



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

## **ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL: IMPACTOS SÓCIOECONÔMICOS/ AMBIENTAIS E PERSPECTIVAS**

Danyella Santos Silveira, Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Bahia,  
danyella7silveira@gmail.com

Geovanna Barros Carvalho, Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Bahia,  
geovannabarros2@gmail.com

Cláudia Lilian Alves dos Santos, Universidade Estadual de Santa Cruz,  
claudinha\_lilian@hotmail.com

### **Resumo**

A geração de energia insere-se nos mais desafiadores problemas atuais, buscando cada vez mais a produção de energia limpa, trazendo assim à tona a questão da Energia Nuclear, que não emite gases poluentes do efeito estufa, obtida a partir da fissão do núcleo do átomo de urânio enriquecido liberando assim a energia. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo apresentar sobre a matriz energética nuclear no Brasil, e mostrar suas perspectivas e impactos socioeconômicos. A metodologia aplicada se baseia em uma revisão de literatura integrativa com o uso de metodologias de pesquisa exploratórias que envolvem como base levantamento bibliográfico e uma análise de casos. Os resultados da pesquisa evidenciam que as usinas nucleares não veem a ser economicamente competitivas no Brasil, com um custo muito elevado. Além disso o acúmulo de rejeitos radioativos altamente tóxicos permanece sem um redirecionamento sustentável afetando tanto a população quanto o meio ambiente. Dessa forma a viabilidade de retomada na construção de Angra 3, analisando os possíveis impactos de viés social, sustentável, os altos custos a energia nuclear e mesmo podendo trazer benefícios energéticos ao país, a insegurança nuclear no Brasil e a escassez em medidas sustentáveis ao lidar com o lixo radioativo são legados perigosos a sociedade.

**Palavras-chave:** Energia Nuclear; Matriz energética brasileira; Riscos e impactos.

### **1. Introdução**

A matriz energética brasileira busca uma constante evolução baseada em um perfil renovável e sustentável. As fontes renováveis mais utilizadas para a geração de energia elétrica resultam da força das águas (hidráulica), dos ventos (eólica) ou energia fotovoltaica (solar) e recursos fósseis. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) aponta que pela abundância de grandes cursos d'água, espalhados por quase todo o território brasileiro, a fonte hidrelétrica está no topo da matriz elétrica brasileira ocupando o primeiro lugar, não obstante a instituição de políticas públicas para aumentar a participação de outras fontes energéticas tem crescido no Brasil, como a implementação da Energia Nuclear.

Além de promover as fontes alternativas, em virtude de suas vantagens econômicas e estratégicas, o mundo também tem se mostrado aberto ao retorno de usinas termoeletricas.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

Apesar de não renovável, a energia nuclear tem uma enorme vantagem sobre as fontes fósseis de energia, já que não emite gases de efeito estufa. Desse modo, a combinação de fontes renováveis com fonte nuclear tem recebido o apoio de vários ambientalistas de renome, que veem na energia nuclear um risco muito menor aos biomas globais do que a energia de origem fóssil. (MONTALVÃO,2012). Porém, o fato de não emitir os gases do efeito estufa seria o suficiente para ser considerada uma energia limpa e sustentável em prol do meio ambiente?

Partindo da visão, onde todas as formas energéticas acarretam vantagens e desvantagens em todos os âmbitos, seja estas, econômica, social e ambiental. Nesse sentido, essa pesquisa objetiva levantar informações sobre a energia nuclear e todos os seus problemas relatados no passado das usinas ao redor do mundo e principalmente, as instalações de Angra 1 e 2, e a construção da futura usina de Angra 3, ocupadas em território brasileiro. Dessa forma .com base nos dados a serem apresentados na pesquisa seria viável e necessária a construção de uma terceira usina para o futuro do Brasil prevendo todos os possíveis impactos a sustentabilidade da nação?

O presente trabalho é composto pela introdução, a fim de situar o leitor sobre a temática acerca da eficiência energética nuclear e o objetivo da pesquisa. A fundamentação subdivide-se em quatro tópicos 2.1 Contextualização histórica, 2.2 Matriz energética nuclear, 2.3 Energia Nuclear no Brasil: Angra 1,2,3 e 2.4 Os impactos ambientais da Energia Nuclear. Cada tópico expõe um conteúdo específico de forma mais explicada, com embasamento em teóricos.

Em seguida apresenta-se a metodologia, que busca exemplificar a forma como o trabalho foi elaborado, e os resultados, onde haverá respostas para a pergunta de pesquisa e objetivos estipulados ao longo do trabalho, e ao finalizar o artigo, surge a conclusão.

## **2. Fundamentação teórica**

### **2.1 Contextualização histórica.**

A história da energia nuclear é completa de controvérsias e divide opiniões mundo a fora, tendo um início conturbado com a sua utilização para fins militares durante a Segunda Guerra Mundial (1939 até 1945). A partir do Projeto Manhattan desenvolvido pelos Estados Unidos da América (EUA), foram construídas bombas atômicas que resultaram em experiências catastróficas para a humanidade, com os bombardeamentos de Hiroshima e Nagasaki em 6 de agosto de 1945. (RERF,2012)

Posteriormente, a energia nuclear passou a ser somente utilizada para fins pacíficos, onde sua principal utilização se tornou voltada para produção de energia elétrica, por meio das usinas termonucleares, dispendo do seu início significativo na famosa “era de ouro”, ocorrido entre o período de 1965 e 1990, na qual, cerca de 30 reatores entraram em funcionamento por ano. Porém não estava previsto que toda essa expansão na área nuclear seria abalada pelo acidente de Three Mile Island ocorrido na Pensilvânia, EUA em 1979.

