

A RELAÇÃO DOS ACIDENTES NUCLEARES COM AS ATUAIS MEDIDAS DE SEGURANÇA E AMBIENTAL DAS USINAS

Rafael de Carvalho Sampaio¹

Michelle Cruz Costa Calhau²

RESUMO

Este artigo foi desenvolvido com o objetivo de relacionar os maiores acidentes nucleares desde *Three Miles Island*, em 1979, com as medidas utilizadas atualmente para reduzir os fatores de risco das usinas. O presente estudo se justifica pela busca por fontes de energia limpa, os perigos de grandes acidentes nucleares e o aprendizado após estes acontecimentos. Foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre como os acidentes nucleares foram importante para o avanço da gestão de setores emergenciais, ambientais e de segurança das usinas. Além disso, foram destacadas as vantagens e desvantagens desta fonte de energia. Foi percebido como os acidentes nucleares poderiam ter sido menores caso houvesse uma ação rápida das empresas e dos governos. Devido a isso, foram estabelecidos métodos de evacuação emergencial, sistemas de segurança baseado em redundância e projetos mais criteriosos, dentre outros procedimentos, a fim de reduzir os riscos das usinas.

Palavras-chave: Energia Nuclear. Fatores de riscos. Acidentes Nucleares. Vantagens e desvantagens.

¹ Engenheiro químico pela UNIFACS - Universidade Salvador. E-mail: rafael_c_sam@hotmail.com

² Mestre em Engenharia Ambiental Urbana e graduada em Ciências Biológicas pela UFBA - Universidade Federal da Bahia. E-mail: mcalhau@fieb.org.br

1 INTRODUÇÃO

A energia nuclear é uma das alternativas energéticas com maior destaque no mundo moderno. Segundo Zamboni (2007), a energia nuclear consiste na produção de eletricidade a partir do processo de fissão nuclear de átomos pesados, como o urânio 235 ou plutônio 239, que ao interagir com um nêutron o núcleo se rompe totalmente com uma grande liberação de calor e a possibilidade de disparar um processo em cadeia, sendo então, aproveitado no processo de conversão de energia térmica em elétrica.

No cenário nacional, Bronzatti e Neto (2008) afirmam que a energia hidrelétrica predomina com 93% da oferta de energia no país no ano de 2005, enquanto que a energia nuclear representou apenas 2,7% no mesmo ano. Isso mostra como a energia produzida por meio de combustível nuclear é muito pequena quando comparada à energia hidrelétrica. Eles afirmam que o Brasil possui grande potencial de exploração de urânio, mas que o processo é complexo devido à questões ambientais e altos custos de investimentos, o que atrasa a construção de novas usinas nucleares.

Enquanto isso, Silva e Carvalho (2002) afirmam que no cenário internacional os EUA têm a maior concentração de usinas nucleares do planeta, a França possui 75% de sua matriz energética baseada nesta tecnologia e que na América Latina, somente México, Brasil e Argentina possuem usinas nucleares, com dois reatores cada um.

Em março de 2011, um forte terremoto gerou um acidente nuclear na usina de Fukushima, no Japão. Não apenas este, mas outros casos na história das usinas nucleares – *Three Miles Island* (1979) e *Chernobyl* (1986) - acabam por criar o debate sobre os riscos desta tecnologia e a conveniência ou não de utilizá-la.

Os acidentes ocorreram devido a uma combinação de premissas de projeto equivocadas, falha humana e irresponsabilidade política – fatores que sempre existirão em maior ou menor grau - mas os progressos técnicos levaram à construção de usinas bem mais seguras, reduzindo o risco de acidentes. (MONTALVÃO, 2012).

Esse artigo tem como objetivo relacionar os maiores acidentes nucleares desde *Three Miles Island*, em 1979, com as medidas utilizadas atualmente para reduzir os fatores de risco das usinas, tendo como foco os setores emergenciais, ambientais e de segurança. Serão também destacadas as vantagens, desvantagens e dificuldades de implantação desta fonte de energia.

