dose da radiação, a partir de distintos grupos, sendo estes, os liquidatários, os evacuados, os habitantes de áreas contaminadas e o resto da população. Conforme os dados da IPHECA, no acidente de Chernobyl,²³⁷ pessoas apresentaram sintomas de síndrome de radiação aguda (AIS). Cerca de 600.000 a 800.000 pessoas encarregadas com as tarefas de controle e limpeza, morreram em diferentes períodos. Dos 16.000 moradores que foram evacuados vários dias após o acidente, 565 apresentaram casos de câncer de tireoide, sendo 10 atribuídos a alto nível de radiatividade e efeitos psicossociais.

No ano seguinte ao maior acidente da história, o Brasil foi o cenário de uma nova tragédia envolvendo a emissão de radioatividade por elementos químicos, comprovando os efeitos nefastos para a saúde humana. A contaminação por Césio, em Goiânia, no ano de 1987, provocou uma tragédia sem precedentes, com a morte de dezenas de pessoas, após à exposição ao elemento radioativo extraído do urânio. Segundo os especialistas, o quadro diagnosticado das vítimas foi de morte física, psicológica e social. Aqueles indivíduos que não morreram de imediato, apresentaram transtornos e problemas de saúde mental.

A tragédia nuclear resultou na criação da Associação das Vítimas do Césio, e até hoje a população local alega sofrer por preconceito. Os lixos radioativos coletados nas casas das vítimas, gerou um equivalente a 13 mil toneladas, que se encontra atualmente enterrado no depósito definitivo, em Abadia de Goiás. No encerramento da década de 80, outro acidente ocorreu na Europa, dessa vez na Espanha, na cidade de L'Hospital et de l'Infant. O complexo nuclear de Tarragona, composto pela central nuclear Vandellós I e Vandellós II, após um incêndio no gerador de energia da central de Vandellós, em 19 de outubro de 1989, sofreu a inoperância do sistema de segurança devido à água do mar que invadiu o reator, contaminando o local por produtos radioativos e causando a danificação do núcleo do reator. A planta I, entre

1991 e 1997, foi desativada e desmantelada na primeira fase, sendo transferido todo o rejeito radioativo para a França. De 1998 a 2003, a instalação da planta I passou por um desmantelamento completo, encontrando-se agora na fase de retardamento, com o propósito de esperar por 25 anos até diminuir a radiatividade.

Atualmente, apenas a central de Vandellos II está operando no complexo nuclear de Tarragona. O acidente foi classificado com o nível 3 na escala INES. No final da década de 90, ocorreu o primeiro acidente nuclear no Japão, na instalação de tratamento de combustível nuclear de Tokaimura, em 30 de setembro de 1999, classificado com o nível 4 na escala INES. O acidente afetou três trabalhadores dos quais dois morreram (um em 12 semanas e o outro em 7 meses), e mais de cinquenta e seis trabalhadores da fábrica foram expostos à radiação, tendo pelo menos vinte e um recebido doses significativas de radioatividade, permanecendo sob avaliação médica. No mesmo ano, em dezembro de 1999, uma tempestade na França provocou o alagamento parcial de alguns reatores na usina de Blayais, chegando a ficar sem energia, mas felizmente não alcançou grandes proporções. Dos eventos ocorridos no século XXI, antes do terceiro maior acidente nuclear da História, na primeira década aconteceu dois importantes acidentes na França.

O primeiro, em julho de 2008, quando uma quantidade significativa de urânio foi despejada no ambiente pela usina de Tricastin, havendo o escoamento para o rio do sudeste do país. E, em novembro de 2009, quando uma haste ficou presa no vaso de pressão, levando dois meses para ser deixado novamente em posição estável, o que aumentou o risco de acidente na usina de Tricastin. Todavia, o maior acidente da História ocorreu no século XXI, na Central Nuclear de Fukushima, localizada na costa nordeste do Japão. O evento foi sucedido pela devastação de dois fenômenos naturais, um terremoto e seguido de um tsunami, não sendo atribuído à falta de segurança ou falha humana.

O primeiro acidente nuclear na Central Nuclear de Fukushima aconteceu no dia 11 de março de 2011, provocado por um terremoto de magnitude 8.9 na escala Richter, sendo classificado com o nível 4 na escala INES. Para agravar a situação, a chegada de um Tsunami levou o nível de alerta de 4 para 7 na escala INES. Em 2011, haviam 54 reatores em operação no Japão. Com o acidente, alguns reatores derreteram e outros foram desativados, diminuindo a quantidade para 50 reatores em operação no Japão.

5.4 URANIO NO BRASIL

A mineração de urânio no Brasil, que ocorre atualmente em Caetité, teve um registro de 13 vazamentos de licor de urânio e rejeitos radioativos entre os anos de 2000 a 2013, contudo, as autoridades afirmam que não houve um impacto significativo no ambiente local.

Todavia, foram registrados pelo CRIIRAD, no município de Caetité, indicadores de poluição atmosférica, do solo e hídrica, mas as autoridades não confirmam as análises apresentadas pela entidade francesa.

Entretanto, como veremos a seguir, o estudo em bioindicadores humanos, para avaliar o grau de exposição da população local ao efeito radioativo do urânio nos solos da região, revelou uma alta dose de radioatividade na população de Caetité. Embora, não estejam diretamente associados aos vazamentos da INB na região, a alta dose de radioatividade da população de Caetité é um fator a ser considerado na análise sobre os riscos para a saúde

Homem está exposto a urânio de várias maneiras pois esse metal está presente de pequena quantidade no meio ambiente então por essa razão o ser humano naturalmente contém uma pequena quantidade de urânio no seu organismo seja 0,1 mg (La vaissière s.d.c) A concentração média de urânio na crosta terrestre é cerca de 2ppm. Para ser considerada jazida, a concentração de urânio deve ser de 400 a 2500 vezes que a concentração média (TEIXEIRA, TOLEDO, FAIRCHILD e TALIOLI, 2000).

A prospecção e pesquisa de minerais de urânio tem por finalidade básica localizar, avaliar e medir reservas de urânio. Tais trabalhos começam pela seleção de áreas promissoras, indicadas por exame de fotografias aéreas, imagens de radar e de satélites (INB, 2002-2003). No Brasil foram estudadas e catalogadas dezenas de milhares de ocorrências de urânio. No entanto, uma ocorrência não leva necessariamente à descoberta de um depósito economicamente explorável (TEIXEIRA, TOLEDO, FAIRCHILD e TALIOLI, 2000).

O Brasil possui uma das maiores reservas mundiais de urânio, possibilitando o suprimento das necessidades domésticas ao longo prazo e a disponibilização do excedente

para o mercado externo (AMBIENTE BRASIL). A primeira unidade mineira e de beneficiamento do Brasil foi ao município de Poços de Caldas (sul de Minas). Com a exaustão e desativação do urânio economicamente explorável dessa mina em 1996, o urânio passou a ser produzido na região sudoeste da Bahia, nos municípios de Lagoa Real e Caetité, que apresentaram reservas estimadas em 100.000t (cem mil toneladas) de urânio, sem outros minerais associados (TEIXEIRA, TOLEDO, FAIRCHILD e TALIOI, 2000).

Em junho/2001 o Brasil já possuía a sexta maior reserva geológica de urânio do mundo, com cerca de 309.000t de U₃O₈, nos Estados da Bahia, Ceará, Paraná e Minas Gerais, entre outras ocorrências (AMBIENTE BRASIL). No Estado do Pará, apresentam um potencial adicional estimado de 150.000t (INB, 2002-2003).



Figura 4: Localização das reservas de Urânio no Brasil.

Fonte: INB, 2002-2003.

Amazonas e área de Carajás, no Estado do Pará, apresentam um potencial adicional estimado de 150.000t (INB, 2002-2003). Código Brasileiro de Mineração dá as seguintes classificações para as reservas minerais: reserva inferida, reserva indicada e reserva medida.

6. ESTUDO DE CASO

6.1 Os esforços para isolar o urânio-235 e o Projeto Manhattan.

A descoberta da fissão nuclear do urânio também trouxe novos desafios para os cientistas que trabalhavam nessa área. Com o conhecimento da grande quantidade de energia contida nos átomos, muitos pesquisadores se esforçaram para encontrar uma forma de isolar o isótopo físsil de massa 235, de controlar a reação em cadeia iniciada pelo impacto de nêutrons nesse isótopo, e conseqüentemente, produzir energia nuclear. A energia nuclear, infelizmente, também pode ser empregada para a construção de armas, e com o início da Segunda Guerra Mundial, as pesquisas dessa área foram encaminhadas para esse objetivo. Os países envolvidos na guerra, principalmente Alemanha e Estados Unidos, iniciaram uma corrida para desenvolver a tecnologia nuclear, e dessa forma empregá-la na construção de armas.

