



**Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP**  
**Escola de Minas - EM**  
**Departamento de Engenharia de Produção,  
Administração e Economia - DEPRO**



Mudanças Climáticas e Guerra na Ucrânia: uma possível retomada da Energia Nuclear

Phillipe da Cunha e Silva

Ouro Preto - MG  
Outubro/2022

Phillipe da Cunha e Silva

Mudanças Climáticas e Guerra na Ucrânia: uma possível retomada da Energia Nuclear

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos necessários para a obtenção de Grau de Engenheiro de Produção

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino

Ouro Preto - MG  
Outubro/2022

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S586m Silva, Phillipe Da Cunha E.

Mudanças climáticas e guerra na Ucrânia [manuscrito]: uma possível retomada da Energia Nuclear. / Phillipe Da Cunha E Silva. - 2022.

51 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Energia nuclear. 2. Mudanças climáticas. 3. Guerra - Ucrânia. I. Flausino, Bruna de Fátima Pedrosa Guedes. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Phillipe da Cunha e Silva**

Mudanças Climáticas e Guerra na Ucrânia: uma possível retomada da Energia Nuclear

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção

Aprovada em 09 de novembro de 2022

### Membros da banca

DSc. Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)  
DSc. Fidellis Bitencourt Gonzaga Louzada e Estanislau - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
DSc. Raoni Adão Salviano Jonusan - (Universidade Federal de Minas Gerais)

Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 09/11/22.



Documento assinado eletronicamente por **Bruna de Fatima Pedrosa Guedes Flausino, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/11/2022, às 21:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fidellis Bitencourt Gonzaga Louzada e Estanislau, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/11/2022, às 21:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0425069** e o código CRC **33183208**.

## RESUMO

A constante preocupação com os impactos causados pelas mudanças climáticas, intensificou a busca dos países por alternativas energéticas eficientes, que utilizem menos recursos, produzam em grande quantidade e emitam menores volumes de gases causadores do efeito estufa. A retomada da energia nuclear que oferece respostas sustentáveis para estes desafios, através de seus processos atômicos é capaz de produzir uma grande e estável quantidade de energia, garantindo segurança e eficiência energética. Este trabalho apresenta como é feita a produção de eletricidade através das usinas termoelétricas e as principais tecnologias empregadas. A Guerra na Ucrânia evidenciou a frágil dependência da Europa para com os recursos energéticos fornecidos pela Rússia, como o petróleo e gás natural. Esse contexto, modificou ainda mais a realidade e estratégias dos principais governos quanto às transições das matrizes de energia. Neste trabalho será apresentado o panorama global da energia nuclear inserido no contexto de mudanças climáticas, intensificados pela invasão russa à Ucrânia, evidenciando os principais benefícios atrelados ao setor nuclear, o planejamento e desafios dos principais países em relação ao uso nuclear em suas matrizes elétricas e como esta alternativa pode contribuir no alcance das metas verdes de redução de emissão de gases do efeito estufa. Após o acidente nuclear de Fukushima, o nível de exigência foi intensificado, buscando ainda mais segurança e controle nas operações. Novas tecnologias e os projetos de novos reatores nucleares de novas gerações aguçam o interesse por investimentos, dando força a retomada do segmento nuclear para atender as demandas de energia elétrica no mundo.

**Palavras-chave:** Energia Nuclear, Mudanças Climáticas, Guerra na Ucrânia.

## ABSTRACT

The constant concern with the impacts caused by climate change has intensified the search by countries for efficient energy alternatives, which use fewer resources, produce in large quantities, and emit smaller volumes of greenhouse gases. The resumption of nuclear energy, which offers sustainable answers to these challenges, through its atomic processes is capable of producing a large and stable amount of energy, guaranteeing energy security and efficiency. This paper presents how electricity is produced through thermoelectric power plants and the main technologies employed. The war in Ukraine highlighted Europe's fragile dependence on energy resources provided by Russia, such as oil and natural gas. This context, further modified the reality and strategies of the main governments regarding the transitions of energy matrixes. This paper will present the global panorama of nuclear energy within the context of climate change, intensified by the Russian invasion of Ukraine, highlighting the main benefits linked to the nuclear sector, the planning and challenges of the main countries in relation to the use of nuclear power in their electricity matrices and how this alternative can contribute to the achievement of green goals for the reduction of greenhouse gas emissions. After the Fukushima nuclear accident, the level of exigency was intensified, seeking even more safety and control in operations. New technologies and the projects for new generations of nuclear reactors have heightened the interest for investments, giving strength to the resumption of the nuclear segment to meet the demands for electric power in the world.

**Keywords:** Nuclear Energy, Climate Change, War in Ukraine.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Esquema de uma usina nuclear que utiliza reator do tipo PWR	15
Figura 2: Etapas do Ciclo do Combustível Nuclear	18
Figura 3: Aquecimento acelerado após a década de 1970	29
Figura 4: Participação da energia nuclear na produção de eletricidade nos EUA em 2021 e nos últimos 20 anos	33
Figura 5: Participação da energia nuclear na produção de eletricidade na França em 2021 e nos últimos 20 anos	35
Figura 6: Participação da energia nuclear na produção de eletricidade na Alemanha em 2021 e nos últimos 20 anos	36
Figura 7: Participação da energia nuclear na produção de eletricidade na Ucrânia em 2021 e nos últimos 20 anos	37
Figura 8: Participação da energia nuclear na produção de eletricidade no Brasil em 2021 e nos últimos 20 anos	39
Figura 9: Participação da energia nuclear na produção de eletricidade na China em 2021 e nos últimos 20 anos	41

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de reatores nucleares	14
Quadro 2: Comparação de custos investimentos de projetos de geração de eletricidade	32



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Temperatura média da terra e do oceano abaixo ou acima da média global	30
Gráfico 2: Geração mundial de energia nuclear entre os anos de 1990 a 2019	31

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACNUR – Alto Comissariado das Nações Unidas para Refugiados  
ACLED – *Armed Conflict Location and Event Data Project*  
AGR - *Advanced Gas-Cooled Reactor*  
BWR - *Boiling Water Reactor*  
CCN - Ciclo do Combustível Nuclear  
CNAAA - Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto  
CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear  
COP - Conferência das Partes  
DOE - *Department of Energy*  
ECI - Elemento Combustível Irradiado  
EDF - *Électricité de France*  
EPR - *Evolutionary Power Reactor*  
EUA - Estados Unidos da América  
GCR - *Gas-Cooled Reactor*  
GEE - Gases de Efeito Estufa  
GIF – *Generation IV International Forum*  
HTGR - *High-Temperature Gas-Cooled Reactor*  
IAEA - *International Atomic Energy Agency*  
IEA - *International Energy Agency*  
INB - Indústrias Nucleares do Brasil  
INPO - *Institute of Nuclear Power Operations*  
IPCC - *Panel on Climate Change*  
IRD - Instituto de Radioproteção e Dosimetria  
MIT - *Massachusetts Institute of Technology*  
NDC - *Nationally Determined Contributions*  
OMM - Organização Meteorológica Mundial  
OSCE – Organização para a Segurança e Cooperação na Europa  
PHWR - *Pressurized Heavy-Water Reactor*  
PNB - Política Nuclear Brasileira  
PNMC - Política Nacional sobre Mudança de Clima  
PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente  
PWR - *Pressurized Water Reactor*  
SMR - *Small Modular Reactor*  
UE - União Europeia  
UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*  
URSS - União das Repúblicas Socialistas Soviéticas  
US NRC - *United States Nuclear Regulatory Commission*  
WANO - *World Association of Nuclear Operators*

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.2. OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo Geral	12
1.2.2 Objetivos Específicos	12
2. METODOLOGIA	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 A energia Nuclear	14
3.1.1 Usinas Termonucleares	14
3.1.2 Reatores de 4ª Geração	15
3.1.3 Combustível Nuclear	17
3.1.4 Rejeitos Nucleares	19
3.2 Mudanças Climáticas	19
3.3 Guerra na Ucrânia	22
3.3.1 Relação histórica entre Rússia e Ucrânia	22
3.3.2 Crimeia	24
3.3.3 Donbass	25
3.3.4 Invasão russa	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1 Um lugar para a energia nuclear no contexto climático mundial	29
4.2 Panorama mundial da energia nuclear	33
4.2.1 Panorama nuclear estadunidense	33
4.2.2 Panorama nuclear francês	34
4.2.3 Panorama nuclear alemão	36
4.2.4 Panorama nuclear ucraniano	37
4.2.5 Panorama nuclear brasileiro	38
4.2.6 Panorama nuclear chinês	41
4.3 Perspectivas com relação ao gerenciamento de rejeitos nucleares	42
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

## 1. INTRODUÇÃO

Inserido a um contexto de guerra, instabilidade e tensões políticas na década de 1940, o termo energia nuclear estava fortemente relacionado ao desenvolvimento de armas nucleares. E, de fato, já que em Chicago (EUA, 1942), havia o chamado Projeto Manhattan, sob a supervisão de diversos físicos, entre eles Robert Oppenheimer e Enrico Fermi, que trabalhavam na primeira reação cadeia, exclusivamente com o objetivo de se criar a primeira bomba atômica (STRATHERN, 1998).