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste artigo consiste em uma pesquisa documental utilizando o Google Acadêmico, Scielo e a rede CAPS de artigos científicos para a construção de uma base de dados mais segura.

Inicialmente realizou-se uma pesquisa nas três plataformas citadas sobre como ocorre a geração de energia elétrica por meio de fissão nuclear. As palavras “fissão nuclear” e “urânio” foram utilizadas nessa etapa, tendo como prioridade livros publicados nos últimos 10 anos sobre o assunto devido a didática mais clara e menos técnica, já que o artigo não pretende focar nisso. Apenas um livro foi utilizado por estar disponível para leitura.

Em seguida, foi realizada nova pesquisa para saber o cenário nacional da matriz energética. Foram utilizadas as palavras “matriz energética nacional” e “energia nuclear”, para tal fim. Desta vez, tendo como prioridade artigos científicos publicados nos últimos 15 anos para se ter dados mais atuais das participações de cada fonte de energia.

Por fim, realizou-se uma pesquisa – periódicos, reportagens e livros - sobre o tema do artigo utilizando palavras como “acidentes nucleares”, “gestão integrada”, “segurança das usinas nucleares” e “impactos ambientais de elementos radioativos”. Foram analisados cerca de 35 artigos científicos, reportagens publicadas em sites e revistas e livros que tratavam sobre o tema de instalação desta tecnologia, e foram utilizadas 18 referências, entre – 5 livros, 7 periódicos, 6 sites e 1 revista, devido ao conteúdo estar condizente com o objetivo deste artigo.

Posteriormente, ocorreu uma compilação de todo o conteúdo pesquisado e uma comparação de artigos para definir os avanços da gestão integrada das usinas após os grandes acidentes nucleares. Além disso, foram verificadas as vantagens e

desvantagens da tecnologia em relação a outras formas de obtenção de energia através de elaboração de tabela com base nas referências consultadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Atual modelo de gestão emergencial

Segundo Hank (2017), durante o acidente de *Three Miles Island*, em 1979, ocorreu uma demorada ação de evacuação dos 15 mil habitantes que moravam dentro do raio de 2 quilômetros da área contaminada que, apesar de ter sido declarado estado de emergência, só foi iniciado dois dias depois do acidente começando com gestantes e crianças.

O acidente em Chernobyl, em 1986, não foi diferente. Mesmo após o acidente o governo soviético não informou imediatamente o acontecido. As autoridades soviéticas só assumiram o ocorrido após o Governo da Suécia ter detectado altos níveis de radiação no sul de seu país, correlacionando com a direção do vento, e ter anunciado que um grave acidente havia ocorrido em algum lugar da União Soviética (XAVIER *et al*, 2006).

Segundo Dupuy (2007) a retirada dos quase 50 mil habitantes da cidade de Pripjat, vizinha a central nuclear, só começou 36 horas depois das explosões. Segundo ele, a sequência de explosões químicas mataram 34 trabalhadores que se encontravam no local e cerca de 15 mil pessoas morreram nos seis meses seguintes.

Após estes acidentes a gestão de segurança emergencial cresceu a ponto que a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) estabelecer critérios de intervenção para medidas de proteção consideradas urgentes. Segundo Conti e colaboradores (2002) foram estabelecidos métodos de evacuação, abrigagem e uma série de procedimentos que permitem o apoio a um processo de tomada de decisão com base nas informações disponíveis a qualquer instante após uma declaração de emergência nuclear. Estes modelos permitem estimar diversas situações de exposição e, de um modo geral, visam a atender as necessidades de tomada de decisão a curto prazo.