Apesar de os Estados Unidos não estarem envolvidos desde o início da guerra, o governo americano elaborou um projeto para buscar o controle da fissão nuclear e para a construção de armas nucleares, o projeto ficou conhecido como Projeto Manhattan, e teve como motivação inicial uma carta enviada ao então presidente norte-americano Franklin Delano Roosevelt (1882–1945) assinada por Albert Einstein (1879–1955), mas que representava a preocupação de grandes nomes da ciência. Em 12 de outubro de 1939, o presidente Roosevelt autorizou o governo a financiar pesquisas atômicas relacionadas à produção de energia elétrica. Esse fato foi fundamental para o desenvolvimento do que viria a ser o Projeto Manhattan. O trabalho inicial tinha o controle da reação em cadeia do urânio-235 como principal finalidade, dessa forma seria possível a geração de energia elétrica. As pesquisas voltadas para a construção de um reator nuclear mobilizaram muitos cientistas como Lyman James Briggs (1874–1963), Enrico Fermi (1901–1954), Leo Szilard (1898–1964), Eugene Paul Wigner (1902–1995) e Arthur Holly Compton (1892–1962), e foi desenvolvido em algumas universidades dos EUA, como as Universidades de Chicago, Columbia e Princeton¹⁵

Após três anos de pesquisas, finalmente, no dia 2 de dezembro de 1942, um reator nuclear capaz de suportar a reação autossustentável do urânio-235 funcionou pela primeira vez nas proximidades de Chicago. O reator, chamado de Chicago Pile (CP-1), gerou

aproximadamente 2 kW de energia, sendo suficiente para Enrico Fermi constatar que o experimento havia sido um sucesso. No dia 7 de dezembro de 1941, antes mesmo do funcionamento do primeiro reator nuclear de urânio, os EUA foram surpreendidos por forças japonesas que atacaram a base militar de Pearl Harbor, na ilha de Oahu, Havaí. Após esse ataque, os EUA entraram na guerra e aumentaram cada vez mais os esforços para o desenvolvimento de novas armas, aplicando a mesma tecnologia utilizada na construção do CP-1 em pesquisas ultrassecretas que estavam sendo realizadas em Los Alamos, Novo México, mas com o objetivo de construir uma bomba atômica. O Projeto Manhattan contou com a participação das forças armadas dos EUA e muitos cientistas que haviam fugido da Europa por causa da guerra, alguns já envolvidos na construção do reator CP-1. O projeto foi liderado pelo general Leslie Richard Groves (1896–1970) e pelo físico Julius Robert

Oppenheimer (1904–1967) . A mobilização em volta do projeto foi tão grande que cerca de 200 mil pessoas estiveram envolvidas, como químicos, físicos, engenheiros, administradores e trabalhadores de diferentes áreas. A criação de uma instalação fabril em Oak Ridge, Tennessee, foi necessária, onde ocorreu a realização da maior parte dos Trabalhos. A atuação de milhares de pessoas e diversas pesquisas sendo realizadas em fabricas e laboratórios espalhados pelos EUA, algumas localidades do Canadá e Reino Unido, fizeram com que as autoridades se preocupassem com a espionagem , pois o segredo em volta do projeto deveria ser mantido para que nenhuma informação importante caísse em mãos inimigas.

O desafio primordial do Projeto Manhattan foi, sem dúvida, a produção de urânio-235 em quantidade suficiente para sustentar uma reação em cadeia, visto que o urânio natural possui apenas 0,7% em massa de urânio-235. Um grande esforço foi realizado para a obtenção de urânio com 95% m/m do isótopo 235, proporção necessária para a produção de armas.

O processo de enriquecimento do urânio tem diversas etapas, e muitas delas foram desenvolvidas justamente durante o Projeto Manhattan, no qual o método utilizado para elevar a concentração de urânio-235 foi a difusão gasosa. Esse método se baseia na efusão molecular através de poros microscópicos no sentido de menor pressão, seguindo a lei de efusão de Graham, a qual afirma que a velocidade de efusão é inversamente proporcional à raiz quadrada da massa molar.

Antes de passar pelo processo de enriquecimento, o urânio deve ser preparado para atravessar, em forma de gás, os difusores responsáveis pela separação dos isótopos. Após a extração das rochas sedimentares com urânio, a separação dos elementos é realizada por solventes químicos nas usinas de beneficiamento, onde todo o urânio é convertido e concentrado em óxido de urânio (U_3O_8), um sólido amarelado, conhecido como yellowcake. O óxido de urânio é então convertido em UF_6 , que sofre sublimação a $56,5\text{ }^\circ\text{C}$, e passa pelos difusores.

A diferença de massa entre o $^{235}UF_6$ e $^{238}UF_6$ gera uma pequena diferença de velocidade na difusão dessas moléculas, sendo necessário o uso de muitas barreiras de efusão para o enriquecimento do urânio.

As barreiras de efusão utilizadas no Projeto Manhattan foram construídas com níquel, devido à alta resistência desse metal à corrosividade do UF_6 . Acredita-se que foram construídos 5.174.000 módulos individuais, com 10.175 km de comprimento. A quantidade de níquel utilizada foi tão grande que parte do níquel foi emprestado pelo tesouro nacional, fundido e empregado na construção dos efusores. Em 16 de julho de 1945, às 05 h 29 min, quatro anos após o início do Projeto Manhattan e quarenta e sete anos após o início dos estudos de Marie Curie, foi realizada a explosão da primeira bomba atômica da história. No teste conhecido como “Trinity”, a bomba atômica de plutônio “Gadget” foi lançada sobre o deserto próximo a Los Alamos, Novo México. A detonação foi equivalente à explosão de cerca de 20 quilotons de TNT, ou seja, 20 mil toneladas de TNT.

Alguns dias após o teste “Trinity”, em 6 de agosto de 1945, a bomba de U-235 “Little Boy” foi lançada sobre a cidade de Hiroshima, no Japão. Com poder de 15 quilotons, devastou a cidade e causou, no mínimo, 70 mil mortes no momento da explosão. O mesmo ocorreu no dia 9 de agosto, na cidade de Nagasaki, com a bomba de plutônio “Fat Man”, que tinha poder explosivo de 21 quilotons, e matou, no mínimo, 40 mil pessoas no momento da explosão, deixando outras 25 mil feridas. Além das mortes causadas no momento da explosão, muitas gerações posteriores sofreram e ainda sofrem problemas de saúde acarretados pelo efeito da radioatividade presente naquelas bombas subitamente liberada para o ambiente. A explosão dessas bombas causou uma grande comoção mundial, o elevado número de mortes instantâneas, somado ao fato de que a Alemanha nazista já havia se rendido em maio daquele

ano, levantou o questionamento se o uso das bombas realmente era necessário, fazendo com que muitos cientistas que participaram do projeto se tornassem grandes ativistas contra o uso de armas nucleares.

Após o Projeto Manhattan, outra tecnologia para o enriquecimento de urânio foi desenvolvida, chamada de ultracentrifugação. Esta tecnologia também utiliza o gás UF₆ para enriquecer o urânio, no qual o gás é submetido a uma rotação em velocidades extremas. As moléculas compostas pelo isótopo de massa 235, mais leve, se concentram na parte superior da centrífuga, e são enviadas para uma nova centrífuga, onde o processo se repete, a fim de aumentar a concentração de urânio 235. Enquanto as moléculas compostas pelo isótopo de massa 238, mais pesado, se concentram na parte inferior da centrífuga e são descartadas gerando o urânio depletado. Essa é hoje a tecnologia que domina o processo de enriquecimento do urânio

6.2 O Radio-226

O Radio é o quinto elemento da desintegração de urânio e tem uma meia vida relativamente longa de 1600 anos. Como o urânio-238, o rádio-226 se acumula nos ossos por um longo período de tempo aonde ele emite a radiação alfa e gama que podem afetar a saúde humana no interior do corpo, mas a uma certa distância.

A comissão internacional de proteção radiológica faz uma estimativa entre 15 % e 20 % de rádio-226 absorve pelos ossos (United States Environmental Protection Agency, 2012). Devido aos tipos de radiações emitidas, o rádio-226 pode atingir várias regiões no corpo e causar leucemia, câncer nos ossos e câncer linfático (Auger, 2010).

6.3 O Radônio-222

O Radônio-222 vem da desintegração de rádio-226. Então ele está presente em todos os lugares no meio ambiente, esse gás tem a tendência de se concentrar perto do solo e nas cavidades pois ele é mais pesado que o ar quer dizer que pode aumentar de concentração no subsolo precisamente solo situado perto das explorações dos mineiros de urânio.