No cenário pós Segunda Guerra Mundial (1945), durante a Corrida Armamentista, os Estados Unidos da América e a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas chegaram a produzir armas até três mil vezes mais destrutivas do que as que atingiram as cidades japonesas de Nagasaki e Hiroshima, evidenciando o potencial em energia gerada através da fissão nuclear. Entretanto, apenas na década de 1960, a energia nuclear foi reconhecida como fonte primária para a matriz energética global. Seu auge foi atingido entre as décadas de 1970 e 1980, quando uma boa parte dos países industrializados passaram a possuir centrais térmicas nucleares para produção de energia elétrica. Inclui-se nesse montante o Brasil, com a aquisição de suas usinas nucleares, que entraram em atividade poucos anos depois (FARIAS, et al 2011).

Após os acidentes em Three Mile Island (1979) nos Estados Unidos e em Pripyat (Chernobyl/1986) na, então, Ucrânia Soviética, a aplicação e desenvolvimento de novos projetos em energia nuclear foram desacelerados. Neste momento, a preocupação com a ocorrência de novos desastres e as manifestações de ambientalistas contra a energia nuclear, influenciaram a opinião pública para uma visão negativa das usinas e seus procedimentos. Mas, posteriormente, questões econômicas e políticas, pressionaram o retorno de seu uso, assim como o planejamento para construção de novas usinas e desenvolvimento de novos sistemas de segurança para as mesmas (FARIAS, et al 2011).

O cenário após o acidente nuclear de Fukushima (2011) no Japão, abalou novamente a credibilidade do segmento em diversos países, levando muitos governos a optarem pela diminuição e, em alguns casos, até mesmo a interrupção, da participação da geração da energia nuclear, o que levou ao aumento da participação de setores que utilizam combustíveis fósseis e investimento em fontes renováveis de energia (DA CUNHA, 2015).

Recentemente, após acordos internacionais visando a contenção do aumento das temperaturas globais e demais consequências das mudanças climáticas, a pressão por reduzir o volume de emissões de carbono retomou as discussões acerca da energia nuclear para alcance de metas verdes e transições energéticas sustentáveis. Soma-se, ainda, a invasão russa no

território ucraniano, iniciada no presente ano de 2022, que acabou intensificando a defesa pela retomada da energia nuclear nos países europeus indiretamente atingidos, uma vez que o abastecimento energético de vários desses depende do gás natural russo.

Neste sentido, o presente trabalho busca apresentar o planejamento dos países quanto ao aumento da participação nuclear em suas matrizes elétricas devido às mudanças climáticas e à Guerra na Ucrânia, discutindo dados atualizados do setor nuclear e os principais benefícios indicados quanto ao uso da energia nuclear para transições energéticas seguras e sustentáveis.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Realizar uma análise sobre o panorama da energia nuclear no contexto atual das mudanças climáticas e da crise energética instaurada pela Guerra na Ucrânia.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são:

- Descrever o processo de geração de energia dentro das usinas nucleares;
- Apresentar o contexto histórico e atual de mudanças climáticas e as principais políticas envolvidas;
- Apresentar o contexto político-econômico da Guerra na Ucrânia;
- Identificar os principais impactos energéticos causados pela invasão russa à Ucrânia;
- Identificar as estratégias e planos dos países para transição energética envolvendo energia nuclear;
- Discutir os benefícios e os riscos da possível retomada da energia nuclear, considerando o contexto mundial atual.

## **2. METODOLOGIA**

A metodologia utilizada para desenvolvimento do trabalho, estruturou-se em revisões bibliográficas abordando, a partir de uma análise qualitativa e descritiva, os processos de geração de eletricidade a partir da energia nuclear, o contexto de mudanças climáticas e Guerra na Ucrânia. A pesquisa também apresenta uma parte quantitativa, pois são apresentados os principais dados de geração de energia nuclear, tais como capacidade instalada, número de usinas, custos de construção e operação, volume de emissões de gases de efeito estufa.

Para o referencial teórico, foram utilizadas dissertações de mestrado e doutorado, artigos científicos publicados em revistas nacionais e internacionais, relatórios nacionais e internacionais, dados oficiais disponibilizados por órgãos públicos, reportagens e as bases de dados das principais instituições do setor de energia, como a IAEA e o IEA.

Foram priorizados trabalhos que já relacionavam a temática nuclear para transições energéticas dos países dentro dos novos objetivos assinados para redução de emissão de gases e como este cenário foi modificado após a invasão russa ao território ucraniano.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 A Energia Nuclear

A energia nuclear pode ser definida como a energia originada de uma reação nuclear, isto é, uma alteração da composição de núcleos atômicos de um elemento, possibilitando sua transformação em outros elementos. Essas reações podem ser classificadas como fissão nuclear e fusão nuclear. A fissão nuclear consiste no processo sob o qual um núcleo se divide em duas ou mais partículas, liberando energia que permite que outros núcleos sejam divididos, formando uma reação em cadeia. Já a Fusão nuclear, consiste na reação em que dois núcleos se fundem e geram um novo núcleo, liberando energia, e da mesma forma, criando uma reação em cadeia. A aplicação da fusão nuclear, atualmente encontra-se em desenvolvimento, através de pesquisas e estudos que abordam sua utilização de forma sustentável, porém as tecnologias e estruturas existentes não comportam seu uso na prática. Dessa forma os reatores nucleares que operam atualmente são destinados à fissão nuclear (FERNANDES. *et al.*, 2021).

##### 3.1.1 Usinas Termonucleares

As usinas termonucleares são instalações que produzem energia elétrica, através do calor liberado durante as reações nucleares de fissão. Existem diversos tipos de reatores para obtenção de eletricidade através da energia nuclear, como o reator de água pressurizada (PWR), o reator de água fervente (BWR), o reator de Gás de Urânio Natural Grafite (GCR), o reator de gás avançado (AGR), o reator Resfriado a Gás de Temperatura Elevada (HTGCR), o reator nuclear de água pesada (PHWR) e o reator reproduzidor rápido (LMFBR), conforme apresentado no Quadro 1.

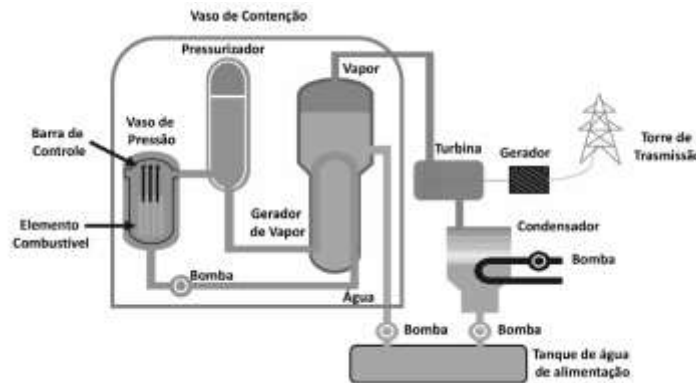
Quadro 1 – Tecnologias aplicadas à geração de energia elétrica em usinas nucleares

Reator	Combustível	Moderador	Refrigerante	Tecnologia
PWR	urânio enriquecido	água ou grafite	água ou grafite	EUA; Alemanha; França; Japão
BWR	urânio enriquecido	água	água	EUA; Suécia; Alemanha
GCR	urânio natural	grafite	dióxido de carbono	França; Reino Unido
AGR	urânio enriquecido	grafite	hélio	Reino Unido
HTGCR	urânio enriquecido	grafite	dióxido de carbono	Alemanha; Reino Unido; EUA
PHWR	urânio natural	água pesada	água pesada	Canadá
LMFBR	urânio natural	-	sódio líquido	Rússia; França

Fonte: Adaptado de REATORES NUCLEARES DE POTÊNCIA (IRD, 2009)

Em sua grande maioria, as usinas nucleares operam através de dois circuitos, primário e secundário, além de um sistema de refrigeração. A seguir, é apresentada uma estrutura dos reatores PWR, que utilizam a própria água para moderar e refrigerar o fluido que em seguida irá aquecer a água do circuito secundário.

Figura 1 – Esquema de uma usina nuclear que utiliza reator do tipo PWR



Fonte: Adaptado de Atlas de Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2008)

Segundo TÁVORA (1979), as usinas operam basicamente da seguinte forma: O circuito primário consiste em um pressurizador, um vaso de pressão e uma bomba. O vaso de pressão é um recipiente de chumbo que funciona como um obstáculo de retenção, e em seu interior, há a água de refrigeração do núcleo do reator, assim como o combustível nuclear. Após a reação nuclear, essa água altamente radioativa é aquecida e flui pelo circuito primário no sentido do pressurizador em um ciclo fechado.

