

USINA NUCLEAR: OBTENÇÃO DE ENERGIA E RESÍDUOS GERADOS

Ana Louise Amaral de ALMEIDA¹; Luana Teixeira Costa LANA²; Natalie OGANDO³; Tânia Mara Grígolli ALMEIDA⁴

ABSTRACT

The search for alternative energy sources that emit fewer greenhouse gases and also produce high amount of energy through the low use of resources has become a challenge to all humanity. The nuclear energy offers much of what is sought by the use of radioactive materials and nuclear reactions such as fission and fusion, they are able to produce a much larger amount of energy than a simple combustion process. In this point of view, it was expected that this source became as the most widespread in the world. However, some accidents turned the scenario, the toxic waste generated by nuclear activity offers great risk for life and care, to store and release it, have become major challenges in the sector. In view of this, nuclear power, although present with great potential and constant technological advancement is also very peculiar and discussed. Through literature review, this study aims to present the operation of a nuclear power plant, the main involved nuclear reactions, equipment that are part of it, and finally, the waste generated by the activity and its risks and disposal protocols.

Keywords: Electricity . Fission. Fusion. Radioactivity .

RESUMO

A busca por alternativas energéticas que emitem uma menor quantidade de gases de efeito estufa e, ainda, produzem alta quantidade de energia através da baixa utilização de recursos, tem se tornado um desafio para toda a humanidade. A energia nuclear oferece grande parte do que se procura, através da utilização de materiais radioativos e reações nucleares, como fissão e fusão, são capazes de produzir uma quantidade muito maior de energia do que em um processo de combustão simples. Diante disto, esperava-se que tal fonte fosse a mais disseminada pelo mundo. Porém, alguns acidentes transformaram o cenário, o resíduo tóxico gerado pela atividade nuclear oferece grande risco à vida, e os cuidados ao armazená-lo e dispensá-lo tornaram-se grandes desafios no setor. Diante disto, a energia nuclear, apesar de se apresentar com grande potencial e constante avanço tecnológico é, também, muito peculiar e discutida. Por meio de revisão bibliográfica, o presente trabalho busca apresentar o funcionamento de uma usina nuclear, as principais reações nucleares envolvidas, os equipamentos que dela fazem parte, e, por fim, os resíduos gerados pela atividade e seus riscos e protocolos de disposição.

Palavras-chave: Energia elétrica. Fissão. Fusão. Radioatividade.

¹ Estudante de Graduação 10º período Engenharia Bioenergética da FEA-Fumec, analouise92@gmail.com;

² Estudante de Graduação 9º período Engenharia Bioenergética da FEA-Fumec, luanalana3.14@gmail.com;

³ Estudante de Graduação 10º período Engenharia Bioenergética da FEA-Fumec, natalieogando@gmail.com;

⁴ Professora da Universidade FUMEC, talmeida@fumec.br.

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios, a humanidade utiliza de fontes de energia para sua sobrevivência. Começando por alimentos que os fazem ter energia no próprio corpo, e finalizando por energia elétrica, capaz de fornecer comodidade, e ser transformada em outros diversos tipos, como térmica, mecânica, cinética.

Para a produção de tal energia, muitas fontes são exploradas, por exemplo, os combustíveis fósseis (petróleo e carvão mineral). Durante essa exploração surgiram consequências ambientais que não puderam ser ignoradas e, então, outras fontes foram buscadas para a produção de energia elétrica.

Dentre as inovações, depois da Segunda Guerra Mundial, segundo Gore (2010, p.152), “a ideia de utilizar a fissão nuclear controlada como fonte de calor para girar turbinas elétricas despertou enorme entusiasmo (...)”.

O processo de produção de energia a partir de elementos radioativos se dá pela seguinte cadeia produtiva, “mineração do urânio, a moagem até a obtenção do *yellow cake*, o enriquecimento do nível de urânio-235 (^{235}U), a fabricação do combustível propriamente, o transporte desse material até a usina e a destinação final dos resíduos” (CEMIG, 2012).

A energia nuclear, então, tornou-se atrativa por não gerar, diretamente, gases de efeito estufa (como o dióxido de carbono) e por produzir, em uma reação nuclear, uma intensidade de energia muito maior do que em um processo de combustão (BAIRD, 2011).