Um vento fraco pode mover o gás numa distância de mais ou menos 1000 metros, durante tudo esse trajeto os produtos de desintegração serão depositados ao solo e absorvem

pelas plantas e animais de diversos ecossistemas encontradas e também penetram na cadeia alimentar.

Quando um ser vivo respira o gás radônio, os seus órgãos internos estão expostos a uma radiação alfa, isso pode causar a destruição da ADN das células e influencia também o câncer nos pulmões. O sexto relatório da comissão explica que quando uma partícula alfa atravessa uma célula seja pela uma vez, isso pode gerar o câncer a partir da célula atingida. O gás radônio é a segunda que mais causa câncer no pulmão, em 2011 157000 pessoas foram mortas por câncer e 21000 dessas pessoas foram atingidas de câncer causado pelo gás radônio. (Committe on uranium mining in virginia,2011).

O risco por a saúde humana não está somente ligado ao gás radônio, mas pelos produtos da desintegração, eles são carregados eletricamente e se juntam às poeiras presente na atmosfera. Quando respiram, eles se fixam aos paróis do pulmão e emitem as radiações alfa. Essas partículas afetam somente o pulmão porque as radiações que se propagam não têm potência suficiente para travessar as outros órgãos. E Admitido que durante muitas décadas que o radônio e seus produtos de desintegração é uma fonte de câncer do pulmão. A comunidade científica ainda não divulgue os outros efeitos desse gás mesmo que vários estudos sugerem as diferencia de câncer que existem, mas até agora não sai nenhuma nota sobre outros efeitos causados.

6.4 O Polônio-210

Esse radionuclídeo é derivado da desintegração do radônio-222, ele tem uma meia vida de 138 dias, ele é considerado como um elemento altamente toxico pelas suas atividades radioativas. Exploração de uranio produz uma pequena quantidade de polônio por ano seja 70 a 100 um por tonelada de mineiro uranio. A exposição de uma pequena quantidade desse elemento pode causar grande destruição na saúde humana. A contaminação de polônio pode ser feita por injeção ou por inalação. No interior do corpo, 50 dias são necessários a organismo para eliminar 50% de polônio-210, o resto se fixa ao fígado, nos rins e nos ossos. Os órgãos são expostos a radiações alfa e podem desenvolver câncer nos pulmões.

6.5 A química e a rádio química do Tório e Uranio

A utilização dessa matéria começa a diminuir faz mais de 10 anos devido a sua radioatividade que é uma principal fonte de contaminação do meio ambiente. O Torio é um membro da família dos actínídeos que contem 15 elementos de actínios (Z = 89) ao (Z = 103). O tório contem 30 isótopos entre a massa de 209 e 238, mas somente seis isótopos: ^{227}Th , ^{228}Th , ^{230}Th , ^{231}Th , ^{232}Th , e ^{234}Th são obtidos naturalmente, mas os outros isótopos são obtidos pelo bombardeamento nuclear.

Em todos os isótopos de tório o mais abundante é o ^{232}Th , ele está presente a 99.99%, ele é instável e radioativo, mas a sua desintegração é muito lenta na natureza com mais ou menos 14 miliares de anos. A desintegração radioativa de tório é complexo e produz radiações alpha, beta e gama. A desintegração contem onze elementos a partir de ^{232}Th que termina com ^{208}Pb que é mais ou menos estável nas condições naturais. A utilização mais recente e mais importante do tório é na combustão nucleares. Então o ^{232}Th podem transformar em isótopo de uranio fusível ^{233}U pela reação



Pela fusão de ^{233}U pode produzir ^{232}Th .

O tório natural está presente praticamente em todas as pedras, solos, águas, plantas e animais a concentração pequenas. Fonte mais frequente de tório no meio ambiente está nos minerais de fosfatos que contem também de terras raras como monazite que contem de fosfato de tório a 12%.

A monazite é encontrado nas rochas ígnea e algumas outras rochas com concentrações mais elevadas nos depósitos de placer concentrado pela ação de onda e corrente de água com minerais. A monazite pode ser dissolvida pelos ácidos fortes, anião de fosfato transforma em H_2PO_4^- e H_3PO_4 e os anião metálicas se transformam em sais solúveis em água. A monazita também pode ser dissolvida pelas bases forte, nos casos dos fosfatos

insolúveis se transformam em hidróxido de metais insolúveis que podem facilmente dissolvidos na acida após a separação dos fosfatos alcalinos.

A torita (ThSiO_4) e um outro mineral comum de tório que substituído o PO_4^{3-} por SiO_4^{4-} e um substituição suplementar de Th^{4+} por terras raras trivalente para compensar as cargas. Os íons SiO_4^{4-} também podem substituir por um grupo de hidroxila (OH^-) depende da formula $\text{Th}(\text{SiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4x}$.

O uranio e o 92 elementos da tabela periódica foi descoberta em 1789 por o químico alemão Martin Heinrich proth. O uranio também fazem parte das famílias actinídeos. A aplicação de uranio no começo era como corante para cerâmica e veres. Agora o uranio e mais utilizados nas armas nucleares e também como combustíveis nucleares

$^{235}\text{U} + n \rightarrow \text{produto de fissão} + \text{energia} + 2.5 \text{ nêutrons}$

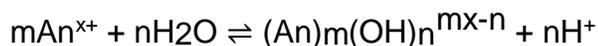
$^{238}\text{U} + n \rightarrow ^{239}\text{U} \xrightarrow{\beta^-} ^{239}\text{Np} \xrightarrow{\beta^-} ^{239}\text{Pu}$

O ^{239}Pu aparece muito ao ^{235}U e mais de um terço do rendimento energética veio da combustão de ^{239}Pu . O uranio tem mais de 20 isótopos com massas de 217 a 242. Somente tres isotopos, ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , sao isótopos naturais. Todos os isótopos de uranio são instáveis e radioativos.

Os isótopos mais abundantes são ^{235}U e ^{238}U ; ^{238}U e presente a uma proporção de 99.25% e ^{235}U a 0.75%. A série de desintegração radioativa de uranio e muito complexo e produz de raios alfa, beta e gama. A desintegração contem quatorze elementos a partir de ^{238}U que terminam por ^{206}Pb que é estável nas condições naturais

O uranio foi utilizado nas energias nucleares comercias a mais de 55 anos. uranio enriquecido produz uma quantidade importante de energia: um quilograma de uranio equivale a mais ou menos 1500000 quilograma de carvão. Mas o tório e o combustível primário para os reatores de tório utilizados em vários tipos de reatores nucleares. O tório e três vezes mais abundante que o uranio na crosta e geralmente e mais concentrado nos mineiros. Consideramos a energia potencial associado a tório e superior à energia disponível do petróleo, de carvão e do uranio no mundo, então o tório tem vantagem sobre o uranio como a energia nuclear. No meio ambiente, as ligas inorgânicas mais importantes

para urânio e o tório são os hidróxidos e os carbonatos. O pH da água natural é geralmente mais elevado para favorecer as reações de hidrólise dos actínídeos



A interação dos íons actínídeos com hidróxidos pode gerar espécies monômeros e poli nucleares, e dos óxidos, hidróxidos de baixa solubilidade. Em geral, as espécies poli nucleares em solução são muito estáveis e não se decompõem facilmente em monômeros. Aos pH, às concentrações elevadas em An(VI) e em carbonatos, o carbonato de An(VI) pode formar, eventualmente, dos complexos poli nucleares. Por exemplo, Allen e Al, estudou e identificou a $(\text{UO}_2)_3(\text{CO})^{6-}$ em soluções aquosas neutras. Altmaier e al. Foram determinados os K_{sp} , os complexos de Th(IV), de hidróxido-carbonato, $\text{Th}(\text{OH})_y(\text{CO})^{4-y-2z}$. Evidentemente a proporção dos hidróxidos, dos carbonatos e hidróxi-carbonatos varia em função de pH (Albrecht-Schmitt, 2010).

A distribuição dos espécies de tório inorgânica em solução aquosa num sistema aberto a uma baixa concentração de Th ($1 \mu\text{g L}^{-1}$). As curvas foram calculadas com o programa visual de MINTEQA2, versão 3.1.

