



## ÁGUA TRITIADA E A GERAÇÃO DE UM RESÍDUO POLÊMICO QUE IMPACTA A ESFERA SOCIAL E AMBIENTAL

**Kauane Andressa Flach (\*), Kauan Andrei Flach, Camile Luana Flach, Aline de Matos Soares**

\* Universidade Federal de Santa Maria- kaaune\_flaach@hotmail.com

### RESUMO

O presente trabalho apresenta por meio de revisão bibliográfica o estudo da melhor forma de descarte da água contaminada por trítio, considerado um resíduo radioativo. Essa temática ganha sustentação na medida em que discute a problemática socioambiental pormenorizada aos níveis de trítio que necessitam ser gerenciados para que a água possa ser destinada adequadamente. Tais análises permitem perceber a estreita relação entre meio ambiente, saúde pública da população local e global e a usina de Fukushima Daiichi, evidenciando a falta de uma solução efetiva que venha a satisfazer todas as esferas envolvidas. Nesse sentido, as questões de ordem tecnológica, institucional, econômica, ambiental e saúde pública devem ser amplamente discutidas e reforçadas pelas autoridades locais e a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) na tentativa de solucionar efetivamente problemas envolvendo o descarte da água tritiada, que até o momento tem como melhor alternativa o descarte controlado no mar.

**PALAVRAS-CHAVE:** Água tritiada, resíduo radioativo, Fukushima Daiichi, problema socioambiental, descarte no mar.

### ABSTRACT

This work presents, through a bibliographic review, the study of the best way to dispose of water contaminated by tritium, considered a radioactive waste. This theme gains support as it discusses the socio-environmental problem detailed in the levels of tritium that need to be managed so that the water can be properly disposed of. Such analyzes allow us to perceive the close relationship between environment, public health of the local and global population and the Fukushima Daiichi plant, showing the lack of an effective solution that will satisfy all spheres involved. In this sense, technological, institutional, economic, environmental and public health issues must be widely discussed and reinforced by local authorities and the International Atomic Energy Agency (IAEA) in an attempt to effectively solve problems involving the disposal of tritiated water, which so far has the controlled disposal at sea as the best alternative.

**KEY WORDS:** Tritiated water, radioactive waste, Fukushima Daiichi, socio-environmental problem, disposal at sea.

### INTRODUÇÃO

Questões voltadas a energia nuclear vêm ganhando destaque global devido a fatores voltados à segurança pública e questões ambientais envolvendo essa matriz energética. Nesse sentido, o tema se torna relevante uma vez que está enraizado um grande pragmatismo social negativo sobre essa fonte de energia devido a acontecimentos históricos, como acidentes nas usinas nucleares de Fukushima-Japão, Three Mile Island-Estados Unidos e Chernobyl-Ucrânia.

Em 2011 um tsunami de 14 metros de altura atingiu a usina nuclear de Fukushima, ocasionado por um terremoto de magnitude 9,0 graus na escala Richter a cerca de 160 quilômetros da costa japonesa. Quase nove anos após esse colapso, ainda se observa vários impasses para o descomissionamento da usina de Fukushima-Daiichi. Atualmente ganha grande destaque o futuro da água radioativa utilizada para o resfriamento dos reatores danificados, uma vez que o armazenamento desse resíduo radioativo está se tornando inviável. Segundo informações da operadora da usina Tokyo Electric Power Co. (TEPCO) 1 milhão de toneladas de água radioativa estão armazenadas, entretanto, há espaço para reter apenas 1,37 milhão de toneladas, ou seja, projeções remetem para o ápice do armazenamento até o verão de 2022.