Apesar dos benefícios trazidos por tal fonte de energia, algumas questões passam a ser analisadas e temidas, como a grande utilização de água no processo de resfriamento de uma usina nuclear, ou o risco à saúde humana gerado pela utilização de materiais radioativos, o que gera certa resistência da sociedade em relação a instalação de usinas nucleares (CARVALHO, 2012).

Considerando que a presença de reatores nucleares está espalhada por todos os continentes, sendo os Estados Unidos da América – EUA o que conta com o maior número deles (104) (GORE, 2010) e; considerando que o Brasil possui dois reatores e está finalizando a construção do terceiro, o estudo sobre seu funcionamento e, conseqüentemente, a geração e disposição de seus resíduos radioativos, torna-se uma necessidade latente.

O presente artigo, portanto, vem apresentar as reações de fissão e fusão envolvidas no processo de geração de energia, assim como os equipamentos envolvidos e os resíduos gerados.

2. ENERGIA NUCLEAR

A energia nuclear é definida como aquela gerada pela fissão controlada de um elemento natural, ou seja, energia térmica e radioativa eliminada no momento de divisão do núcleo de um átomo do elemento natural utilizado (urânio ou outro radioativo) (GORE, 2010).

De acordo com Baird (2011), a reação nuclear citada acontece de forma contínua, “reação em cadeia”, já que durante a divisão do núcleo, alguns nêutrons são liberados e se chocam com outros átomos do elemento presente, dando sequência ao processo de produção de energia (térmica e radioativa). Para o controle desta reação, afirmam Baird (2011) e Gore (2010), são utilizadas barras, feitas de elementos capazes de absorver os nêutrons, que são movimentadas de acordo com a necessidade.

O calor gerado pela reação é utilizado para aquecer a água e, como em um processo termelétrico comum, gerar vapor que acionará a turbina e, através de um gerador, produzirá energia elétrica (GORE, 2010).

Outro processo nuclear capaz de gerar energia é a fusão. Esta se resume na “união de dois pequenos núcleos para formar um núcleo maior” (HINRICHS & KLEINBACH, 2003). Ambas as reações serão melhores explicadas no próximo tópico.

Torna-se importante ressaltar as peculiaridades relacionadas à esta fonte de energia. Pinheiro (1992) já considerava que:

Falar de energia nuclear sempre levou cientistas e ecologistas a opiniões diversificadas e conflitantes. Se por um lado podemos fazer uso, de maneira pacífica e controlada, deste tipo de energia, por outro temos o risco da radiação atômica, que pode nos levar aos horrores de Hiroxima e Nagasáqui, no Japão (PINHEIRO, 1992, p.119).

A colocação do autor citado não está, em nenhum momento, desatualizada. Tais preocupações são ainda maiores, principalmente depois do acidente causado por um Tsunami, no Japão, em 2011. Apesar dos acidentes serem pontuais e, não rotineiros, por causarem tanto impacto, muitas pessoas tornam-se contra o funcionamento de usinas nucleares (GORE, 2010).

Schmidt, Horta e Pereira, 2014, afirmam que o acidente citado “redespertou a ansiedade pública relativa às catástrofes nucleares, conduzindo alguns países a rever urgentemente os sistemas de segurança das suas centrais de produção de energia nuclear”.

Além dos acidentes, a mesma tecnologia foi capaz de produzir armas, bombas, que não trazem à população o sentimento de segurança ou paz. Tal situação traz ainda menos aceitabilidade quando se trata da utilização deste tipo de energia.

Outro ponto a ser questionado é, apesar da grande geração de energia no processo de reações nucleares, o mesmo consome entre 1.685 e 3.295 litros de água por Megawatt-hora de energia produzidos. Comparada às outras fontes energéticas, é a maior consumidora (GORE, 2010). Pode-se observar que, tomando por base as atuais dificuldades na disponibilidade de água, a energia nuclear poderia tornar-se inviável técnica ou financeiramente.

