

ACIDENTE NUCLEAR DE CHERNOBYL: OS EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO

Ivysson Humberto Santos de Lima¹

Gabriela Tereza Pinheiro Melo²

Paula Frassinetti Pereira Carneiro³

Marcos Ely Almeida Andrade⁴

Radiologia



**cadernos de
graduação**

ciências biológicas e da saúde

ISSN IMPRESSO 1980-1769

ISSN ELETRÔNICO 2316-3151

RESUMO

A radiação em excesso, como em um acidente nuclear, pode causar sérios danos aos seres humanos e ao ambiente. Traz consequências maléficas à saúde das pessoas envolvidas com o ocorrido, e posteriormente àquelas que estão em meio ao convívio destes. No acidente nuclear de Chernobyl, por exemplo, diversos funcionários e trabalhadores de emergência receberam altas doses de radiação, que resultou em efeitos nocivos e fatais em alguns casos. O presente estudo procura realizar um estudo avaliativo sobre os efeitos biológicos da radiação causados pelo acidente nuclear ocorrido em Chernobyl. O conteúdo exposto consiste principalmente em reunir informações que permitam o aprendizado eficiente do leitor quanto aos efeitos biológicos da radiação com base no acidente nuclear de Chernobyl. A partir do estudo, identificou-se informações úteis acerca dos motivos que levaram a causa do acidente em Chernobyl e, posteriormente, os efeitos causados nas pessoas e animais. Entretanto, o uso da energia nuclear proporciona benefícios à sociedade como, a produção de energia elétrica e o aumento da empregabilidade.

PALAVRAS-CHAVE

Acidente Nuclear de Chernobyl. Centrais Nucleares. Efeitos da Radiação.

ABSTRACT

Excessive radiation, as in a nuclear accident, can cause serious harm to humans and the environment. It brings harmful consequences to the health of the people involved with the event, and later to those who are in the midst of their coexistence. In the Chernobyl nuclear accident, for example, several emergency workers and workers received high doses of radiation, which resulted in harmful and fatal effects in some cases. This study aims to conduct an evaluative study on the biological effects of radiation caused by the nuclear accident in Chernobyl. The content exposed consists mainly of gathering information that allows the reader to learn efficiently about the biological effects of radiation based on the Chernobyl nuclear accident. From the study, useful information was identified about the reasons that led to the cause of the accident in Chernobyl and, subsequently, the effects on people and animals. However, the use of nuclear energy provides benefits to society such as the production of electricity and increased employability.

KEYWORDS

Chernobyl Nuclear Accident. Nuclear Power Plants. Radiation Effects.

1 INTRODUÇÃO

Os desastres ocorridos em usinas nucleares são geralmente provocados por falha humana, mas um ponto de risco é a ação direta de eventos causados pela natureza. As usinas enfrentam ainda grande dificuldade em solucionar o problema do armazenamento dos resíduos radioativos, afinal não se sabe precisar o tempo que eles continuarão emitindo radiação e por quanto tempo irão necessitar de contenção (ANEEL, 2008; ALVES *et al.*, 2016).

Esta radiação é liberada pelos átomos na forma de ondas eletromagnéticas ou partículas. A desintegração espontânea dos átomos é chamada de radioatividade, e o excesso de energia emitida é uma forma de radiação ionizante. As pessoas estão expostas a fontes artificiais e naturais, diariamente. A radiação natural vem de muitas fontes, que podem ser encontradas no solo, na água e no ar (WHO, 2018).

A radiação em excesso, como em um acidente nuclear, pode causar sérios danos aos seres humanos e ao ambiente. Traz consequências maléficas à saúde das pessoas envolvidas com o ocorrido e posteriormente àquelas que estão em meio ao convívio destes. Em Chernobyl, por exemplo, diversos funcionários e trabalhadores de emergência receberam altas doses de radiação, que resultou em efeitos nocivos, e para alguns destes as doses elevadas de radiação foram fatais e para outros resultou em diversos tipos de cânceres (DINIZ; VIEIRA, 2014).

