

O que é a energia nuclear e qual o seu espaço em nossa nação?

Vinício Damacena¹, Morgana Ferreira², Vicktor Wandle³

¹Discente do Ensino Médio Integrado de Informática - IFTO. e-mail: <viniciogoulart@gmail.com>

²Discente do Ensino Médio Integrado de Informática - IFTO. e-mail: <morgana141516@gmail.com>

³Discente do Ensino Médio Integrado de Informática - IFTO. e-mail: <vicktorwandle@gmail.com>

Resumo: No artigo em questão, dissertamos brevemente acerca do método de obtenção da energia, áreas de aplicação da tecnologia, benefícios e malefícios, acontecimentos históricos etc, avultando-a como uma maneira alternativa e viável de energia à nosso país.

Palavras-chave: fissão, fusão, investimentos, reatores, rejeição.

1 INTRODUÇÃO

É claramente perceptível o prejulgamento criado em torno da energia nuclear, e esse feito se deve ao número e a magnitude dos acontecimentos históricos, como por exemplo os acidentes nucleares de Fukushima em 2011, ou de Chernobyl em 1986, além dos ataques nucleares, que ocorreram em Hiroshima e Nagasaki durante a Segunda Guerra Mundial. Em função destes acontecimentos os investimentos para o aprimoramento da tecnologia foram cortados em nível mundial, principalmente no Brasil pois possuímos muitas riquezas naturais e conseguimos suprir nossas demandas energéticas com hidrelétricas que são abundantes em nossa nação.

A energia nuclear, conhecida também como atômica, refere-se a energia consumida ou produzida com a modificação da composição de núcleos atômicos, ou seja, pela fissão de átomos de urânio ou plutônio. Essa energia é feita em usinas termonucleares, e o intuito das mesmas geralmente é produzir energia elétrica devido ao calor gerado pela reação da água aquecida, ou seja, o processo de ebulição, ocasionando o funcionamento de uma turbina movida a vapor, em um reator. Cada usina possui um reator específico que executa a tarefa de diferentes formas porém entrega o resultado parecido ou até mesmo igual.

2 FISSÃO E FUSÃO, E SEUS TIPOS DE REATORES

Para entendermos a diferença entre fissão nuclear e fusão nuclear, antes devemos compreender o definição de ambas.

Fissão nuclear é um procedimento que baseia-se na divisão de um núcleo atômico pesado, como o de urânio (sendo este o principal combustível usado em usinas nucleares) ou plutônio, em dois fragmentos de massa aproximadamente similares através do bombardeamento de partículas, como por exemplo nêutrons, prótons, deuteronos ou partículas alfa. Esse procedimento vem acompanhado pela

liberação de uma grande quantidade de energia. Além disso, produtos radioativos são produzidos e várias partículas são emitidas.

No processo de fissão nuclear, a cada colisão de partículas são liberados mais partículas. Estas, por sua vez, irão se colidir com novos núcleos, provocando assim, uma fissão contínua, conhecida como reação em cadeia. Essa reação compreende quando um grande número de núcleos sofre uma fissão e uma ampla quantidade de energia é liberada. Se controlado em um reator nuclear, tal reação pode fornecer energia para o provento da sociedade. Se descontrolada, pode alargar a uma explosão de força destrutiva assombrosa, onde podemos citar como um exemplo, a bomba atômica. Desta forma, percebemos que a fissão nuclear é o principal processo gerador de energia. Contudo, é importante frisar que a mesma é uma forma de transmutação nuclear, pois os fragmentos resultantes não são o mesmo elemento que o átomo original. Os dois núcleos produzidos são na maioria das vezes de tamanhos comparáveis mas levemente diferentes.