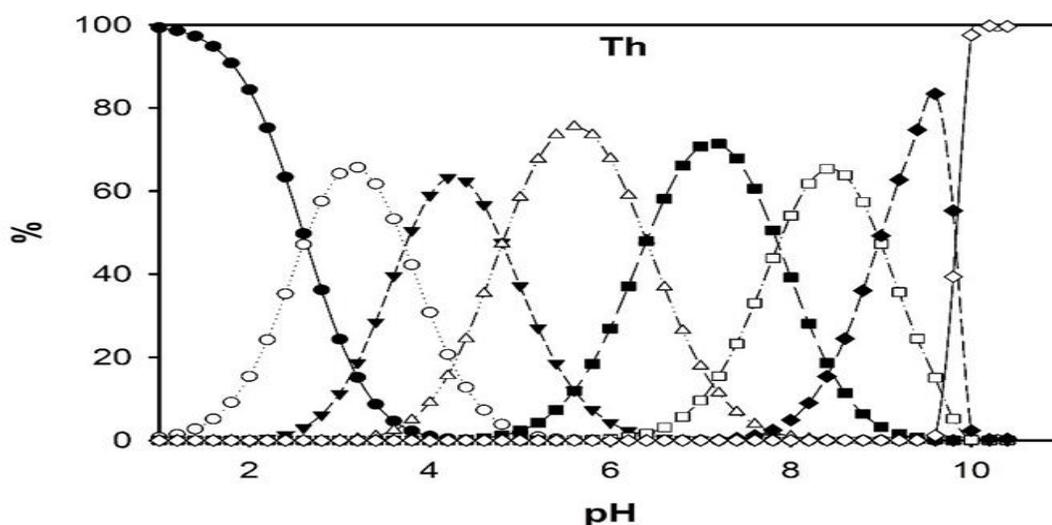


Figure 5: A distribuição dos espécies de tório inorgânica

Fonte: Uranium Road

A distribuição dos especes de uranio inorgânica em solução aquosa num sistema aberto a uma baixa concentração de Th ($1 \mu\text{g L}^{-1}$). As curvas foram calculadas com o programa visual de MINTEQA.

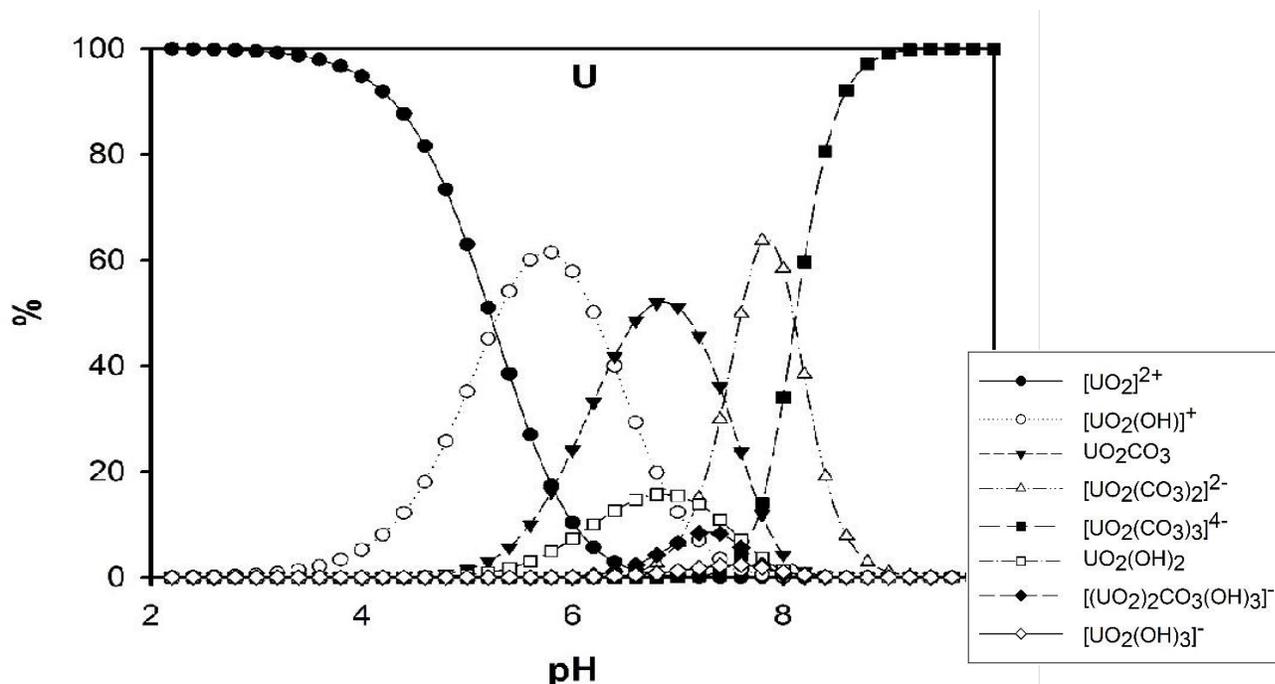


Figure 6: A distribuição dos especes de uranio inorgânica

Fonte: Uranium Road

O ambiente natural contém os hidróxidos, os carbonatos, os íons de Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} e a matéria orgânica natural. De cátions duros, os actinídeos se formam, os complexos fortes com a ligas são os doadores de oxigênios duros por exemplo: OH^- , CO_3^{2-} e PO_4^{3-} com uma afinidade por ligas monovalentes ou bivalentes depende a tendência.

$\text{OH}^- > \text{F}^- > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- \gg \text{ClO}_4^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_3^{2-} > \text{C}_2\text{O}_4^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$

A MON é uma liga muito importante para o tório e urânio. Trenfield e al foram demonstrado que urânio forma complexo com diferentes tipos de MON e contém também o ácido fulvico. Os constantes de estabilidade de urânio com diferentes substancias

húmicos foram avaliados por Kautenburger et al. Foram trazidos os logs β (para urânio UO_2^{2+}) de 5.2-6.4. Foram confirmados que o urânio prefere as ligações fracas dos ácidos

húmicos para formar complexos.

Singhal et al. Demonstraram também que o tório foi complexo com a MON especificamente com compostos de pequenas tamanhos. A formação de complexo com a MON pode influenciar absorção de tório ou de uranio. Por exemplo, Hongxia et al. Foram observados que na presença de ácido fulvico em solução foi aumentando a absorção de tório na surface de gibbsite. Chen et Wang foram demonstrando que a alimentação da absorção de tório na surface de SiO₂ foi mais grande na presença do ácido fulvico que o ácido húmico e que a absorção de tório dependia fortemente das concentrações de FA e HA. Mas, Guo et al. Verão somente uma pequena influência de ácido fulvico oposto de absorção de uranio na surface de goethite.

No sistema aquática natural, o comportamento dos actinídeos é fortemente influenciado para presença dos coloides e partículas. A absorção sobre os coloides minerais foram reconhecendo como uma rota importante para os actinídeos na geosfera. Algumas especes coloidais são intrínsecas, elas são produzidas pela agregação dos óxidos, hidróxidos e carbonatos. Outros coloidais são produzidos pela erosão do solo, os minerais artificiais, os matérias artificiais os rejeitos. Os coloidais são muitos pequenos, eles têm uma grande surface especificas e um grande quantidade site reativo devido as suas fracas massas. A estabilidade dos coloidais dependem da natureza química dos coloides e da água eles se encontram. Por exemplo a presença de MON e um fraco conteúdo em íons podem aumentar a estabilidade e a concentração dos coloides. Geralmente, as condições transitórias do tempo podem desestabilizar o sistema coloidal.

A hidrolise dos actinídeos pode dar coloides intrínsecas por exemplo, Neck et al foram estudando a solubilidade dos hidróxidos e óxidos de plutônio nas diferentes condições de oxido redução, eles mostram que os coloides (polímeros) de Pu(IV) se formam facilmente o PuO₂ na condição de redução.

Altmaier e al, acharam que a formação dos coloides de tório aumentava a solubilidade total de fato que eles estão presentes em pequenas pedaços (10mn) estavam estáveis até 400 dias e não tinham tendência de aglomerar ou precipitar. O Uranio forma de pequenas coloides de diâmetro superior ou igual a 20 mn em solução neutra ou levemente alcalino. Estes coloides contém silicatos que são estáveis durante muitos anos.

Os actínídeos podem também absorver sobre os coloides inorgânicas naturais. A composição desses coloides depende da composição de água e do meio ambiente geológico incluindo os pedaços de argila, de zeolite, de carbonato e de hidróxido de ferro. Eles podem formar graças as reações de condensação das moléculas pequenas ou por processos de erosão das rochas ou sedimentos.

Esses coloides absorver o tório e urânio com uma capacidade de absorção por urânio que é o mais forte que o tório (pH de 3.74 a 5.74). A argila vermelha e $\text{Fe}(\text{OH})_3$ são também de bons absorventes por urânio. Finalmente, Dreissig et al demonstraram que os coloides de U são presentes nas soluções contendo os silicatos.

