

## OS PRINCIPAIS ACIDENTES NUCLEARES DESDE A DÉCADA DE 1950

Amanda Larocca Pagano<sup>1</sup>

### RESUMO

O presente estudo tem como objetivo a realização de um levantamento bibliográfico, nacional e internacional, em artigos científicos, revistas, teses, dissertações, dentre outras fontes de pesquisa, para abordar o tema sobre os acidentes nucleares mais conhecidos no mundo. Como se sabe, a radiação ionizante está presente em nosso dia-a-dia, são utilizadas na área médica para diagnóstico e tratamento (como exemplo, a radioterapia), mas também é usada na indústria. Muitos países, inclusive o Brasil, possui usinas nucleares, que fornecem energia elétrica para população em nosso planeta. A energia elétrica fornecida por usinas nucleares representa cerca de 16%. Embora, a radiação seja benéfica, precisa que os trabalhadores da área sejam pessoas capacitadas para não ocorrer acidentes. Apesar de todos os esforços e tecnologias empregadas na segurança das usinas nucleares, diversos acidentes ocorreram ao longo dos anos. Neste artigo, separamos dez usinas nucleares que foram alvo de acidentes catastróficos e relatamos um pouco sobre cada um.

**Palavras-chaves:** Radiação. Energia. Desastre. Acidente Nuclear

### ABSTRACT

The present study aims to carry out a bibliographic survey, national and international, in scientific articles, magazines, theses, dissertations, among other research sources, to address the theme about the most known nuclear accidents in the world. As is known, ionizing radiation is present in our daily lives, they are used in the medical field for diagnosis and treatment (for example, radiotherapy), but it is also used in industry. Many countries, including Brazil, have nuclear power plants, which supply electricity to the population on our planet. Electricity supplied by nuclear power plants represents around 16%. Although radiation is beneficial, it needs workers in the area to be trained to prevent accidents. Despite all the efforts and technologies employed in the safety of nuclear power plants, several accidents have occurred over the years. In this article, we have separated ten nuclear power plants that have been the target of catastrophic accidents and report a little about each one.

**Keywords:** Radiation. Energy. Disaster. Nuclear Accident.

---

<sup>1</sup> Autora: Amanda Larocca Pagano: Tecnóloga em Radiologia – CESCAGE, especialista em Ressonância Magnética e Tomografia Computadorizada –FACIN.

## 1. INTRODUÇÃO

A radiação ionizante existe em nosso planeta e também em nosso cotidiano, seja na forma artificial ou natural. No final do século XIX o homem começou a utilizar essa fonte de energia em prol do seu próprio benefício como na área da indústria, da medicina, da agricultura entre outras (NOUAILHETAS. 2005).

Para contextualizar essa descoberta das radiações ionizantes em 1896, o cientista francês Henri Becquerel iniciou seus estudos sobre a relação entre materiais fosforescentes e os raios X. Ele conseguiu observar que os sais de urânio emitiam um tipo de radiação. Logo em seguida, o casal Curie (Marie e Pierre) descobriram que outros elementos também emitiam o mesmo tipo de radiação que Becquerel observou, e nas décadas posteriores Ernest Rutherford e Frederick Soddy esclareceram diversas propriedades da radioatividade e dos elementos radioativos. Dentre as pesquisas desenvolvidas nesse meio, a que proporcionou as mais marcantes aplicações foi sobre a fissão do urânio (MERÇON; QUADRAT. 2015).

Após a primeira e segunda guerras mundiais, com a explosão de bombas nucleares e o desenvolvimento do “Projeto Manhattan”, em 1950 surgiu a possibilidade do aproveitamento racional de energia nuclear com a criação de usinas nucleares. As usinas nucleares surgiram como meio alternativo de fabricação de energia, já que não requerem características geográficas específicas ou grandes áreas (como é o caso das usinas hidrelétricas), também não utilizam fosséis ou poluem a atmosfera (como é o caso das termoeletricas). Porém, há uma desvantagem: o alto custo de construção, manutenção, riscos de acidentes e rejeitos radioativos (MERÇON; QUADRAT. 2015).