Chain Reaction

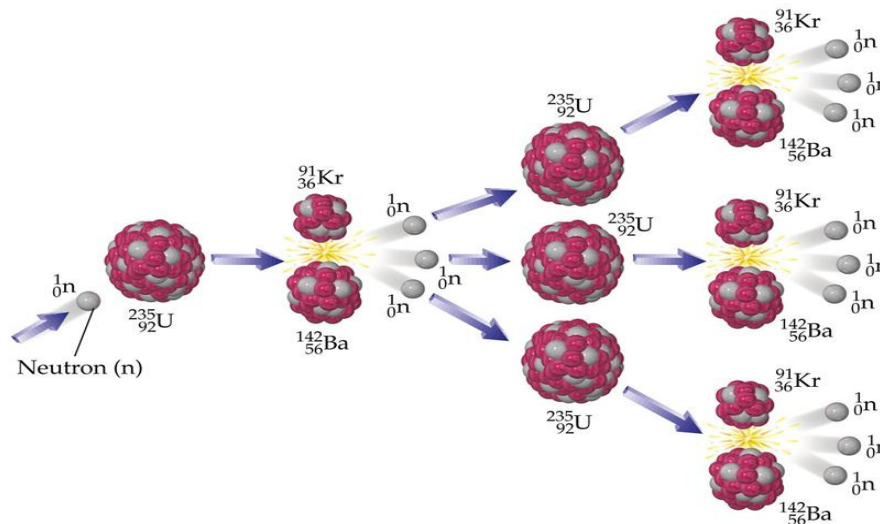


Figura 1 -Imagem ilustrativa sobre o processo de fissão nuclear. Origina quando um núcleo pesado é atingido por um nêutron e após a colisão, provoca sucessivas fissões de núcleos, causando uma reação em cadeia. FONTE: Resumo escolar (2014).

Já a fusão nuclear é um processo que combina dois ou mais elementos leves e formam um ou mais núcleos atômicos e partículas subatômicas diferentes (prótons ou nêutrons), ou seja, formam um elemento mais pesado. E é acompanhado pela liberação ou absorção de energia, dependendo das massas dos núcleos envolvidos. Por essa razão, a comunidade científica está trabalhando para tornar possível a energia nuclear, através do processo de fusão, uma opção vigorosa. Mas para tal, é

necessário um reator Tokamak, que é um reator capacitado para produzir e controlar a fusão nuclear. Vários desses reatores estão sendo desenvolvidos em diferentes lugares do mundo.

O Sol e outras estrelas usam a fusão nuclear para produzir energia, onde a fusão de núcleos de hidrogênio formam núcleos de hélio. Logo, a fusão nuclear requer temperaturas extremamente altas, como milhões de graus Celsius. Além disso, uma força atrativa intensa, como a gravitação da magnitude que ocorre no ponto médio das estrelas, é necessária para superar a repulsão eletrostática entre os núcleos carregados positivamente. A evolução das estrelas pode ser vista como uma passagem por vários estágios, pois as reações termonucleares e a nucleossíntese causam mudanças de composição ao longo do tempo. Os seres humanos também podem produzir altas temperaturas e forças necessárias para gerar alguma fusão desenfreada, sendo exemplos importantes armas nucleares, ou bombas de hidrogênio.

O desenvolvimento de energia de fusão para uso prático também depende de reações de fusão entre os elementos mais leves que queimam para formar hélio. Efetivamente, os isótopos pesados de hidrogênio, deutério e trítio (sendo estes os principais combustíveis usados em usinas experimentais de fusão), reagem mais drasticamente uns com os outros e, quando são submetidos à fusão, produzem mais energia por reação do que dois núcleos de hidrogênio.

As reações de fusão entre elementos leves, como reações de fissão que dividem elementos pesados, liberam energia por causa de uma particularidade chave da matéria nuclear, chamada energia de ligação, que pode ser liberada por meio da fusão ou fissão. A energia de ligação do núcleo é uma medida da eficiência com a qual seus núcleos constituintes estão ligados. As reações de fusão podem ser compreendidas de dois modelos, sendo eles os que preservam o número de prótons e nêutrons, e os que envolvem uma conversão entre prótons e nêutrons. As reações do primeiro modelo são mais importantes para a produção prática de energia, enquanto que as do segundo modelo são essenciais para a queima da estrela. Sendo assim, ambas as reações de fusão são exoérgicas e geram energia.

Portanto podemos concluir que, a fusão nuclear e a fissão nuclear são tipos diferentes de reações que liberam energia devido à presença de ligações atômicas de grande potência entre as partículas ligadas dentro de um núcleo. Na fissão, um átomo é dividido em dois ou mais átomos menores e mais leves. A fusão, ao contrário, ocorre quando dois ou mais átomos menores se fundem, criando um átomo maior e mais pesado, sendo que a fusão libera três a quatro vezes mais energia que a fissão.