3. REAÇÕES NUCLEARES

Para o entendimento das reações nucleares de fissão e fusão, torna-se importante entender a estrutura básica das partículas da matéria. Entendia-se, conforme Pinheiro (1992), que o átomo era o agrupamento de partículas chamadas prótons, nêutrons e elétrons. Atualmente, sabe-se que estas últimas são compostas por quarks, ou seja, partículas ainda menores que as citadas anteriormente (HINRICHS & KLEINBACH, 2003).

Os estudos mais aprofundados sobre os núcleos se deram no Século XIX, a começar pela descoberta dos raios X (em 1865), que possuíam a propriedade da fluorescência emitida pelo elemento químico urânio (BROWN, 2005). Após alguns anos, a propriedade contida no elemento químico citado foi nomeada, por Marie Curie, como radioatividade, e seu contínuo empenho permitiu a descoberta do rádio e polônio (elementos igualmente radioativos) (FERNANDES, 2015).

O núcleo radioativo então, segundo Hinrichs e Kleinbach (2003), é aquele capaz de, espontaneamente, emitir radiação nuclear nas formas de partículas ou raios. Os mesmos autores afirmam que “elementos radioativos podem emitir três tipos de radiação: radiação eletromagnética, chamada de raios gama; elétrons rápidos, chamados de partículas beta; e

partícula alfa, que são os núcleos de átomos de hélio” (HINRICHS & KLEINBACH, 2003, p. 338).

Por volta de 1940, alguns cientistas “comprovaram o fenômeno da desintegração ou fissão do núcleo atômico do elemento urânio-235” e, concluíram que “as experiências de bombardeamento do núcleo do urânio com nêutrons geravam a divisão do núcleo em duas partes” (FERNANDES, 2015, p. 14).

As reações que serão explicadas a seguir estão, ambas, baseadas em fenômenos ocorridos no núcleo dos elementos.

3.1. Fissão

A reação de fissão está baseada no choque de partículas e, com isso, a divisão do núcleo dos átomos desta partícula. Esse fenômeno não ocorre de maneira natural, precisa-se de processos de indução.

De acordo com Baird (2011), a colisão é realizada entre certos tipos de núcleos metálicos (elementos mais pesados – maior massa) com um nêutron, resultando na “divisão do núcleo em dois fragmentos similares em tamanho”. O que se aproveita desta reação é a energia liberada, tanto em forma de calor quanto em forma de radiação.

Considerando a “lei de conservação da energia, a soma das energias dos novos núcleos mais a energia liberada para o ambiente em forma de energia cinética dos produtos de fissão e dos nêutrons liberados deve ser igual à energia total do núcleo original” (GONÇALVES & ALMEIDA, 2005).

Confirmando as informações acima, Zahn (2007), cita reações de fissão em núcleos pesados, como ^{235}U ou ^{239}Pu que, ao sofrerem a interação com um nêutron, rompem-se de forma exotérmica. Como o processo faz com que nêutrons sejam liberados do núcleo, a reação de fissão passa a ser conhecida como uma reação em cadeia, já que os mesmos continuam a colidir com núcleos e gerar novos produtos (energia + núcleo dividido + nêutrons).

3.2. Fusão

O processo de fusão se difere do anterior explicado por ser a união de núcleos, e não a divisão. Ainda assim, ambos os processos resultam em massa de produtos menor do que a massa dos núcleos reagentes, ou seja, perdem massa. Esta, segundo Hinrichs & Kleinbach (2003), é convertida em energia.

A reação de fusão, segundo Baird (2011), trata-se da “combinação de dois núcleos muito leves para formar um núcleo combinado”. Processo este que resulta da geração de energia, considerando a estabilidade no núcleo combinado.

Para que uma reação de fusão aconteça, é necessário que os núcleos estejam em alta velocidade, ou seja, em grande energia cinética, para que a força de repulsão causada pelos núcleos positivos seja vencida (HINRICHS & KLEINBACH, 2003).

Segundo Gore (2010), enormes somas foram despendidas no processo de desenvolvimento de uma forma prática para gerar energia através da fusão, por exemplo, o investimento nos laboratórios; de Física de Plasma, de Princeton e, Nacional Lawrence Livermore. Porém, o processo utilizável de tal tecnologia ainda se encontra distante.

Apesar do processo de fusão ser conhecido, as usinas nucleares, atualmente, utilizam apenas o processo de fissão nuclear. Um dos combustíveis mais usados nesse

processo é o urânio-235, que necessita passar por procedimento específico, conhecido como enriquecimento, para que seja melhorado e, por fim, aproveitado.