A matéria orgânica natural existe em todos lugares no meio ambiente. Ela pode aumentar a mobilidade dos actínídeos por formação de complexo orgânicos ou falsos coloides. Por exemplo, nos sedimentos haver uma grande quantidade de matéria orgânica, urânio e diretamente liga às frações orgânicas e carbonadas. Lin et al dizem que na água do mar o efeito da matéria orgânica sobre o tório provavelmente forma uma camada sobre os coloides que tinham como resultado de modificar as propriedades da surface. Na presença dos hidróxidos de ferro, o efeito de MON para urânio é menos importante que outros elementos por exemplo:(Pb, V, Cr, Cu e As)

6.6 Comportamento do urânio e tório no meio ambiente

O urânio e tório são elementos que fazem parte da série dos actínídeos, e diferentemente dos demais elementos da série podem ser encontrados e extraídos em grandes quantidades na natureza. O tório pode ser encontrado nas areias monazíticas na forma de fosfatos ou então na torita , ThSiO_4 .

A principal fonte de urânio é a uraninita, principalmente na forma de UO_2 . O estado de oxidação mais estável do tório é +4 e do urânio +6, pois neste estado ocorre o envolvimento de todos os elétrons externos nas ligações, e eles ainda podem apresentar outros estados diferentes. Ambos apresentam ponto de fusão elevado, acima de 1100°C (Lee, 1980).

O estudo minucioso da química do urânio iniciou após a descoberta de sua fissão em 1939, tornando-o o mais importante combustível nuclear. Seus minérios se apresentam em

forma de óxidos e vanadatos, sendo mais abundante que alguns elementos de uso comum, como prata e o cádmio. O urânio natural apresenta três isótopos: 99,3% de ^{238}U , 0,7% de ^{235}U e traços de ^{234}U , sendo o ^{235}U o de maior importância para produção de combustível nuclear. O urânio apresenta os estados de oxidação 2+, 3+, 4+, 5+ e 6+, sendo os estados de oxidação 4+ e 6+ os que mais aparecem na natureza. É um metal muito reativo que se dissolve em ácidos, e reage com oxigênio, halogênios e hidrogênio e outros elementos (Lee, 1980). Seu comportamento geoquímico apresenta características diferentes dos outros metais.

Nestas condições, o urânio encontra-se em solução como cátion UO_2^{2+} , onde o urânio apresenta o estado de oxidação 6+, e em pequenas porções na forma do cátion UO_2F^+ . Já quando o meio apresenta condições neutras ou alcalinas oxidantes, ocorre a predominância do complexo solúvel $UO_2(CO_3)_2^{2-}$. Quando as condições do meio são redutoras, formam-se o óxido insolúvel UO_2 , compostos de urânio no estado de oxidação 4+, e diversos outros óxidos, como U_3O_8 . A redução do U^{6+} a U^{4+} ocorre pela ação de bactérias redutoras de sulfatos e de ferro, sendo que este processo ocorre, geralmente, em sedimentos atóxicos (De Vos et. al, 2006).

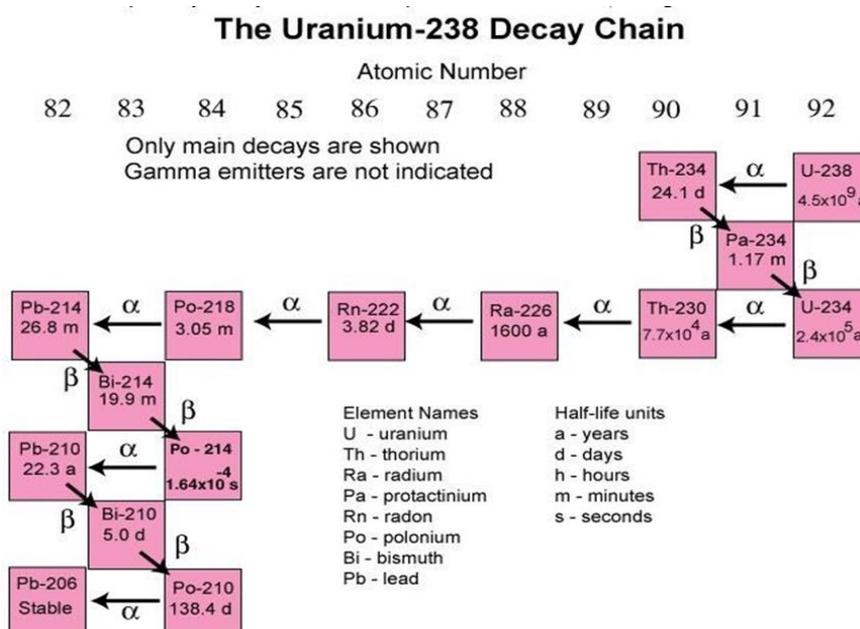


Figura 7: Decaimento da família do urânio

Fonte:War, energy and the rock

A mobilidade do urânio no solo é dependente da formação do cátion UO_2^{2+} , uma vez que este cátion é solúvel em diversas faixas do pH do solo. A solubilidade do urânio no solo pode ser aumentando pela ação de ácidos orgânicos, entretanto esses ácidos interferem na sua mobilidade ao permitirem a formação de precipitados pouco solúveis, por exemplo, na forma de fosfatos e óxidos. Estas condições também permitem que o urânio seja adsorvido pela fração de argila e pela presença de matéria orgânica.

Quando o urânio está dissolvido na água ele se associa fortemente com a matéria orgânica, com óxido de ferro e com os fosfatos dissolvidos. Em pequenas quantidades, o urânio dissolvido sofre co-precipitação junto do cálcio, do chumbo e de alguns óxidos secundários de ferro. Quando na presença de sílica dissolvida, o urânio precipita na forma de conchita, $USiO_4$, e na presença de vanádio ele complexa na forma de carnotita, um mineral de baixa solubilidade (De Vos et. al, 2006).

O tório é encontrado principalmente nas areias monazíticas, onde podem apresentar concentrações de até 30% na forma de fosfatos misturados com fosfatos de lantanídeos. É utilizado na indústria, na forma de dióxido de tório, ThO_2 , na fabricação de camisas incandescentes de lâmpadas a gás. Naturalmente, apresenta apenas o isótopo ^{232}Th , que embora não seja fissionável pode ser submetido a uma reação para alimentar reatores do tipo breeder. O ThO_2 é praticamente inerte a qualquer reagente, dissolvendo-se apenas numa mistura de HNO_3 e HF

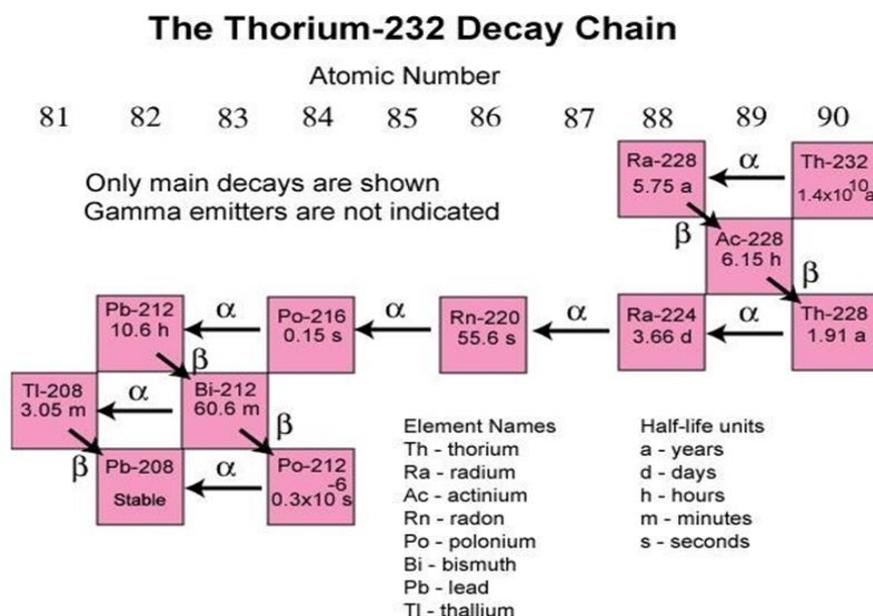


Figura 8: Decaimento da família de Th

Fonte: War, energy and the rock

O tório é encontrado na natureza no estado de oxidação 4+. O íon Th^{4+} pode ser encontrado tanto no estado sólido como em solução (Lee, 1980). Do ponto de vista da geoquímica, o tório apresenta comportamento semelhante ao urânio, podendo substituir elementos terras-raras em alguns minerais, assim como se associar à apatita e ao enfeño (Kabata-Pendias, 2000).