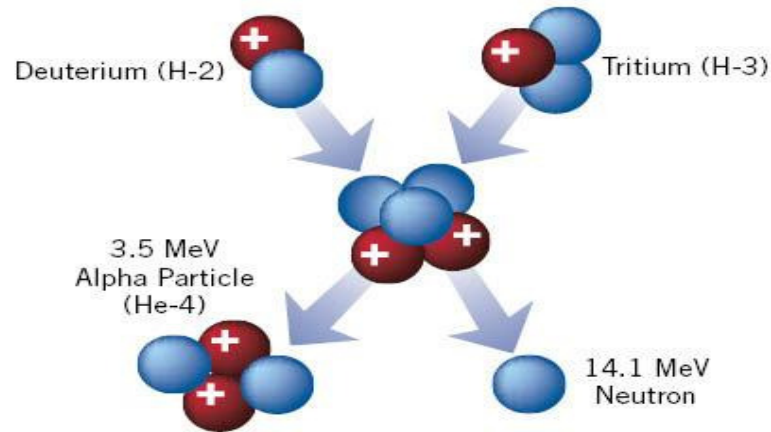


Figura 2 - Ilustração do processo de fusão nuclear. Após serem submetidos a uma temperatura muito alta, deutério e o trítio se unem, formando núcleos de hélio e resultando uma grande liberação de energia. FONTE: Nuclear Connect - ANS (2018).

Em usinas que utilizam fissão nuclear existem reatores com diferentes formas de gerar energia, como o de água pressurizada (PWR) que usa urânio-235 e é arrefecido por água leve pressurizada. Dois a cada três reatores em funcionamento são PWR's, pois caso o moderador evapore, o reator para instantaneamente, sendo assim mais seguro.

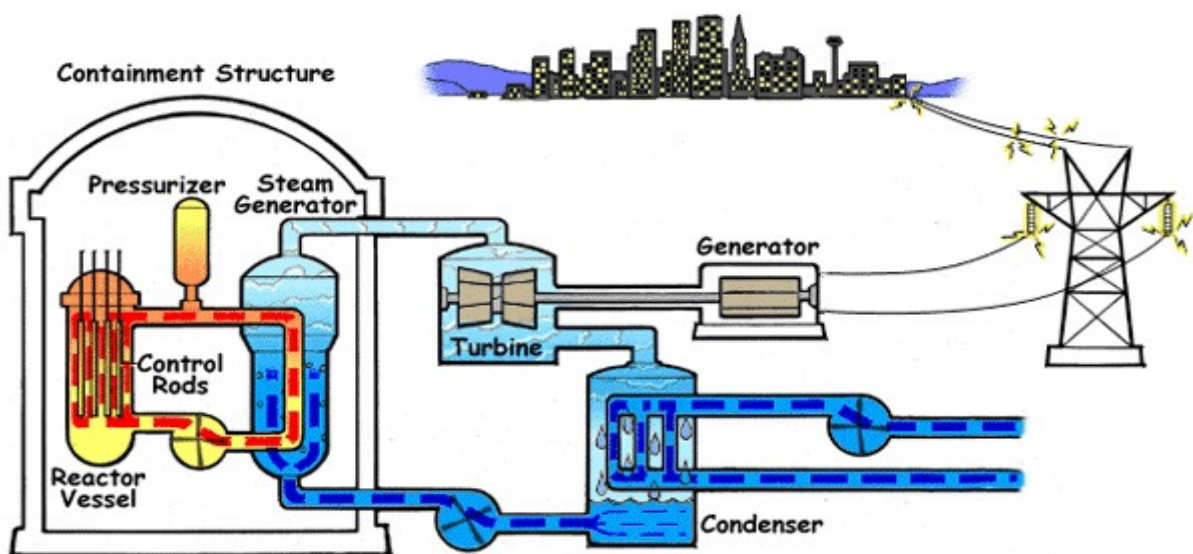


Figura 3 - Diagrama ilustrado do funcionamento do reator PWR. FONTE: U.S.RNC (2017).

O segundo reator mais utilizado é o BWR que utiliza água fervente para impulsionar a turbina, possui o custo de instalação mais acessível que o do PWR, e um de seus benefícios é a segurança.