Ainda segundo Conti e colaboradores (2002), o modelo trabalha dentro de três sistemas independentes:

- O primeiro compreende um banco de dados com as informações sobre os radionuclídeos, que podem ser necessárias durante a avaliação dos efeitos de um acidente como fatores de conversão dose externa, dose de inalação e ingestão, esquema de decaimento e tipos de radiações emitidas;
- O segundo utiliza modelos genéricos que fornecem informações úteis ao gerenciamento de pequenos acidentes e à fase inicial de acidentes com reatores nucleares;
- E o terceiro utiliza modelos dinâmicos para a avaliação das consequências a longo prazo relacionadas a qualquer tipo de acidente, em função do nível de contaminação resultante nas superfícies terrestres, e pode ser aplicado a diversos tipos de ambientes, incluindo tanto áreas rurais, quanto urbanas ou semiurbanas.

Devido à possibilidade do espalhamento da nuvem radioativa por diversos países foi estabelecido um esforço para expandir e reforçar a cooperação internacional em diversas áreas, tais como a comunicação, harmonização dos critérios de administração de emergência, informação, coordenação de ações protetoras e mecanismos internacionais de cooperação. Muitos países foram induzidos a estabelecer planos de emergência, nas áreas científicas e técnicas, junto a novas pesquisas com relação à segurança nuclear, especialmente no gerenciamento de acidentes nucleares sérios. (XAVIER *et al*, 2006)

3.2 Monitoramento Ambiental das Usinas Nucleares

No Brasil, a Eletrobrás, junto a um periódico emitido em 2011 no site do Ministério de Meio Ambiente (MMA), afirma que antes da entrada em operação de Angra 1, em 1985, o Laboratório de Monitoração Ambiental da Eletrobrás mediu os níveis de radioatividade natural e realizou estudos populacionais dos seres vivos -

flora e fauna - na área de influência da Central Nuclear. Tal estudo permite a comparação com amostras coletadas regularmente de água do mar, da chuva e de superfície, de areia da praia, algas, peixes, leite, pasto e do ar.

A Eletrobrás afirma que após o acidente de Chernobyl e a intensificação da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) uma equipe de biólogos, físicos e químicos, altamente especializada, executa programas contínuos de monitoração ambiental e envia os resultados para os órgãos fiscalizadores nacionais e internacionais. O controle de qualidade das análises é realizado através de programas de intercomparação mantidos pela AIEA.

Talvez apontada como o maior problema ambiental, os resíduos radioativos gerados pelas usinas nucleares recebem uma atenção especial. Segundo Tavares (2005), a Constituição Federal Brasileira de 1988, junto aos artigos 21 e 177, determina que é de responsabilidade da União a guarda segura dos materiais radioativos gerados em suas instalações, protegendo os trabalhadores, o público e o meio ambiente dos efeitos nocivos da radiação, até a sua disposição final em instalações projetadas para o armazenamento de longo prazo ou definitivo.

Devido a isso, o periódico da Eletrobrás afirma que o complexo nuclear de Angra possui um Centro de Gerenciamento de Rejeitos (CGR) com o objetivo de remoção e armazenamento dos resíduos radioativos. Além disso, o Brasil é signatário da Convenção Internacional para Gerenciamento Seguro de Rejeitos Radioativos e Combustível Usado, sendo periodicamente auditado pela AIEA com base em relatórios que periodicamente são encaminhados a essa organização.

3.3 Segurança das usinas nucleares e os critérios de projetos

O acidente de Fukushima, em 2011, levanta o debate da segurança das usinas nucleares. Segundo a revista Planeta (2013), o acidente está ligado a duas grandes tragédias naturais um terremoto de 9,0 graus na escala Richter seguido de um tsunami com parede de água de 14 metros.

A matéria afirma que já havia a avaliação desse problema no caso de um tsunami alto, tanto que a usina foi projetada para segurar ondas de até 6 metros e terremotos de 8,2 na escala Richter. Mas 4 das 6 usinas estavam na cota mais

abaixo do nível do mar – os demais reatores estavam cerca de 1 a 1,5 metro acima - e estes estavam em funcionamento na hora do acidente o que causou inundação dos aparelhos e o corte de energia dos reatores. Não se sabe por que a usina foi projetada de forma errada, mas, devido a isso, especialistas afirmam que o erro ocorreu da agência reguladora do Japão e que o acidente poderia ter sido evitado.