Na ocasião do acidente o núcleo de um reator do tipo PWR (reator a água leve pressurizada) fundiu devido a um defeito do sistema de resfriamento, o que, combinado com erros humanos dos operadores do reator, levou à liberação de uma quantidade pequena de radioatividade na atmosfera, principalmente iodo e césio radioativos. (GOLDEMBERG.J,2011). Apesar de ter sido uma quantidade não muito significava, esse



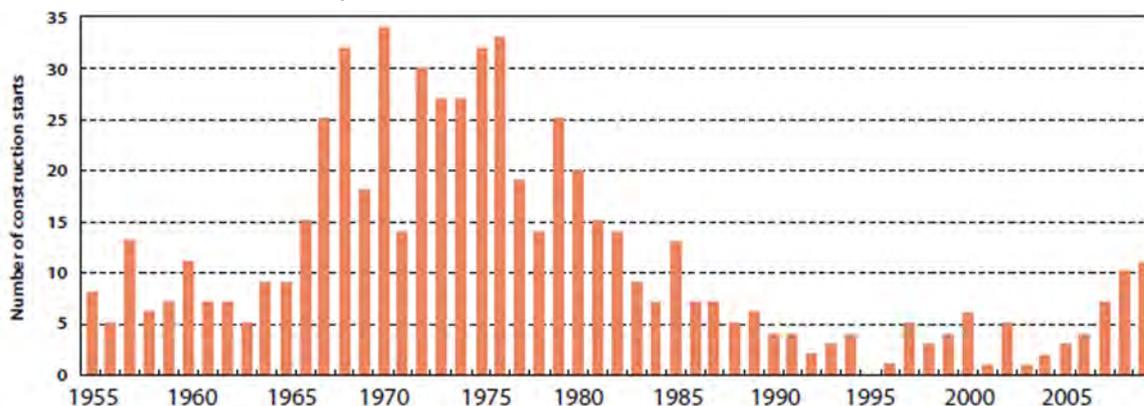
III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
 16 a 18 de novembro de 2021

acidente ocasionou diversas preocupações na população americana da época, mostrando sinais do perigo que o uso dessa fonte de energia poderia causar.

Em 26 de abril de 1986, em função de um desligamento de rotina na usina de Chernobyl, foram realizados alguns testes para análise do funcionamento do reator ligado a baixa energia. Porém, os técnicos encarregados daquele expediente, não seguiram nenhuma norma de segurança, dando margem a diversos eventos catastróficos que poderiam ocorrer. Depois da percepção do acidente, os funcionários permaneceram em silêncio até 30 horas depois, isso tornou-se uma agravante para a população residente da região e até para os próprios funcionários, visto que, poucos sobreviveram. (MONTALVÃO,2012). Dessa forma, os motivos principais que subsidiaram o acontecimento foram a junção de três eventos, a falha humana dos técnicos, uma tecnologia totalmente ultrapassada na utilização do grafite como moderador dos nêutrons, e a irresponsabilidade do governo em esconder um acidente e não evacuar imediatamente a localidade.

Todos esses acidentes marcantes como os citados acima, além de outros em menor escala, despertaram sérias preocupações com relação à segurança, contribuindo de forma significativa, em uma redução nos números de reatores que funcionavam durante o ano, estagnando assim, a expansão nuclear. Por um lado, a resistência popular embasada nos riscos, por outro lado, o gasto monetário para subsidiar a construção e manutenção das usinas.

**Gráfico 1**–Início de construção de novos reatores.



Fonte: IAEA PRIS,2005

De maneira ilustrativa, o gráfico 1 exemplifica o aumento de construção das usinas na “era de ouro”, citada anteriormente, e a queda que obteve anualmente, após os acidentes ocorridos, fazendo com que a indústria nuclear perdesse o seu espaço no mercado. Os dados se limitam ao ano de 2005, onde começou a ter um pequeno aumento proporcional, devido aos esforços do governo Bush, no intuito de promover uma “renascença nuclear”, que não duraria por muito tempo. (GOLDEMBERG.J, 2011, pág 06).

Em meio ao novo crescimento da indústria nuclear, e após 25 anos do acidente de Chernobyl, todo esse receio e precaução pareciam ter se esvaído, quando repentinamente, o



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

inesperado surgiu. Fukushima reacendeu de maneira surpreendente, um debate nunca concluído. Em março de 2011, um forte terremoto seguido de um tsunami atingirá a região nordeste do Japão, provocando sérias avarias em três dos seis reatores nucleares de Fukushima-Daiichi, um cenário bem descrito como um triplo desastre. (HOBSON.C,2013).

A usina de Fukushima não havia sido dimensionada para suportar desastres naturais de alta intensidade, podendo suportar maremotos de até 5,7 metros de altura, era pouco, uma vez que, a região sempre esteve suscetível a terremotos de alta proporção. A quantidade de material liberado é estimada em 40 vezes a liberada pela explosão nuclear em Hiroshima, mas dez vezes menor que a de Chernobly. Como resultado, a confiança restante e reconquistada após 25 anos sem a ocorrência de acidentes, foi abalada levando todo o mundo a reavaliar suas diretrizes e procedimentos de segurança. (GOLDEMBERG.J,2011).

Um acidente nuclear em qualquer lugar é um acidente nuclear em todos os lugares (APIKYAN; DIAMOND, 2009, p. 58; FINDLAY, 2010, p. 156; MESHKATI, 2011). Essa frase demonstra de forma sucinta como os acidentes nucleares influenciam em uma nação independente de sua localidade, tornando-se um assunto constante e de grande relevância a ser debatido.

## 2.2 Matriz energética nuclear.

Nessa parte introdutória, para manifestar os conceitos e formatos da matriz nuclear, faz-se necessário o uso de termos técnicos da física e química, com a finalidade de redigir o surgimento da energia nuclear.

Segundo a Comissão Nacional de Energia Nuclear (RJ), a princípio todo e qualquer material é formado por um número limitado de átomos, caracterizados pela carga elétrica de seu núcleo e que são simbolizados pela letra Z. O núcleo é composto de prótons (carga positiva) e nêutrons (sem carga), e a letra Z, que caracteriza cada um dos átomos, corresponde ao número de prótons no núcleo. Já os prótons, por terem a mesma carga se repelem fortemente devido à força eletrostática. Mas como os núcleos existem conclui-se que deve haver uma força de natureza diferente da força eletromagnética ou gravitacional, e extremamente intensas para manter os núcleos coesos. Baseado nisso, será apresentado a energia nuclear relacionada diretamente a essas forças.