Um derramamento nuclear provoca graves danos ao meio ambiente, tais como contaminação da água, do solo, do ar e de alimentos, morte de diversas espécies e outros prejuízos à biodiversidade. Um desastre nuclear prejudica tanto aqueles que

já vivem no ambiente contaminado quanto aqueles que ainda nascerão, principalmente considerando que os efeitos da radiação no corpo humano ainda são pouco conhecidos (MARTUSCELLI, 2016).

O conteúdo exposto tem como objetivo realizar um estudo avaliativo sobre os efeitos biológicos da radiação causados pelo acidente nuclear ocorrido em Chernobyl.

2 METODOLOGIA

Esta pesquisa consiste na reunião de informações por meio de revisão bibliográfica, os artigos utilizados para a construção do estudo foram obtidos nas plataformas SciELO e Google Acadêmico durante o mês de setembro de 2018.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 PRODUÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR

O núcleo de um átomo é formado por partículas de carga positiva, prótons e partículas sem carga, nêutrons. A força que liga estas partículas é chamada de energia nuclear (CARDOSO, 2012). Esta força nuclear é mais fraca em átomos massivos, ou seja, com grande quantidade de partículas, como o urânio, que possui 92 prótons. A fissão nuclear (quebra de átomos) pode ser obtida por meio do disparo de nêutrons, a colisão das estruturas causa a separação do núcleo em dois, sendo que também dois ou três nêutrons são dissipados durante o evento, estes colidem com outros átomos de urânio, criando a reação em cadeia. No fim, somando-se a quantidade da massa restante é visto que o valor é menor que o inicial, isso porque no processo da reação em cadeia ocorreu a conversão de uma pequena quantidade da massa inicial em energia (CARDOSO, 2012; SILVESTRE *et al.*, 2007).

3.2 BENEFÍCIOS DAS USINAS NUCLEARES

As usinas nucleares têm participação importante na produção de energia elétrica para o consumo populacional. Diferentemente da queima de combustíveis fósseis, o processo de fissão nuclear não gera gás carbônico, que é um dos principais causadores do efeito estufa. Todo resíduo produzido em uma usina nuclear permanece nela até que este decaia o suficiente a ponto de receber um descarte correto, logo a energia nuclear é uma fonte limpa e segura.

Existe uma abundante reserva de urânio (fonte primária para a produção da energia nuclear) no planeta e, embora esta quantidade seja o suficiente para a produção sustentável de energia durante séculos, a extração desse elemento não é a única forma de se obter tal combustível, existem também as fontes secundárias como, estoques civis e militares, reprocessamento do urânio já utilizado, entre outros (ANEEL, 2008).

3.3 O DESASTRE DE CHERNOBYL

A usina de Chernobyl fica ao lado da cidade de Pripyat, em território da União Soviética, onde hoje fica a Ucrânia. Pripyat foi construída para que os trabalhadores da usina de Chernobyl morassem com suas famílias, com capacidade para 50.000 pessoas, mas hoje pertence à zona de exclusão que rodeia a usina nuclear de Chernobyl (DUPUY, 2007).

A usina possuía quatro reatores, construídos entre 1977 e 1983. Quando aconteceu o desastre estavam sendo construídos ainda os reatores 5 e 6, que nunca chegaram a ser terminados. A usina era um símbolo de progresso da União Soviética, mas acabou se tornando um símbolo de tragédia.

No dia 25 de abril de 1986 o reator 4 seria desligado para manutenção, o desligamento seria útil para a realização de testes que indicariam se o gerador do reator teria capacidade para gerar energia o suficiente para que as bombas de água continuassem funcionando em caso de perda do suprimento externo de energia. A potência de saída do reator 4 foi diminuída ao extremo perto do mínimo de energia recomendado por segurança (OLIVEIRA, 1986; SOUZA *et al.*, 2014).

As barras de controle foram puxadas para o exterior do reator, foram retiradas 204 das 211 barras de controle. Na madrugada do dia 26 de abril de 1986 as bombas alimentadas pelo gerador foram ligadas e o fluxo de água foi maior do que o regulamento de segurança permitia, a instabilidade não refletia nos painéis de controle do reator, então os operadores não tinham noção do perigo. O teste começou e a energia para as bombas de água foi cortada, o fluxo de água diminuiu e a turbina foi desconectada, aumentando o nível de vapor em seu núcleo, logo a potência do mesmo aumentou muito (CASTILHO; SUGUIMOTO, 2014).