Usinas nucleares tem uma tendência à produção de trítio uma vez que os átomos de hidrogênio de moléculas de água são bombardeados por nêutrons criados no processo de fissão. Nessas situações, o uso da água tanto para o resfriamento do núcleo do reator durante a operação normal, quanto para o descomissionamento da usina, produzem grande quantidade de água altamente radioativa. Desse modo, torna-se uma problemática de grande magnitude o fato da usina de Fukushima estar chegando a seu limite máximo de armazenamento do resíduo (água tritiada) e a sua possível liberação ao meio ambiente. O descomissionamento de Fukushima Daiichi é uma atividade contínua de redução de risco para proteger as pessoas e o meio ambiente dos riscos associados a substâncias radioativas por meio da remoção de combustível irradiado, detritos do prédio do reator e da redução dos riscos associados à água contaminada e aos resíduos radioativos (AGENCY FOR NATURAL RESOURCES AND ENERGY, 2019).



Segundo a operadora da usina de Fukushima, TEPCO, com a água tratada, 62 elementos radioativos podem ser removidos a níveis não prejudiciais aos seres humanos, exceto o trítio. Dessa forma, é importante destacar quais as consequências e impasses para a destinação final da água contaminada, uma vez que, segundo a operadora, se torna inviável a construção de mais toneis para a seu armazenamento.

Nesse sentido, convém esclarecer que o presente trabalho faz menção às formas de descarte da água contaminada por trítio e essa temática ganha sustentação na medida em que discute a problemática socioambiental associada aos níveis existentes de trítio que necessitam ser gerenciados para que esse resíduo radioativo possa ser destinado adequadamente. As discussões se respaldam nos vieses do meio ambiente como também da população local e global ao que dita à usina de Fukushima Daiichi, visando um debate acerca das implicações que o trítio tem sobre a saúde pública e o meio ambiente.

### OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo o estudo da melhor forma de descarte da água contaminada com trítio (considerado um resíduo a ser descartado), respeitando os vieses do meio ambiente como também da população local e global ao que dita à usina de Fukushima Daiichi, visando um debate acerca das implicações que o trítio tem sobre a saúde pública e o meio ambiente.

### METODOLOGIA

O trabalho é de caráter descritivo, elaborado através de revisão bibliográfica, com base em consultas feitas em livros e artigos científicos publicados em base de dados como: Scielo, Capes, Elsevier, bem como de revistas e jornais eletrônicos que tratam do assunto.

### RESULTADOS

As análises ora realizadas visam fornecer um panorama das opções de descarte da água tritiada (resíduo radioativo) da usina de Fukushima Daiichi, considerada como um grande problema uma vez que a radiação liberada pode vir a acarretar sérios problemas tanto na saúde pública como no meio ambiente.

#### Produção natural e parâmetros físicos

O trítio é um isótopo formado naturalmente na atmosfera devido à interação de raios cósmicos, desse modo, está intrinsicamente inserida na biota global que evoluiu ao longo da história para suportar o nível natural de trítio presente no meio ambiente. A radioatividade de várias fontes naturais tanto quanto as produzidas pelo homem está presente em todo o ambiente, fazendo com que a exposição a ela seja inevitável. No entanto, a liberação de trítio de fontes antropogênicas faz com que esse nível natural seja alterado e o efeito causado por esse distúrbio tem potencial nocivo a áreas como a saúde pública e o meio ambiente. Dessa forma, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) (2011) todo mundo recebe uma dose da radiação cósmica, que é influenciada pela latitude, longitude e altura acima do nível do mar.

Ao que dita a dose eficaz, tem-se que quando a radiação interage com os tecidos e órgãos do corpo, a dose de radiação recebida é uma função de fatores como o tipo de radiação, a parte do corpo afetada e a via de exposição. Isso significa que 1 Becquerel (Bq) de radioatividade nem sempre fornecerá a mesma dose de radiação ao corpo exposto. Segundo informações da OMS (2011), a unidade chamada “dose efetiva” foi desenvolvida para levar em conta as diferenças entre os distintos tipos de radiação, para que seus impactos biológicos possam ser comparados diretamente. Ainda segundo a OMS (2011) a dose efetiva é expressa pelo sistema internacional (SI) como sieverts (Sv), sendo sievert uma unidade muito grande, utiliza-se o milisieverts (mSv) para expressar a unidade de medida, onde 1000 mSv equivale a 1 Sv.