O ciclo de energia nuclear em uma usina funciona da seguinte forma: um reator nuclear contido em um recipiente sob pressão em que esta pressão tem como destino impedir a ebulição da água de resfriamento que circula no circuito de refrigeração primária, recipiente este que está sob pressão emergido por barras de controle. E o circuito de refrigeração primária troca o calor transformando água sob pressão normal em vapor que através dos tubos de vapor secundário, chega à turbina que é unida a um gerador elétrico. Depois, é condensado e resfriado por um circuito de água condensada que pode ser fornecida por um rio ou mar, transformando o vapor que sai da turbina em água, com a finalidade de aumentar o salto de pressão disponível da turbina (GONÇALVES. 2009).

## 2. ACIDENTES COM USINAS NUCLEARES

### 2.1 KYSHTYM (1957)

O complexo de energia nuclear Kyshtym fica aproximadamente a 15 quilômetros a leste da cidade de Kyshtym, na Rússia, seu nome original. É conhecido como Chelyabinsk-40, e foi renomeado pela Associação de Produção de Mayak, especificamente destinada a produzir plutônio para armas nucleares a partir de 1948 (BUTTINGER. 2017).

O acidente de Kyshtym ocorreu em 29 de setembro de 1957 em uma usina que tinha por objetivo a produção de plutônio. Ocorreu pela explosão de sais secos de nitrato e acetato em um tanque contendo resíduos altamente radioativos. Essa explosão dispersou cerca de 2 milhões de elementos de fissão nuclear (ROMANOV et al., 1991).

O governo soviético reconheceu o acidente nuclear e sua falha tenha devastou uma extensa área no Urais e conseqüentemente a evacuação de milhares de moradores (CLINES. 1989).

Uma das primeiras e principais formas de contaminação foi pelo alimento, através de pão feito pelos grãos contaminados na precipitação de partículas radioativas nas colheitas na área. Com o

passar do tempo, a contaminação em seres humanos por Estrôncio-90 ( $^{90}\text{Sr}$ ) aconteceu como resultado da ingestão desse isótopo contido no leite, pão (como dito anteriormente) e na água potável, a partir de pequenos reservatórios. Graças a este acidente, pela primeira vez na história, houve necessidade de intervenção alimentar. Ainda 8 anos depois do acidente o leite continuou sendo o principal caminho de contaminação na dieta humana, com 50% de contaminação por alimentos ingeridos por causa da radioatividade (NRPA Bulletin. 2007).

Este acidente foi classificado na escala nível 6 dos acidentes nucleares, porém sem tanta repercussão da mídia, e ainda hoje, naquela área algumas regiões permanecem com o acesso restrito devido às elevadas taxas de doses de radiação (LIMA. 2014).

## **2.2 WINDSCALE (1957)**

O acidente nuclear de Windscale, na Inglaterra, aconteceu no dia 10 de outubro de 1957, pela provocação de falha em um sensor de temperatura que indicava o resfriamento do núcleo, no momento aconteceu o aumento da temperatura que teve por consequência um superaquecimento e fratura de algumas cápsulas que permitiu a entrada de ar no sistema (LIMA. 2014).

Com a presença de oxigênio, ocorreu o incêndio no local gerando uma nuvem radioativa, apesar de não haver relatos sobre o número de vítimas fatais, o fornecimento de leite foi suspenso em um raio de 550 km<sup>2</sup> por alguns meses devido a contaminação nos pastos (LIMA. 2014).

O reator incendiado era um dos que utilizam urânio natural, moderador por grafite e refrigeradores a ar existentes na instalação que produziam plutônio. Os técnicos que trabalhavam na usina, equivocadamente, superaqueceram o reator porque os sensores de temperatura estavam mal colocados, indicando que o reator estava resfriando quando estava aquecendo, permitindo assim que o urânio junto com o grafite reagisse ao ar (BANDEIRA. 2005).

Este incêndio nuclear durou aproximadamente 4 dias, derretendo e consumindo uma grande parcela do núcleo do reator, e aproximadamente, 150 células de combustíveis incendiadas não puderam ser retiradas do núcleo do reator. O incêndio nesse reator expeliu gases radioativos por toda uma área próxima e a distribuição de leite foi proibida em uma área de 520 km<sup>2</sup> em torno do reator (BANDEIRA. 2005).