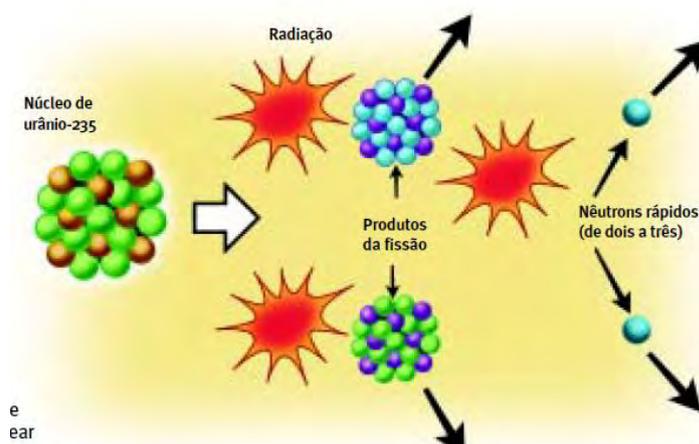
O núcleo possui uma instabilidade, e para adquirir a sua estabilização, é preciso acontecer a emissão de energia em forma de ondas eletromagnéticas ou de partículas, daí irá surgir a radiação nuclear, empregada usualmente a unidade elétron-volt (eV). A liberação dessa energia, ocorre em dois processos: decaimento radioativo e fissão nuclear (o processo aplicado para a produção de energia nuclear). (GONÇALVES,2005)

Na fissão nuclear, a energia é liberada pela divisão do núcleo, normalmente em dois pedaços menores e de massas comparáveis. Esse processo raramente ocorre de forma espontânea na natureza, mas pode ser induzida com o bombardeamento de núcleos pesados com um nêutron, que, ao ser absorvido, torna o núcleo instável. Todo esse processo encontra-se exemplificado de forma lúdica na imagem abaixo. (ALMEIDA,2005, p 42)



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
 16 a 18 de novembro de 2021

**Figura 1**-Processo de fissão nuclear.



Fonte: Revista Ciência Hoje; vol 37, nº 220, pág 38.

As usinas nucleares são, usinas térmicas que usufruem do calor produzido na fissão para movimentar o vapor de água, e posteriormente, movimentarão as turbinas que ocasionam na eletricidade. Em um reator de potência do tipo PWR- Pressurized Water Reactor. (termo, em inglês, para reator a água pressurizada), como os reatores utilizados no Brasil, o combustível é o urânio enriquecido cerca de 3,5%. Isso significa que o urânio encontrado na natureza, que contém apenas 0,7% do isótopo  $^{235}\text{U}$ , deve ser processado ('enriquecido') para que essa proporção chegue a 3,5%. (ALMEIDA, 2005, p 42)

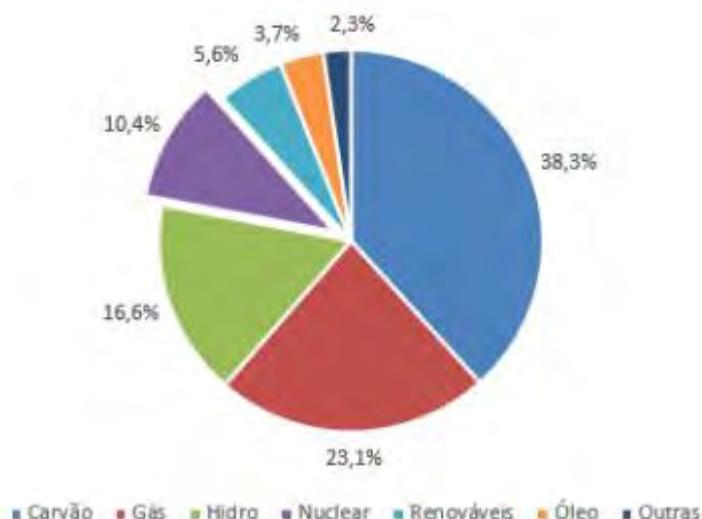
O processo completo para a obtenção do combustível nuclear é conhecido como ciclo do combustível e compreende diversas etapas: i) extração do minério do solo; ii) beneficiamento para separar o urânio de outros minérios; iii) conversão em gás do produto do beneficiamento, o chamado yellow cake (ou 'bolo amarelo'); iv) enriquecimento do gás, no qual a proporção de  $^{235}\text{U}$  é aumentada até o nível desejado; v) reconversão do gás de urânio enriquecido para o estado de pó; vi) fabricação de pastilhas a partir da compactação do pó; vii) e finalmente a montagem dos elementos combustíveis, quando se colocam as pastilhas em cilindros metálicos que irão formar os elementos combustíveis do núcleo do reator. (ALMEIDA, 2005, p 42)

Segundo dados de maio de 2019 da Associação Nuclear Mundial (WNA, na sigla em inglês), existem 447 reatores nucleares em operação no mundo, em 30 países, com capacidade instalada total de 398,154 MWe (megawatt elétrico). Destes, segundo dados da AIEA (dezembro de 2018), 298 são do tipo PWR (o mesmo de Angra 1 e 2), com capacidade total de 282.443 MW, o que corresponde a cerca de 66% da capacidade instalada mundial.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
 16 a 18 de novembro de 2021

**Gráfico 2-** Contribuição de cada fonte na matriz energética mundial.



Fonte: IEA Electricity Information 2018.

De acordo com o relatório Electricity Information, publicado pela International Energy Agency (IEA), em 2018, os reatores nucleares foram responsáveis por 10,4% da produção de energia elétrica mundial. As usinas térmicas convencionais (carvão, combustíveis líquidos e gás natural) contribuíram com 65,1% da geração total; as usinas hidrelétricas, 16,6%; e a geração de energia por fontes renováveis totalizaram 5,6%, como mostra o Gráfico 2.