A mobilidade do tório é dependente da formação do Th^{4+} , pois a solubilidade deste cátion, numa faixa ampla de pH dos solos, é responsável por seu deslocamento. Assim como o urânio, a solubilidade do tório aumenta quando na presença de ácidos orgânicos, contudo sua mobilidade é prejudicada devido à sua precipitação, por exemplo, na forma de fosfatos e óxidos, assim como também pela sua adsorção pela fração de argila e matéria orgânica presente no solo. Nas condições ambientais, o tório apresenta baixa mobilidade, pois o ThO_2 é muito estável e pouco solúvel. Os agentes carregadores do tório, como a monazita, também são muito estáveis, dificultando sua mobilidade. O $\text{Th}(\text{SO}_4)_2^{2+}$ é uma das formas mais solúveis do tório na natureza, e é formado quando o pH é menor do que 3 e em condições oxidantes. Quando o tório encontra-se dissolvido ele é rapidamente sorvido por minerais argilosos ou então são hidrolisados a $\text{Th}(\text{OH})_4$, que também se associa aos minerais argilosos. Logo, o tório é praticamente insolúvel em águas de superfície e subterrâneas (De Vos et al, 2006)

Ainda há de se considerar que o urânio e tório não são elementos estáveis, sofrendo decaimento radioativo natural. Esta característica tem grande importância, pois seus filhos ou possuem comportamento idêntico ao seu correspondente estável ou análogo a elementos pertencentes ao mesmo grupo químico. Com isso, é importante avaliar seu comportamento no meio ambiente, considerando os compartimentos onde se acumulam e como seu tempo de meia de vida pode interferir.

Dá série de decaimento natural do ^{238}U , os radionuclídeos de destaque são ^{210}Pb , por ter comportamento idêntico ao chumbo estável; ^{226}Ra , que possui grande mobilidade entre os compartimentos do ecossistema e comportamento semelhante ao cálcio; o ^{210}Po , devido ao seu longo tempo de

meia vida e comportamento fisiológico; e o ^{222}Rn , que se acumula em ambientes fechados e sua inalação permite o acúmulo de seus produtos de decaimento dentro do organismo. Já na série do ^{232}Th , destacam-se ^{228}Ra e ^{220}Rn , pelos mesmos motivos apresentados anteriormente (Mazzilli et al. 2013). Pode-se concluir que o urânio e o tório, quando liberados no meio ambiente, tendem a se concentrar nos compartimentos solo e sedimento.

7. DISCUSSÕES E RESULTADOS

7.1 O Urânio na saúde Humana e na Natureza

Em outubro de 2008, aconteceu na Namíbia (África), a Conferência sobre urânio, que tratou assunto direcionado a mineração de urânio, envolvendo a participação de especialistas da Namíbia, África do Sul, Tanzânia, Malawi, Austrália, Brasil, Alemanha e Holanda. Foram apresentados os resultados de pesquisas realizadas sobre minerações de urânio em vários países e todos foram unânimes em demonstrar o quanto nocivo é a mineração de urânio tanto para o meio ambiente quanto para a saúde, não apenas para os trabalhadores diretamente envolvidos, mas para a população que vive na região.

O Estudo de David Fig demonstrou a inviabilidade econômica desta mineração. Apresentando dados da cotação do urânio no mercado mundial, ficou claro de que a sua produção não pode ser sustentada por sua cotação no mercado, porque se trata de um produto associado à construção e funcionamento de usinas nucleares (além dos submarinos nucleares e bombas atômicas, em menor escala).

Acontece que vários dos países mais ricos do mundo estão desativando suas usinas. Alemanha, Suécia e Itália já votaram pelo fim de seus programas nucleares. A Áustria cancelou o seu programa nuclear, em 1999, e a única usina nuclear nem chegou a ser finalizada, sendo convertida em unidade para produção de energia solar. E, atualmente, há uma nova onda para a construção de novas usinas nucleares, com o falso argumento de proteção do clima global. A verdade é que uma usina nuclear não produz diretamente dióxido de carbono. Mas, como Fig demonstrou, durante todo o processo da exploração do urânio até a construção da usina nuclear, a energia atômica contribui significativamente para o aumento do aquecimento global. China, Índia, Rússia, Coreia e África do Sul pretendem expandir sua indústria nuclear, mas apresentam problemas financeiros para isso. Desde que o urânio depletado passou a ser empregado em campos de batalha, muitas questões foram levantadas sobre o aumento de

caso de câncer, leucemia e outras doenças em tropas militares, na população civil atingida e em agentes de ONGs que estavam presentes nos locais de combates, principalmente relacionando a investigações das causas dessas doenças estarem ligadas ao uso de urânio empicido.

O urânio e o tório podem ser aproveitados comercialmente, ser extraídos, e convertidos em dióxidos ou outras formas dos produtos. O resíduo desta série de processos mineralógicos também contém uma pequena quantidade de urânio, assim como outros de rejeitos naturalmente radioativos tais como o tório (GUEVARA, 2002).

No meio ambiente, as substâncias químicas podem ser degradadas por processos químicos, como hidrólise, fotoxidação e bioquímicos. A estabilidade da substância está relacionada à sua própria estrutura e a fatores ambientais, como temperatura, nível de radiação solar, pH e concentração de matéria orgânica. Esses fatores determinam à velocidade de propagação da substância no ambiente. Algumas moléculas recalcitrantes, ou seja, particularmente resistentes à degradação química e bioquímica, apresentam meia-vida longa na biota, no solo, nos sedimentos e na água, causando maior impacto ao ecossistema. Este seria o caso dos 45 compostos de urânio, presentes naturalmente no meio ambiente principalmente na forma de óxidos. Outras, por sua vez, ao sofrer degradação, resultam em produtos com toxicidade maior que a do precursor (AZEVEDO & CHASIN, 2004).

A degradação é uma das propriedades intrínsecas da substância mais importante na determinação do dano potencial ao meio ambiente. Substâncias não degradáveis, como os compostos de urânio e de tório, persistirão no meio podendo, conseqüentemente, causar efeitos crônicos à biota e aos seres humanos. (AZEVEDO & CHASIN, 2004).

Os radionuclídeos, como o urânio, chegam ao interior do corpo humano quando ingeridos, inalados, absorvidos pela pele ou por uma mucosa, ou então quando são administrados durante os exames realizados com radionuclídeos. O dano produzido pela radiação que essas fontes emitem depende da energia das

partículas, tipo de radiação emitida, distribuição do radionuclídeo no corpo e da taxa de eliminação do radionuclídeo (GARCIA, 2002).

O urânio entra na cadeia alimentar principalmente como consequência da sua presença em rochas fosfáticas que são utilizadas como matéria prima na fabricação de fertilizantes e ração animal. O fosfato é utilizado como nutriente para reposição em solos empobrecidos por atividades agrícolas intensas e problemas de erosão. A contínua utilização destes fertilizantes resulta na adsorção de certas quantidades de minerais por plantas e, portanto, torna-se uma fonte de urânio na dieta alimentar humana (YAMAZAKI e GERALDO, 2003).

Apesar de muitos estudos comprovarem os riscos que o UD pode causar ao ser humano outras pesquisas também mostraram que a relação entre o uso de urânio depletado e o aumento das doenças é infundada após o impacto de projéteis de urânio em alvos resistentes e conseqüentemente, a formação de partículas de UD, os principais óxidos formados são UO_2 , U_3O_7 e U_3O_8 . As soluções do corpo humano, que naturalmente dissolvem diversas substâncias, também funcionam como solvente pra os óxidos formados pelo urânio empobrecido. A dissolução dos três óxidos no corpo humano ocorre de forma bem lenta, mas uma vez dissolvido, o urânio pode reagir na forma de íon uranilo (UO_2^{+2}) com moléculas biológicas, causando a necrose e danificando as células dos rins, acarretando na perda de eficiência da filtração de impurezas do sangue. (Uranium Road,2005)

A inalação de partículas de urânio geradas após um ataque com munições de UD é a principal forma de introdução desse metal no organismo, mas ele também pode ser ingerido por via oral, via águas contaminadas. Quando ingerido por via oral, entre 2% e 5% das partículas de urânio são dissolvidas no sangue pelo intestino, enquanto o restante é eliminado rapidamente do corpo por via intestinal. Em seguida à dissolução, aproximadamente 90% do urânio é removido pelos rins e excretado pela urina em até uma semana, os 10% restantes são absorvidos pelo sangue e distribuídos por outras partes do corpo, como os ossos, o fígado, o pulmão, os rins, gorduras e tecido muscular.

Quando inalado, o urânio não dissolvido pode permanecer por muitos anos no pulmão, especificamente as partículas menores que 2 μm , sendo depositadas nos brônquios e nos alvéolos. Progressivamente, essas partículas entram na corrente sanguínea e são eliminadas pela urina. Aproximadamente todas as partículas inaladas maiores que 10 μm se depositam nas vias aéreas superiores, principalmente na faringe.