O acidente mostra que para que a segurança da usina seja completa, critérios de projetos mais rigorosos deveriam ser seguidos. Segundo Montalvão (2012), “o que houve lá foi um erro de projeto de uma usina instalada em área de grande risco”. Além disso, ele afirma que “o acidente de Fukushima certamente não teria ocorrido se a usina estivesse na Europa Central ou no Brasil, pois não são áreas passíveis de terremotos e/ou de maremotos deles decorrentes”.

No Brasil, segundo o periódico da Eletrobrás (2011), publicado pelo MMA, no projeto de uma central nuclear, a construção e o foco da engenharia na segurança são fundamentais. Diante dos acidentes internacionais ocorridos nos últimos 40 anos, o Brasil, com suas usinas Angra 1, 2 e 3 – o ultimo ainda em fase de construção - adotam medidas de segurança em diferentes níveis - no projeto, fabricação, construção e operação – conforme Eletrobrás (2011):

“Condições de acidente são evitadas mediante a observância rigorosa dos requisitos de projeto, fabricação e operação especificados para aumentar a segurança tais como:

- Margens de segurança adequadas no projeto de sistemas e componentes da central nuclear;
- Seleção cuidadosa dos materiais, juntamente com ensaios abrangentes (ex.: testes não destrutivos e de integridade) dos mesmos;
- Garantia da qualidade abrangente durante a fabricação, a montagem e o comissionamento;
- Controle repetido e independente do nível de qualidade alcançado;
- Supervisão da qualidade ao longo da vida útil da central mediante inspeções periódicas de rotina;
- Facilidade de manutenção de sistemas e componentes da central nuclear;
- Monitoração confiável das condições operacionais;

- Registro, avaliação e utilização das experiências adquiridas durante a operação – na própria usina e na indústria como um todo - com o fim de aprimorar a segurança;
- Treinamento rigoroso e abrangente do pessoal de operação.”

Além disso, a Eletrobrás afirma que ações corretivas, controle de acidentes, barreiras passivas e dispositivos de segurança ativos garantem uma gestão de segurança efetiva. A tecnologia PWR (*Pressurizer Water Reactor*) utilizada nas usinas brasileiras permite assegurar a alta confiabilidade dos sistemas de segurança com a implantação de princípios de redundância, diversidade, separação física, automação e o princípio “*fail-safe*” – quando há falhas nos próprios sistemas ou no suprimento de energia elétrica, o programa de segurança inicia ações direcionadas para o lado seguro.

Ainda segundo a Eletrobrás (2011) as usinas brasileiras ainda possuem sistemas contra terremotos e maremotos. Foram levantados dados dos últimos 50 anos e projetado molhe que aguenta ondas de até 4m de altura e abalos de até magnitude 6 na escala Richter, mesmo as usinas instaladas numa região com probabilidade muito baixa de ocorrência de eventos sísmicos e a possibilidade de maremotos na costa brasileira ser mínima. Mas tais princípios evitam acidentes como ocorreu em Fukushima.

3.4 Vantagens e Desvantagens da Energia Nuclear

O uso de usinas nucleares é uma grande possibilidade de gerar energia elétrica. Segundo Silvia e Carvalho (2002), de modo geral, nenhuma outra forma de produção de energia elétrica enfrenta tantas pressões mundiais contrárias à sua utilização quanto às usinas nucleares.

Isso se deve, principalmente, ao forte impacto na percepção mundial causada pelos grandes acidentes nucleares. Os autores afirmam que alguns países, como a Alemanha, já anunciaram que pretendem fechar a maioria de suas usinas nucleares. Além disso, esta percepção negativa da população, quanto ao uso desta tecnologia,

levou o governo brasileiro a realizar acordos sigilosos com EUA e Alemanha para a área nuclear.