## 2.2 Energia Nuclear no Brasil: Angra 1,2,3.

Angra 1 foi a primeira usina nuclear brasileira, onde entrou em operação comercial no ano de 1985, funcionando com um Reator de Água Pressurizada (PWR) o mais utilizado e seguro do mundo. A usina possui 640 MW de potência, produzindo energia suficiente para suprir uma cidade de um milhão de habitantes, como Porto Alegre, por exemplo. A usina pioneira no Brasil foi adquirida da empresa America Westinghouse. A experiência acumulada permitiu que a Eletrobrás Eletronuclear tivesse a capacidade de realizar um programa contínuo de melhoria tecnológica e incorporar os mais recentes avanços da indústria nuclear, como a troca dos geradores de vapor, o que fez com que a vida útil de Angra 1 fosse estendida (ELETRONUCLEAR, 2013).

Angra 2, por sua vez, começou a operar comercialmente em 2001 e foi a segunda usina nuclear brasileira. Com potência de 1.350 MW, é capaz de suprir uma cidade de 2 milhões de habitantes, como Belo Horizonte, por exemplo. Assim como Angra 1, essa usina possui um reator do tipo PWR, mas de tecnologia alemã, fruto de um acordo nuclear entre Brasil e Alemanha assinado em 1975. Sua construção propiciou a transferência de tecnologia para o Brasil, o que levou o país a um desenvolvimento tecnológico próprio, resultando em um



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
 16 a 18 de novembro de 2021

domínio sobre praticamente todas as etapas de fabricação do combustível nuclear (ELETRONUCLEAR, 2013).

As três usinas brasileiras foram projetadas para operar com reatores do tipo PWR45 (IAEA, 2013b). Dessa forma, o Quadro 1 traz algumas especificações sobre as usinas brasileiras em forma de um rápido resumo do que já fora apresentado anteriormente, chamando atenção para a data de operação comercial de Angra I e II, ou seja, são usinas extremamente antigas além disso, a Eletronuclear, subsidiária do Grupo Eletrobras, entrou com um pedido para ampliar o prazo de operação da usina nuclear de Angra 1 por mais 20 anos, sendo que o prazo de 40 chegaria ao fim em 2024.

**Quadro 1**-Status das usinas nucleares brasileiras

Estação	Tipo	Potência liq. (MW)	Status	Fornecedor do reator
Angra 1	PWR	609	Em operação	Westinghouse
Angra 2	PWR	1280	Em operação	KWU
Angra 3	PWR	1350	Em construção	AREVA
Estação	Construção	Criticalidade	Data de ligação	Data Oper. Comercial
Angra 1	01/03/1972	13/3/1982	01/04/1982	01/01/1985
Angra 2	1976;9/1981; 1991 <sup>46</sup>	14/07/2000	21/07/2000	01/02/2001

Fonte: adaptado de “Desempenho e produção” de Angra 1 e 2 (ELETRONUCLEAR, [s.d.]

Segundo o físico e entusiasta da Energia Nuclear José Goldemberg, o Plano Nacional de Energia previa a construção de quatro reatores nucleares além dos reatores de Angra I, II e III, o que levaria a uma participação nuclear de 7,4% até 2030. Porém, esse planejamento, que ocorreria um ano anterior aos acontecimentos em Fukushima, não vingaram, pois, atualmente em 2021, o processo de construção de Angra III ainda não foi terminado.

Uma das justificativas apresentadas em 2010 para que ocorresse a expansão da contribuição nuclear a matriz energética brasileira, era necessidade de suprir a eletricidade da base, complementando a geração hidroelétrica, que possui uma variação sazonal. Outra justificativa, seria que as reservas de minério de urânio do Brasil para geração nuclear são elevadas (cerca de 300 mil toneladas de óxido de urânio), o que poderia conduzir o país à autossuficiência nessa área ou até levá-lo a se tornar um exportador de urânio, mesmo apreciáveis, as reservas brasileiras representam apenas 6% das reservas mundiais. Além disso, o Brasil domina a tecnologia do ciclo do combustível, inclusive a principal fase, o enriquecimento do urânio. (GOLDEMBERG,J,2011, p 6-15)

Contudo, o enriquecimento de urânio exige instalações consideráveis, cujo custo de capital girava em torno de cerca de 1 bilhão de dólares na época. Uma carga típica de reator como o de Angra II custava cerca de 10 milhões de dólares no mercado internacional. É por essa razão que, para justificar a construção de uma unidade de enriquecimento, que custava 1 bilhão de dólares, seriam necessários pelo menos dez reatores nucleares em funcionamento. Caso contrário, valeria mais a pena comprar o urânio enriquecido no mercado internacional,



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

onde a capacidade de enriquecimento superava o consumo atual no mundo, havendo, portanto, capacidade ociosa. (GOLDEMBERG, J., 2011, p. 6-15).

Por fim, após uma paralisação de cinco anos, a construção de Angra 3 está prestes a ser retomada. O governo federal anunciou no noticiário em 2019, que importantes decisões com o objetivo de garantir a entrada em operação da usina em 2026. Angra 3 é a primeira de outras novas usinas nucleares que deverão ser construídas no país, a julgar pelas previsões do Plano Nacional de Energia (PNE) 2050, elaborado pelo Ministério de Minas e Energia. De acordo com o Plano, o parque de geração nuclear no Brasil aumentará em volume entre 8 GW e 10 GW nos próximos 30 anos, uma expansão necessária para suportar, junto com outras fontes de geração de energia, o crescimento de 3,3 vezes no consumo de eletricidade previsto para 2050 (em comparação com 2015). (ABEN, 2020)

### **2.3 Os riscos e impactos ambientais da Energia Nuclear.**

Para o funcionamento, propriamente, do reator, a produção de Energia Nuclear não se utiliza da queima dos hidrocarbonetos, e nem produz poluentes resultantes do processo de operação dos combustíveis fósseis. “[...] a produção de eletricidade a partir dos combustíveis fósseis predomina e é a principal fonte de poluentes. [...] a produção de eletricidade ainda tem um peso preponderante nas emissões de CO<sub>2</sub> pela queima de combustíveis fósseis no mundo” (GOLDEMBERG, O2 2012, p. 175). Mesmo com os impactos ambientais moderados, a fissão, ainda, não é uma energia renovável e limpa, não obstante, sustentável se planejada a partir das análises ambientais.