A alteração da massa específica desse fluido de arrefecimento, em consequência da mudança de temperatura, ocasiona variações na pressão, a qual é controlada pelo pressurizador, responsável pela manutenção da pressão da usina nuclear PWR, em diferentes estágios de operação. Este equipamento é instalado na saída do reator nuclear e é constituído por aquecedores elétricos e válvulas de injeção de água. Durante a operação, o pressurizador é preenchido com líquido e vapor de água. Caso ocorram oscilações no sistema elétrico ou na turbina a vapor, que possam influenciar na temperatura e, por consequência, na pressão do circuito primário, o sistema de controle de pressão do pressurizador é acionado automaticamente. Se houver uma queda de pressão, os aquecedores do pressurizador são ligados, levando à vaporização da água, aumentando, a pressão do sistema devido ao maior volume específico ocupado pelo vapor. De modo inverso, se houver um aumento de pressão do circuito primário, as válvulas do sistema são abertas injetando água fria no vapor,



ocasionando a sua condensação. O menor volume específico ocupado pela água no estado líquido diminui a pressão.

A água radioativa aquecida é quem promove o aquecimento da água de uma outra corrente, pertencente ao circuito secundário, há, portanto, uma troca de calor entre os circuitos primário e secundário. A água radioativa após aquecer a corrente do circuito secundário, passa por uma bomba, no qual é refrigerado.

O circuito secundário é formado por um gerador de vapor, uma turbina, um condensador, bombas e um tanque de água de alimentação. A água desse circuito já aquecida e presente no gerador de vapor é vaporizada, acionando a turbina para geração de energia elétrica, a qual é distribuída pelas linhas de transmissão. O vapor que desprende da turbina passa pelo condensador, é resfriado e enviado ao tanque de água de alimentação para recirculação no circuito secundário.

### **3.1.2 Reatores de 4ª Geração**

Segundo o relatório anual do GIF (*Generation IV International Fórum*) os sistemas de energia nuclear de geração IV (os sistemas de energia nuclear de próxima geração que podem ajudar a atender às necessidades futuras de energia do mundo) usarão combustível com mais eficiência, reduzirão a produção de rejeitos, serão economicamente competitivos e atenderão a padrões rigorosos de segurança e resistência à proliferação. Alguns desses projetos de reatores podem ser demonstrados na próxima década, com implantação comercial a partir de 2030. A China iniciou a construção de um protótipo de Reator de Alta Temperatura (HTR-PM), um primeiro passo para o desenvolvimento do VHTR. Tanto a França quanto a Rússia estão desenvolvendo projetos avançados de reatores de sódio rápido para demonstração de curto prazo. As tecnologias de reatores de Gen IV incluem: Reator rápido resfriado a gás (GFR), Reator rápido resfriado a chumbo (LFR), Reator de sal fundido (MSR), Reator supercrítico resfriado a água (SCWR), Reator rápido resfriado a sódio (SFR) e temperatura muito alta Reator (VHTR).

Oito objetivos tecnológicos foram definidos para os sistemas da Geração IV em quatro áreas amplas: sustentabilidade, economia, segurança e confiabilidade e resistência à proliferação e proteção física. Esses objetivos ambiciosos são compartilhados por um grande número de países, pois visam responder às exigências econômicas, ambientais e sociais do século XXI. Eles estabelecem uma estrutura e identificam metas concretas para concentrar os esforços de P&D (GIF, 2021).

Os oito objetivos tecnológicos para os reatores de Gen IV podem ser definidos como:

- Os sistemas de energia nuclear da Geração IV fornecerão geração de energia sustentável que atende aos objetivos de ar limpo e fornece disponibilidade de longo prazo de sistemas e utilização efetiva de combustível para produção de energia em todo o mundo.
- Os sistemas de energia nuclear da Geração IV minimizarão e gerenciarão seus rejeitos nucleares e reduzirão notavelmente a carga de administração de longo prazo, melhorando assim a proteção da saúde pública e do meio ambiente.
- Os sistemas de energia nuclear da Geração IV terão uma clara vantagem de custo do ciclo de vida em relação a outras fontes de energia.
- Os sistemas de energia nuclear da Geração IV terão um nível de risco financeiro comparável a outros projetos de energia.
- As operações dos sistemas de energia nuclear da Geração IV serão excelentes em segurança e confiabilidade.
- Os sistemas de energia nuclear da geração IV terão uma probabilidade e um grau muito baixos de danos no núcleo do reator.
- Os sistemas de energia nuclear da Geração IV eliminarão a necessidade de resposta de emergência externa.
- Os sistemas de energia nuclear da geração IV aumentarão a garantia de que são pouco atraentes e a rota menos desejável para desvio ou roubo de materiais utilizáveis em armas, além de fornecer maior proteção física contra atos de terrorismo.

### **3.1.3 Combustível Nuclear**

Combustível nuclear aplicado para gerar as reações nucleares pode variar de acordo com o reator utilizado. Para usinas de fissão nuclear, esse material precisa ser instável, para que ao colidir com um nêutron sofra a fissão e libere energia. A grande maioria dos reatores nucleares usa o urânio enriquecido (U-235 e U-238) como combustível, mas outras fontes, como urânio natural e óxidos mistos também podem ser utilizados (FERNANDES. *et al.*, 2021).

O urânio é um elemento encontrado de forma natural, mas não em estado puro, portanto para ser utilizado como fonte energética precisa sofrer um processo chamado Ciclo do

Combustível Nuclear (CCN). Esse ciclo engloba sete etapas, conforme ilustrado na Figura 2, a seguir.

Figura 2 – Etapas do Ciclo do Combustível Nuclear



Fonte: INB, 2022.

- Mineração e beneficiamento: o minério extraído da natureza sofre duas operações de britagem para redução do tamanho de suas partículas. Em seguida, o urânio é extraído da rocha por lixiviação com solução de ácido sulfúrico, gerando uma solução chamada de “licor de urânio”. Esse licor sofre uma etapa preliminar de purificação e concentração, dando origem a um sal amarelo de fórmula  $U_3O_8$ , também conhecido como torta amarela (*yellowcake*).
- Refinação: o  $U_3O_8$  é convertido em um sal de hexafluoreto de urânio ( $UF_6$ ), que através de processo físico muda seu estado para gasoso a baixas temperaturas.
- Enriquecimento: através da ultracentrifugação, há a separação entre o urânio-238 de maior densidade e o urânio-235 de menor densidade. O gás enriquecido em urânio-235 é deslocado para outra centrífuga, onde a separação é feita novamente. O urânio usado nos reatores nucleares para a produção de energia possui entre 3% e 5% de urânio-235.
- Conversão: o gás enriquecido final é convertido em um pó de dióxido de urânio ( $UO_2$ ), o misturado com outros compostos de urânio, como  $U_3O_8$  e dicarbeto de urânio ( $UC_2$ ),

e depois é submetido a uma prensa rotativa automática, onde são produzidas as chamadas “pastilhas verdes”, que são encaminhadas para um forno de sinterização e aquecidas a 1750°C para ganhar rigidez e adquirir a resistência necessária às condições de operação a que serão submetidas dentro do reator de uma usina nuclear.

- Pastilhamento: pastilhas de urânio são empilhadas em varetas revestidas como uma liga de zircônio, que são agrupadas e mantidas rigidamente por grades espaçadoras, formando o elemento combustível.

### **3.1.4 Rejeitos Nucleares**

De acordo com o Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD CNEN (1990), rejeito radioativo é qualquer material resultante de atividades humanas relacionadas a radionuclídeos (materiais radioativos) em quantidades superiores aos limites estabelecidos por normas de instituições reguladoras, como a CNEN. Os padrões internacionais de segurança regem o transporte, tratamento e armazenamento desse tipo de material.

O elemento já utilizado no reator e que não apresenta mais condições de gerar energia economicamente viável é chamado de Elemento Combustível Irradiado (ECI), que são classificados como rejeitos de alta atividade. Esses materiais são armazenados, inicialmente, em racks instalados dentro das piscinas que possuem um sistema de troca de calor, permitindo a remoção do calor residual gerado pelos combustíveis armazenados. Na parte superior dos elementos combustíveis há uma camada de aproximadamente sete metros de água borada, que tem a função também de blindagem, para reduzir a radiação a níveis adequados, para os operadores da usina que trabalham ao redor da piscina. Após o esgotamento das piscinas, os ECIs irradiados são transferidos para outras unidades de armazenamento, como depósitos subterrâneos, no qual o material com alta radiação é mantido em cápsulas de metal, enterrado a centenas de metros de profundidade, vedadas e isoladas por tempo indeterminado (ALMANAQUE ABRIL, 2014).

### **3.2 Mudanças Climáticas**

As consequências das mudanças climáticas se tornam cada vez mais intensas e desastrosas a cada mínimo aumento das temperaturas causado pelo aquecimento global. Entretanto, o aumento das temperaturas registradas a cada ano, fazem parte de apenas um dos

indicadores das mudanças climáticas. Alteração no pH dos oceanos, derretimento de calotas polares, mudanças no nível do mar e concentração de gases poluentes na atmosfera, perda de produtividade em culturas agrícolas, entre outros também são fatores importantes para o tema.