No que se refere à meia-vida efetiva, os radioisótopos têm uma meia-vida "física" (período de tempo necessário para que metade dos átomos se desintegrem). De acordo com a OMS (2011) as meias-vidas físicas para vários radioisótopos podem variar de alguns microssegundos a bilhões de anos. Quando um radioisótopo está presente em um organismo vivo, ele pode ser excretado, sendo a taxa dessa eliminação influenciada por fatores biológicos chamada de meia-vida "biológica". A meia-vida efetiva é a taxa real de reduzir pela metade a radioatividade em um organismo vivo, conforme



determinado pelas meias-vidas físicas e biológicas. Enquanto para certos radionuclídeos, os processos biológicos são dominantes, para outros, a deterioração física é a influência dominante (OMS, 2011).

O Comitê Científico das Nações Unidas sobre os Efeitos da Radiação Atômica (UNSCEAR) (2008) estimou que a dose anual média global por pessoa de todas as fontes de radiação no ambiente é de aproximadamente 3,0 mSv/ano. Desse modo, 80% (2,4 mSv) são devidos a fontes de radiação naturais, 19,6% (quase 0,6 mSv) devido ao uso de radiação para diagnóstico médico e os 0,4% restantes (cerca de 0,01 mSv) são devidos a outras fontes de radiação resultantes de ações antrópicas. A OMS (2011) descreve que pode haver grande variabilidade na dose recebida por membros individuais da população, estando isso dependente do local onde moram, suas preferências alimentares, opções de estilo de vida, tratamentos médicos e exposições ocupacionais.

### Efeitos na saúde induzidos por radiação através da água potável

A proteção contra radiação baseia-se no pressuposto de que qualquer exposição à radiação envolve algum nível de risco. Para exposições prolongadas, como é o caso da ingestão de água potável contendo radionuclídeos por longos períodos de tempo, evidências de um risco aumentado de câncer em humanos estão disponíveis em doses acima de 100 mSv (BRENNER et al., 2003), sendo que abaixo dessa dose, um risco aumentado não foi identificado por estudos epidemiológicos. Supõe-se que exista uma relação linear entre exposição e risco, sem valor limiar abaixo do qual não haja risco. Segundo a OMS (2011) o critério de dose individual (IDC) de 0,1 mSv/ano representa um nível muito baixo de risco, logo não se espera que dê origem a qualquer efeito adverso detectável à saúde. Nas diretrizes publicadas pela OMS (2011) o IDC de 0,1 mSv /ano é respeitado quando os níveis de atividade alfa bruta e atividade beta bruta são iguais ou inferiores a 0,5 (Bq/L) e 1 (Bq/L), respectivamente para átomos instáveis como chumbo-210, céσιο-134 e iodo-129.

Conforme o Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA) (2003), a atividade bruta de partículas beta é uma medida da quantidade total de radioatividade em uma amostra de água atribuível ao decaimento radioativo dos elementos emissores de decaimento beta. Porém, a atividade beta do trítio não é considerada no valor de atividade beta bruta em análises cotidianas, pois o valor da energia da partícula beta liberada pelo trítio é baixa quando comparada a energia liberada pelas emissões beta de elementos mais nocivos ao ser humano como os já citados chumbo-210, céσιο-134 e iodo-129. O fator de conversão entre atividade do trítio na água potável e a dose recebida pelo indivíduo que a ingere segundo a OMS (2011) é de  $1,8 \times 10^{-11}$  Sv/Bq. Dessa forma, para atender o critério anual de 0,1 mSv o indivíduo deveria ingerir água tritiada com atividade máxima de 10 000 Bq/L.