Goldemberg (1998) cita como desvantagem os investimentos necessários para a implementação dessas usinas, além da segurança do reator, no problema da deposição dos resíduos radioativos e no montante de recursos financeiros necessários para a desativação das instalações nucleares. Segundo ele, os resíduos reativos devem ser armazenados por milhares de anos em reservatórios subterrâneos profundos, contidos em cimento, betume ou resinas e armazenagem em formações geológicas estáveis na terra ou no leito do mar. Enquanto isso, Silva e Carvalho (2002) afirmam que talvez hoje a questão dos resíduos radioativos seja o maior desafio desse tipo de tecnologia.

Anualmente, estão sendo pesquisadas várias maneiras de estocar esses materiais com segurança e de minimizar a radiação residual nos dejetos das usinas. Segundo Pena e colaboradores (2008), esta desvantagem provavelmente durará, pelo menos, 30 anos, a partir de quando já se esperam desenvolvidas tecnologias para reciclar e reaproveitar tais resíduos. Os autores ainda afirmam que tais resíduos podem interferir com ecossistemas, mas que os impactos ambientais causados pelas usinas – como área desmatada, deposição do resíduo radioativo e aumento da temperatura da água do mar - são muito menores que os impactos gerados pelo alagamento de uma usina hidrelétrica.

Com relação à questão da segurança, Silva e Carvalho (2002) afirmam que as ocorrências de acidentes em usinas nucleares são extremamente pequenas, apenas um em cada 10 mil reatores por ano. Porém, as consequências de um acidente são extremamente graves, pois envolve a emissão de partículas radioativas. Pessoas que estiveram em contato direto com altos níveis de radiação estão sujeitas a inúmeros problemas de saúde e modificações genéticas que podem ser transferidos aos seus descendentes por inúmeras gerações.

Em relação ao aspecto econômico e político, Silva e Carvalho (2002) e Montalvão (2012) afirmam que este tipo de tecnologia é dominado por poucos países e que não se podem descartar também os problemas políticos e sociais que são fatores que sempre existirão em maior ou menor grau, além do que envolvem a questão da proliferação de armas nucleares de destruição em massa, pois os países

que dominam o ciclo de enriquecimento radioativo são tecnicamente capazes de produzi-las.

Outra desvantagem da tecnologia é o fato de ser uma fonte de energia não-renovável. Os materiais radioativos utilizados como combustíveis - urânio, tório, plutônio, etc – são minerais extraídos da natureza e não há reposição imediata. Mas, segundo Reis e Silveira (2000), a energia nuclear poderá um dia se constituir em energia renovável caso consigam reutilizar os resíduos radioativos gerados. Eles afirmam que tal tecnologia pode se tornar numa das principais alternativas futuras de geração de energia elétrica, principalmente por não gerar emissões diretas de material poluente.

Mas não somente de aspectos negativos as usinas nucleares possuem. Muitos pontos positivos fazem com que vários países optem por esse tipo de geração de energia elétrica. Segundo Pena e colaboradores (2008), as vantagens das usinas estão na não contribuição para o efeito estufa – principal vantagem -, não poluição do ar com gases de enxofre, nitrogênio e particulados, não utilização de grandes áreas de terreno, não dependência da sazonalidade climática – chuvas e ventos -, dentre outros.

Os autores ainda afirmam que o Brasil possui como ponto positivo a grande disponibilidade de combustível, pois é o sexto maior produtor de urânio do mundo. Além disso, este elemento é a mais concentrada fonte de geração de energia e a quantidade de resíduos radioativos gerados é extremamente pequena e compacta, se comparado aos resíduos de combustíveis fósseis. O país domina a tecnologia do processo e não sofre com grandes eventos naturais como terremotos, furacões e vulcões, o que diminui os riscos de acidentes.