4. USINA NUCLEAR

As usinas nucleares utilizam de sistemas compostos com equipamentos semelhantes aos encontrados em uma termoelétrica, acrescido de reatores nucleares. De forma simplificada, o funcionamento de uma usina com reator nuclear acontece da seguinte maneira:

No núcleo do reator, os átomos de urânio são divididos em uma reação em cadeia, desacelerada com barras de controle. A reação em cadeia libera raios gama, que geram calor de alta energia que, por sua vez, aquece a água. A água quente radioativa percorre uma tubulação por onde passa a água fria, formando vapor que, por sua vez, faz funcionar uma turbina geradora de eletricidade. O calor residual, na forma de vapor, é liberado da torre de resfriamento (GORE, 2010, p. 154).

A água chega a atingir uma temperatura de 320 °C ao passar pelo reator e, para que não entre em ebulição, sua pressão é mantida 157 vezes maior que a pressão atmosférica (ELETRONUCLEAR, 2016).

O vapor, depois que move a turbina, diferentemente do citado por Gore (2010), passa por um condensador onde é refrigerado pela água do mar. Esta água é então levada para outro circuito, sendo isto necessário para evitar o contato da água que passa pelo reator com as demais envolvidas no processo (ELETRONUCLEAR, 2016).

4.1. Reator Nuclear

O reator nuclear é o principal equipamento da usina nuclear, sendo o responsável pelo processo de geração de energia através da reação de fissão nuclear. Um dos combustíveis mais conhecidos é o urânio-235, no entanto, para seu correto funcionamento, o reator necessita também de um fluido refrigerante, elementos de controle e materiais estruturais (CARDOSO, 20--?).

Diante das complexidades envolvidas a este equipamento e, segundo a Apostila Educativa publicada pela Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, o reator é protegido por diversos elementos. Primeiramente, entende-se que o reator é composto pelas varetas de combustíveis (estruturas contendo urânio em seu interior) que, agrupadas em feixes, formam o elemento combustível. Este último possui “tubos guias” que suportam as barras de controle, responsáveis por controlar a reação de fissão nuclear. Ambas as estruturas citadas são as primeiras formas de contenção do material radioativo.

Ainda se tratando de proteção, têm-se os vasos de pressão (vaso de aço, montado sobre estrutura de concreto), a contenção (parede de aço) e, por fim, o edifício do reator (envoltório de concreto com cerca de 1 metro de espessura) (CARDOSO, 20--?).

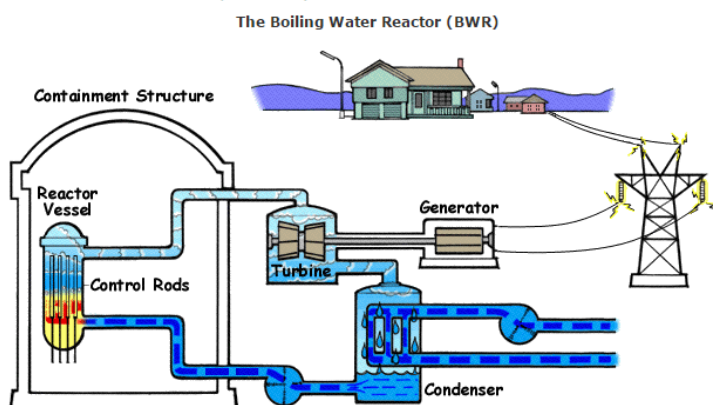
Segundo Rosa (2007), há dois tipos de reatores, o de água fervente (BWR: *Boiling Water Reactors*), o qual foi desenvolvido pela GE (General Electric), e os de água pressurizada (PWR: *Pressurized Water Reactors*) que foram financiados pelos Estados Unidos durante a Guerra Fria.

a) Reator de água fervente – BWR

Neste reator, o calor é gerado no núcleo localizado no interior do vaso de pressão. A água pura (de arrefecimento do reator) é deslocada para a parte inferior do núcleo onde, ao absorver calor, produz a mistura água-vapor que, por diminuir a densidade, ascende. Tal mistura deixa o topo do núcleo e, após processo de separação de umidade, ou seja,

remoção das gotas de água, torna-se apenas vapor. Este último entra no *steamline*, tubo responsável pelo direcionamento do vapor até a turbina, e aciona a turbina principal que, acoplada a um gerador, produz energia elétrica. O vapor residual é conduzido ao condensador, onde a água resultante é bombeada e reaquecida para a sua reutilização no núcleo do reator e, conseqüente, geração de eletricidade (NRC, 2015). A figura 1 demonstra o fluxo de produção de energia aqui explicado.