### Trítio versus saúde pública e meio ambiente

Do ponto de vista da saúde pública é sabido que o trítio é um emissor de partículas beta de baixa energia e não é capaz nem de penetrar a pele, entretanto se ingeridas em grandes quantidades pode causar danos internos. Porém, visto que após a diluição da água armazenada em Fukushima a concentração de trítio estaria dentro dos limites previstos pela legislação, valores estabelecidos com base no tempo de meia-vida física do trítio (aproximadamente 12 anos) e meia-vida biológica (aproximadamente 2 semanas) representariam um risco extremamente baixo a saúde mesmo se ingeridos. Assim sendo, a única possibilidade de o trítio fazer mal a população seria se ingerido em quantidades elevadas, com concentrações maiores do que as registradas na natureza (HOSONO, 2020).

Como sendo um isótopo de hidrogênio, o trítio está intimamente ligado ao ciclo desse elemento no ambiente. Pode ser encontrado em todas as moléculas hidrogenadas e associado tanto à água no tecido quanto ao material orgânico de plantas e animais. Na forma de água tritiada (HTO) esse radionuclídeo é extremamente móvel no ambiente e em todos os sistemas biológicos e, portanto, rapidamente integrado a numerosos ciclos da geosfera e biosfera. Em equilíbrio, não parece acumular-se preferencialmente em um componente ambiental ou biológico específico (CALMON; GARNIER-LAPLACE, 2010).

Além disso, parte do trítio liberado no ambiente será naturalmente incorporada em nutrientes como carboidratos, gorduras ou proteínas, chamado de trítio ligado organicamente (OBT). O OBT pode entrar no corpo diretamente ao comer alimentos tritiados, representando um risco ligeiramente maior para a saúde porque, como material orgânico, o corpo o retém por mais tempo que a água tritiada. Isso significa que há uma probabilidade maior de que o átomo de trítio decaia enquanto estiver no corpo e possivelmente cause danos. De um modo geral, o OBT está em concentrações muito menores no corpo do que a água tritiada (CANADIAN NUCLEAR SAFETY COMMISSION- CNSC, 2012).

As moléculas de trítio podem entrar no corpo de indivíduos que respirarem ar contendo trítio ou ingerirem água e alimentos tritiados, sendo que a água tritiada pode ser absorvida pela pele como água normal. A maioria do trítio deixa



o corpo como água tritiada na urina, umidade da respiração e transpiração, sendo que a maioria dos gases hidrogênio tritiados inalados são exalados imediatamente (CNSC, 2012).

O consenso científico é que o trítio apresenta um risco muito menor do que os radionuclídeos, como o céσιο, o iodo ou o estrôncio. Isso se reflete nos limites permitidos na água potável, geralmente dezenas ou centenas de vezes mais altos para o trítio do que para esses outros, variando de 100 Bq/L na União Europeia, 740 Bq/L nos EUA, 7000 Bq/L no Canadá, 30.000 Bq/L na Finlândia e 76.103 Bq/L na Austrália. Na maioria dos casos, os limites admissíveis em alimentos não foram estabelecidos e embora esses limites reflitam um consenso científico geral de que o trítio apresenta um risco muito baixo, a ampla gama de valores oficiais sugere incerteza científica sobre como ele realmente afeta o corpo humano (STANDARDS AND GUIDELINES FOR TRITIUM IN DRINKING WATER, 2008).

### **Estudo de Caso: descarga de trítio da usina de La Hague na França – planta de reprocessamento**

Funcionando desde 1976, a planta de reprocessamento de combustível nuclear em La Hague foi criada para beneficiar o urânio e o plutônio existente em combustíveis usados nas usinas nucleares francesas. A usina já tratou também combustíveis usados de outros países como Alemanha, Holanda e Japão. Sua capacidade anual é de 1700 toneladas de material pesado. Segundo Wang (2017) todos os materiais que compõem o combustível (94% a 96% da massa) podem ser reciclados usando o processo atual de La Hague, sendo que para o plutônio e o urânio essa porcentagem é de 99,5%.