Este acidente foi classificado em nível 5 dos acidentes nucleares (LIMA. 2014).

## **2.3 THREE-MILE ISLAND (1979)**

A usina Three-Mile Island está localizada nos Estados Unidos, perto de Harrisburg, capital da Pensilvânia. O acidente ocorrido nessa usina é considerado o maior acidente nuclear da história dos Estados Unidos (PINHEIRO. 2017).

Este acidente ocorreu por volta das 4 horas da manhã em março de 1979 na unidade 2. Nessa ocasião, o núcleo do reator do tipo PWR (reator a água leve pressurizada) fundiu devido a um defeito no sistema de resfriamento, mas também por falha humana, dos operadores do reator que levou à liberação de uma pequena quantidade de de partículas radioativas para a atmosfera, como iodo e césio, e apesar de ser uma quantidade pequena de radioatividade, o acidente gerou grandes preocupações na população americana (GOLDEMBERG. 2011).

Há estudos que relatam que o acidente em Three-Mile Island foi causado devido a falhas no sistema e erro operacional. Mas, também, teve fatores externos como o corte de custos que afetou

economicamente a manutenção e o uso de materiais inferiores na usina. E, principalmente, apontam-se erros humanos com decisões e ações erradas tomadas por pessoas despreparadas (BELLONI et al., 2017).

O governador do estado da Pensilvânia levou dois dias para iniciar a evacuação da população em um raio de apenas 8 km em volta da usina (MONTALVÃO. 2011).

O acidente de Three-Mile Island foi o primeiro acidente a fazer com que os países ocidentais fizessem uma revisão de medidas de segurança nas usinas nucleares em funcionamento e, também, aumentando seu rigor no licenciamento nuclear. Em outras palavras, o acidente de Three-Mile Island fez aumentar os custos das usinas nucleares em funcionamento (GOLÇALVES; ALMEIDA 2005).

Além desse acidente ter sido classificado em nível 5 na escala dos acidentes nucleares, também foi considerado o pior acidente nuclear em instalações comerciais dos Estados Unidos (BANDEIRA. 2005).

#### **2.4 TSURUGA (1981)**

Em 08 de março de 1981, mais uma usina foi alvo de colapso, com quatro vazamentos radioativos na usina nuclear de Tsuruga, uma cidade na província de Fukui, a 300 quilômetros de Tóquio, no Japão. (AÑÓN. 2015).

Este acidente ocorreu quando vazamentos radioativos na usina nuclear afetaram um total de 278 pessoas, e apesar dos japoneses ainda estarem assustados com o ocorrido em Hiroshima, agora enfrentavam o medo que eles mesmos criaram: os reatores nucleares que não garantiam a segurança necessária (IBARRA; ZIEMINSKI. 2011).

Este vazamento radioativo aconteceu enquanto os trabalhadores da usina nuclear tentavam reparar a usina, fazendo com que todos os trabalhadores naquele momento fossem expostos à radiação (BANDEIRA. 2005).

Ocorreu um vazamento de aproximadamente 44 mil toneladas de resíduos radioativos do tanque de retenção, os níveis de radiação foram relatados de até 10 vezes mais altos que o normal, mas o caso só foi anunciado mais de um mês depois do ocorrido, em 18 de abril de 1981 (MULLER. 2014).

#### **2.5 CHERNOBYL (1986)**

A usina nuclear de Chernobyl está localizada aproximadamente a 183 km de Kiev, capital da Ucrânia e foi construída, estrategicamente, próxima a grandes centros industriais nos arredores. A usina ficava próxima da cidade de Pripyat, fundada exclusivamente como residência para os trabalhadores da usina. A usina de Chernobyl possuía 4 reatores do tipo RBMK-1000<sup>2</sup> (reator de canelotas de alta potência), sendo que o reator número 4 estava em fase de troca de combustível, manutenção e testes (SOUZA et al., 2014).

O acidente de Chernobyl ocorreu no dia 26 de abril de 1986, por volta da meia-noite e vinte e seis minutos, quando o reator número 4 estava em testes solicitados pelo Comitê Estatal para Uso de Energia Atômica, e tinha por objetivo aumentar a segurança do reator. O teste consistia em investigar quanto tempo o turbo alternador continuaria gerando eletricidade, após interrupção da alimentação de vapor que acionava as bombas de refrigeração, tudo isso sendo possível com o reator operando em baixa potência (SOUZA et al., 2014).