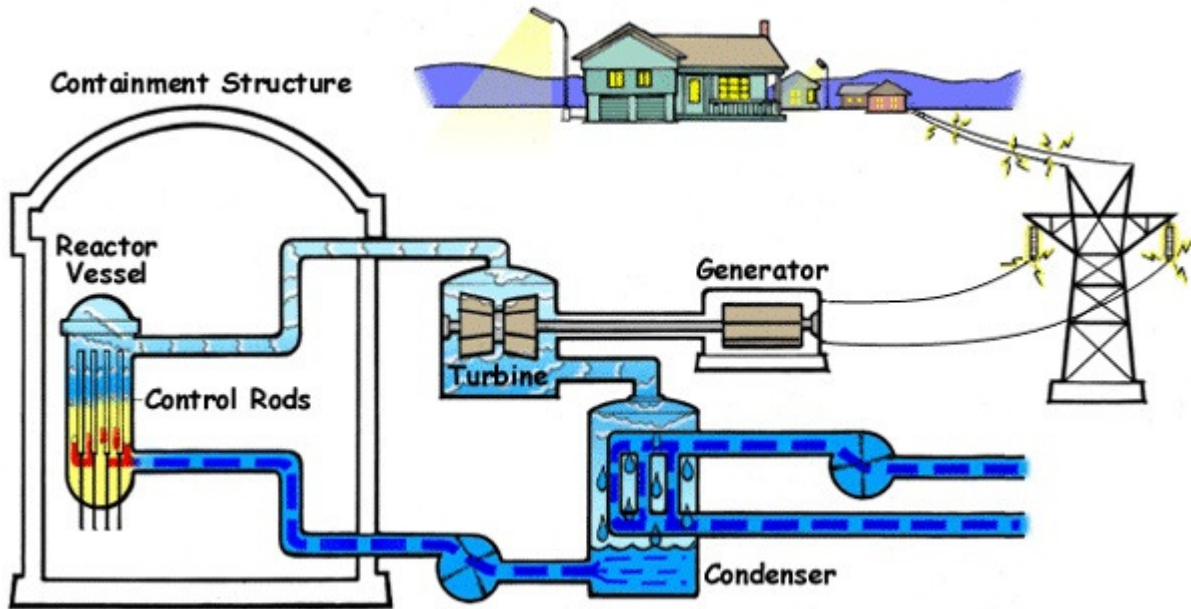


Figura 4 - Ilustração do ciclo do BWR. FONTE: U.S.RNC (2017).

Outro exemplo de reator é PHWR cujo combustível é o urânio natural e o refrigerante é a água pesada, água essa que tem seu custo compensado por uma economia de nêutrons. Reactores como este apresentam maior risco de proliferação nuclear.

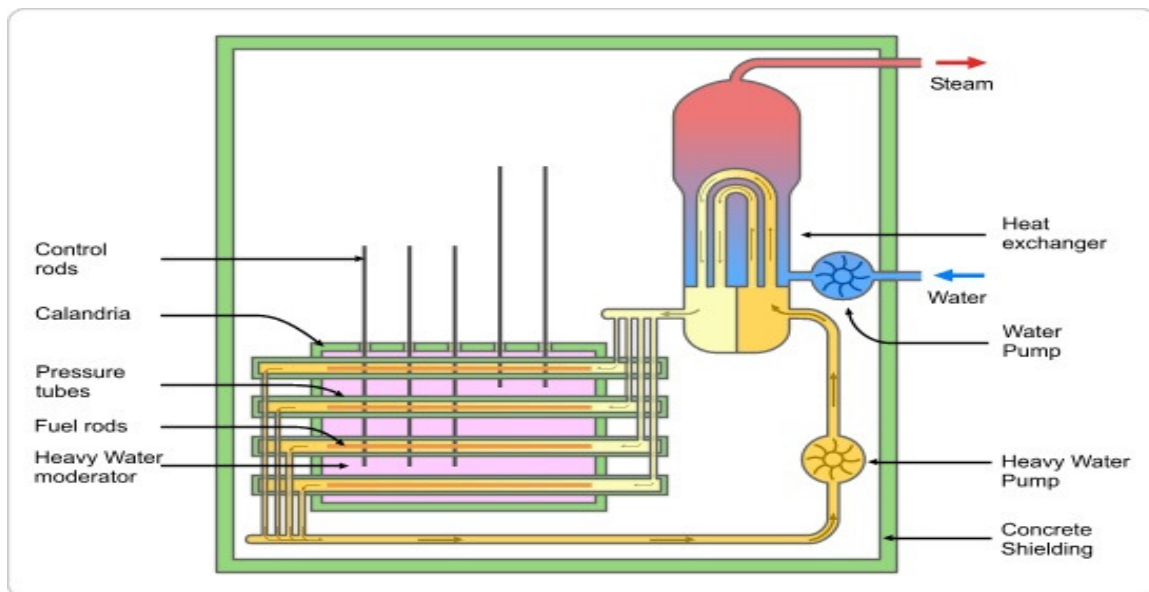


Figura 5 - Imagem explicativa do reator PHWR. FONTE: Energia Nuclear (2017).

Um reator de fusão nuclear mais conhecido é o Tokamak. O Tokamak é uma máquina

experimental projetada para aproveitar a energia da fusão termonuclear controlada e é um dos vários modelos de dispositivos de confinamento magnético. Dentro do Tokamak, a energia produzida pela fusão de átomos é absorvida como calor. Esse calor é usado para produzir vapor e posteriormente eletricidade através de geradores e turbinas em seu interior.