Não há, de fato, formas em gerar energia limpa, toda e qualquer fonte energética, produz, mesmo que mínimos, impactos socioambientais negativos. Por isto, é mais sensato utilizar termo “produção mais limpa”, introduzido pelo programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e pela Organização das Nações Unidas para Desenvolvimento Industrial na década de 80, motivado na Convenção de Estocolmo de 1972 (CUSTÓDIO; VALLE, 2015, p. 29-3)

A usina depende de várias camadas de concreto e aço capazes de conter eventuais externalidades ou mesmo acidentes, sejam eles oriundos do ambiente externo ou interno. Todo este sistema é ainda ligado aos instrumentos de resfriamento, pelo qual a água armazenada passa e é bombeada pelo vaso de pressão, aquecido, do reator. Este percurso gera um vapor que movimenta uma turbina ligada a um gerador obtendo-se a eletricidade. Há aqui a ocorrência de impactos negativos ao meio ambiente, simplesmente pelo espaço que o complexo de uma usina nuclear ocupa. Além dos impactos de edificação, podem ser compensados e até mitigados ao passo que não precisam ser acopladas dentro ou conforme o ciclo habitual dos recursos naturais, não interferindo, propriamente, nos fluxos hídricos, nos oceanos, na flora e na fauna. (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2014, p. 652).

Seu maior risco decorre de alguma falha no resfriamento das placas de fissão com o superaquecimento o núcleo, encontrado no vaso do reator, é fundido, sua explosão é iminente. Os danos provocados são locais e diferidos com a radiação, como nos casos mencionados de Chernobyl e Fukushima. Até porque dentro da normalidade do equipamento, o maior entrave é disposto primeiro no aproveitamento, uso ou reuso e posterior descarte do combustível físsil; segundo no descomissionamento do complexo nuclear, pois a usina dispõe de uma vida útil,



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

onde licença de operação tem, geralmente, a duração de 35 a 40 anos, com possibilidade de renovação por 20 anos” (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2014, p. 587).

Segundo Jose Goldemberg, existem três riscos associados ao uso de energia nuclear: físicos (citados acima) econômicos e estratégicos. Nos tópicos que compreendem os riscos econômicos estão as preocupações com a segurança dos reatores nucleares gerando consequências que aumentam muito seu custo. Reatores nucleares são caros e, mesmo sem as preocupações surgidas pelos riscos físicos, a eletricidade produzida por eles tem dificuldades em competir com a eletricidade proporcionada de outras fontes como carvão, gás e hidroeletricidade. Os riscos nucleares discutidos acima agravam esse problema, pelas seguintes razões:

1. Sistemas de segurança de reatores são mais sofisticados do que os sistemas de geração não-nuclear, o que torna a eletricidade produzida mais cara;
2. Interromper o funcionamento dos reatores é mais frequente do que em usinas não-nucleares, justamente devido à preocupação com riscos nucleares;
3. Atrasos na construção de reatores são frequentes – o que aumenta muito o seu custo de capital, como consequência aos juros – devido à oposição de grupos antinucleares.

Por fim, os riscos estratégicos adquiriram enorme relevância, devido aos esforços de vários países em produzir armas nucleares, agravando os problemas de proliferação nuclear. Como se sabe, o Tratado de Não Proliferação Nuclear adotado em 1967 tinha como objetivo “congelar” a posse de armas nucleares às 5 potências nucleares da época: Estados Unidos, União Soviética, Inglaterra, França e China. Na prática, viu-se a Índia, o Paquistão e Israel adquirirem também armas nucleares, criando sérios problemas no cenário internacional. Além disso, o Iraque tentou produzir armas nucleares, uma das causas das guerras do Oriente Médio, bem como África do Sul, Líbia, Irã e Coreia do Norte. Até o Brasil e a Argentina desenvolveram atividades nesse caminho durante o período militar, só desistindo delas através de um acordo firmado em 1992, que criou uma área denuclearizada na América Latina e uma agência brasileira-argentina para fiscalizar sua observância (ABACC – Agência Brasil-Argentina de Contabilidade e Controle). (GOLDEMBERG.J,2008)

### 3. Metodologia

O presente trabalho apresenta o uso de metodologias de pesquisa exploratórias que envolvem como base levantamento bibliográfico e uma análise de casos que exemplifiquem melhor compreensão do leitor acerca da Energia nuclear em um contexto mundial e em seguida, o enfoque na matriz nuclear brasileira, com intuito de apresentar qual o futuro e seus impactos ambientais, tendendo a incitar o leitor a refletir sobre a pergunta problema.

Os critérios de seleção para a pesquisa foram estabelecidos dentro da plataforma do Google Acadêmico e da Biblioteca Eletrônica Científica Online- SciELO, por intermédio do uso de operadores booleanos a fim de informar o sistema de busca qual seria a maneira mais adequada para encontrar os materiais que cumprissem o objetivo de pesquisa de forma mais direcionada. Para que o trabalho fosse incluído na revisão, foram utilizados os seguintes



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

critérios de seleção: (i) conter a palavra “Energia nuclear”, “Energia nuclear no Brasil”, no título ou nas palavras chaves; (ii) conter a expressão “Usinas em Angra 1,2, ou 3”, “Acidentes Nucleares” em qualquer parte do trabalho; (iii) ter sido publicado em alguma revista científica ou periódico.