Questões ambientais e o reconhecimento de sua importância, passaram a fazer parte das agendas políticas internacionais, após pressão de ONGs, movimentos sociais e de especialistas, e como parte disso, o contexto de mudanças climáticas, vem sendo discutido desde os anos 1960.

Em junho de 1972, durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo (Suécia), na presença de 113 países, era discutido pela primeira vez como a industrialização dos países ricos estava a frente com a principal causa da degradação da natureza (MORALES, 2022). A realização desta Conferência resultou na criação da Declaração de Estocolmo, documento que apresentou 26 princípios e ações destinadas à redução dos impactos ambientais, sendo considerada um marco histórico-político internacional para criação de políticas e programas de gerenciamento ambiental, o que posteriormente originou o surgimento do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). E também a adoção do dia 5 de junho como o Dia Mundial do Meio Ambiente, após discurso e proposta do então primeiro-ministro da Suécia, Olof Palme, que alertou: "Na relação humana com o meio ambiente não existe futuro individual, nem para pessoas, nem para nações. O nosso futuro é comum. Precisamos compartilhá-lo e desenhá-lo juntos" (ANDRÉ, 2022).

A Assembleia Geral das Nações Unidas, em 1987 sob coordenação da então primeira ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, apresenta o Relatório de Brundtland intitulado de "Nosso Futuro Comum", com uma nova visão sobre o desenvolvimento sustentável, através de propostas que pudessem suprir as necessidades do presente sem comprometer a demanda das gerações futuras (Nações Unidas, 2014).

No ano seguinte, 1988, a ONU através do PNUMA com apoio da Organização Meteorológica Mundial (OMM) dão origem ao *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), uma organização política-científica no qual os principais especialistas em ciência climática do mundo e, atualmente, com representação em 195 países, analisam e sintetizam informações científicas, cenários e propostas específicas ao contexto de mudanças climáticas, como o objetivo de formular políticas de adaptação, mitigação, suas implicações e possíveis riscos (Nações Unidas Brasil, 2014). Em dois de seus relatórios, publicados em 2007 e 2014, o IPCC deu foco na apresentação dos conceitos científicos e físicos das mudanças climáticas e seus impactos sobre o planeta. Já em seu último documento oficial, Sexto Relatório de

Avaliação (AR6), publicado em 2022, os especialistas priorizaram ideias e metas para a redução das emissões de gases de efeito estufa e remoção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) da atmosfera, para que o aquecimento global seja mantido na temperatura de até 1,5°C (WRI Brasil, 2022).

Em 1992, na cidade do Rio de Janeiro, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (mais conhecida como Rio 92), na qual surgiu a *United Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC).

Na Rio 92, foram discutidas, principalmente, a necessidade de cooperação entre os países para redução da concentração de gases de efeito estufa e as alternativas para limitar a interferência dos humanos no clima (UNFCCC, 2021). O documento oficial da UNFCCC define mudança climática como “uma mudança de clima que é atribuída, direta ou indiretamente, à atividade humana que altera a composição da atmosfera global, observada em períodos de tempo comparáveis” (UNFCCC, 1992).

A Conferência das Partes (COP), que é realizada anualmente, teve sua primeira edição em 1995, em Berlim, com o objetivo de discutir mudanças climáticas e traçar metas e prazos para conter a redução de GEE. Sua 3ª edição, no Japão, deu origem ao Protocolo de Kyoto, tratado que definiu diretrizes para que os países reduzissem em no mínimo 5% as emissões de GEEs entre 2008 e 2012, e em 18% entre 2013 e 2020, considerando os níveis registrados em 1990 (constantes no primeiro relatório do IPCC), porém como os países tinham realidades diferentes, cada nação negociou sua própria meta para ter capacidade de atingi-la. As edições seguintes da COP não apresentaram metas e resultados impactantes, até que em 2015, durante a COP21, foi aprovado o Acordo de Paris, em que os países signatários passaram a assumir metas nacionais para contribuir com as questões climáticas. O Brasil definiu a redução de suas emissões de gases do efeito estufa em 37% até 2025 e em 43% até 2030, considerando os níveis registrados em 2019 (WRI Brasil, 2022).

Diversos fenômenos, como tempestades, inundações, desertificação de regiões, furacões, derretimento de geleiras e aumento do volume dos oceanos, têm sido provocados pelo aquecimento global. As catástrofes naturais resultam em grande prejuízo social, ambiental e econômico. Dessa forma, esforços em financiamento e conscientização são traçados pelas entidades governamentais para que o aumento das temperaturas seja controlado e suas causas mitigadas. Os sistemas energéticos, em seus segmentos de produção e consumo, representam por  $\frac{2}{3}$  da emissão de GEE, decorrentes principalmente das atividades das matrizes energéticas fossilizadas. A necessidade de redução da emissão de gases, revelam a importância da transição

energética para matrizes predominantemente de energias renováveis e de baixo carbono (IPCC, 2022).

Segundo a *International Energy Agency* (IEA), para se alcançar os objetivos de contenção do aquecimento global são necessárias políticas que priorizem quatro tipo de estratégias de desenvolvimento energético, que seriam responsáveis pela redução de até 82% de emissões. São elas:

- a) Políticas energo-expansivas: promovem a expansão da produção de fontes de baixo-carbono;
- b) Políticas energo-reprodutivas: promovem a manutenção de fontes existentes com baixas emissões de carbono;
- c) Políticas energo-substitutivas: objetivam substituir fontes de elevadas emissões;
- d) Políticas energo-poupadoras: promovem a produção e o consumo mais eficientes e/ou a conservação de energia.

Para que os objetivos sejam alcançados, o IPCC apresenta a importância do trabalho em conjunto entre governos, sociedade e setor privado para transição energética de redes alimentadas por fontes renováveis, complementadas pela produção de energia nuclear, uma parcela pequena de combustíveis fósseis (com captura e armazenamento de carbono) e outras fontes consideradas alternativas. Inovações tecnológicas, que aumentem a eficiência dos processos industriais, a manutenção e ampliação de ecossistemas, nova infraestrutura de transportes e incentivo a construções verdes são exemplos de ações para descarbonização de setores e redução de impactos climáticos.

### **3.3 Guerra na Ucrânia**

#### **3.3.1 Relação histórica entre Rússia e Ucrânia**

A *Rus Kievana* foi uma associação de tribos eslavas, existentes entre os séculos IX e XIII, e sua dissolução deu origem ao que hoje conhecemos como nações russa, bielorrussa e ucraniana (MONIZ BANDEIRA, 2016).

Desde os primórdios de sua existência, a Ucrânia teve dificuldade em demonstrar soberania e com isto seu território foi motivo de disputas por potências vizinhas, no qual se destaca o domínio russo na maior parte de sua história. Sob o poder de Josef Stalin, antes da II

Guerra Mundial, a Ucrânia sofreu um dos golpes mais penosos de sua história, denominada de *Holodomor* – uma política de extermínio instituída pelo tirano em 1932, que matou mais de sete milhões de ucranianos por fome e obrigou a outros milhares a exilar-se da região (ROSAS, 2014). Durante a Guerra Fria, o controle soviético se estendeu até a Alemanha, e dessa forma a Ucrânia ficou totalmente sob posse da URSS e segura em relação a ameaças dos países capitalistas (PLOKHY, 2015). A postura ofensiva dos EUA contra a URSS, durante a presidência de Ronald Reagan, acarretara grandes dificuldades econômicas para os soviéticos, que tentaram reformular de forma radical sua economia (política conhecida como *Perestroika* introduzida pelo então líder soviético Mikhail Gorbachov). No entanto, estas medidas acabaram por desorganizar ainda mais o sistema soviético, gerando dívidas externas, crise inflacionária, defasagem tecnológica, problemas com abastecimento de alimentos e grande necessidade por importação (MAZAT, 2013). Acrescido a este cenário, o desastre de Chernobyl, motiva a população a manifestar o descontentamento ao modo como o governo soviético lidou com o acidente, e logo após, movimentos nacionalistas ganharam, cada vez mais força, surgindo assim o *Rukh*, movimento popular que envolve a luta por uma Ucrânia livre (WILSON, 2000).