O esqueleto é a parte do corpo humano onde o urânio permanece por mais tempo após a contaminação de uma pessoa, sendo encontrado até 25 anos após a inalação de partículas. O urânio empobrecido apresenta duas formas de perigo biológico para o ser humano, sendo a infecção toxicológica muito maior que a infecção radiológica, assim como outros metais tóxicos. O órgão que sofre o maior risco de ser danificado após uma infecção são os rins (Uranium Road 2005)

7.2 Aplicações militares

No início da década de 1970 o exército dos EUA começou a realizar pesquisas com novos materiais para a construção de munições e a blindagem de tanques. A alta densidade de materiais como o tungstênio (19,3 g cm^{-3}) e o urânio (19 g cm^{-3}) foi levada em consideração.

No final das pesquisas o urânio depletado foi escolhido devido à sua disponibilidade, preço e piroforicidade (capacidade de um material, quando finamente dividido, entrar em combustão no ambiente, levando o material a atingir a temperatura de autoignição). O tungstênio apresenta ponto de fusão 3410 $^{\circ}\text{C}$, muito maior que o do urânio, 1132 $^{\circ}\text{C}$, mas o tungstênio praticamente não é pirofórico.

Apesar dessas propriedades, os projéteis de tungstênio perdem a ponta afilada durante o impacto, se mostrando menos efetivo na perfuração de materiais de blindagem do que o urânio.

O processo para a fabricação de munições de urânio depletado passa pelo endurecimento do urânio através da redução do teor de carbono e da adição de até 0,75% m/m de titânio para formar uma liga metálica.

A alta temperatura gerada no momento do impacto pode incendiar a superfície de urânio empobrecido dos projéteis (principalmente nos impactos em aço), devido à baixa temperatura de fusão do urânio em relação à temperatura alcançada durante o impacto. Outra vantagem dos projéteis de urânio é que eles são afiados durante a fusão que ocorre no momento do impacto e são capazes de perfurar blindagens poderosas



Figura 9: Criança pendurado no tanque na guerra do Sarajevo

Fonte: Fax Sarajevo

Os impactos dos projéteis de urânio empobrecido causam perfurações caracterizadas por buracos de entrada pequenos e circulares. O projétil de uma munição 30-mm fabricado com urânio empobrecido é capaz de perfurar uma blindagem de aço com até 9 cm de espessura. Os projéteis de 30-mm são formados por um corpo cônico (penetrador) de urânio empobrecido com 95 mm de comprimento, 16 mm de diâmetro da base e aproximadamente 280 g. O corpo de UD é envolvido por uma peça de alumínio formando um projétil com 30 mm de diâmetro.

O urânio depletado também é empregado como parte da blindagem dos tanques utilizados pelo exército dos EUA. Placas fabricadas com UD são inseridas entre as placas de aço da blindagem convencional



Figura 10. Modelo 3D de uma munição de urânio empobrecido.

Fonte: Obtida do portal CG Trader.

Após serem disparados de uma metralhadora, os projéteis de UD atingem o solo em linha reta e, dependendo do ângulo de colisão, podem

perfurar até 3 m do solo. Quando um projétil de UD atinge blindagens muito resistentes o corpo de urânio perfura a peça de alumínio, deixando a mesma para trás. No momento do impacto, podem ser formadas partículas de urânio empobrecido, que se dispersam e contaminam o ambiente.

Algumas estimativas apontam que entre 10% a 35%, chegando a um máximo de 70%, do urânio em um projétil são convertidos em poeira de UD após o impacto em uma blindagem ou quando o urânio é incendiado. A poeira de urânio formada durante o impacto tem partículas menores que 5 μm , dessa forma, as partículas são mantidas no ar durante muito tempo, e se espalham de acordo com a direção do vento

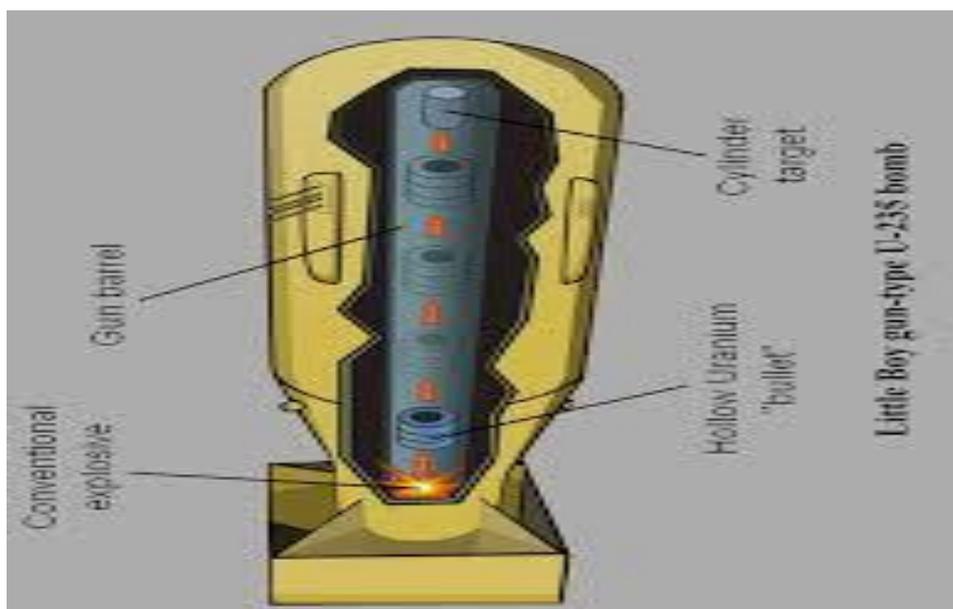


Figura 11. Corte vertical e composição de uma munição traçante de urânio depletado.

Fonte: portal da International Coalition to Ban Depleted Uranium.

Após um ataque com munições de urânio empobrecido, o UD é oxidado e os alvos atingidos são reconhecidos devido às partículas pretas de óxido de urânio que se depositam no chão e em superfícies ao seu redor. Alguns testes indicaram que a maior parte da poeira de urânio pode se espalhar dentro de uma região com raio de 100 m de distância do alvo atingido, mas em casos extremos, na presença de uma forte corrente de ar e um período considerável

de tempo após o ataque, foram encontradas partículas de UD a 40 km do alvo atacado.

O impacto de projéteis de urânio em solos e alvos menos resistentes, como areia, argila e veículos não blindados, perfuram no mínimo 50 cm do alvo atingido, mas por se tratar de substâncias de baixa resistência, a poeira de urânio gerada não é suficiente para contaminar o ambiente ao redor do alvo. O projétil de urânio que fica depositado no solo pode sofrer corrosão dependendo da composição e das propriedades químicas do meio em que o mesmo se encontra; por exemplo, em areais de quartzo, granito ou rochas vulcânicas ácidas, ocorre a solubilização do urânio em proporções bastante consideráveis, sendo capaz até de contaminar as águas de um lençol freático próximo à região atacada, o que irá espalhar o urânio por um grande território. As partículas de urânio

também podem ser adsorvidas em alguns tipos de solo ou substâncias, como em solos argilosos e matéria orgânica, essa adsorção é capaz de reduzir a mobilidade das partículas e dessa forma, reduzir o perigo de ressuspensão e distribuição do urânio no ambiente

7.3 Guerra do golfo

Iniciada em agosto de 1990, a Primeira Guerra do Golfo foi motivada pela invasão de tropas iraquianas ao Kuwait devido a questões petrolíferas e territoriais. Durante os primeiros meses de 1991, para proteger o Kuwait, países como Inglaterra, França, Egito, Síria e Arábia Saudita entraram na guerra liderados pelos Estados Unidos.

Munições fabricadas com urânio empobrecido e tório foram massivamente utilizadas pelas forças armadas dos EUA. Estima-se que a força aérea norte americana disparou 783.514 munições 30-mm produzidas com UD, totalizando aproximadamente 259 toneladas de urânio e 187 toneladas de tório. O exército disparou 9.552 tiros através de tanques, contabilizando aproximadamente 50 toneladas de urânio e 19 toneladas de tório, enquanto o uso de munições pela marinha correspondeu à cerca de 10 toneladas de urânio. A Inglaterra é o único país, que se tem conhecimento, o qual também utilizou munições de urânio empobrecido além dos EUA. O ministério de defesa do Reino Unido estima que foram disparadas 100 munições 120-mm por tanques, correspondendo a aproximadamente uma tonelada de UD3. (Queda do Bagdá, 2005)

Ao que tudo indica, a Guerra do Golfo foi o único combate onde uma grande parcela de munição de UD foi disparada por tanques, e foi o conflito no qual a maior quantidade de urânio empobrecido foi utilizada, com somas totais superando 321 toneladas.