Segundo Petrin (2014), entre os principais benefícios do uso da energia nuclear, está a não utilização de combustíveis fósseis e não contribuição para o efeito estufa.

Já Zamboni (2007) cita como vantagem a facilidade do transporte do urânio, se comparado ao transporte de gás natural e carvão, devido a necessidade de se utilizar menos matéria prima para a produção de mesma quantidade de energia.

Devido a essas vantagens, países pequenos territorialmente como o Japão e países com pouca rede hídrica como a França utilizam este tipo de fonte de energia

ao invés da hidrelétrica ou termelétrica. O Brasil, rico em urânio e com um governo preocupado com o efeito estufa e da dependência das hidrelétricas acaba por encontrar na nuclear uma fonte de energia limpa, barata e com abundância.

Sabendo-se destas vantagens e desvantagens é possível fazer uma relação com outras fontes de energia elétrica.

Na energia hidrelétrica, Araújo (2013) afirma que o impacto ambiental e social é muito grande devido a grande área desmatada, desvio do curso de rios, criação de barragens e o deslocamento das populações ribeirinhas. Apesar disso, ele afirma que é “uma fonte de energia renovável e não emite poluentes, contribuindo assim na luta contra o aquecimento global. E para um país como o Brasil, cortado por imensos rios, torna-se uma fonte de energia vantajosa e altamente sustentável”.

Sobre as termelétricas, Reis (2011) afirma que a vantagem desta fonte de energia está no rápido processo de construção e a possibilidade de instalação em locais próximos das regiões de consumo, diminuindo os custos com a rede de distribuição. Por outro lado, os impactos ambientais são enormes, por ser uma fonte de energia não renovável e a grande liberação de poluentes na atmosfera.

Por fim, o Portal Energia publicou 2 matérias falando sobre a energia eólica e solar. Na matéria sobre a energia eólica, em 2015, afirma-se que esta fonte de energia tem como grande desvantagem a dependência dos ventos e provoca alguns impactos ambientais, como a poluição visual na paisagem local, impacto sobre as aves nos períodos de migração e o impacto sonoro que podem causar ruídos constantes de 43 dB(A).

Na matéria sobre energia solar, em 2016, afirma-se que esta fonte de energia depende da sazonalidade e do local de implantação “locais em latitudes médias e altas [...] sofrem quedas bruscas de produção durante os meses de Inverno devido à menor disponibilidade diária de energia solar”. Além disso, a forma de armazenamento de energia por baterias e o baixo rendimento dos painéis – cerca de 25% - ainda impede a ampla utilização desta fonte.

Baseado nestes autores é possível construir uma tabela comparativa com as principais fontes de energia elétrica, como mostrada na Tabela 1 abaixo. Para os valores quantitativos – alta, baixa, média, fácil ou difícil – toma-se como referência a fonte de energia nuclear:

Tabela 1 – Comparativo entre as principais fontes de energia elétrica

Fatores \ Fontes	Energia Nuclear	Hidrelétrica	Termelétrica	Eólica	Solar
Custo de implantação	Alta	Alta	Baixa	Baixa	Médio
Contribuição para efeito estufa	Não	Não	Sim	Não	Não
Área desmatada	Baixa	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
Produção de Rejeitos	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Dependência da sazonalidade	Não	Sim	Não	Sim	Sim
Impacto sobre a biosfera	Baixa	Alta	Alta	Médio	Baixa
Disponibilidade de combustível	Alta	Alta	Alta	-	-
Transporte do combustível	Fácil	-	Difícil	-	-
Armazenamento por bateria	Não	Não	Não	Sim	Sim
Risco de acidentes	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
Impacto de provável acidente	Alta	Alta	Médio	Baixo	Baixo
Fonte renovável	Não	Sim	Não	Sim	Sim

Fonte: Própria

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou os principais acidentes nucleares e as medidas utilizadas atualmente para reduzir os fatores de risco com base nestes acontecimentos. Foram abordados assuntos como os acidentes nucleares e como eles foram importantes para o avanço da gestão principalmente nos setores emergenciais, ambientais e de segurança das usinas. Além disso, foram destacadas as vantagens e desvantagens desta fonte de energia.