As fissões aumentaram, a temperatura do núcleo do reator se elevou e com isso ocorreu a deformidade do mesmo. O chefe da equipe, Anatoly Kurguza, ordenou então o encaixe das barras de controle, as quais, apesar de serem constituídas de boro, possuíam grafite na ponta e ao penetrarem no núcleo, a potência subiu de 7% para 50% em apenas 3 segundos. As barras começaram a derreter e a pressão do vapor a subir, o que gerou uma explosão de vapor, que destruiu a cobertura do reator e abriu um buraco no teto da usina.

O oxigênio do ambiente entrou no reator e interagiu com os elementos nele presentes, intensificando o incêndio, que durou 10 dias e ajudou a espalhar o material radioativo (ao todo 500 toneladas de combustível, 700 toneladas de grafite e gases radioativos), contaminando assim as áreas vizinhas (SOUZA *et al.*, 2014).

3.4 DECAIMENTO RADIOATIVO

No decaimento radioativo existe uma alteração no núcleo de um determinado átomo (variações do número de prótons e nêutrons), fazendo com que este se transforme em um novo elemento radioativo com comportamento químico diferente. Essas transformações ocorrem até o mesmo se tornar estável (não ra-

diativo), como por exemplo o Urânio-238, que ao sofrer essa desintegração, se transforma em Chumbo-206.

Cada isótopo tem um tempo de meia-vida particular, após o qual restam metade dos núcleos instáveis iniciais. O tempo de meia-vida do cézio-137 é de trinta anos, sendo assim a cada desintegração deste radioisótopo, é produzido um novo elemento até ele se tornar estável, quanto menor o tempo de meia-vida, mais rápido é a diminuição da quantidade de átomos radioativos presentes (CARDOSO, 2012; OKUNO, 2013).

3.5 CRIAÇÃO DAS PRINCIPAIS CONVENÇÕES INTERNACIONAIS

Para o uso seguro da energia nuclear, faz-se necessário seguir normas internacionais que uniformizam a manipulação da mesma. O uso da energia nuclear apenas é permitido para fins pacíficos, ou seja, produção de energia elétrica. A sociedade internacional procura garantir, por meio de fiscalização, tais fins e as suas condições de segurança. Nos últimos sessenta anos, a cooperação internacional na área da energia nuclear tem elaborado normas e regras de caráter consultivo, o que inclui a aceitação e aplicação destas pelos países, incluindo o Brasil (BOTELHO; WINTER, 2014).

A Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), criada em 29 de julho de 1957, tem implementado normas para a proteção e segurança da saúde da população, reduzindo assim os riscos da energia nuclear. No usufruto de sua função, a AIEA tem como apoio o trabalho mútuo países associados, entidades científicas e técnicos internacionais, como a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (CIPR), o Comitê das Nações Unidas Atômicas (UNSCEAR), a Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Organização Internacional do Trabalho (OIT) (BOYLE, 1989; BLIX, 1989).

As Normas de Segurança Nuclear (NUSS) abrangem cinco áreas: Organização de governos para a regulamentação de atividades de centrais nucleares; Segurança na exploração energética por centrais nucleares; Segurança na estruturação de centrais nucleares; Segurança da seleção do local geográfico de centrais nucleares e Garantia da qualidade para a segurança de centrais nucleares (BOTELHO; WINTER, 2014).

3.5.1 Convenção Internacional sobre a Segurança Nuclear

A Convenção Internacional sobre a Segurança Nuclear foi assinada durante a Conferência Geral da AIEA do ano de 1994. Esta estabelece que os países envolvidos mantenham a segurança de suas centrais nucleares, isto inclui a manipulação e o tratamento de materiais radioativos e a manutenção das instalações de armazenamento de radionuclídeos (BOTELHO; WINTER, 2014).