Seu processo de beneficiamento ocasiona liberações de radiação pelo mar, com dose média anual de 19 mSv (MEGGITT, 2008). Segundo Faierlay (2007), o vice-diretor da planta de processamento Eric Blanc afirma que, embora a planta libere intencionalmente material radioativo, a dose anual nas proximidades da instalação equivale à dose de radiação cósmica recebida durante um único voo transatlântico e, portanto, dentro da regulamentação. Em 2015, a planta de reprocessamento descarregou 13,7 PBq de água de trítio no mar, o equivalente a 12 vezes a atividade da água tritiada armazenada em Fukushima (HOSONO, 2020).

### **Estudo de caso: Three Mile Island**

Após o acidente em 1979 nos EUA, o descomissionamento da usina nuclear de TMI (Three Mile Island) Unidade 2 enfrentou o mesmo problema de armazenamento em relação a grande quantidade de água tritiada, vinda tanto diretamente do acidente quanto de atividades de descontaminação e descomissionamento da usina. Naquela situação o governo americano avaliou algumas possibilidades de descarte dessa água, entre elas estavam: evaporação direta do tanque de armazenamento, destilação e solidificação do destilado, armazenamento, destilação seguida de ciclo aberto de evaporação, injeção profunda no solo em TMI, reuso, tratamento combinado de troca catalítica, evaporação em torre de resfriamento e posterior disposição do concentrado no rio Susquehanna, descarga a longo prazo no rio Susquehanna, etc.

Após a avaliação de todas as alternativas concluiu-se que em nenhuma das formas de descarte da água tritiada a população receberia mais do que 10 mSv. De acordo com Miller et al. (1994) o impacto mais significativo identificado foi o risco com danos físicos associados ao transporte do material para fora do sítio da usina. Após o estudo as autoridades optaram pela evaporação por aquecimento forçado, que descartou gradualmente, durante aproximadamente dois anos (1990 a 1993), um total de 2.3 milhões de galões (8700 m<sup>3</sup>) de água tritiada para a atmosfera, totalizando uma atividade de 37 TBq (MILLER, et al., 1994). Essa opção foi favorável, pois o design do sistema não era complexo e a tecnologia para realizá-la era conhecida, podendo o sistema ser projetado, adquirido, instalado e operado sem a necessidade de especialistas externos.

### **Opções para descarte da água tritiada para usina de Fukushima Daiichi**

Tendo em vista a problemática associada ao armazenamento e descarte da água tritiada, estudos vem sendo realizados desde o desastre em 2011, em busca de encontrar a melhor forma para o manejo deste resíduo radioativo, haja vista que a opção de armazenamento não poderá ser viável e seu ápice está projetado para 2022.

O trabalho de evitar a infiltração na usina vem sendo feito constantemente e já reduziu a produção diária de trítio drasticamente, porém o armazenamento desse material se tornará insustentável em curto espaço de tempo, visto os altos custos para construção de tanques de alta confiabilidade e outros aspectos como espaço no sítio de Fukushima e segurança dos trabalhadores da usina que tem um risco de exposição maior visto a possibilidade de vazamento da água tritiada.



Uma equipe de cientistas do Japão foi formada para estudar as melhores maneiras de descarte da água tritiada produzida nos reatores 1 a 4 em Fukushima. Foram determinados como parâmetros avaliados, a viabilidade técnica e a viabilidade regulatória, estabelecidas como requisitos básicos que englobam a duração necessária para o tratamento, os custos, a escala, os resíduos secundários, a exposição à radiação dos trabalhadores e outras condições estabelecidas como categorias potencialmente restritivas e que devem ser analisadas para a tomada de decisão. Conforme METI (2016) tem-se tomado como base os exemplos de outros países e similares, nesse sentido, foram estabelecidos cenários e realizadas avaliações técnicas com base em condições de tratamento padronizadas para comparar, lado a lado, cinco métodos: injeção na geosfera, liberação offshore (no mar), liberação de vapor, liberação de hidrogênio e enterro subterrâneo.