Com base na Tabela 1, que relaciona as principais fontes de energia e seus impactos, pôde-se perceber que as energias eólicas e solares são ainda as melhores opções se pensarmos no meio ambiente. Mas a dependência da sazonalidade impede com que elas sejam usadas como fonte primária de energia de um país. Com isso, de acordo com a matriz elaborada na Tabela 1 a energia nuclear é a melhor opção por ter um baixo impacto ambiental, apesar do custo elevado.

Além disso, a história dos acidentes nucleares mostraram que causaram grandes problemas ambientais e para a saúde da população local, mas que os danos poderiam ter sido menores caso houvesse uma ação rápida das empresas e dos governos. Erros humanos, de projetos ou até de responsabilidade social

colocam esta forma de geração de energia em debate até hoje. A busca por novas formas de geração de energia limpa entra em conflito com os riscos de acidentes de grandes proporções.

As lições aprendidas com os acidentes foram importantes incluindo critérios de projeto, a segurança do reator e administração em caso de acidentes severos, critérios de intervenção, procedimentos de emergência, comunicação, tratamento médico das pessoas irradiadas, métodos de monitoramento e etc.

THE RELATIONSHIP OF NUCLEAR ACCIDENTS WITH THE CURRENT SAFETY AND ENVIRONMENTAL MEASURES

Rafael de Carvalho Sampaio

Michelle Cruz Costa Calhau

ABSTRACT

This article was developed with the purpose of relating the largest nuclear accidents from Three Miles Island in 1979 with the measures currently used to reduce the risk factors of the plants. The present scientific article is justified by the search for sources of clean energy, the dangers of major nuclear accidents and the lessons learned after these events. Bibliographic research was conducted on how nuclear accidents were important for advancing the management of emergency, environmental and safety sectors of the plants. In addition, the advantages and disadvantages of this energy source were highlighted. It was realized how nuclear accidents could have been minor had there been rapid action by businesses and governments. Due to this, emergency evacuation methods, redundancy-based safety systems and more rigorous projects were established, among other procedures, in order to reduce the risks of the plants

Keywords: Nuclear energy. Risk Factors. Nuclear Accidents. Advantages and disadvantages.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Gabriely. **Energia Elétrica – Vantagens e Desvantagens**. Disponível em:
<<http://www.estudopratico.com.br/energia-hidreletrica-vantagens-e-desvantagens/>>.

Acesso em: 08 mai 2017

BRONZATTI, Fabrício Luiz; NETO, Alfredo Iarozinski. **Matrizes Energéticas no Brasil: Cenário 2010-2030**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://fans.edu.br/home/wp-content/uploads/2015/06/texto_matrizes_energeticas_brasil_cenario_2010.2030.pdf>

. Acesso em: 23 mar 2017.

CONTI, Luiz F. C.; ROCHEDO, Elaine R. R.; AMARAL, Eliana C. S.

Desenvolvimento de um Sistema Integrado para Avaliação de Impacto Radiológico Ambiental em Situações de Emergência. Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD-CNEN/RJ. IPEN. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <

https://www.ipen.br/biblioteca/cd/inac/2002/ENAN/E01/E01_449.PDF>. Acesso em:

16 jan 2017.

DUPUY, Jean-Pierre. **A Catástrofe de Chernobyl vinte anos depois**. Estudos Avançados v. 21, 2007. 243-252p. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/%0D/ea/v21n59/a18v2159.pdf>> Acesso em: 23 mar 2017.