3 FATORES HISTÓRICOS QUE CONTRIBUÍRAM NA REJEIÇÃO DA TECNOLOGIA

Certamente, o fator primordial que contribuiu para a não aceitação dessa tecnologia foram as armas nucleares ou bombas atômicas, que para a maioria de nós que nascemos após o período da Guerra Fria, imagens sobre armas capazes de obliterar uma cidade inteira não nos comove do mesmo modo que há cem anos atrás, quando foi divulgada uma tecnologia capaz de tal. Na teoria, o descobridor da bomba atômica foi Leó Szilárd, um cientista húngaro que foi expulso da Alemanha por ser judeu. Para ter certeza da veracidade da descoberta, Szilárd pediu para que o cientista, Albert Einstein, averiguasse o caso, confirmando que a tecnologia poderia ser construída na prática. Após a confirmação, Szilárd escreveu uma carta assinada por Einstein dizendo ao presidente Franklin D. Roosevelt que os nazistas poderiam fabricar bombas extremamente poderosas de um novo tipo.

Acredita-se que, em função da carta enviada, foi criado o comitê do urânio ou mais popularmente conhecido como Projeto Manhattan, e seu propósito era, com apoio de Estados Unidos, Canadá e Inglaterra, desenvolver a tal arma. O custo do projeto foi em torno de US\$ 2 bilhões, atualmente cerca de US\$ 26 bilhões.

Após anos de desenvolvimento do Projeto Manhattan, em 16 de julho de 1945 foi feito o primeiro teste na história de um dispositivo nuclear, denominado teste Trinity. A explosão ocorreu no Campo de Teste de Mísseis de White Sands no Novo México. Um mês após o teste do teste Trinity, com a morte do ex-presidente Roosevelt, o então presidente Harry S. Truman sancionou ataques com armas nucleares a duas cidades japonesas, Hiroshima e Nagasaki respectivamente. O primeiro ataque ocorreu no dia 06 de agosto de 1945, matando em torno de 70 mil pessoas e ferindo aproximadamente o mesmo número de baixas. A arma nuclear usada em questão nomeada de Little Boy, continha 65 kg de urânio-235 e possuía uma potência equivalente a 15 quilotons de TNT. Já o segundo atentado ocorreu no dia 09 de agosto de 1945, matando em torno de 40 mil, e ferindo aproximadamente 60 mil. A segunda ogiva foi denominada Fat Man e, diferente da Little Boy, o combustível usado em questão foi o plutônio-239. A bomba tinha uma potência de 21 quilotons e 6,4 kg de material físsil.

Muitos podem achar estranho pois, mesmo a Fat Man tendo o dobro da capacidade destrutiva da Little Boy o número de baixas foi menor. Bem, esse feito se deve a um erro de trajetória causado

pelo clima desfavorável do dia em questão, pois o dispositivo foi despejado em um vale ao lado da cidade. Devido a geografia montanhosa de Nagasaki, parte da carga destrutiva foi contida.

Após os dois ataques, começa então a corrida armamentista em um mundo bipolar, onde as duas potências, Estados Unidos e União Soviética, entre outros países, fazem testes com armas nucleares e, aumentando assim, o medo e causando preocupação de todos.

Já em 26 de abril de 1986 ficaria marcado como o maior acidente nuclear da história, o desastre de Chernobyl, que ocorreu a 120 Km de Kiev, capital da Ucrânia. O episódio se deu por diversos fatores, como o fato do reator não possuir um sistema de segurança atualizado, que ocasionou na redução e aumento súbito na produção de energia, concomitantemente com a interrupção da água que esfriava o reator, deste modo superaquecendo-o e destruindo o núcleo do reator. De acordo com dados, houveram 28 vítimas envolvidas de forma direta, a maioria delas foram enterradas em caixões de concreto. Oficialmente, o acidente de Chernobyl afetou a vida de aproximadamente 600.000 pessoas. A explosão também liberou fumaça radioativa que se espalhou por toda a atmosfera terrestre.

Outro desastre nuclear ocorreu em 11 de março de 2011 em Fukushima no Japão, onde o incidente foi causado por um tsunami que atingiu a usina e liberou materiais radioativos. Nesse caso não houveram mortes por exposição à radiação, entretanto 300.000 pessoas foram evacuadas. Todos esses acontecimentos contribuíram para a construção da forma como interpretamos o assunto, e por mais que inconscientemente quando a palavra nuclear é citada de alguma forma, para a maioria leiga do assunto em questão, criou-se uma imagem preconceituosa do tema.