3.5.2 Avisos e Providências em Casos e Emergências Nucleares

Após o acidente nuclear de Tree Mile Island nos Estados Unidos, a sociedade internacional relatou a necessidade de se criar normas para garantir a notificação e assistência mútua no caso de acidentes nucleares. A partir disso foram estabelecidas

duas convenções, a Convenção sobre a Rápida Notificação de Acidentes Nucleares e a Convenção sobre Assistência em caso de Acidente Nuclear ou Emergência Radiológica, igualmente formuladas no âmbito da AIEA e reforçadas com o acidente de Chernobyl (PELTZER, 1987).

Ambas as convenções mencionadas entraram em vigor, respectivamente, nos anos de 1986 e 1987. As convenções internacionais, quando validadas pelos membros da organização internacional, passam a ter um segmento obrigatório, principalmente quando se fala em direitos humanos e meio ambiente sustentável (BOTELHO; WINTER, 2014).

3.5.3 A Responsabilidade Civil por Danos Nucleares

A Comissão Permanente de Responsabilidade por Danos Nucleares foi criada no ano de 1990 pela AIEA, incluindo-se a responsabilidade civil internacional dos envolvidos. A função desta comissão se direcionou mais na reformulação da Convenção de Viena, principalmente, no campo de responsabilidade civil, garantia da justa indenização e do uso pacífico da energia nuclear para o desenvolvimento da humanidade (BOTELHO; WINTER, 2014).

3.6 EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO

O corpo humano possui cerca de setenta trilhões de células, dentro do núcleo das mesmas está o DNA. A radiação interage com as células de forma que ao atravessá-las, pode desprender elétrons e causar uma desestabilização temporária ou permanente. Existem duas formas de interação da radiação com o organismo humanos ionização direta ou indireta. No mecanismo direto, a radiação interage diretamente com as células de DNA, quebrando suas ligações químicas; já no mecanismo indireto, a radiação quebra moléculas de H_2O , o que acarreta a formação de radicais livres, que, por sua vez, podem ionizar outras moléculas importantes.

Este mecanismo é importante, uma vez que nosso corpo é composto por mais de 70% de água. A interação da radiação pode ser dividida em três estágios, são eles: físico, quando ocorre a ionização (desprendimento dos elétrons do átomo); químico, quando ocorrem as quebras das ligações químicas das moléculas; biológico, quando surgem danos bioquímicos e fisiológicos, como alterações morfológicas e funcionais de órgãos, que podem durar dias, semanas ou até anos. Os efeitos biológicos podem ser de dois tipos: reações teciduais (efeitos determinísticos) e efeitos estocásticos (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

3.6.1 Reações Teciduais (Efeitos Determinísticos)

As reações dos tecidos às radiações são provenientes da absorção de altas doses de radiação e somente surgem acima de um certo nível de exposição (limiar de dose). A morte das células é um dos principais efeitos, quando uma grande quantidade de células de um órgão é morta, o funcionamento do mesmo é comprometido, fazendo com que este tenha seu funcionamento prejudicado. Nesta variável, quanto maior a dose absorvida, mais grave é o dano sofrido.

Este efeito pode ser a curto ou longo prazo, como exemplos destas reações teciduais, têm-se: queimaduras, que pode ser desde uma leve vermelhidão até o desenvolvimento de bolhas; opacificação do cristalino (catarata); problemas no sangue, infertilidade, entre outros. Uma pessoa pode ainda desenvolver a síndrome aguda da radiação, que ocorre quando o indivíduo é exposto a doses extremamente altas de radiação (superiores a 10 Gy), causando danos no sistema cardiovascular e nervoso, levando à morte em poucos dias (OKUNO, 2013).

3.6.2 Efeitos Estocásticos

Os efeitos estocásticos são o resultado da absorção de baixas doses de radiação ao longo da vida de um determinado indivíduo, se manifestam meses ou anos após a exposição, comumente os indivíduos afetados são aqueles que recebem estas doses com mais frequência, como os Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE). O carcinoma e a mutação são os efeitos mais comuns desta variável, ou seja, pode ocorrer uma alteração aleatória no DNA de uma única célula, que por sua vez continua a replicar-se.