Na noite do dia 25 de abril, o reator estava com potência de 3.200 MeV que foi reduzida para 1.600 MeV, e no início da madrugada do dia 26 de abril foi para 720 MeV, entretanto Anatoly Dyatlov, pelo procedimento, queria que o teste do reator iniciasse com a potência baixa de 200 MeV, mas, segundo o relatório para a realização do teste, os procedimentos de potência segura do reator deveriam ser de 700 MeV a 1.000 MeV (SUGUIMOTO; CASTILHO. 2014).

Com a potência baixa, iniciou-se o processo de envenenamento por xenônio-135, e para interromper esse processo, os operadores elevaram a potência do reator, mas como a situação já estava em ponto crítico e com os sistemas desligados, não houve mudanças. À uma hora e vinte e três minutos, as bombas reservas foram ligadas e a energia que alimentava a turbina das bombas de água foi cortada, deixando o reator sob a ação da inércia (SOUZA et al., 2014).

A explosão ocorreu pela presença de grafite nas pontas das barras de boro, causada por um superaquecimento. O incêndio do reator, produzido pela combustão de grafite, difícil de ser dominado em razão dele contribuir para o descontrole da queima do urânio, elevou ainda mais a temperatura interna (LIMA. 2015).

E o acidente de Chernobyl é o mais conhecido e, ainda hoje, um dos mais repercutidos, classificado em nível 7 na escala dos acidentes nucleares (LIMA. 2014).

## **2.6 TOMSK-7 (1993)**

A usina de reprocessamento de combustível irradiado Tomsk-7, localizada em uma cidade da Sibéria Ocidental, na Rússia, sofreu um acidente em 6 de abril de 1993, que provocou a formação de uma nuvem com materiais radioativos, contudo, com número de vítimas desconhecido. Hoje, ela possui o nome de “Seversk”, uma cidade fechada que só pode ser visitada com ordem do governo local (PINHEIRO. 2017).

## **2.7 TOKAI (1999)**

Em 30 de setembro de 1999 ocorreu mais um acidente nuclear no Japão, na usina nuclear Tokai-mura, de reprocessamento de urânio, localizada no nordeste de Tokyo. Trabalhadores dessa usina colocaram uma solução de nitrato de urânio contendo, aproximadamente, 16,6 quilogramas de urânio, em um tanque de precipitação, excedendo a massa crítica e por consequência causando uma reação em cadeia (BANDEIRA. 2005).

Este procedimento foi aprovado pela gerência da usina, mas não havia aprovação da Comissão de Energia Nuclear japonesa. O nível de enriquecimento de combustível era um método de tratamento que a usina não usava há alguns anos e a maioria dos empregados que haviam trabalhado com esse método tinham sido dispensados (BANDEIRA. 2005).

O tanque daquela usina não foi projetado para dissolver tal solução e também não foi projetado para impedir uma eventual reação em cadeia. O acidente expôs trabalhadores e pessoas que viviam próximas daquela área a níveis extremamente altos de radiação (BANDEIRA. 2005).

Na escala dos acidentes nucleares a usina de Tokai-mura foi classificada como nível 4 (LIMA. 2014).

## **2.8 MIHAMA (2004)**

Em 9 de agosto de 2004, o Japão, novamente, sofreu com um novo acidente nuclear na usina de Mihama, a 320 quilômetros a noroeste de Tokyo, causando cinco mortes e sete feridos entre os trabalhadores da usina. A causa desse acidente foi um escape do vapor não radioativo do edifício do reator número 3. Felizmente, os responsáveis por essa usina reconheceram que foi um erro de procedimentos no controle de suas instalações. A tubulação danificada dessa usina não correspondia às normas de segurança, porém as autoridades locais anunciaram que não houve nenhum vazamento de material radioativo (BANDEIRA. 2005).