4 BRASIL E SEU PROGRAMA NUCLEAR

No Brasil, cerca de 3% da matriz elétrica é nuclear, sendo esse percentual energético produzido por duas usinas, Angra 1 e 2 localizadas na Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, em Angra dos Reis, Rio de Janeiro. Os dois reatores são PWR, ou seja, reatores de água pressurizada, e em 2010 iniciou-se a construção de um terceiro reator, Angra 3, que também é PWR, no mesmo local. Seu funcionamento estava previsto para 2018, porém devido a atrasos na obra, o início das operações foi adiado para o ano de 2024.

A história da energia nuclear no Brasil começa por volta do final dos anos de 1930, na Universidade de São Paulo (USP) com pesquisas teóricas. Posteriormente, na década de 1940, o Brasil exportava recursos minerais (monazita, tório e urânio) aos Estados Unidos, com o intuito de ajudar na corrida armamentista. Já em 1950 se iniciou a procura por tecnologia nuclear, e com a ajuda do Almirante Álvaro Alberto, pioneiro na área, foi criado o Conselho Nacional de Pesquisa. A decisão da

criação de uma usina nuclear no Brasil ocorreu de fato em 1969 e em 1974. O início das obras para a construção da primeira usina termonuclear (Angra 1) tinha começado.

No ano 1978, com as restrições impostas pelos EUA com relação à energia nuclear e os problemas com o acordo nuclear com a Alemanha Ocidental, o Brasil trabalhou em um projeto nuclear secreto, e seu objetivo primordial era desenvolver, de forma autônoma, uma tecnologia para a produção de um hexafluoreto de urânio (UF₆). Com o passar do tempo, o projeto se tornou um programa que pesquisava formas de produção de energia nuclear, reatores para propulsão naval e dispositivos nucleares explosivos. E em 1987 o então presidente José Sarney revelou publicamente que o Brasil poderia enriquecer com o urânio por meio de um programa nuclear secreto. Após a declaração de Sarney e a falta de transparência sobre o programa nuclear, fizeram com que muitas pessoas, e até mesmo outros países, pensassem que o governo brasileiro estava desenvolvendo armas nucleares. Por mais que muitos afirmam, como Hans Rühle, um ex-oficial do Ministério da Defesa da Alemanha, que nós poderíamos desenvolver essa arma hipotética, nada até hoje comprova o desenvolvimentos de artefatos nucleares explosivos por parte do programa nuclear brasileiro. Em 1998, o Brasil assinou o TNP (Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares) determinando que todo uso nuclear em território brasileiro seja pacífico.

Atualmente, a matriz energética do Brasil é dominada pelas hidrelétricas que são responsáveis por mais de 75% do abastecimento da população. O percentual elevado com relação ao uso dessa energia se deve a seu baixo custo, porém esse tipo de obtenção de energia é fortemente influenciado pela época do ano em determinadas regiões e também períodos de estiagem, como a crise hídrica que ocorreu no estado de São Paulo, que se iniciou no ano de 2014 e se estendeu por um biênio. Para suprir a demanda energética no período de seca foi necessário a utilização de usinas termoelétricas de combustíveis fósseis, o problema é que essa maneira de ganho de energia agride muito a natureza, pois libera muitos gases poluentes. Atualmente, a forma de obtenção a partir da queima de combustível fóssil é a mais utilizada, em torno de 70% de participação na matriz energética mundial. No Brasil, por sorte, o uso dessa forma de energia não passa dos 7,5%. Com a crise hídrica é perceptível a dependência elétrica com as usinas hidrelétricas, e em função de toda essa dependência, foi necessário fazer o uso das termoelétricas, assim causando a ativação das bandeiras tarifárias.

O Brasil é um alto gerador de energia elétrica, assim como consumidor. Atualmente ocupamos o sétimo lugar na lista de países por consumo de eletricidade, e também um dos poucos países a dominar todo o processo de fabricação de combustível para usinas nucleares, fazendo com que estejamos em uma situação bem favorável neste quesito. Porém essa favorabilidade não é aproveitada, devido a governantes que não exercem a função do seu cargo, nosso país possui total potencial de obtenção e enriquecimento de material nuclear, porém o processo de enriquecimento é na

maioria das vezes feita no exterior, e isso também ocorre com nossas reservas de petróleo pois possuímos um número enorme de barris extraídos. Entretanto boa parte do refino é feito em outros países, portanto a balança comercial fica bem desfavorável para a população brasileira, pois exportamos mais barato e importamos mais caro.