Figura 1 – Reator de água fervente.

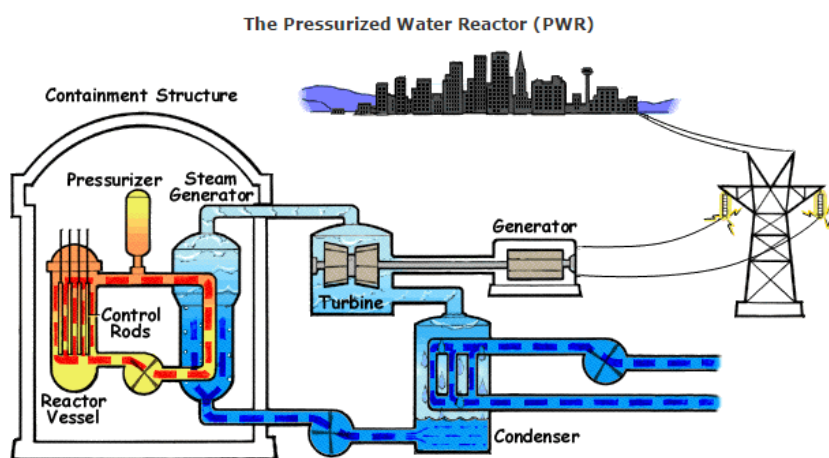


Fonte: NCR (2015).

b) Reator de água pressurizada (PWR)

Já no reator de água pressurizada, a água pressurizada é responsável por refrigerar o reator e, conseqüentemente, transmitir o calor gerado pelo núcleo (localizado no interior do vaso do reator) para a água contida em um circuito secundário. Essa transmissão de calor é o que difere o reator PWR do BWR, já que o vapor produzido não sofre contato com o reator, ou com a água que o refrigera, permitindo um maior isolamento da radioatividade presente no sistema. Por fim, a geração de energia é semelhante em ambos os reatores, o *steamline* direciona o vapor à turbina e, através do gerador, produz eletricidade (NRC, 2015). A figura 2 demonstra o fluxo de produção de energia aqui explicado.

Figura 2 – Reator de água pressurizada.



Fonte: NCR (2015).

5. RESÍDUOS RADIOATIVOS

Resíduo é todo material que, de alguma forma, já não possui função útil no processo ao qual pertence, ou está envolvido. Todo resíduo possui a necessidade de ser destinado corretamente ao descarte, considerando suas possibilidades de causar poluição ao meio ambiente.

De acordo com o Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD, 2012), “rejeito radioativo é qualquer material resultante de atividades humanas relacionadas a radionuclídeos (materiais radioativos) em quantidades superiores aos limites estabelecidos por normas da CNEN”. Por serem radioativos, tais resíduos, também conhecidos como lixo atômico, não podem ser reutilizados e, geralmente, são destinados a instituições como a CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. Os padrões internacionais de segurança é que regem o transporte, tratamento e armazenamento desse tipo de material (IRD, 2012).

5.1. Principais Resíduos e Classificação

Os principais resíduos radioativos são divididos em dois grupos: (1) de alta radioatividade e atividade, como combustíveis utilizados em usinas nucleares; (2) de média e baixa radioatividade e atividade, como roupas, luvas e produtos que estiveram em contato com elementos radioativos. Resíduos hospitalares também pertencem ao último grupo.

Os mais conhecidos são: ^{90}Sr e ^{137}Cs , produzidos na fissão; ^{239}Pu , formado quando o átomo de ^{238}U captura um nêutron e decai até este elemento (HINRICHS & KLEINBACH, 2003).