A liberação por hidrogênio foi descartada, pois o processo de separação isotópica a escala industrial ainda não foi desenvolvida até o momento. Já a injeção na geosfera consistiria na deposição da água em alguma formação geológica apropriada que garantisse que o fluxo na água demorasse mais tempo para retornar a superfície do que o tempo para desintegrar o trítio a níveis seguros. Essa opção, além de custosa quando comparada a outras dependeria de estudos do sítio de Fukushima para encontrar uma formação geológica adequada, estudo que poderia demandar mais do que o tempo restante para o esgotamento dos tanques de armazenamento.

A evaporação para a atmosfera possui precedentes em TMI, localizada nos Estados Unidos, e está entre as opções mais reais de descarte, uma vez que após estudos as autoridades optaram por essa técnica para descarte gradual durante dois anos da água tritiada da usina nuclear de TMI Unidade 2. Porém existem duas grandes diferenças entre o descarte da água tritiada proveniente do acidente de TMI e Fukushima. Primeiramente a usina de TMI era resfriada por um rio, ou seja, estava localizada dentro do continente, implicando no fato de que para realizar-se o descarte no mar a água tritiada de TMI deveria ser transportada por dezenas de quilômetros até chegar ao litoral dos EUA, tendo como agravantes o custo do transporte, exposição dos trabalhadores, risco de acidente e contaminação do solo por água tritiada concentrada, além do tempo de execução do trabalho.

Já para Fukushima todos esses aspectos negativos com respeito ao transporte deixam de existir uma vez que a usina já se encontra na costa. O segundo ponto pelo qual a evaporação forçada não é tão atrativa em Fukushima quanto foi em TMI é a diferença na quantidade de água estocada, que nos EUA foi de 8700 m<sup>3</sup> e no Japão é de aproximadamente 1.14 milhões de m<sup>3</sup>, fazendo assim com que aspectos como tempo de operação, custo e exposição de trabalhadores seja duas ordens de grandeza maiores.

Dessa forma a implementação, operação e manutenção de um evaporador de larga escala elevaria muito os custos para a usina de Fukushima Daiichi, quando comparado aos custos da liberação offshore, que consiste somente na sua diluição e descarte no mar. Nesse sentido, o Japão planeja diluir a água tritiada para atender as legislações vigentes, quanto ao impacto ambiental e as doses de radiação, para então descartá-la no mar (HOSONO, 2020). O volume estimado de água tritiada a ser tratada é de 1.14 milhões de m<sup>3</sup>, com atividade radioativa variando de 0.5 a 4.2 MBq/L em junho de 2019 (METI, 2019). A água estocada terá uma atividade de 0.86 PBq até 2022 e segundo Hosono (2020) nenhuma decisão foi tomada sobre qual vazão será liberada por dia, mas as estimativas técnicas e de custo foram baseadas em 400 metros cúbicos (toneladas) por dia, aproximadamente.

A usina de reprocessamento e material radiativo de La Hague despeja no mar uma quantidade maior de trítio todos os anos quando comparada a toda a atividade da água tritiada de Fukushima. Por exemplo, em 2015 a planta de reprocessamento descarregou 13,7 PBq de água de trítio no mar, o equivalente a 12 vezes a atividade da água tritiada armazenada em Fukushima (HOSONO, 2020). Dessa forma, tanto os órgãos responsáveis japoneses quanto a agência internacional de energia atômica (AIEA) defendem a ideia de descarte de água tritiada no mar.