Por mais que pareça incrível uma pequena partícula gerar uma quantidade imensa de energia, nem tudo são rosas. Assim como os perigos de resíduos radioativos são um ponto fraco, existem também o seu alto custo, principalmente na construção de usinas e seus reatores. Como parâmetro de comparação, por mais que não se saiba ao certo o custo total do programa nuclear brasileiro, a construção de Angra 1 e Angra 2 custaram 12,5 bilhões de dólares. Portanto, certamente o principal fator que impede o uso da energia nuclear no território é o seu custo elevado, sendo considerado um empecilho ao desenvolvimento do Brasil.

5 CONCLUSÃO

A utilização da energia nuclear é necessária para que a humanidade continue em desenvolvimento e pode ser uma importante alternativa em meio às dificuldades apresentadas hoje em dia. O uso excessivo de combustíveis fósseis, como por exemplo o petróleo e o gás natural, ainda prevalece, entretanto suas reservas não são renováveis e poluem o meio ambiente. Portanto, a energia nuclear tem uma grande possibilidade de ser útil e benéfica, mesmo ainda não sendo totalmente segura, para o crescimento e desenvolvimento da humanidade futuramente.

Muitos consideram a energia nuclear uma fonte limpa mas, em virtude dos argumentos mencionados, ela é capaz de gerar resíduos radioativos tão perigosos quanto os tradicionais combustíveis fósseis, pois podem causar um impacto muito prejudicial ao meio ambiente e aos humanos. Com isso então, não podemos encaixá-la como uma fonte limpa. Mas levando em consideração esses aspectos e tendo em vista outros fatos apresentados, conclui-se que a energia nuclear não contribui para o efeito estufa, não depende de chuvas ou ventos para o seu funcionamento, não polui o ar com gases tóxicos e seu impacto ambiental, ao contrário das hidrelétricas, é quase nulo.

Pela observação dos aspectos e fatos analisados, a energia nuclear deve ser operada com intenções favoráveis e é de extrema importância que as usinas sejam mantidas de acordo com padrões de segurança severos. Caso contrário, um grande desastre poderá acontecer. Portanto seria mais razoável investir na manutenção e segurança da produção de energia nuclear a fim de evitar desastres nucleares e, conseqüentemente, parar com o medo e a desconfiança das pessoas sobre a mesma, para que posteriormente seja uma alternativa de produção de energia sustentável e renovável.

REFERÊNCIAS

ABEM. **CIN: 45 anos a serviço da informação técnico-científica**. Disponível em:
<<http://www.abem.com.br/Arquivos/424/424.pdf>> Acesso em: 1 de agosto de 2018.

AMPUDIA, Ricardo. **Entenda o acidente nuclear em Fukushima, no Japão**. Disponível em:
<<https://novaescola.org.br/conteudo/261/entenda-o-acidente-nuclear-em-fukushima-no-japao>>
Acesso em: 17 de agosto de 2018.

CARDOSO, Eliezer de Moura. **Energia Nuclear**. Disponível em:
<<http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/manuais/radioprotecao/Energia%20Nuclear.pdf>>
Acesso em: 17 de agosto de 2018.

CARVALHO, Joaquim Francisco de. **O espaço da energia nuclear no Brasil**. Disponível em:
<<http://www.scielo.br/pdf/ea/v26n74/a21v26n74.pdf>> Acesso em: 1 de agosto de 2018.

CHARPAK, Georges; GARWIN, Richard L. **Megawatts and Megatons: The Future of Nuclear Power and Nuclear Weapons**. Estados Unidos: University of Chicago Press, 2002.

CHERNOBYL WEL. **CHERNOBYL HISTORY**. Disponível em:
<<https://www.chernobylwel.com/chernobyl-history>> Acesso em: 17 de agosto de 2018.

CHUDAKOV, Mikhail. **HOW DOES NUCLEAR ENERGY WORK?: A BRIEF SCIENTIFIC INTRODUCTION**. Disponível em:
<<http://www.hcs.harvard.edu/~res/2015/06/how-does-nuclear-energy-work-a-brief-scientific-introduction/>> Acesso em: 10 de agosto de 2018.

CONN, Robert W. Nuclear fusion. Disponível em:
<<https://www.britannica.com/science/nuclear-fusion>> Acesso em: 31 de agosto de 2018.

Department of Energy. **NUCLEAR ENERGY RESEARCH AND DEVELOPMENT ROADMAP**. Abril, 2010. Disponível em:
<https://www.energy.gov/sites/prod/files/NuclearEnergy_Roadmap_Final.pdf> Acesso em: 1 de setembro de 2018.

GALLAS, Márcia Russman. **Energia Nuclear**. Disponível em:
<http://www.if.ufrgs.br/~marcia/FN_aula3.pdf> Acesso em: 17 de agosto de 2018.