As células que sofreram essa modificação podem dar início a uma transformação maligna e conduzir ao desenvolvimento de um clone maligno. Embora não existam evidências científicas, é comum ver literaturas informando que quando o dano ocorre numa célula de reprodução, espermatozoide ou óvulo, podem ocorrer efeitos hereditários, provocados pela radiação (VELUDO, 2011).

3.7 A NATUREZA RADIOATIVA DE CHERNOBYL

Diversos danos foram causados à vida selvagem nas redondezas da usina nuclear de Chernobyl, após o acidente com o reator 4. Diferentemente de humanos, animais não necessitam de passe para entrar na zona de exclusão, entretanto era de se esperar que estes não fossem encontrados em grande quantidade, pois imaginava-se que os efeitos negativos da radiação seriam suficientes para afastá-los. É até aceitável um animal passar uma ou duas horas nessa região, o problema sério é se este ficar tempo demais, pois o tempo de exposição é diretamente proporcional à dose absorvida e, conseqüentemente, às reações teciduais (WENDLE, 2016).

Espécies que vivem em territórios menores, como cães, guaxinins e raposas, deveriam ser bem raras na zona de exclusão, já que eles não espreitam grandes porções de terreno como lobos fazem, então há uma chance bem maior desses indivíduos fotografados lá nem sequer saírem da área, porém segundo os dados de um determinado estudo, não ocorre exatamente dessa maneira.

Tanto os animais que vivem em grande território, quanto os que vivem em pequeno, foram detectados com frequência e até por câmeras situadas a menos de 500 metros dos pontos com maior contaminação radioativa. Foi constatado que não só há presença de mamíferos de médio e grande porte em regiões radioativas próximas à usina nuclear de Chernobyl, mas que também existe algum fator que está, na verdade, favorecendo esta ocupação. Suspeita-se que a ausência de humanos no local pode ser este fator estimulante (WEBSTER *et al.*, 2016).

3.7.1 Mutações em Animais

Organismos individuais sofrem danos por meio da radiação de diversas maneiras. Em Chernobyl, além dos humanos, plantas, animais e microrganismos sofreram e ainda sofrem efeitos provenientes da radioatividade presente da região, as áreas com muita radiação tendem a terem uma redução da biodiversidade devido aos malefícios causados pela radioatividade local. A baixa população de aves e mamíferos presentes em Chernobyl possuem cataratas no olhos e cérebros menores, assim como os sobreviventes das bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki, consequências diretas da exposição à radiação presente nos alimentos, na água e no ar.

Do mesmo modo como pacientes com câncer que fazem radioterapia, muitas aves apresentam células de reprodução má formadas, na maioria das áreas radioativas, até 40% destes indivíduos machos encontram-se completamente estéreis. Tumores são identificados em algumas aves, bom como anomalias no desenvolvimento de plantas e insetos (MOUSSEAU, 2016).

3.8 A IMPORTÂNCIA DA PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

Diferentemente da luz ou do calor, as radiações ionizantes não são naturalmente perceptíveis pelos órgãos de sentido do ser humano, talvez por esse motivo, até o final do século XIX, a humanidade não tivesse conhecimento sobre o poder de dano das radiações ou nem sequer sobre a existência da mesma, até que em 1895, Wilhelm Conrad Roentgen descobriu os raios-x.

Um ano após, em 1896, foi instalada a primeira unidade de radiografia diagnóstica nos Estados Unidos, mas somente em 1975 a regularização da profissão de técnico em radiologia foi aprovada. No dia 29 de outubro de 1985, a Lei 7.394, que regulamenta a profissão, foi sancionada no Brasil (SILVA *et al.*, 2013).

Toda e qualquer exposição desnecessária à radiação ionizante pode causar algum dano à saúde humana e este risco é diretamente proporcional a exposição, ou seja, quanto mais exposto mais risco de dano. A finalidade da radioproteção é, justamente, proteger tanto os seres humanos quanto o próprio meio ambiente, de possíveis exposições desnecessárias causadas pelas radiações ionizantes. A proteção radiológica é um conhecimento fundamental e indispensável para o profissional da área, pois é ela que diz respeito às normas de limites de exposição.