De acordo com Gore (2010), “um típico reator a água leve de 1.000 megawatts produz aproximadamente 27 toneladas ao ano de rejeitos de alto nível (...)”.

Segundo a CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear, os rejeitos são classificados segundo seus níveis, natureza da radiação, bem como suas meias-vidas (tempo necessário para certa quantidade de um elemento reduzir-se pela metade).

Quadro 1 – Classificação dos rejeitos radioativos

CLASSE	CARACTERÍSTICAS
I - CLASSE 0	Rejeitos Isentos (RI): rejeitos contendo radionuclídeos com valores de atividade ou de concentração de atividade, em massa ou volume inferiores ou iguais aos respectivos níveis de dispensa estabelecidos.
II – CLASSE 1	Rejeitos de Meia-Vida muito curta (RVMC): com meia-vida inferior ou da ordem de 100 dias, com níveis de atividade ou de concentração em atividades superiores aos respectivos níveis de dispensa;
III – CLASSE 2	Rejeitos de Baixo e Médio níveis de radiação (RBMN): com meia-vida superior a dos rejeitos da Classe1, com níveis de atividade ou de concentração em atividade superiores aos níveis de dispensa estabelecidos, bem como potência térmica inferior a 2 kW/m ³ ;
IV – CLASSE 2.1	Meia Vida Curta (RBMN-VC): rejeitos de baixo e médio níveis de radiação contendo emissores beta/gama, com meia-vida inferior ou da ordem de 30 anos com concentração de radionuclídeos emissores alfa de meia-vida longa limitada em 3700 kBq/kg em volumes individuais e com um valor médio de 370 kBq/kg para o conjunto de volumes.
V – CLASSE 2.2	Rejeitos contendo Radionuclídeos Naturais (RBMN-RN): rejeitos de extração e exploração de petróleo contendo radionuclídeos das séries do urânio e tório em concentrações de atividade ou atividades acima dos níveis de dispensa estabelecidos.
VI – CLASSE 2.3	Rejeitos contendo Radionuclídeos Naturais (RBMN-RN): rejeitos contendo matérias primas minerais, naturais ou industrializadas, com radionuclídeos das series do urânio e do tório em concentrações de atividade ou atividades acima dos níveis de dispensa estabelecidos.

VII – CLASSE 2.4	Rejeitos de Meia-Vida Longa (RBMN-RN): rejeitos não enquadrados nas Classes 2.2 e 2.3, com concentrações de radionuclídeos de meia-vida longa que excedem as limitações para classificação como rejeitos de meia-vida curta.
VIII – CLASSE 3	Rejeitos de Alto Nível de Radiação (RAN): rejeitos com potência térmica superior a 2 kW/m ³ e com concentrações de radionuclídeos de meia-vida longa que excedam as limitações para classificação como rejeitos de meia-vida curta.

Fonte: CNEN, 2015.

5.2. Tratamento e Armazenamento

Todo material que possua radioatividade, e que é considerado rejeito, deverá ser recolhido, tratado e armazenado de maneira adequada em locais específicos para essa finalidade (IEN, 2016).

De acordo com a Lei 10.308/2001, o recolhimento e armazenamento de rejeitos radioativos é uma atividade exclusiva da CNEN. A mesma possui depósitos intermediários e, atende às instalações que geram tais materiais, já que estes precisam de destino apropriado (CNEN, 2015).

Os resíduos de baixa atividade são, geralmente, armazenados em depósitos construídos especificamente para esse fim, onde devem ficar isolados por períodos que variam de 50 a, até, 300 anos. Estes locais são especiais, confinados e revestidos por concreto em todos os lados (ALMANAQUE ABRIL, 2014).

Já os de alta atividade, exigem uma maior preocupação, já que alguns deles mantêm-se radioativos por milhares de anos (GORE, 2010). Praticamente todo resíduo desta classificação encontram-se armazenados em piscinas de resfriamento, nas próprias usinas, junto aos reatores (HINRICHS & KLEINBACH, 2003).

De maneira geral, existe um consenso sobre a utilização de depósitos subterrâneos, para a deposição do material com alta radiação, onde o material fica em capsulas de metal, enterrado a centenas de metros de profundidade. Essas cavernas, depois de cheias e vedadas, isolam os rejeitos por tempo indeterminado (ALMANAQUE ABRIL, 2014). Porém, até 2010, nenhuma nação no mundo chegou a abrir um local como esse (GORE, 2010).