### **2.9 TRICASTIN (2008)**

Dessa vez, os europeus viveram o medo da energia nuclear com a usina de Tricastin localizada na França, que foi alvo de um vazamento de 18 mil litros de solução de urânio. O acidente aconteceu em 9 de julho de 2008, devido aos trabalhos de limpeza e reparação, quando o sistema de contenção de urânio não estava em funcionamento e o tanque se encheu. Isso fez com que a solução excedesse a capacidade do tanque e 30 mil metros cúbicos de urânio vazaram (MATOS. 2009).

As autoridades locais da França baniram o uso de água dos rios Gaffière e Lauzon para alimentação. Para a escala de acidentes nucleares a usina nuclear de Tricastin foi em grau 1. Cerca de 100 funcionários foram expostos às partículas radioativas que escaparam durante o acidente (MATOS. 2009).

### **2.10 FUKUSHIMA (2011)**

Em Fukushima, no Japão, ocorreu o acidente nuclear mais recente, em 11 de março de 2011, causado por conta de dois fenômenos naturais de grandes proporções: um terremoto e um tsunami (LIMA. 2014).

Com estes fenômenos naturais, um dos sistemas de segurança da usina foi acionado automaticamente, inserindo cilindros de boro no reator para absorção dos nêutrons e assim reduzindo a fissão nuclear do urânio em até 90%. Entretanto, a quantidade de energia térmica continuou sendo liberada, exigindo assim, resfriamento adicional com água, para evitar a fusão das barras de urânio. O sistema de resfriamento por água é alimentado por fontes externas de eletricidade, entretanto este fornecimento de energia foi interrompido pelo terremoto. Mas, para casos como este haviam os geradores de emergência que mantiveram o sistema ativo por uma hora após o ocorrido. Contudo, com o terremoto, a usina foi atingida por um tsunami que ultrapassou os muros de contenção da usina, atingindo os gerados de energia e por consequência interrompendo seu funcionamento (LIMA. 2014).

O acidente na usina de Fukushima teve derretimento de três dos seis reatores nucleares, com a liberação de muito material radioativo, sendo considerado o maior desastre nuclear desde Chernobyl. Este acidente na escala de acidentes nucleares também teve o nível 7 (PINHEIRO. 2017).

## **3. O USO DA RADIOATIVIDADE FORA DAS USINAS NUCLEARES**

### **3.1 MEDICINA**

O uso mais comum da radioatividade é na medicina, em diversos exames, como por exemplo exames convencionais com raios X, tomografia, radioterapia, e também, na medicina nuclear que é uma área que vem tendo cada vez mais investimento. Na medicina nuclear são usados os radiofármacos que, no Brasil, são controlados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e em São Paulo conta-se com a Radiofarmácia do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) (XAVIER et al., 2007).

### 3.2 QUÍMICA

Na química, no que diz respeito à contaminação por elementos radioativos, a tendência atual é mais específica na área da química analítica, onde se trata do monitoramento de contaminação e desenvolvimento de métodos e aperfeiçoamento de técnicas para determinação de radioisótopos com segurança no trabalho (XAVIER et al., 2007).

### 3.3 ESTUDOS DA DATAÇÃO

O uso do carbono-14 ( $^{14}\text{C}$ ) nada mais é que a absorção contínua dos nêutrons dos raios cósmicos por átomos de nitrogênio. Esse isótopo radioativo é encontrado e absorvido pelas plantas durante a fotossíntese. A datação do carbono é usada nas descobertas arqueológicas (XAVIER et al., 2007).

### 3.4 AGRICULTURA

A técnica consiste no uso de irradiação a alimentos por intermédio de irradiadores que usam como combustível o cobalto-60 ( $^{60}\text{Co}$ ). Este método aumenta o tempo de vida do alimento, reduz a proliferação de microrganismos, parasitas e pragas nos alimentos. Este processo de irradiação acarreta alterações químicas mínimas no alimento, ou seja, não é nocivo para os seres humanos. Também é um processo de pós-colheita, sendo assim, não substitui o uso dos agrotóxicos utilizados em campo (XAVIER et al., 2006).