De acordo com o índice de periculosidade apresentado pela exposição de raios ionizantes, emerge a necessidade de proteção, estabelecendo-se três princípios básicos: justificção: tem como objetivo a atenuação da exposição, portanto cabe a justificativa que garanta a efetividade na prevenção de doenças e qualquer risco à saúde do indivíduo; limitação de dose: se aplica ao público em geral e ao IOE, mas não a pacientes, para este princípio utilizam-se cálculos de doses anuais, considerando as grandezas das doses efetivas e equivalentes; e otimização: as exposições à radiação ionizante devem ser mantidas “tão baixas quanto razoavelmente exequível” (princi-

pio ALARA - As Low As Reasonably Achievable), levando-se em consideração fatores econômicos e sociais (SILVA *et al.*, 2013; CNEN, 2014).

Ao decorrer do estudo da radioproteção, faz-se necessário, também, a aplicação das seguintes regras que servem como métodos de redução de exposição às radiações: tempo, distância e blindagem. A redução do tempo de exposição ao mínimo necessário, para uma determinada técnica de exames, é a maneira mais prática para se reduzir a exposição à radiação ionizante e quanto mais distante da fonte de radiação, menor a intensidade do feixe. E a utilização de blindagens como o chumbo ou o concreto (principalmente o chumbo pelo fato de ser o elemento da tabela periódica mais denso e mais estável) evita a alta exposição à radiação (SEARES; FERREIRA, 2011).

3.9 COMO PROCEDER DIANTE DE UM ACIDENTE NUCLEAR

Conforme as condições da usina nuclear, se está expelindo material radioativo e/ou se houve anomalias nos resultados na medição da radiação, o governo julgará a necessidade de proteção em locais fechados ou evacuação e informará a população, como exibido na Tabela 1. É importante ficar atento às informações e aos avisos do seu município, pela televisão, rádio e afins; proteger-se em local fechado até segunda ordem, ajuda a diminuir a entrada de material radioativo no organismo. Além disso, paredes podem servir de barreira às radiações com baixa capacidade de penetração.

Contudo, quanto mais nos afastarmos do material radioativo, menor será a influência da radiação. Portanto, caso a quantidade de radiação da região onde você mora tenha aumentado, poderá ser necessária a evacuação temporária ou permanente. Do local de encontro até os centros de redirecionamento, utilize bicicletas ou os ônibus de evacuação disponibilizados pelo governo, não utilize seu veículo particular para o deslocamento, exceto em casos nos quais, por motivos prementes, seja impossível a caminhada até o local de encontro (EMPCAN; DGDC; SPPCPS, 2016).

Tabela 1 – Procedimentos de atuação em um acidente nuclear

Instruções Imediatas		
Condição	Procedimento	Motivo
Proteção em Abrigo	Entrar imediatamente em sua casa, local de trabalho ou prédio de instalação pública mais próximo.	Dentre os tipos de radiação, existem as partículas Alfa, Beta e raios Gama. As partículas Alfa podem ser bloqueadas por uma folha de papel, as Beta, por uma fina placa de alumínio e os raios Gama e X, por chumbo ou espessas placas de ferro.

Instruções Imediatas		
Condição	Procedimento	Motivo
Evacuação	Prepare-se para sair e aja com calma seguindo as instruções de seu município; Use máscara, cobertura para a cabeça, casaco e roupas que não deixem a pele exposta.	Num acidente nuclear crítico a proteção em abrigos não é eficaz, pois a quantidade de materiais radioativos eliminados pela usina é extremamente alta e têm energia suficiente para atravessar as barreiras físicas.

Fonte: Adaptado de EMPCAN; DGDC; SPPCPS (2016).

4 CONCLUSÃO

A partir do estudo realizado foi possível identificar informações úteis acerca dos motivos que levaram a causa do acidente em Chernobyl e, posteriormente, os efeitos causados nas pessoas e animais. O uso da energia nuclear é visto com maus olhos devido aos desastres já ocorridos, envolvendo a mesma, este preconceito, assim como qualquer outro, é caracterizado pela falta de informação. A existência de normas e regras, que devem ser seguidas de maneira rígida, garantem o uso da energia nuclear de maneira segura e limpa, proporcionando benefícios à sociedade como, a produção de energia elétrica e o aumento da empregabilidade.