Em março de 2003 os EUA voltaram a atacar o Iraque, mas dessa vez, em solo iraquiano. O contexto da Segunda Guerra do Golfo foi a guerra global contra o terrorismo, motivada após os ataques de 11 de setembro nos Estados Unidos. O objetivo da invasão era derrubar o governo ditatorial de Saddam

Hussein (1937–2006), com o argumento de devolver o Iraque ao povo iraquiano. Durante os ataques, estima-se que o exército norte-americano disparou cerca de 10 mil tiros com munição de UD, entre diversos calibres, correspondendo a valores totais superiores a 60 toneladas de urânio. Algumas fontes apontam que os EUA também fizeram uso de urânio empobrecido durante ataques ao grupo terrorista Estado Islâmico, na Síria, em 2015, mas esses dados não foram confirmados pelo governo norte-americano.



Figura 12: Camelo caminhando ao lado da fumaça de uma bomba

Fonte: Wikipedia

Levando em consideração que a pior exposição sofrida por tropas do exército dos EUA durante a Guerra do Golfo foi de 10 mSv (o Sievert (Sv) é a unidade de medida usada para dar uma avaliação do impacto da radiação ionizante sobre os seres humanos), o perigo radiológico apresentado pelo urânio depletado e o tório nos mísseis balísticos, tanto interna quanto externamente, é em muitos casos negligenciado. Para efeitos de comparação, esse valor é menor que um quinto da dose de radiação considerada maléfica para a saúde humana.

Após a Primeira Guerra do Golfo, 20 mil soldados norte-americanos foram monitorados e apresentavam complicações nos rins que poderiam ter sido causadas pela exposição ao urânio empobrecido e o uso do tório. Entretanto, nenhum desses soldados está entre os que sofreram as maiores exposições ao UD. Devido a esse fato, o número de soldados com complicações renais é semelhante à taxa de pessoas diagnosticadas com problemas renais na população civil americana.



Figura 13: tanque americano na guerra do golfo

Fonte: livro Queda do Bagdá

Estudos similares foram realizados com outros veteranos de guerra e civis em diversas localidades onde o UD foi empregado, mas apresentaram o mesmo resultado: não se evidenciaram elevadas taxas de urânio no corpo dessas pessoas e nem correlação de doenças à exposição ao urânio. Um estudo realizado com veteranos da Guarda Nacional do Mississippi analisou a influência do urânio empobrecido ou do tório nos filhos desses soldados, mas nenhuma evidência foi encontrada sobre problemas de saúde ou após o nascimento dessas crianças.



Figura 14: submarino americano na guerra do golfo

Fonte: Queda do Bagdá

Apesar de não existirem provas que o urânio depletado influenciou diretamente na saúde de pessoas que foram expostas a esse metal durante a guerra, também existem estudos capazes de comprovar que o urânio empobrecido é, sim, maléfico à saúde humana, fazendo com que muitas pessoas e instituições ao redor do mundo lutem pelo fim do uso do urânio depletado em armamentos. (A queda do Bagdá, 2005).

8. CONCLUSÃO

Os danos tempestuosos sobre os benefícios da energia nuclear estão tendendo a se dissipar. Os desastres de Fukushima em 2011 e Chernobyl vinte e cinco anos antes mostraram os perigos recorrentes desta fonte de energia, soando a sentença de morte para a expansão nuclear do mundo inteiro. As discussões agora se concentram no fim do ciclo de produção: eliminação de desperdícios e fechamento de fábricas envelhecidas. A mineração de urânio é um assunto iludido.

Em todo o mundo, cerca de 60.000 toneladas de minério são extraídas por ano. No ritmo atual, a mineração de urânio poderia durar algumas centenas de anos, no máximo. Na verdade, o urânio é um elemento químico difundido, mas depósitos economicamente lucrativos só existem em locais específicos.

A mineração de urânio é a fonte mais importante de riscos à saúde humana ao longo de todo o ciclo operacional, associada à radioatividade e à toxicidade do urânio. Primeiro, a mineração do minério apresenta sérios problemas de saúde para os mineradores, pois a degradação radioativa do urânio produz radônio, um gás que causa câncer de pulmão; mais raro, a ingestão é tóxica para os rins. Então, para cada tonelada de urânio extraído, existem entre 70 a cem toneladas de lixo radioativo.

Este resíduo ainda contém 80% dos radioisótopos iniciais, são diferentes elementos radioativos resultantes da degradação do urânio. Eles são armazenados em tanques ou campos de contenção. Mas o vento difunde partículas radioativas em grandes áreas e a água corrente contaminada penetra nas águas subterrâneas ou rios.

Esses volumes colossais de resíduos, portanto, não apenas tornam vastas áreas inférteis, mas também contaminam plantas, animais e humanos, com impactos difusos sobre a saúde a longo prazo.

O caso do Níger



Usina de reprocessamento de Urânio em Níger

Fonte RFI

Dado o impacto da mineração de urânio na saúde humana, surge a questão de como controlar a produção. O Níger é um caso emblemático nesse sentido. Quarto produtor com 7% da produção mundial (atrás do Cazaquistão com 41%, Canadá com 16% e Austrália com 9%), o país revisou seu código de mineração em 2013 e renegociou seu contrato em 2014 com a Areva, a provedor de serviços que explora os depósitos. Os objetivos declarados são aumento as receitas da extração em benefício do país, transparência na gestão dos fluxos financeiros e mitigação do impacto social e ambiental a nível local.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abessa, D.M.S. Carr, R.Rachid, B.R.F.Sousa, Hortelani, M.A.Sarkis, J. Influence of a Brazilian sewage outfall on the toxicity and contamination of adjacent sediments. *Marine Pollution Bulletin*, v. 50, p. 875 – 885. 2005

Allard, B.; Kipatsi, J.O, Expected species of uranium, neptunium and plutonium in neutral aqueous solutions. *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry* 1980, 42, 1015-1027.2010

Frostick, A. Bollhöfer, A., Parry D. A study of radionuclides, metals and stable lead isotope ratios in sediments and soils in the vicinity of natural U-mineralisation areas in the Northern Territory” *Journal of Environmental Radioactivity* p. 1e 8. 2010. doi:10.1016 jenvrad.2010.04.003

Kautenburger, R.Sander, J. M.Hein Europium (III) and Uranium (VI) complexation by natural organic matter (NOM): Effect of source. *Electrophoresis* 2017, 38, (6), 930-937 Keller, C.Radioquímica Pernambuco, Recife: Editora Universitária, 1981.Tradução de: Radiochemie

LIMA, R. S.; Pimentel, L. C. F.; Afonso, J. C.; O Despertar da Radioatividade ao Alvorecer do Século XX. *Química Nova na Escola. História da Química*, v. 33, n.2, p. 93-99, maio 2011.

Oliviera, M. F.; A polêmica sobre o urânio empobrecido. *Ceticismo, Ciência e Tecnologia*. Disponível em <https://ceticismo.wordpress.com/ciencia-tecnologia/apolemica-sobre-o-uranio-empobrecido/>, acessado em: 19/08/2017.

REIS, Débora Walter dos. *Análise da dinâmica processual dos estudos de impacto ambiental na mineração e outros pareceres técnicos no estado de Minas Gerais*. Orientador: Prof. Dr. Hernani Mota de Lima. 2011.

Runde, W.; Neu, M. P.Actinides in the geosphere. In *The chemistry of the actinide and transactinide elements*, Fourth ed.; Morss, Edelstein, N. M.Fuger, J., Eds. Springer: 2012.

Silva, P.S.C. Determinação de radionuclídeos pertencentes às series do ^{238}U e ^{232}Th nos fosfatos do arquipélago de Abrolhos, (BA). 1998, Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geofísica do Instituto Astronômico e Geofísico, São Paulo. 83p.

Sirelkhatim, D.A., Sam, A.K. Hassona, R. K., Distribution of ^{226}Ra - ^{210}Pb – ^{210}Po in marine biota and surface sediments of the Red Sea, Sudam, *Journal of Environmental Radioactivity.*, 2008, p. 1-4.

Syed, H. S Comparison studies adsorption of thorium and uranium on pure clay minerals and local Malaysian soil sediments. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 1999, 241, (1), 11-14.

UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the effects of Atomic Radiation. Sources Effects and Risks of Ionizing Radiation. Report to the general Assembly. United Nations, New York, NY. 2010.

XIE, H.; Lacerte, C.; Thompson, W. D.; Wise, J. P.; Depleted Uranium Induces Neoplastic Transformation in Human Lung Epithelial Cells, *Chem. Res. Toxicol*, Portland, v. 23, n. 2, p. 373-378, 2010.