O artigo apresenta um recorte temporal de publicações nos últimos 10 anos, entretanto, para que ocorresse a contextualização necessária, foram utilizados dados a partir do ano de 2005, apresentados no formato de revisão bibliográfica integrativa. As principais fontes de pesquisa foram, **ABEN**- Associação Brasileira de Energia Nuclear juntamente a revista *Brasil Nuclear*, **Eletronuclear** -Eletrobras Termonuclear S. A, **IEN**- Instituto de Energia Nuclear, **INB**- Indústrias Nucleares do Brasil, **IEA**-Agência Internacional de Energia, **WNA**-Associação Nuclear Mundial. Além de diversos autores e pesquisadores, em especial José Goldemberg, físico, ex-reitor da Universidade de São Paulo e autor de diversos escritos acerca da Energia Nuclear.

#### 4. Resultados.

Segundo Joaquim Francisco de Carvalho, pesquisador associado a USP e ex-diretor da Eletronuclear, a sociedade aceita bem as atividades relacionadas às aplicações industriais, biomédicas e agrícolas da energia nuclear, assim como o projeto de enriquecimento do urânio. Porém, a instalação propriamente dita de usinas nucleares de potência ocasiona muitas controvérsias, em virtude do risco de acidentes (apresentados na introdução) que possam vir a liberar radiação e trazer problemáticas na vida atual e futura de uma população. Dessa forma, de antemão pelo menos no Brasil, os acidentes de Chernobyl e Fukushima não podem se repetir.

O ocorrido em Chernobyl foi um grosseiro erro humano em um reator RBMK, somente usado na União Soviética. Essa tragédia é considerada o maior acidente por feitos humanos na história. Todo o ocorrido foi uma soma de erros na equipe, além de uma usina frágil em quesitos de tecnologia, que vem sendo aprimorada a cada ano com projetos novos e promissores para a produção de Energia Nuclear. Contudo, o acidente de Fukushima, por sua vez, também é relatado como um erro de projeto.

Em Fukushima, além de não estar preparada para fortes desastres naturais, as bombas de refrigeração do circuito ficavam no ambiente externo do prédio de contenção do reator, devido a inundação, o reator superaqueceu e uma série de reações químicas resultaram em uma explosão de hidrogênio, mas não do reator em si. Assim como em Fukushima, as usinas nucleares brasileiras de Angra 1,2 e futuramente Angra 3 localizam-se próximas ao mar, porém as bombas de refrigeração de Angra 1 e 2 se encontram protegidas dentro dos prédios. (SHON, G, C.2021).

Os riscos das usinas por sua vez, não estão sendo negligenciados, tais usinas (incluindo as de Angra) são equipadas com reatores a água leve pressurizada (PWR) nos quais, os elementos combustíveis (onde acontecem as reações de fissão nuclear) encontram-se no interior de um vaso pressurizado, isolado do meio ambiente por duas envoltórias. A envoltória interna, em aço ao vanádio, tem espessura de 2,5 centímetros e é estanque. A externa é de concreto armado e tem espessura de 1,5 a 2 metros. “A camada de ar que fica entre ambas é mantida a uma pressão inferior à atmosférica, de forma que, se houver falhas no vaso de pressão e na



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

envoltória interna, os possíveis vazamentos serão absorvidos antes de chegarem ao ambiente externo”. (CARVALHO2012 p 295). Sendo assim, a probabilidade de um acidente grave se torna mínima, mas nunca desprezível, visto que, os acidentes nucleares podem tomar proporções inimagináveis contaminando grandes regiões e perpassando pode décadas, onde o sofrimento de seres humanos permanecem, como ocorrido em Chernobyl e Fukushima.

É de conhecimento nesse artigo, que o Brasil, contem grandes reservas de urânio levando ao pensamento de que por meio disso, as usinas nucleares poderão suprir eletricidade infinitamente. No entanto, como todo bem natural as reservas de minérios nucleares são finitas. “A sua exploração depende de combustíveis derivados de petróleo para sua extração e transporte, porém, suas reservas são extensas o suficiente para propiciar tempo para o desenvolvimento de novas tecnologias para o uso de fontes energéticas renováveis.” (CARVALHO.F. J,2012). E mesmo a produção de energia em si não emitindo gases poluentes na atmosfera, o seu processo de construção, execução, mineração até a fabricação do combustível provocam emissões de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).

O Brasil que sempre se orgulhou de sua geração hídrica, está aumentando sua dependência de termelétricas movidas a combustíveis fósseis, indo na contramão do desenvolvimento sustentável. A exploração de urânio nas minas produz enormes quantidades de resíduos, incluindo partículas radioativas que podem contaminar a água e os alimentos De acordo com o International Nuclear Societies Council, uma planta nuclear típica de reator a água pressurizada (como Angra 3) produz 71% de rejeitos de baixo nível radioativo, 25% de rejeitos de médio nível radioativo e 4% de rejeitos de alta radioatividade.

Os rejeitos sólidos de baixa e média atividade são armazenados em tambores e cápsulas de aço guardados por algum tempo dentro das próprias usinas. Na sequência, são transferidos para um depósito intermediário construído no próprio sítio da Central Nuclear. O tempo de armazenamento é de cerca de 40 anos, após este período, os rejeitos são considerados convencionais. Os rejeitos de alta radioatividade representam mais de 95% de toda a radioatividade produzida no processo de geração de eletricidade. No complexo Angra, este tipo de rejeito está acondicionado provisoriamente em piscinas no interior das usinas. (GREENPEACE,2007)