REFERÊNCIAS

AIEA – Agência Internacional de Energia Atômica. **Efeitos diretos e indiretos da radiação na célula**. 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Efeitos-diretos-e-efeitos-indiretos-da-radiacao-na-celula-Adaptado-de-AIAE_fig1_273113062. Acesso em: 28 set. 2018.

ALVES, A. P.; SOUZA, W. Q.; STASCOVIAN, J. Usina nuclear: seus impactos ambientais. *In: Anais Jornada de Engenharia de Produção*, 2016. **Anais...**, Mato Grosso, 2016, v. 2. Disponível em: <https://even3.azureedge.net/anais/33823.pdf>. Acesso em: 17 set. 2018.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3.ed. Brasília, 2008. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>. Acesso em: 17 set. 2018.

BLIX, H. **The role of the IAEA in the development of international law**. *Nordic Journal of International Law*, Hague, v. 58, p. 231-242, 1989.

BOTELHO, M. M.; WINTER, L. A. C. Energia nuclear e desenvolvimento: o papel institucional da AIEA. **Direito econômico, energia e desenvolvimento**, João

Pessoa, p. 339-355, 2014. Disponível em: <http://www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=869a7463ba2ba841>. Acesso em: 5 out. 2018.

BOYLE, A. E. Nuclear energy and international law: an environmental perspective. **British Yearbook of International law**, London, v. 60, n. 1, p. 257-313, 1990.

CARDOSO, E. M. **A energia nuclear**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/apostila-educativa-aplicacoes.pdf>. Acessado em: 17 set. 2018.

CASTILHO, M. A.; SUGUIMOTO, D. Y. L. Chernobyl – a catástrofe. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Minas Gerais, v. 12, n. 2, 2014. Disponível em: http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/1506/pdf_209. Acesso em: 18 set. 2018.

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Diretrizes básicas de proteção radiológica**. 2014. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>. Acesso em: 7 out. 2018.

DINIZ, B. D.; VIEIRA, A. D. L. **Os desastres ambientais continuam**: as lições que a usina nuclear Fukushima deveria ter aprendido com o acidente nuclear de Chernobyl. Santa Catarina, 2014. Disponível em: <http://www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=f1b6fac213a8baf8>. Acesso em: 19 set. 2018.

DUPUY, J. P. **A catástrofe de Chernobyl vinte anos depois. Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 243-252, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142007000100019>. Acesso em: 18 set. 2018.

EMPCAN – Escritório de Medidas Preventivas em Caso de Acidente Nuclear; DGDC – Departamento de Gerenciamento de Desastres e Crises; SPPCPS – Secretaria de Planejamento de Políticas e Coordenação da Província de Shiga. **Medidas preventivas em caso de acidente nuclear**. 2016. Disponível em: http://www.pref.shiga.lg.jp/bousai/gensiryoku/files/genshiryokubousainosiori__po.pdf. Acesso em: 3 out. 2018.

MOUSSEAU, T. A. **At Chernobyl and Fukushima, radioactivity has seriously harmed wildlife**. 2016. Disponível em: <https://theconversation.com/at-chernobyl-and-fukushima-radioactivity-has-seriously-harmed-wildlife-57030>. Acesso em: 28 set. 2018.

OLIVEIRA, A. R. **Relatório preliminar sobre o acidente de Chernobyl**. 1986. Disponível em: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/18/060/18060524.pdf. Acesso em: 18 set. 2018.

OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico de Goiânia. **Estudos Avançados**, São Paulo, vl. 27, n. 77, p. 185-199, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142013000100014. Acesso em: 28 set. 2018.

OKUNO, E.; YOSHIMURA E. M. **Física das radiações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

PELTZER, N. The impact of Chernobyl accident on international nuclear energy law. **Archiv des Voelker Rechts**, Berlin, v. 25, n. 3, p. 294-311, 1987.