## 4. CONCLUSÃO

Apesar de todos esses acidentes em usinas nucleares, a energia nuclear representa 16% da energia produzida no mundo e com a diminuição dos riscos de acidentes, esse tema vem sendo debatido, cada vez mais, em nosso cotidiano. Como mostrado neste artigo, os danos causados por acidentes nucleares chegam a serem incalculáveis, tanto para as pessoas que residem naquelas áreas, quanto a flora e a vida selvagem, sendo necessário um protocolo de ética e segurança para estabelecer e garantir que informações sejam precisas e bem distribuídas para as pessoas afetadas. É responsabilidade dos governos locais estabelecer regulamentação a fim de padronizar procedimentos pós-acidentes e, também, medidas para serem evitados. Quando ocorre um acidente nuclear, novos dispositivos de segurança e procedimentos são desenvolvidos para aperfeiçoar os sistemas de segurança. É possível melhorar a qualidade e desempenho dos reatores tornando-os mais seguros, entretanto, isso gera custos que, de uma forma geral, afeta a economia deixando a energia nuclear ainda menos competitiva, quando comparada a outras formas de geração de energia elétrica. Mesmo que os acidentes nucleares, citados nesse artigo, pudessem ser evitados se houvesse a mesma tecnologia dos dias de hoje, os dispositivos nucleares, ainda hoje, são passivos ao resfriamento do núcleo do reator e independem da eletricidade e intervenção humana, e apresentam vida útil maior, mais eficiência térmica e maior resistência. Somado a essas observações, vale salientar a escassez de estudos sobre acidentes nucleares e enfatiza-se a importância de mais estudos na área.

## 5. REFERENCIAS

AÑÓN, Maria Garcia. El Científico Frente al Medio Ambiente. **UAM – Universidad Autonoma de Madrid**. 2015. [Acesso em 08 de dezembro de 2018]. Disponível em: <[https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/678599/EM\\_51\\_8.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/678599/EM_51_8.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>

BANDEIRA, Fausto de Paula Menezes. Energia Nuclear – Alguns Aspectos. **Consultoria Legislativa**. 2005. [Acesso em 08 de dezembro de 2018]. Disponível em: <<https://www.osti.gov/etdweb/servlets/purl/21013985>>

BELLONI, et al. Análise Comparativa das Características entre Fusão Termonuclear e a Fissão Termonuclear Controlada. **Anais da SEMCITEC**. 2017. [Acesso em 07 de dezembro de 2018]. Disponível em: <<http://revista.ifspguarulhos.edu.br/index.php/semcitec/article/view/34/28>>

BUTTINGER, Scott. The Kyshtym Disaster. **University Stanford**. 2017. [Acesso em 04 de dezembro de 2018]. Disponível em: <<http://large.stanford.edu/courses/2017/ph241/buttinger1/>>

CLINES, Francis. Soviets Now Admit '57 Nuclear Blast. **The New York Times**. 1996. [Acesso em 04 de dezembro de 2018]. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/1989/06/18/world/soviets-now-admit-57-nuclear-blast.html>>

GOLÇALVES, Odair Dias; ALMEIDA, Ivan Pedro Salati. A Energia Nuclear. **Ciência Hoje**. 2005. [Acesso em 07 de dezembro de 2018]. Disponível em: <[http://pessoal.educacional.com.br/up/4660001/6249852/artigo\\_4\\_Nuclear\\_Radiation.pdf](http://pessoal.educacional.com.br/up/4660001/6249852/artigo_4_Nuclear_Radiation.pdf)>

GOLDEMBERG, José. O Futuro da Energia Nuclear. **Revista USP**. 2011. [Acesso em 07 de dezembro de 2018]. Disponível em: <<http://www.periodicos.usp.br/revusp/article/view/34836/37574>>

IBARRA, Liliana Navarro; ZIEMINSKI, Leandro. Las Memorias de la Guerra en el cine Anime. **Revista de la Asociación Argentina de Estudios de Cine y Audiovisual**. 2011. [Acesso em 08 de dezembro de 2018]. Disponível em: <<http://www.asaeca.org/imagofagia/index.php/imagofagia/article/view/173/145>>

LIMA, Mauro Barbosa de. Um Estudo Introdutório da Energia Nuclear. **Biblioteca Digital**. 2014. [Acesso em 06 de dezembro de 2018]. Disponível em: <<http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/7245/1/PDF%20-%20Mauro%20Barbosa%20de%20Lima.pdf>>