O maior impacto ambiental da energia nuclear são os rejeitos radioativos. Os conhecidos riscos à saúde humana demandam um gerenciamento totalmente seguro do resíduo radioativo, eliminando as possibilidades de vazamentos e contato com a população. O despreparo nacional no manuseio de rejeitos radioativos é traduzido na forma provisória de tratamento das 2.500 toneladas de média e baixa atividade de Angra 1 e 2. Até hoje este lixo está armazenado em galpões no próprio complexo das usinas, ao contrário do que previa o projeto inicial. (GREENPEACE,2007) É importante acrescentar a esta problemática o fato de que ainda não existe no mundo experiência acumulada sobre a conclusão do ciclo de vida de uma usina nuclear, considerando-se o término de sua vida útil e o longo período de descomissionamento. O acúmulo de rejeitos radioativos altamente tóxicos é um legado insustentável e perigoso deixado pela humanidade às gerações futuras; um problema sem equacionamento, tão grave quanto as crescentes emissões de gases de efeito estufa. (GREENPEACE,2007)



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
 16 a 18 de novembro de 2021

As usinas nucleares Angra 1 e 2 custaram mais de R\$ 20 bilhões aos cofres brasileiros. A usina de Angra 3 já recebeu R\$ 1,5 bilhão, gasta por ano R\$ 20 milhões na manutenção de equipamentos adquiridos há mais de 20 anos e necessita ainda R\$ 7,2 bilhões para ser concluída. Não bastassem os impactos ambientais, os riscos inerentes a esta tecnologia e os altos custos, pesa ainda o problemático histórico da (in)segurança nuclear no Brasil. (CNPE,2007)

No Brasil, há um debate acerca da expansão do sistema elétrico que tem sido enviesado a favor da energia nuclear, mesmo o país apresentando um grande potencial eólico e hidrelétrico. Apesar disso, segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), a população brasileira deverá se estabilizar em 215,3 milhões de habitantes, por volta do ano 2050, como está indicado na Tabela abaixo:

**Tabela 1**-Revisão da projeção da população brasileira

Ano	População (milhões)
2010	193,2
2020	209,9
2030	215,8
2040	219,2
2050	215,3

Fonte:IBGE,2008.

Assim, a partir daquele ano, o sistema elétrico interligado poderá oferecer permanentemente, cerca de 6.820 kWh, por habitante, anualmente. Isso significa que, sem apelar para centrais nucleares, o consumo *per capita* de energia elétrica no Brasil poderá equiparar-se ao dos países europeus de alto padrão de vida, produzindo assim, toda a energia necessária ao seu desenvolvimento, usando apenas fontes primárias renováveis, limpas e muito mais econômicas que a nuclear.

**Tabela 2**-Custo da eletricidade e produção anual de usinas brasileiras típicas

PROJETO (Potência)	Custo da energia	Produção anual <sup>1</sup>	Prazo de construção
Carvão (350 MW)	US\$ 134 / MWh	1.534.000 MWh	~ 4 anos
Nuclear (1.345MW)	US\$ 113 / MWh	10.258.000 MWh	~ 7 anos
Gás natural (500 MW)	US\$ 79 / MWh	1.315.000 MWh	~ 3 anos
Bagaço de cana (12 MW)	US\$ 74/ MWh	63.000 MWh	~ 3 anos
Hidrelétrica (6.450 MW)	US\$ 46 /MWh	28.270.350 MWh	~ 5 anos

Fatores de capacidade: Hidro = 0,50; Nucleares = 0,87; Gás = 0,80; Carvão = 0,50; Bagaço = 0,60.  
 Fonte: Energy Policy (2009).

A tabela acima mostra que as usinas nucleares não veem a ser economicamente competitivas no Brasil, visto que, o custo da energia nuclear juntamente ao carvão são muito elevados com relação a sua produção anual.O custo nuclear de US\$ 113/MWh não se torna



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

economicamente viável comparados a outras formas de energia, sem contar o prazo de construção de sete anos, em teoria, que se estende na maioria dos casos triplicando o tempo de obras. Inclusive, os inúmeros gastos e complexidades para a instalação de uma usina nuclear.

No livro *La vérité sur le nucléaire*, publicado em junho de 2011, a ex-ministra do Meio Ambiente, Corinne Lepage, revela que os custos da energia produzida em centrais nucleares são altamente subvencionados pelo Estado e que tudo relacionado a sua divulgação, vem revestido de dissimulações e meias-verdades. A Sra. Lepage também revela que na França já houve acidentes que contaminaram lençóis freáticos – e poderiam ter sido catastróficos – em usinas nucleares como as de Chooz, em 1968; Saint-Laurent-des-Eaux, em 1969 e 1980; Gravelines, em 1989; Blayais, em 1999; na usina de reprocessamento de La Hague, em 1981 e no sítio do Tricastin, onde estão diversas instalações do ciclo do combustível nuclear e uma central de potência, em 2008.

Na Alemanha, país que detém a tecnologia das usinas de Angra II e Angra III, foram desativadas sete usinas nucleares e o governo já cancelou os planos para a implantação de novas usinas, decidindo, também, que as restantes serão desativadas e descomissionadas até 2022. (CARVALHO.F. J,2012-p 296).

O Brasil dispõe de um excelente potencial energético, sendo capaz de manter um sistema elétrico inteiramente sustentável e econômico, não significando o negacionismo a energia nuclear, que se encontra presente na ciência, medicina, aplicações agrícolas e até mesmo na área naval. Os benefícios dessa energia poderiam ser até maiores se os estudos fossem direcionados a essas diversas áreas e aplicações, juntamente a um alto desenvolvimento tecnológico de áreas renováveis da energia. A perspectiva da Energia Nuclear no atual cenário de 2021, com a eminência do esgotamento do potencial hidráulico do Brasil, seria o pleno funcionamento das usinas de Angra o que elevaria consideravelmente as tarifas para o suprimento de energia e a geração de resíduos radioativos sem destinação, em ambientes provisórios.

## 5. Conclusões.

Duas importantes medidas envolvendo a usina nuclear Angra 3 foram tomadas em junho, pelo governo. No dia 10, o Conselho do Programa de Parceria de Investimento (PPI) aprovou o relatório do Comitê Interministerial- formado pelo Ministério da Economia, Gabinete de Segurança Institucional e Secretaria de Parceria e Investimentos, sob a coordenação do Ministério de Minas e Energia -, onde sugere um modelo jurídico e operacional para a continuidade das obras da usina.