SEARES, M. C.; FERREIRA, C. A. **A importância do conhecimento sobre radioproteção pelos profissionais da radiologia**. Santa Catarina, 2011. Disponível em: <http://www.spenzieri.com.br/wp-content/uploads/2011/10/Radioprote%C3%A7%C3%A3o-para-Radiologistas.pdf>. Acesso em: 7 out. 2018.

SILVA, N. O.; JUNIOR, J. N. S.; SILVA, J. B.; CUNHA, P. C. N. **Incentivando a prática da radioproteção**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.sbpr.org.br/irpa13/AnaisdoIRPA2013/Educacionentrenamientoyformacionespecifica/3701.pdf>. Acesso em: 7 out. 2018.

SILVESTRE, C. H. C.; CUNHA, D. C. N.; PEREIRA, F. P. M. M.; LIMA, F. R. M.; GONÇALVES, G. C.; MENDES, R. F. P. **A energia nuclear e seus usos na sociedade**. Brasília, 2007. Disponível em: http://trad.fis.unb.br/pet-fisica/artigos/Energia_nuclear_e_seus_usos_na_sociedade.pdf. Acesso em: 17 set. 2018.

SOUZA, D. C. B.; VICENTE, R.; ROSTELATO, M. E. C. M.; BORGES, J. F.; TIEZZI, R.; JUNIOR, F. S. P.; SOUZA, C. D.; RODRIGUES, B. T.; BENEÇA, M. A. G.; SOUZA, A. S.; SILVA, T. H. **Chernobyl – o estado da arte**. Rio Grande do Sul, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fernando_Peleias_Junior/publication/304781201_Chernobyl_-_O_Estado_da_Arte/links/577a6c7a08aec3b743356c38/Chernobyl-O-Estado-da-Arte.pdf. Acesso em: 18 set. 2018.

THE CHERNOBYL GALERY. **What is Chernobyl?** 2013. Disponível em: <http://www.chernobylgallery.com/chernobyl-disaster/what-is-chernobyl/>. Acesso em: 18 set. 2018.

VELUDO, P. C. **Efeitos da radiação x e níveis de exposição em exames imagiológicos (inquéritos a clínicos gerais)**. Coimbra, 2011. Disponível em: <https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/20124/1/Efeitos%20da%20Radia%C3%A7%C3%A3o-X%20e%20Niveis%20de%20Exposi%C3%A7%C3%A3o%20em%20Exames%20Imagiol%C3%B3gicos.pdf>. Acesso em: 3 out. 2018.

WEBSTER, S. C.; BYRNE, M. E.; LANCE, S. L.; LOVE, C. N.; HINTON, T. G.; SHAMOVICH, D.; BEASLEY, J. C. Where the wild things are: influence of radiation on the

distribution of four mammalian species within the Chernobyl Exclusion Zone. **Front Ecol Environ**, v. 14, n. 4, p. 185-190, 2016. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/fee.1227>. Acesso em: 4 out. 2018.

WENDLE, J. **Animals rule Chernobyl three decades after nuclear disaster**. 2016. Disponível em: https://news.nationalgeographic.com/2016/04/060418-chernobyl-wildlife-thirty-year-anniversary-science/?_ga=2.235009665.1071256640.1521779647-398110792.1511226604. Acesso em: 4 out. 2018.

WHO – World Health Organization. **Ionizing radiation, health effects and protective measures**. 2011. Disponível em: http://www.who.int/kobe_centre/emergencies/east_japan_earthquake/factsheet_ionizing_radiation_final.pdf. Acesso em: 19 set. 2018.

Data do recebimento: 04 de novembro de 2019

Data da avaliação: 12 de dezembro de 2019

Data de aceite: 16 de janeiro de 2020

1 Professor do curso em Tecnologia em Radiologia- UNIT. E-mail: ivyssonlimaa@gmail.com

2 Professora do curso em Tecnologia em Radiologia- UNIT. E-mail: gabriela.tereza@souunit.com.br

3 Doutora em Tecnologias Energéticas e Nucleares; Física médica, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. E-mail: paulafrassineti@hotmai.com

4 Doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares – Universidade Federal de Pernambuco Biomédico – UFPE. E-mail: marcos.ely@souunit.com.br