LIMA, Samuel do Carmo. Energia Nuclear – Uma Opção Perigosa. **Terra Livre**. 2015. [Acesso em 05 de dezembro de 2018]. Disponível em: <<http://www.agb.org.br/publicacoes/index.php/terralivre/article/download/54/53>>

MATOS, Felipe André Mendonça de. O Futuro da Energia Nuclear na Europa: o exemplo francês. **Universidade Técnica de Lisboa**. [Acesso em 10 de dezembro de 2018]. Disponível em: <[https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395139478984/Disserta%E7%E3o\\_53649.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395139478984/Disserta%E7%E3o_53649.pdf)>

MERÇON, Fábio; QUADRAT, Samantha Viz. A Radioatividade e a História do Tempo Presente. **Com Ciência**. 2015. [Acesso em 04 de dezembro de 2018]. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=116&id=1394&tipo=1>>

MONTALVÃO, Edmundo. Energia Nuclear: risco ou oportunidade? **Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia**. 2012. [Acesso em 07 de dezembro de 2018]. Disponível em: <<http://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/604/1/energia%20nuclear%20risco.pdf>>

MULLER, Juliana. Acidente na Usina Nuclear de Tsuruga em 1981. **PREZI**. 2014. [Acesso em 10 de dezembro de 2018]. Disponível em: <[https://prezi.com/\\_tlz9eyv4ak4/acidente-na-usina-nuclear-de-tsuruga-em-1981/](https://prezi.com/_tlz9eyv4ak4/acidente-na-usina-nuclear-de-tsuruga-em-1981/)>

NOUAILHETAS, Yannick. Radiações Ionizantes e a Vida. **CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear**. 2005. [Acesso em 04 de dezembro de 2018]. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/radiacoes-ionizantes.pdf>>



NRPA Bulletin. The Kyshtym accident, 29th September 1957. **Norwegian Radiation Protection Authority**. 2007. [Acesso em 04 de dezembro de 2018]. Disponível em: <<https://www.nrpa.no/publication/nrpabulletin-8-2007-the-kyshtym-accident-29th-september-1957.pdf>>

PINHEIRO, André Luís da Silva. Modelo Computacional Paralelo Baseado em GPU para Cálculo do Campo de Vento de um Sistema de Dispersão Atmosférica de Radionuclídeos. **Universidade Federal do Rio de Janeiro**. 2017. [Acesso em 06 de dezembro de 2018]. Disponível em: <<http://www.con.ufrj.br/wp-content/uploads/2017/07/Tese-Andre-Luis-da-Silva-Pinheiro.pdf>>

ROMANOV, et al. The Kyshtym accident: causes, scale and radiation characteristics. **IAEA – INIS International Nuclear Information System**. v. 25, n. 4. 1991. [Acesso em 04 de dezembro de 2018]. Disponível em: <[https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:25008504](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:25008504)>

SOUZA, et al. Chernobyl – O Estado da Arte. **Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares (IPEN/CNEN)**. 2014. [Acesso em 05 de dezembro de 2018]. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Marcos\\_Benega2/publication/304781080\\_Chernobyl\\_-\\_O\\_Estado\\_da\\_Arte/links/58e4d3e8aca2727858c5b30e/Chernobyl-O-Estado-da-Arte.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marcos_Benega2/publication/304781080_Chernobyl_-_O_Estado_da_Arte/links/58e4d3e8aca2727858c5b30e/Chernobyl-O-Estado-da-Arte.pdf)>

SUGUIMOTO, Djames Yoskikazu Lima; CASTILHO, Maria Augusta de. Chernobyl – A Catástrofe. **Universidade do Rio Verde, Três corações**. 2014, v.12, n.2. [Acesso em 06 de dezembro de 2018]. Disponível em: <[http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/1506/pdf\\_209](http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/1506/pdf_209)>

XAVIER, et al. Marcos da História da Radioatividade e Tendências Atuais. **Quim. Nova**. 2007. [Acesso em 08 de dezembro de 2018]. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/qn/v30n1/18.pdf>

**Endereço Eletrônico:**

**Amanda Larocca Pagano**

**E-mail:** [amanda\\_pagano@hotmail.com](mailto:amanda_pagano@hotmail.com)

Recebido em: 21 de Abril de 2021

Aceito em: 06 de Maio de 2021