ELETROBRÁS, Eletronuclear. **Critérios de Segurança Adotados para as Usinas Nucleares Angra 1, Angra 2 e Angra 3**. Ministério do Meio Ambiente - MMA.

Brasília, 2011. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir1529/CriteriosSeguranca_A123_JMDF.pdf>. Acesso em 5 jan 2017.

GOLDEMBERG, J. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo: Edusp, 1998. 235 p.

HANK, Holger. **1979: Acidente Nuclear em Three Mile Island**. Disponível em:
<<http://www.dw.com/pt-br/1979-acidente-nuclear-em-three-mile-island/a-782511>>.
Acesso em: 5 jan 2017.

MONTALVÃO, Edmundo. **Energia nuclear: risco ou oportunidade?** Núcleo de estudos e pesquisas do senado - CONLEG. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/604/1/energia%20nuclear%20risco.pdf/>>. Acesso em: 16 dez 2016.

PENA, Pedro; SALGUEIRO, João; CARECHO, André; GOÇALVES, Diogo; PIMENTA, Tiago; ALMEIDA, Francisco. Energia e Ambiente. **Energia Nuclear – Vantagens e Desvantagens**. Disponível em:
<<https://energiaeambiente.wordpress.com/2008/02/01/energia-nuclear-vantagens-e-desvantagens/>>. Acesso em: 14 dez 2016.

PETRIN, Natália. **Energia Nuclear no Brasil**. Estudo Prático. Disponível em:
<<http://www.estudopratico.com.br/energia-nuclear-no-brasil/>>. Acesso em: 14 dez 2016.

PORTAL ENERGIA. **Vantagens e desvantagens da energia eólica**. Disponível em:
<<https://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-da-energia-eolica/>>.
Acesso em: 08 mai 2017.

PORTAL ENERGIA. **Vantagens e desvantagens da energia solar**. Disponível em:
<<https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar/>>.
Acesso em: 08 mai 2017.

REIS, L.B. SILVEIRA, S. (orgs.) **Energia elétrica para o desenvolvimento sustentável: introdução de uma visão multidisciplinar** . São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. 284 p.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de Energia Elétrica**. São Paulo, 2ª Ed. Editora Manole, 2011. 482 p.

REVISTA PLANETA. **O Pesadelo de Fukushima**. Disponível em:
<<http://www.revistaplaneta.com.br/o-pesadelo-de-fukushima/>>. Acesso em: 5 jan 2017.

SILVA, Luciano Fernandes; CARVALHO, Luis Marcelo de. **A Temática Ambiental e o Ensino de Física na Escola Média: Algumas Possibilidades de Desenvolver o Tema Produção de Energia Elétrica em Larga Escala em uma Situação de Ensino**. Revista Brasileira de Ensino de Física. v. 24, n. 3, São Paulo, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172002000300012&script=sci_arttext&tlng=es>. Acesso em: 14 dez 2016.

TAVARES, Wagner Marques. **Legislação Nuclear no Brasil, Estados Unidos, Austrália, Canadá e Alemanha**. Consultoria Legislativa – Câmara dos Deputados. Brasília, 2005. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/areas-da-conle/tema16/2005_4125.pdf>. Acesso em: 16 dez 2016.

XAVIER, Allan Moreira; LIMA, André Gomes de; VIGNA, Camila Rosa Moraes; VERBI, Fabíola Manhas; BORTOLETO; Gisele Gonçalves; GORAJEB, Karen; COLLINS, Carol Hollingworth; BUENO, Maria Izabel Maretti Silveira. **Marcos da História da Radioatividade e Tendências Atuais**. Departamento de Química Analítica, Instituto de Química, Unicamp. Campinas, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/qn/v30n1/18.pdf>>. Acesso em: 16 jan 2017.

ZAMBONI, Cibele Bugno. **Fundamentos da Física de Nêutrons**. São Paulo. Editora Livraria da Física, 1ª edição. 2007, 161p.