Dessa forma, o projeto de Angra 3 está em andamento, garantindo a entrada da usina em operação no ano de 2026, sem consulta populacional das pessoas que residem na região e arredores, e o mais importante, sem informar a nação brasileira da retomada das obras. Qualquer assunto de viés político, econômico e social que causará impacto futuramente na vida da população, deveria ser informado, apresentado e levado para votação popular.

Mesmo com todos os avanços tecnológicos, toda tecnologia carrega algum risco, e todo empreendimento está sempre suscetível a acidentes e falha humana, cabendo ao governo juntamente a sociedade civil, entusiastas, cientistas e especialistas sobre o assunto, discutirem



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

os benefícios e malefícios da implantação e utilização de uma usina nuclear, decidindo o melhor caminho para o Brasil. O futuro do Brasil na energia Nuclear contempla a operação de três usinas que visam uma melhor eficiência energética e segurança, resta analisar na prática, se todos os projetos de segurança e gerenciamento de resíduos radioativos e sólidos serão manejados da forma mais adequada para assim, essa radioatividade não exceda o seu confinamento de segurança.

## 7. Referências bibliográficas

ALMEIDA, S.P.I. “**Fissão Nuclear e geração de energia**”. Comissão Nacional de Energia Nuclear (RJ). Revista Ciência Hoje; vol. 37, n° 220, p42, outubro de 2005. Acesso em: 31/07/21.

APIKYAN, S.; DIAMOND, D. J. (EDS.). **Nuclear power and energy security**. Dordrecht: Springer: In cooperation with NATO Public Diplomacy Division, 2010. Acesso em 25/07/21.

ASSOCIAÇÃO NUCLEAR MUNDIAL (WNA).” **Energia Nuclear no Mundo**”. Maio de 2019. Acesso em 25/07/21.

BRASIL NUCLEAR. “**Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear-ABEN**”. Ano 26-Número 51-Julho 2020. Acesso em: 30/07/2021.

CARVALHO.F. J.” **O espaço da Energia Nuclear no Brasil**” Estudos Avançados 26 (74), 2012. Acesso em: 30/07/2021.

CUSTÓDIO, M. M.; VALLE, C. N. L. **Energia renovável, energia alternativa e energia limpa: breve estudo sobre a diferenciação dos conceitos**. In: CUSTÓDIO, M. M. (Org.). *Energia e Direito: perspectiva para um diálogo de sustentabilidade*. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2015. p. 5-39. Acesso em: 24 abr. 25/07/21.

DEPARTAMENTO NORTE-AMERICANO DE ENERGIA. “**The economic future of nuclear power**”, relatório da Universidade de Chicago Agosto, 2004. Acesso em: 31/07/21.

ELETRONUCLEAR. **Eletronuclear S.A.** Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/AEmpresa/CentralNuclear/InformaçõesAngra1.aspx>> 06 fev. 2013. Acesso em: 31/07/21.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Acesso em: 24 abr. 25/07/21.

FINDLAY, T. **Nuclear Energy and Global Governance: Ensuring Safety, Security and Non-proliferation**. Abingdon, Oxon: Taylor & Francis, 2010. Acesso em: 24 abr. 25/07/21.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. “**Energia, meio ambiente e desenvolvimento**”. 3. ed. rev. ampl. São Paulo: Edusp, 2012. Acesso em: 31/07/21.

GOLDEMBERG, J.” **Os riscos da Energia Nuclear**” Com Ciência no.104 Campinas 2008. Acesso em: 25/07/21.

GOLDEMBERG, J. REVISTA USP, São Paulo, n.91, p. 6-15, setembro/novembro 2011. Acesso em :23 de setembro,2021.

GONÇALVES, D.O. “**A Energia Nuclear**”. Comissão Nacional de Energia Nuclear (RJ). Revista Ciência Hoje;vol 37,nº 220, p 37,outubro de 2005. Acesso em: 31/07/21.

GREENPEACE. “**Cortina de fumaça: As emissões de gases estufam e outros impactos da energia nuclear**”. Novembro de 2007.Acesso em: 30/07/2021.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. *Energia e meio ambiente*. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. Acesso em :25/07/21.

HOBSON, C. “**Two years on, scars of Fukushima are deep**” - Fukushima Global Communication Programme United Nations University,11mar. 2013. Acesso em: 24 abr. 25/07/21. IAEA. The Database on Nuclear Power Reactors. **IAEA, Power Reactor Information System (PRIS)**, jun. 2013. Acesso em: 30/07/2021

IBGE -Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.” **Revisão da projeção da população brasileira**”,2008. Acesso em: 30/07/2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA).” **Contribuição de cada fonte na matriz energética mundial**”. Electricity Information,2018. Acesso em: 31/07/21.

LEPAGE, C. **La vérité sur le nucléaire**. Paris: Albin Michel, 2011. Acesso em: 30/07/2021  
Energy Policy. **Does Brazil need new nuclear power plants?** Amsterdam: Elsevier, 2009. v.37, p.1580-1584. Acesso em: 30/07/2021

M. M. (Org.). *Energia e Direito: perspectiva para um diálogo de sustentabilidade*. Acesso em :23 de setembro,2021.

MONTALVÃO, “**Energia Nuclear: risco ou oportunidade?**”,NUCLÉO DE ESTUDOS E PESQUISAS DO SENADO. Fevereiro de 2012, pág. 10. Acesso em :23 de setembro,2021.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

**(RERF) RADIATION EFFECTS RESEARCH FOUNDATION. A Japan-US Cooperative Research Organization.** A brief description (atualizado em 2012). Acesso em: 30/07/2021.

SHON.G.C- **“Acidentes Nucleares”**-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-USP. -2021. Acesso em: 24 abr. 25/07/21.