Embora a liberação de Daiichi seja muitas vezes menor do que a que está ocorrendo em La Hague, é compreensível que as pessoas se preocupem com os riscos. O consenso científico é que o trítio apresenta um risco muito menor do que os radionuclídeos, como o césio, o iodo ou o estrôncio. Isso se reflete nos limites permitidos na água potável, geralmente dezenas ou centenas de vezes mais altos para o trítio do que para esses outros. Na maioria dos casos, os limites admissíveis em alimentos não foram estabelecidos e a ampla gama de valores oficiais sugere incerteza científica sobre como o trítio realmente afeta o corpo humano.

## CONCLUSÕES

O presente trabalho destaca, a partir das análises realizadas, o destino final de um resíduo que muito preocupa as autoridades e a população de Fukushima como também do mundo. O descarte da água contaminada no meio ambiente irá contar com uma forte oposição, principalmente de trabalhadores da indústria pesqueira e residentes locais. Dessa



forma deve ser analisada a melhor forma de descarte desse resíduo radioativo, uma vez que essa ação impactará negativamente para aquela região tanto na esfera social, como na ambiental.

Apesar de todos os estudos realizados, ainda não se sabe ao certo qual o verdadeiro destino que dar-se-á ao resíduo (água tritiada) da usina de Fukushima, intrigando muito a população regional que teme um potencial descarte que venha afetar a qualidade de vida das pessoas não só ao entorno da usina, mas que indiretamente possa vir a ocasionar problemas para milhares de pessoas que possam entrar em contato com esse resíduo. Dessa forma, a pesquisa deve estar a frente de qualquer decisão tomada, para que se possa fazer o descartar desse resíduo da melhor forma possível, pensando não apenas nos valores econômicos, mas também garantido segurança pública e ambiental para o entorno da usina.

O volume de água tritiada armazenado em Fukushima é centenas de vezes maior do que o volume de água tritiada evaporada em TMI, pois água contaminada continua sendo produzida devido a infiltrações da usina que ainda não foram concertadas. O descarte da água pode ser feito dentro das leis internacionais previstas se a água for diluída e lentamente descartada no oceano. Essa decisão estaria alinhada com as práticas exercidas na planta de reprocessamento de rejeitos nucleares de La Hague na França que descartou apenas no ano de 2015 água tritiada com uma atividade radioativa de trítio 10 vezes maior que toda a água estocada em Fukushima.

Nesse sentido, as questões de ordem tecnológica, institucional, econômica, ambiental e saúde pública devem ser amplamente discutidas e reforçadas pelas autoridades locais e a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) visando os estudos científicos e a posição de descarte controlado no mar, uma vez que essa ideia vai contra a opinião publica local devido a riscos a saúde, economia, visibilidade publica da região, etc. Dessa forma, buscar o consenso entre autoridades e a população é um caminho importante a fim de elucidar toda a base de conhecimento que se tem do trítio. No momento a única certeza a respeito de Daiichi é que a capacidade de armazenamento está se esgotando e com isso torna-se um desafio melhorar os processos tecnológicos na busca por um destino correto, viável e sustentável dos resíduos gerados na usina de Fukushima Daiichi e estender este processo as demais usinas que enfrentarem a mesma problemática.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGENCY FOR NATURAL RESOURCES AND ENERGY. **Current Status of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station**. METI. Efforts for Decommissioning and Contaminated Water Management. 2019. Disponível em: <[https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/20190814\\_current\\_status.pdf](https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/20190814_current_status.pdf)>. Acesso em: 21 abr, 2020.
2. AGENCY FOR NATURAL RESOURCES AND ENERGY. **Tritiated Water Task Force Report**. Tritiated Water Task Force. METI. 2016. Disponível em: <[https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/20160915\\_01a.pdf](https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/20160915_01a.pdf)>. Acesso em: 21 abr, 2020.
3. BRENNER, D. et al. **Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: Assessing what we really know**. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2003. 100(24):13761–13766.
4. CALMON, P.; GARNIER-LAPLACE, J. Tritium and the environment: **Radionuclide fact sheet**. 2010. Disponível em: <<https://www.irsn.fr/EN/Research/publications-documentation/radionuclides-sheets/environment/Pages/Tritium-environment.aspx>>. Acesso em: 21 abr, 2020.
5. CANADIAN NUCLEAR SAFETY COMMISSION. **Tritium**. 2012. CNSC. Disponível em: <[https://nuclearsafety.gc.ca/eng/pdfs/Fact\\_Sheets/January-2013-Fact-Sheet-Tritium\\_e.pdf](https://nuclearsafety.gc.ca/eng/pdfs/Fact_Sheets/January-2013-Fact-Sheet-Tritium_e.pdf)>. Acesso em: 21 abr, 2020.
6. COMITÊ CIENTÍFICO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE OS EFEITOS DA RADIAÇÃO ATÔMICA. **Relatório UNSCEAR 2008**. UNSCEAR. 2008. Vol, 1. Disponível em: <[https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2008\\_1.html](https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2008_1.html)>. Acesso em: 04 mai, 2020.
7. FAIRLEY, P. **IEEE Spectrum: Nuclear Wasteland**. 26 ago, 2007. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20070216161554/http://spectrum.ieee.org/print/4891>>. Acesso em: 21 abr, 2020.