O fim pacífico da Guerra Fria, através da dissolução da URSS, durante liderança de Gorbachov, foi visto como triunfo pelo Ocidente capitalista, trazendo o fim da bipolaridade existente e caminho livre para que os EUA aumentassem sua influência sobre a Europa através da expansão da OTAN. Este é o período no qual a Ucrânia alcança sua independência após votação unânime convocada pelos nacionalistas do *Rukh*, e nomeia seu primeiro Presidente, Leonid Kravchuk (SATZEWICH, 2003). O país se torna independente, mas volta a ser motivo de disputas entre grandes potências, devido à sua condição de pivô geopolítico da Eurásia, uma vez que o país poderia se integrar a OTAN, retirando a projeção geopolítica da Rússia sobre a Europa (BRZEZINSKI, 1997). O avanço dos EUA torna a Ucrânia prioridade em sua estratégia, não só pela perspectiva geopolítica, assim como pelo arsenal militar e atômico herdado da URSS, já que neste período os ucranianos estavam perto de se tornarem a terceira potência nuclear do planeta. Entretanto, através de tratados assinados durante o governo de Leonid Kuchma, sucessor de Kravchuk, a Ucrânia promoveu a não proliferação de armas nucleares (Encyclopedia, 2016). Em 1995 a Ucrânia se torna o primeiro país da extinta URSS a se aproximar definitivamente do Ocidente aderindo a Parceria para a Paz na OTAN (PERES, 2014).

Se pela visão ocidental o fim da Guerra Fria era considerado uma vitória, do outro lado, o sentimento de fracasso do sistema de governo dos blocos de Estados da URSS, permaneceu



vivo em certos grupos e figuras políticas adeptos a esta filosofia. Segundo Vladimir Putin, atual chefe de Estado da Federação Russa, o fim da União Soviética foi repercutido como “o maior desastre político do século XX”, no qual associa os processos de mudanças à perda de respeito no cenário mundial e aproveitamento dos países do Ocidente durante este período de fragilidades. Neste contexto, embasado por lógicas e discursos conservadores, autoritários, revisionistas, que se materializou em políticas militarizadas para de afirmação de poder, Putin busca legitimar suas decisões, que refletem nos principais episódios envolvendo a Rússia nos últimos 20 anos, período em que se mantém no poder, sendo alguns destes envolvendo a Ucrânia (REIS, 2022)

### **3.3.2 Crimeia**

A Crimeia é uma península localizada ao sul da região ucraniana de Kherson e a oeste da região russa de Cubã, rodeada pelas águas do Mar Negro e Mar de Azov. Entre os séculos XV e XVIII, estava sob os domínios do Império Otomano e logo em seguida foi conquistada pelo Império Russo, durante expansão realizada pela Imperatriz Catarina “a Grande”. Cenário que permitiu aos russos acesso aos Mares Negro e Mármara e Estreitos de Bósforo e Dardanelos (HOWARD, 2015) e construção do forte de Sebastopol, no qual foi situado o quartel general da frota russa do Mar Negro (PERES, 2014).

A região da Crimeia permaneceu sob domínio russo até o ano de 1954, momento em que foi cedida à Ucrânia pelo líder soviético Nikita Kruchev, sucessor de Stalin, como um símbolo de aliança entre os dois países (KULIKE, 2014). Entretanto, como a população da península era majoritariamente de origem russa, passou a existir um problema identidade, o que acabou por criar um local marcado por muitas tensões. Em 1995, a Crimeia ameaça ao governo ucraniano uma separação da já constituída Ucrânia independente. Como resposta é concedido pelos ucranianos, autonomia de governo com constituição própria, mas ainda sob domínios ucranianos (VARETTONI, 2011).

Validando seu papel de pivô geopolítico, a Ucrânia procurou se aproximar dos EUA e UE, através de acordos que promoviam investimentos externos para desenvolvimento da economia, mas sem romper suas relações com a Rússia. A partir de 2003, Ucrânia e Rússia, dialogam sobre tratados em relação a delimitar fronteiras e criar espaços comuns para negociações. Alguns destes acordos não foram bem sucedidos e criaram crise entre os dois países (ENCYCLOPEDIA, 2016).

A Rússia, em 2009, buscou atrair os territórios que pertenciam à extinta URSS para uma aliança aduaneira, que ficou conhecida como União Euroasiática, na tentativa de recuperar a posição de superpotência e de influência perdida após a Guerra Fria (Aguilar, 2014). Nesse sentido, em termos econômicos e estratégicos, a região da Crimeia é de extrema importância para Rússia, uma vez que seu território é passagem de gasodutos que abastecem a Europa, além de possuir uma grande produção de grãos, vinhos e uma avançada indústria alimentar, já que esta zona é utilizada como escoamento da produção agrícola ucraniana (TEPER, 2015).

A partir de 2010, durante governo ucraniano de Viktor Yanukovych, que era apoiado pelos russos, não conquistando o retorno financeiro almejado após aproximação com a UE, a Rússia rejeita a solicitação de adesão da Ucrânia à OTAN e prorroga o contrato de cessão da base naval de Sebastopol para Rússia até 2042 (HOWARD, 2015). Em seguida, já em 2013, Yanukovych rompe tratados de livre comércio com a UE e assina acordos com os russos de redução de barreiras comerciais. Decisão que motivou diversos protestos civis, denominados de *Euromaidan*, que apoiavam a aproximação à UE e rejeitavam os acordos e influências russas. Isso levou ao aumento de tensões, que culminaram com invasões a prédios do governo ucraniano, retirada do poder de Yanukovych e convocação de novas eleições. De imediato, forças armadas separatistas apoiadas pelos russos foram direcionadas à Crimeia, que ocuparam o parlamento, dois aeroportos e as fronteiras da península, para em seguida convocar eleições que levariam a região se tornar independente da Ucrânia (AGUILLAR, 2014).

A separação da Crimeia da Ucrânia é reconhecida pelo lado russo após tratados assinados em Moscou que ainda anexava a base de Sebastopol na Federação Russa. Entretanto, a independência e a anexação não foram aceitas pelos EUA e EU, que alegaram quebra de acordos internacionais, uso ilegítimo da força e violação da soberania ucraniana que detinha o controle sobre a Crimeia (TRENIN, 2014).

### **3.3.3 Donbass**

Logo após a anexação da península da Crimeia pela Rússia, em abril de 2014, ativistas pró-russos avançaram em direção ao leste ucraniano, região industrial do país, antiga produtora de carvão e aço, conhecida como Donbass (BBC, 2015).

Diversos conflitos entre forças separatistas e do governo ucraniano resultaram no controle de prédios do governo principalmente nas cidades de Donetsk e Luhansk pelos insurgentes (GRYTSENKO, 2014). Os ativistas pró-russos, ao conquistarem os gabinetes do Serviço de Segurança de Donetsk, declararam a unificação com a Rússia e anunciaram um

referendo nacional para independência da região (FLIKKE, 2015). Em paralelo, tropas russas intensificaram a proteção das fronteiras o que alarmou o Ocidente para uma possível invasão (MYERS & SMALE, 2014). O então presidente ucraniano Oleksander Turchynov ordenou uma “operação antiterrorista” para impedir os movimentos separatistas (KHUDOTEPLY, 2014). A primeira tentativa de acordo em uma reunião realizada em Genebra, entre EUA, UE, Ucrânia e Rússia, no final de abril de 2014, não foi bem sucedida, o que favoreceu o aumento das tensões entre os dois países (FLIKKE, 2015). Assim, com o objetivo de se fortalecer contra o avanço de tropas ativistas e, por meio de um discurso voltado à proteção da vida, liberdade e aos direitos legítimos de seus habitantes, o governo ucraniano solicita apoio, principalmente, dos EUA e do Reino Unido, criando a Guarda Nacional (NGU, 2019).

Em maio de 2014, a votação do referendo da independência resultou na aprovação da separação pelos insurgentes e a criação de um estado confederado, chamado de Nova Rússia (KRASMOLUTSKA *et. al.*, 2014). Os meses seguintes revelaram aumento da intensidade dos conflitos e da violência, destacando o combate na região do aeroporto de Donetsk e o abate, em 17 de julho, do avião de passageiros MH17 no qual 298 civis morreram, dentre essas 80 eram crianças (BBC, 2015).

Em setembro de 2014, sob orientação da Organização para a Segurança e Cooperação na Europa (OSCE), Ucrânia, Rússia e as Repúblicas de Donetsk e Luhansk, acordaram um cessar fogo, concedendo aos separatistas certa autonomia por um estatuto especial (BBC, 2015). Contudo, alegações sobre a quebra do acordo, reativaram os conflitos, então novas tentativas de cessar fogo foram realizadas, mas os combates seguem ativos até o atual momento. Segundo a *United Nations Human Rights*, desde 2014, o confronto armado na região do Donbass, já resultou em, no mínimo, 13 mil mortos, além de milhares de feridos e desabrigados.

### **3.3.4 Invasão russa**

Desde o fim da Guerra Fria, a OTAN expande suas alianças e influências pelo Leste Europeu, contanto, hoje, com 14 países que pertenciam ao ex-bloco comunista, mas a possibilidade de adesão da Ucrânia à OTAN reflete em uma contestação à Rússia, que tenta através do desejo de seu atual chefe de estado, restabelecer sua zona de influência e papel de superpotência (BBC, 2022).