5.3. Riscos para o meio ambiente

Os resíduos radioativos são gerados pelo homem em quantidades maiores do que as que o ecossistema consegue depurar de forma natural, sem causar impactos. Ainda assim, existem resíduos que não são depuráveis, fazendo com que a discussão ambiental seja cada vez mais necessária, principalmente na geração e no consumo de materiais radioativos (SOUZA, [20--?]).

Os “lixos atômicos”, ao serem descartados de forma incorreta, provocam grandes danos ao meio ambiente. Causados pela carga de radioatividade presente, os efeitos nocivos atingem a saúde humana e toda a natureza envolvida no contexto. Não há uma solução definitiva para a disposição final de rejeitos de alta atividade, e as radiações ionizantes podem provocar efeitos deletérios sobre a saúde, pois mesmo em pequenas doses possuem efeitos cumulativos (CARVALHO, 2012). “O dano ou alteração biológica de uma célula por causa da radiação pode induzir **efeitos somáticos** (aqueles que afetam o indivíduo exposto à radiação) ou **efeitos genéticos** (aqueles que afetam os descendentes do indivíduo exposto à radiação) (...)” (HINRICHS & KLEINBACH, 2003, p. 404).

Os efeitos somáticos, considerando uma exposição prolongada a níveis altos de radioatividade, podem se manifestar a qualquer tempo, sendo eles o câncer, problemas no funcionamento de órgãos e outros. Alguns efeitos podem ser imediatos, como queimaduras, queda de cabelo, enjoo e, até mesmo, a morte (HOWARD, [20--?]).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia nuclear, apesar de ser uma fonte que não emite, diretamente, gases de efeito estufa e, produz baixa quantidade de resíduos por kWh gerado, não é ainda a tecnologia mais utilizada para geração de energia elétrica. Como pode ser visto, além de ter um alto consumo de água, gera resíduos radioativos de alta periculosidade ao meio ambiente e aos seres vivos.

Além disso, o pré-conceito e o medo, relacionados à tecnologia, também são entraves que não permitem a ampla expansão da tecnologia nos países.

Muitas discussões ainda serão incitadas até que se chegue a um consenso sobre a utilização da energia nuclear. Os desafios de, melhorar os processos tecnológicos; propor um destino correto, viável e sustentável aos resíduos gerados no processo; e disseminar a informação de forma acessível; serão dos futuros engenheiros, cientistas e professores do mundo.

REFERÊNCIAS

ALMANAQUE ABRIL. **Lixo radioativo**. 2014. Disponível em: <<https://almanaque.abril.com.br/lixo-radioativo>>. Acesso em: 31 mai. 2016.

BAIRD, C.; CANN, M.. **Química ambiental** / Colin Baird, Michael Cann. Tradução: Marco Tadeu Grassi... [et al.]; revisão técnica: Marco Tadeu Grassi. – 4. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2011.

BROWN, T,L; LEMAY, Jr. H.E.;BURSTEN, B.E.; BURDGE, J.R.. **Química a Ciência Central**. Tradução Robson Mendes Matos; revisão técnica André Fernando de Oliveira, Astréa F. de Souza Silva – 9.Ed – São Paulo: Prentice Hall, 2005.

CARDOSO. E. M. **ENERGIA NUCLEAR**. [20--?]. Disponível em: <http://www.fisica.net/nuclear/energia_nuclear_por_cnen.pdf >. Acesso em: 30 mai. 2016.

CARUSO, F.; OGURI, V.. **O Átomo**. PROFCEM Manuscript 2015. Disponível em: <<http://arxiv.org/pdf/1508.05841.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2016.

CARVALHO, J.F. **O espaço da energia nuclear no Brasil**. 2012. Disponível em: <<http://periodicos.usp.br/eav/article/view/10640/12382>>. Acesso em: 29 jun. 2016.

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Alternativas Energéticas: uma visão** Cemig, Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

CNEN – COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Site oficial**. 2015. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/>>. Acesso em: 31 mai. 2016.