8. HOSONO, G. It's time to release treated Fukushima water just like other coastal nuclear plants do. **The Japantimes News**. 2020. Disponível em: < <https://www.japantimes.co.jp/news/2020/02/25/national/social-issues/fukushima-radioactive-water-release/#.Xou6LepKjIU>>. Acesso em: 21 abr, 2020.
9. MEGGITT, G. **Taming the Rays**. 2008. Disponível em: < <http://www.pitchpole.co.uk/TTR3-Frontpagespdf.pdf>>. Acesso em: 09 jul, 2020.
10. MILLER, K. L., et al. **Radiologic History Exhibit: The Nuclear Reactor Accident at Three Mile Island**. n.1, v.14, p.215-224. 1994. Disponível em: <<https://pubs.rsna.org/doi/pdf/10.1148/radiographics.14.1.8128063>>. Acesso em: 20 abr, 2020.
11. STANDARDS AND GUIDELINES FOR TRITIUM IN DRINKING WATER. **Part of the Tritium Studies Project**. INFO-0766. Canadá, 2008. Disponível em: <<https://www.nrc.gov/docs/ML1029/ML102990104.pdf>>. Acesso em: 21 abr, 2020.
12. OFFICE OF ENVIRONMENTAL HEALTH HAZARD ASSESSMENT. **Health-Protective Considerations Regarding Measurement of Gross Beta Particle and Photon Activity in Drinking Water**. OEHHA. California, 2003. Disponível em: < <https://oehha.ca.gov/media/downloads/water/chemicals/phg/grossbetahealth.pdf>>. Acesso em: 04 mai, 2020.
13. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Diretrizes para Qualidade da água potável**. Genebra, Suíça. OMS, 2011. Disponível em: < [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44584/9789241548151\\_eng.pdf;jsessionid=EBA7B9322DE7879E54BBFBCD1F798A9C?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44584/9789241548151_eng.pdf;jsessionid=EBA7B9322DE7879E54BBFBCD1F798A9C?sequence=1)>. Acesso em: 09 jul, 2020.
14. TOKYO ELECTRIC POWER CO. **Organization for the Decommissioning Project Including Related Agencies**. (TEPCO) 2011. Disponível em: < <https://www.tepcoco.jp/en/hd/decommission/project/index-e.html>>. Acesso em: 07 jul, 2020.
15. WANG, P. **La Hague Nuclear Recycling and Reprocessing Plant**, 2017. Disponível em: <<http://large.stanford.edu/courses/2017/ph241/wang2/>>. Acesso em: 09 jul, 2020.