Em 17 de dezembro de 2021, a Rússia apresentou duas propostas à OTAN e aos EUA, para que recuassem suas fronteiras de segurança para sua posição original de 30 anos atrás,

além da retirada de tropas e mísseis estratégicos e suspensão de novas adesões à aliança, que incluíam a Ucrânia e a Geórgia (GASPAR, 2022). No entanto, as propostas foram rejeitadas em janeiro de 2022. Como resposta à esse posicionamento, Vladimir Putin decide reconhecer as duas Repúblicas Separatistas de Donetsk e Luhansk como independentes e autoriza uma operação especial contra o Estado ucraniano e derrubada de seu atual Presidente Volodymyr Zelensky. No dia 24 de fevereiro de 2022, inicia-se uma nova ofensiva russa contra a Ucrânia, com o objetivo de “desmilitarizar e desnazificar” um governo que ameaça contra a integridade, liberdade e direitos dos ucranianos de origem russa (BBC, 2022).

Segundo Gaspar (2022), as decisões de Putin violam direitos e acordos de fronteiras no espaço euro-atlântico e a livre escolha de alianças.

Em resposta aos ataques russos, os EUA e alguns países da EU aplicaram uma série de sanções econômicas, que incluem medidas restritivas às pessoas, bloqueio de bens e ativos, proibições para financiamento da Federação Russa e suspensão de alguns bancos russos do sistema de transações bancárias SWIFT (NUNES, 2022). Os países do Ocidente, por sua vez, rejeitaram qualquer tipo de envolvimento direto nos combates, entretanto disponibilizaram uma série de armas e equipamentos, e com este apoio, a Ucrânia pôde se manter estruturada defensivamente para resistir e fazer recuar algumas ofensivas russas em um conflito que permanece até os dias atuais, ainda sem perspectiva de cessar fogo ou acordos de paz (BBC, 2022).

Dentre os últimos acontecimentos, destaca-se o ataque russo à zona de Zaporizhia, maior central nuclear da Europa na atualidade, o que poderia trazer consequências mais devastadoras que o acidente nuclear de Chernobyl. Como forma de tranquilizar a população, a própria IAEA informou que a radiação do local estava sendo controlada e mantida a níveis normais, mesmo após bombardeio que destruiu parte de um dos prédios administrativos da central (BBC, 2022). Os russos justificam a tomada da central como uma ação para garantir eletricidade aos civis, mas especialistas não descartam que a estratégia das tropas russas seja interromper o fornecimento de energia em algum momento. Atualmente, a IAEA deu início a uma missão de inspeção na zona nuclear de Zaporizhia, com o objetivo de preservar as atividades da usina e evitar um acidente nuclear.

Segundo dados da *Armed Conflict Location and Event Data Project* (Acled), grupo com sede nos EUA que registra violência política, estima-se pelo menos 13 mil mortes, entre civis e militares. A ONU, por sua vez, relata que mais de 12 milhões de pessoas fugiram de suas residências e locais de combate. E, segundo o Alto Comissariado das Nações Unidas para Refugiados (ACNUR), 6,4 milhões dessas pessoas, se refugiaram em países vizinhos na

Europa. Os conflitos ainda refletem em uma grave crise alimentar e econômica em todo o planeta, já que Ucrânia e Rússia estão entre os maiores exportadores globais de petróleo, gás e trigo. Estima-se em US\$ 104 bilhões a perda em infraestrutura ucraniana durante a guerra, o que inclui residências, fábricas, estradas, pontes, aeroportos, ferrovias, dentre outras (*Kyiv School of Economics*, 2022).

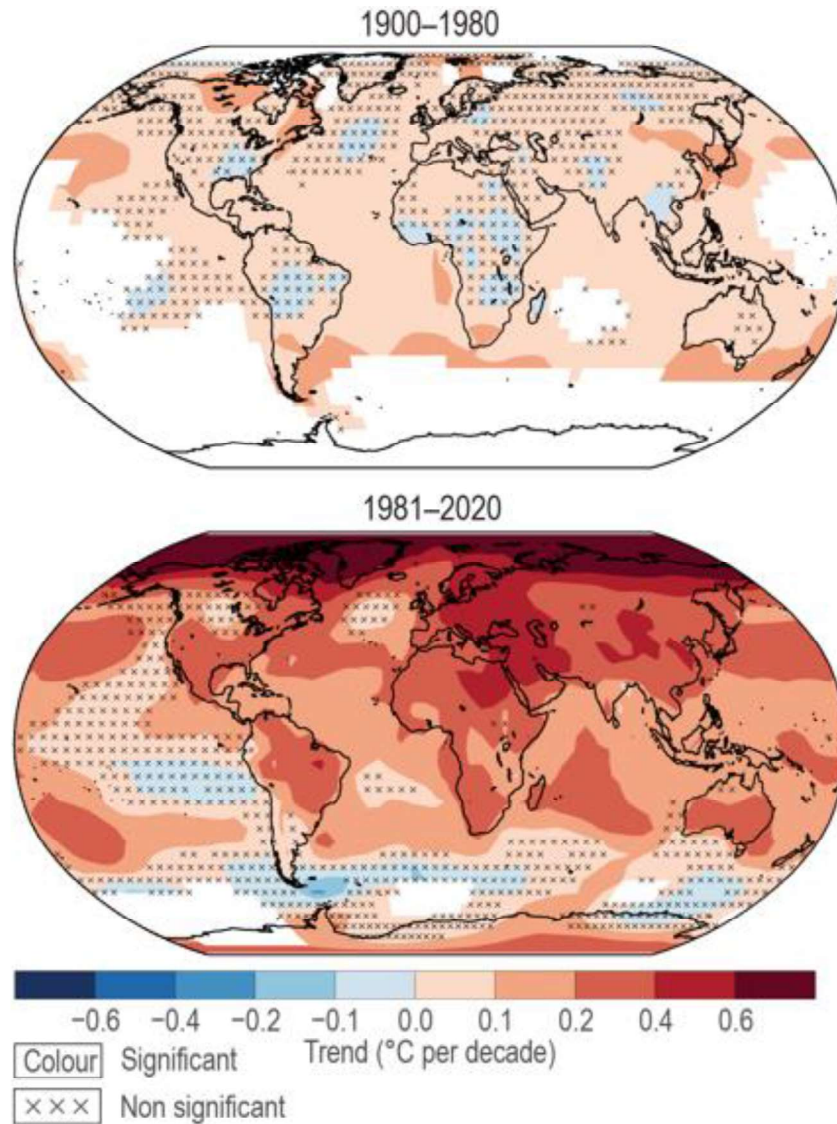
O pacote de sanções pelos países do Ocidente, são respondidos pela diminuição do fornecimento de gás pelos russos, que somados aos altos preços do petróleo, transformam a grande dependência energética que a Europa tem da Rússia em uma crise energética. Logo, aqueles países acabam sendo levados a modificar suas matrizes energéticas, recorrendo a opções mais estáveis, mais independentes e menos custosas. Contudo, ainda é preciso, colocar em meio ao atendimento às necessidades energéticas, a questão do cumprimento às metas para a redução de emissão de gases, conforme Acordo de Paris. Nesse sentido, tem ganhado destaque a questão nuclear.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Um lugar para a energia nuclear no contexto climático mundial

De acordo com o AR6 do IPCC, de forma gradual e crescente, a temperatura global aumentou nas últimas quatro décadas (Figura 2).

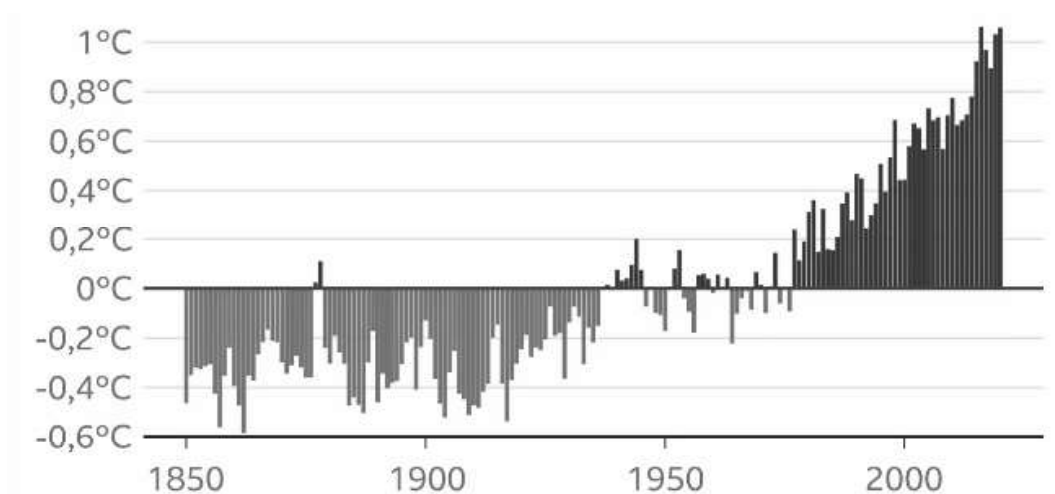
Figura 3 – Aquecimento acelerado após a década de 1970