CNEN – COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Armazenamento de rejeitos radioativos**. 2015. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/armazenamento-de-rejeitos-radiotivos>> Acesso em 03 jun. 2016.

CULTURA MIX. **Meio Ambiente – Lixo radioativo**. 2010. Disponível em: <<http://meioambiente.culturamix.com/lixo/lixo-radioativo>>. Acesso em: 06 jun. 2016.

- ELETROBRAS Eletronuclear. **Segurança E Tecnologia**. [20--?]. Disponível em: <<http://online.pubhtml5.com/fqry/twkj/#p=1>>. Acesso em: 30 mai. 2016.
- FERNANDES, F. M.. **No núcleo do átomo: os usos da energia nuclear e a inserção internacional do Brasil (1946-1985)**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Relações Internacionais do Instituto de Relações Internacionais da Universidade de Brasília. Brasília – DF, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/19023>>. Acesso em: 02 jun. 2016.
- GONÇALVES, O. D.; ALMEIDA, I. P. S. de. A Energia Nuclear. **Ciência Hoje**. Vol. 37. Nº220. 36 – 44. 2005.
- GORE, A. **Nossa escolha: um plano para solucionar a crise climática. “Our choice: a plan to solve the climate crisis”**. Barueri, SP: Manole, 2010.
- GUIMARÃES, S. P.. **Mudança de clima e energia nuclear**. Valor, 2010. Disponível em: <<http://www.bresserpereira.org.br/Terceiros/2010/10%2006%20Mudanca%20de%20clima%20e%20energia%20nuclear.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2016.
- HINRICH, R. A.; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente**. Tradução da 3. ed. Norte-americana. Tradução técnica Flávio Maron Vichi, Leonardo Freire de Mello. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.
- HOWARD, F. **Quais os perigos do lixo radioativo**. [20--?]. Disponível em: <http://www.ehow.com.br/quais-perigos-lixo-radioativo-info_227912/>. Acesso em: 05 jun. 2016.
- IEN. INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR. **Recebimentos de rejeitos radioativos**. 2016. Disponível em: <<http://www.ien.gov.br/produtos/recrej.php>>. Acesso em: 03 jun. 2016.
- IRD – INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA. **Resíduos Radioativos**. 2012. Disponível em: <http://www.ird.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=60>. Acesso em: 31 mai. 2016.
- PINHEIRO, A. C. F. B.. **Ciências do ambiente: ecologia, poluição e impacto ambiental**. São Paulo: Makron, 1992.
- ROSA, L. P. **Geração Hidrelétrica, Termelétrica E Nuclear**. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/0D/ea/v21n59/a04v2159.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2016.
- SCHMIDT, L.; HORTA, A.; PEREIRA, S.. **O desastre nuclear de Fukushima e os seus impactos no enquadramento midiático das tecnologias de fissão e fusão nuclear**. Ambiente & Sociedade. São Paulo v. XVII, n. 4. p. 233-250. out.-dez., 2014. Disponível em: <<http://repositorio.ul.pt/handle/10451/17731>>. Acesso em: 01 jun. 2016.
- SOUZA, E. L. **Contaminação ambiental pelos resíduos de serviços de saúde**. [20--?]. Disponível em: <<http://www.unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/revistafafibeonline/sumario/10/19042010093412.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2016.
- United States Nuclear Regulatory Commssion. **Boiling Water Reactors**. 2015. Disponível em: <<http://www.nrc.gov/reactors/bwrs.html>>. Acesso em: 02 jun. 2016.
- United States Nuclear Regulatory Commssion. **Pressurized Water Reactors**. 2015. Disponível em: <<http://www.nrc.gov/reactors/pwrs.html>>. Acesso em: 02 jun. 2016.
- ZAHN, G. S.. **Eu, o Nêutron (prazer em conhecer)**. Disponível em Fundamentos da Física de Nêutrons. Cibele Bugno Zamboni (coordenadora). São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007. p. 1 a 18. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=kgu758AOtY4C&oi=fnd&pg=PR5&dq=fiss%C3%A3o+nuclear&ots=cdn-MQoWzc&sig=7XxMtRdU_5Sa4MxYqambxLt4vJk#v=onepage&q=fiss%C3%A3o%20nuclear&f=false>. Acesso em: 07 jun. 2016.