HERZOG, Rudolph. **A Short History of Nuclear Folly: Mad Scientists, Dithering Nazis, Lost Nukes, and Catastrophic Cover-ups**. Alemanha: Kiepenheuer & Witsch GmbH & Co. KG, 2012.

ITER. **WHAT IS A TOKAMAK?**. Disponível em:
<<https://www.iter.org/mach/tokamak>> Acesso em: 17 de agosto de 2018.

MAHAFFEY, Jim. **Atomic Accidents: A History of Nuclear Meltdowns and Disasters: From the Ozark Mountains to Fukushima**. Estados Unidos: Open Road Media, 2014.

MARA, Wil. **The Chernobyl Disaster: Legacy and Impact on the Future of Nuclear Energy**. Singapura: Marshall Cavendish, 2011.

MASILI, Gustavo Santos; ESTEVES, Rodrigo José Gomes Alay. **Usina Nuclear**. Disponível em:
<<http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/nuclear/nuclear.htm>> Acesso em: 19 de julho de 2018.

MORRIS, Lulu. **THE EINSTEIN-SZILARD LETTER THAT WARNED THE USA OF NAZI ATOMIC WEAPONRY**. Disponível em:
<<https://www.nationalgeographic.com.au/science/the-einstein-szilard-letter-that-warned-the-usa-of-nazi-atomic-weaponry.aspx>> Acesso em: 6 de agosto de 2018.

NEWSSCIENTIST. **Nuclear power**. Disponível em:
<<https://www.newscientist.com/article-topic/nuclear-power/>> Acesso em: 15 de agosto de 2018.

OLIVEIRA, Marcelo. **Energia Nuclear**. Disponível em:
<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABeWEAI/energia-nuclear>> Acesso em: 1 de setembro de 2018.

PANDO, Alexandro. **Can Next-Generation Nuclear Power Meet World Energy Needs?** Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2017/08/16/can-next-generation-nuclear-power-meet-world-energy-needs/#50846dbd1ff2>> Acesso em: 12 de agosto de 2018.

Portal da Indústria. **ARTIGO: Energia nuclear - um debate necessário**. Disponível em:
<<http://www.portaldaindustria.com.br/agenciacni/noticias/2017/02/artigo-energia-nuclear-um-debate-necessario/>> Acesso em: 1 de setembro de 2018.

SCHNEIDER, Erich; SAILOR, William C. **Nuclear Fission**. 2006. Disponível em:
<<http://scienceandglobalsecurity.org/archive/sgs14schneider.pdf>> Acesso em: 31 de agosto de 2018.

SOUZA, Líria Alves de. **Fissão Nuclear e Fusão Nuclear**. Disponível em:
<<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/fissao-nuclear-fusao-nuclear.htm>> Acesso em: 31 de agosto de 2018.

TAKAR, Téo. **Se Brasil é autossuficiente em petróleo, por que importa tanto combustível?**

Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2018/05/28/preco-gasolina-cara-petrobras-autossuficiencia-petroleo.htm>> Acesso em: 1 de setembro de 2018.

Toda Matéria. **Crise hídrica no Brasil**. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/crise-hidrica-no-brasil/>> Acesso em: 1 de setembro de 2018.

STEINBERG, Ellis P. **Nuclear fission**. Disponível em: <<https://www.britannica.com/science/nuclear-fission>> Acesso em: 31 de agosto de 2018.

U.S.RNC. **What is Nuclear Energy?**. Disponível em: <<https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/students/what-is-nuclear-energy.pdf>> Acesso em: 1 de setembro de 2018.

WIKIPÉDIA. **BWR**. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/BWR>> Acesso em: 5 de agosto de 2018.

WIKIPÉDIA. **Fat Man**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Fat_Man> Acesso em: 17 de agosto de 2018.

WIKIPÉDIA. **Fissão Nuclear**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Fiss%C3%A3o_nuclear> Acesso em: 31 de agosto de 2018.

WIKIPÉDIA. **Little Boy**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Little_Boy> Acesso em: 17 de agosto de 2018.

WIKIPEDIA. **Nuclear fission**. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fission> Acesso em: 1 de agosto de 2018.

WIKIPEDIA. **Nuclear fusion**. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fusion> Acesso em: 31 de agosto de 2018.

WIKIPEDIA. **Pressurized heavy-water reactor**. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Pressurized_heavy-water_reactor> Acesso em: 5 de agosto de 2018.

WILKERSON, Jordan. **Reconsidering the Risks of Nuclear Power**. Disponível em: <<http://sitn.hms.harvard.edu/flash/2016/reconsidering-risks-nuclear-power>> Acesso em: 6 de agosto de 2018.