Fonte: IPCC – AR6,2021

Entre o período de 2011 a 2020, as regiões continentais registraram o aumento médio de 1,59°C e de 0,88°C, em média, nas zonas oceânicas (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Temperatura média da terra e do oceano abaixo ou acima da média global



Fonte Adaptado de Universidade Berkeley da Califórnia, 2022

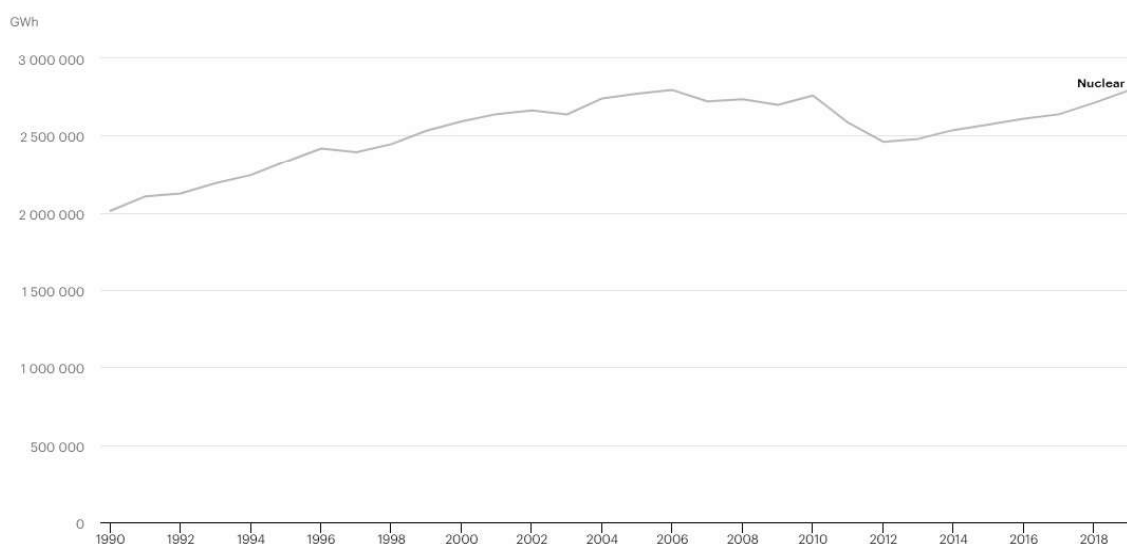
Os combustíveis fósseis, geram pelo menos dois terços da energia elétrica e das emissões de gases do efeito estufa no mundo, além de serem responsáveis pela poluição do ar que causou 8 milhões de mortes em 2018, 1 em cada 5 mortes em todo o mundo, de acordo com um estudo da Universidade Harvard (EUA).

Em contrapartida, os preços do petróleo e seus derivados têm disparado nos últimos anos. Em março de 2022, por exemplo, o petróleo tipo Brent atingiu US\$ 139,13 o barril e o barril (WTI) negociado nos EUA atingiu US\$ 130,50, que foi o maior valor registrado por ambas as marcas de referência em 14 anos (REUTERS, 2022). O gás natural também teve sua máxima histórica registrada em agosto de 2022, com seu preço de contrato futuro (TTF) atingindo a marca de 251 € por MWh, conforme cotações da Trading View. Há expectativa de que o valor do gás natural poderá aumentar em 60% no próximo inverno, chegando a € 350 por MWh (INTERFAX – *International Information Group*, 2022).

Enquanto o aquecimento global avança, os países parecem incapazes de cumprir os objetivos de cortes de emissões. A guerra na Ucrânia intensificou ainda mais as discussões sobre o tema e evidenciou a vulnerabilidade energética da Europa devido à sua alta dependência do gás russo. A Rússia é o principal exportador mundial de petróleo e produtos petrolíferos combinados, com exportações de cerca de 7 milhões de bpd, ou 7% do fornecimento global. De janeiro a julho de 2022, a Gazprom reduziu as exportações de gás para a Europa em 36,2%, chegando em 78,5 milhões de metros cúbicos (IEA, 2022).

A necessidade de um modelo energético independente de combustíveis fósseis se torna cada vez mais importante e, entre as opções, a alternativa nuclear parece ser uma proposta atrativa para algumas nações, onde essa fonte tem recebido novamente incentivos e investimentos para sua retomada. Segundo dados do IEA (2022), a energia nuclear é responsável pela geração de 10% de toda eletricidade no mundo e este número sobe para 20% quando restringido a países de economia avançada. São mais de 400 reatores ativos e operantes, correspondendo a uma capacidade global de 415 GW. O segmento nuclear se destaca pela participação crescente nos últimos 10 anos, após a baixa devido ao acidente de Fukushima (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Geração mundial de energia nuclear entre os anos de 1990 a 2019



Fonte: IEA, 2022.

Recentemente, a Comissão Europeia (CE) classificou, em 6 de julho de 2022, a energia nuclear como "verde" ou "sustentável". Diante disto, especula-se que o aceite pelos países membros da CE poderá liberar bilhões de dólares em investimentos privados e subsídios para projetos dessa fonte, a partir de 2023. Além disso, a energia nuclear foi considerada necessária para a transição da energia de combustíveis fósseis para a energia sem emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), principal gás causador do efeito estufa (ABEN, 2022).

Para fins comparativos, as usinas nucleares emitem, em média, 28 toneladas de CO<sub>2</sub> para cada GWh de energia produzida, número muito inferior às 888 toneladas de CO<sub>2</sub>/GWh provenientes das térmicas a carvão mineral, ou 735 toneladas de CO<sub>2</sub>/GWh do petróleo ou,



ainda, 500 toneladas de CO<sub>2</sub>/GWh do gás natural. A energia solar emite quase três vezes mais CO<sub>2</sub> do que a energia nuclear, são 85 toneladas de CO<sub>2</sub>/GWh, enquanto as hidrelétricas e eólicas são as mais limpas, com produção de 26 toneladas de CO<sub>2</sub>/GWh, segundo relatório técnico *EU Platform on Sustainable Finance* da CE (2022). Ainda conforme dados do mesmo relatório, a energia nuclear também consome menos recursos minerais e fósseis comparado à outras fontes e gera quantidades baixas de resíduos químicos, de dióxido de enxofre e de dióxido de nitrogênio, causadores da chuva ácida.

Em relação aos custos de implantação, as usinas nucleares exigem grandes investimentos em obras de engenharia civil e montagem eletromecânica complexas, resultando em custos de capital elevados. Entretanto, observa-se que as usinas nucleares se caracterizaram pelos baixos custos de combustível comparado com outras usinas a combustíveis fósseis. Tipicamente, esses custos representam em torno de 10 a 15% do custo unitário de geração (Tabela 2). Além disso, regiões com a existência de extensas reservas de urânio e a capacidade de fabricação de combustível garantem baixos custos e estabilidade de preço.

Quadro 2 – Comparação de custos investimentos de projetos de geração de eletricidade

Tipo de usina	Custo de capital	Custo de combustível
Nuclear	Alto	Baixo (10 a 15 %)
Hidrelétrica	Alto	-
Termoelétrica convencional (gás natural, carvão, etc)	Baixo	Alto (~ 60 %)

Fonte: ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E SOCIAIS DO USO PACÍFICO DA ENERGIA NUCLEAR, 2008

O fator de capacidade das usinas nucleares supera os 90%, isto é, elas operam na base do consumo, praticamente à potência nominal, durante mais de 90% do tempo, apenas sendo desligadas para as operações periódicas de recarga e manutenção. Os esforços de desenvolvimento dos reatores de nova geração focam na redução do custo de capital, procurando tornar os reatores nucleares mais econômicos e rápidos de serem instalados, sempre priorizando os níveis de segurança, a fim de tornar o setor mais competitivo com as outras alternativas de energia disponíveis.

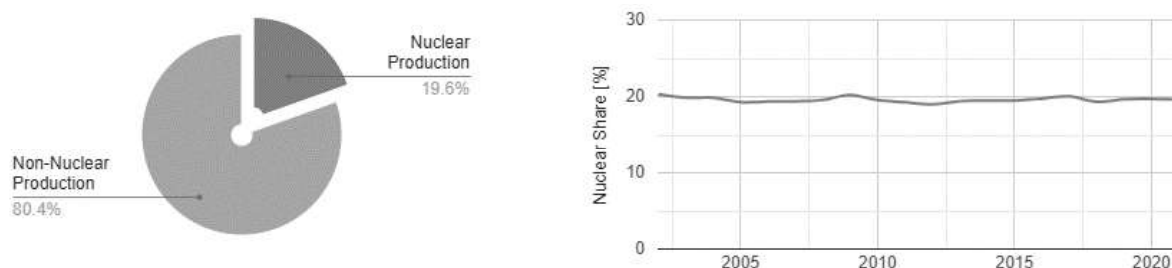
## 4.2 Panorama mundial da energia nuclear

Para o atendimento de um dos objetivos do presente trabalho, são descritas, a seguir, algumas estratégias e planos de países que investem na energia nuclear em suas estratégias para obtenção de uma maior independência energética e/ou diversificação de suas matrizes energéticas. Em resumo são 422 reatores nucleares em operação, correspondendo à uma capacidade instalada de 378 GWe, sendo que a maior parte destas usinas estão concentrados principalmente nos EUA, Europa e Ásia (IAEA, 2022).

### 4.2.1 Panorama nuclear estadunidense

Os EUA, com grande disparidade aos demais países, se posiciona em primeiro lugar mundial como maior produtor de eletricidade a partir da fonte nuclear (823 TWh no ano de 2021), contando com 92 reatores em operação que fornecem aproximadamente um quinto de toda energia gerada no território. Em 2021 a energia nuclear representou 19,6% de toda a produção de eletricidade do país (IAEA, 2022).

Figura 4 – Participação da energia nuclear na produção de eletricidade nos EUA em 2021 e nos últimos 20 anos



Fonte: IAEA, 2022.

O atual presidente americano, Joe Biden, estabeleceu metas ousadas para a contenção das mudanças climáticas e, em paralelo, capacitando trabalhadores e empresas para liderar uma revolução de energia limpa. As metas são reduzir pela metade as emissões de carbono do país até 2030; alcance de um setor de energia livre de poluição por carbono até 2035 e zerar as emissões líquidas de carbono em sua economia até 2050 (White House, 2021).

Segundo dados da Administração de Informações de Energia (EIA, na sigla em inglês) do Departamento de Energia, em 2020, os EUA geraram quatro trilhões de kWh de energia elétrica, sendo 60% dessa geração realizada através da queima de combustíveis fósseis, refletindo no grande desafio de substituição da matriz. As fontes renováveis nos EUA

ultrapassaram o carvão mineral pela primeira vez em 2019, correspondendo hoje a 20% da eletricidade produzida. Em contrapartida, as estimativas da EIA revelam que até 2050, as renováveis podem ser responsáveis por mais de 40% da produção, ou seja, abaixo das metas estabelecidas pelo governo. Para suprir essa margem, muitos especialistas passaram a reconsiderar o uso da energia nuclear, já que os projetos das usinas americanas estão se tornando ultrapassados e apenas uma usina foi construída nos últimos 20 anos. Os dois reatores em construção desde 2013 para Usina Vogtle em Waynesboro, Geórgia, estão com cronograma de obras está atrasado em, pelo menos, oito anos, fazendo o governo americano aprovar mais de 20 bilhões de dólares em garantias de empréstimos para conclusão das instalações, o que irá representar uma expansão da capacidade instalada em 2.234MW e permitirá o abastecimento de mais de 1 milhão de residências e empresas no Estado.

O estudo “*The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World*” liderado pelo professor de ciência nuclear e engenharia do MIT, Jacopo Buongiorno, publicado em 2018, apresenta a importância da redução dos custos associados à energia nuclear para uma substituição economicamente vantajosa e para que a fonte tenha papel significativo na descarbonização do setor de energia. A padronização de projetos de reatores para fabricação de forma repetida seria uma alternativa, assim como a utilização de pequenos reatores modulares (SMRs). A empresa NuScale foi a primeira e única a receber certificação de projeto de seu SMR aprovada pela Comissão Reguladora Nuclear (US NRC), que através de financiamento de US\$1,4 bilhão do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE, da sigla em inglês), prevê a fabricação de 12 pequenos reatores modulares para produção de 720MW no Laboratório Nacional de Idaho, porém o desenvolvimento do projeto apresenta atrasos e aumento nos custos (passando de US\$4,2 bilhões para US\$6,1 bilhões), que têm desmotivado investidores do projeto.

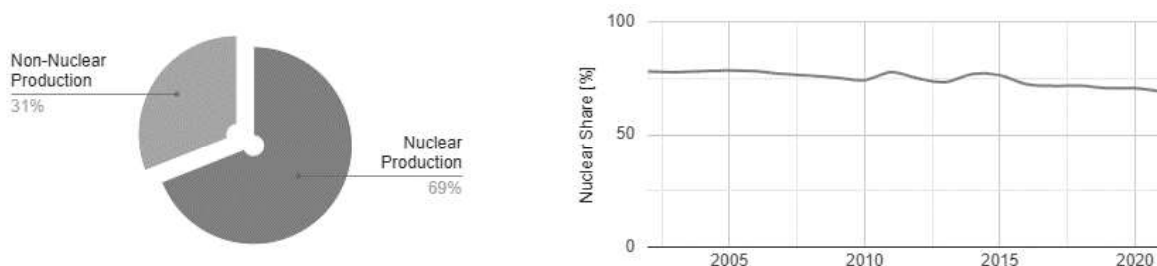
Em 2020, duas empresas foram selecionadas pelo DOE para o investimento de US\$ 80 milhões cada para desenvolvimento de projetos de reatores avançados, a TerraPower startup fundada por Bill Gates, que desenvolve um reator refrigerado a sódio e a X-Energy, que trabalha com um reator refrigerado a gás que opera em temperaturas extremamente altas.

#### **4.2.2 Panorama nuclear francês**

A França é conhecida mundialmente pela sua matriz energética fortemente dependente de usinas term nucleares e, atualmente, é o maior produtor de energia nuclear da União Europeia e o terceiro maior do mundo. Segundo dados da IAEA (2022), são 360 TWh

produzidos por meio de 56 reatores nucleares, com capacidade total de 61,37 GW, o que corresponde a 69% de toda eletricidade fornecida no ano de 2021 (Gráfico 4).

Figura 5 – Participação da energia nuclear na produção de eletricidade na França em 2021 e nos últimos 20 anos



Fonte: IAEA, 2022.

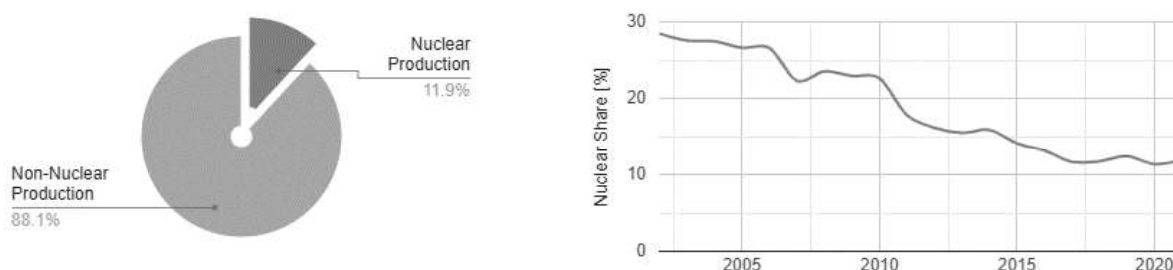
Essa dependência nuclear no país se deve à própria escassez de outros recursos energéticos (Stappel e Scholz, 2015) e, a escolha pela energia nuclear garante não só a segurança energética ao país, como também o alcance das metas verdes. Pelo Acordo de Paris, a França comprometeu-se em reduzir a emissão de gases do efeito estufa em 40% até 2030, em comparação aos níveis de 1990 (UNFCCC, 2015).

A transição energética francesa direciona esforços não só para o aumento de energias renováveis como a eólica e a solar, mas também para expansão de suas bases nucleares. O atual presidente francês Emmanuel Macron, que há cinco anos prometeu reduzir em um terço a produção de energia nuclear (alternativa muito criticada após o acidente de Fukushima em 2011) recentemente mudou seu discurso, expondo a necessidade de um “renascimento nuclear”. Neste contexto, o governo francês anunciou um plano energético de 50 milhões de euros para construção de seis novos reatores nos próximos anos (BBC, 2022). Um desses reatores já está em construção em Flamanville, que será a primeira usina de modelo EPR (um tipo de reator PWR com design modificado para facilitar sua construção) do país, com previsão para início das operações em 2023. Segundo a EDF (maior companhia de energia do país) e o Tribunal de Contas Europeu, os custos da nova usina de Flamanville ultrapassam 13 bilhões de euros, podendo chegar a 19 bilhões de euros até sua conclusão. Isso porque além de crises internas, a EDF, que está em vias de estatização total, ainda sofreu prejuízos com a guerra na Ucrânia, forçando o grupo a comprar eletricidade no mercado a preços altos e vendê-la a preços baixos para seus concorrentes (CNN, 2022).

### 4.2.3 Panorama nuclear alemão

No final de 2010, a Alemanha iniciou o Energiewende, um grande plano energético para tornar seu sistema mais eficiente, alimentado principalmente por fontes de energia renováveis. O país adotou uma estratégia para um caminho energético até 2050, que após o acidente de Fukushima, iniciou a eliminação progressiva da energia nuclear até o final de 2022 (IEA, 2022). Logo, a energia nuclear que, no início do século XXI, representava aproximadamente 30% da energia produzida no país, atualmente, possui três reatores em operação com capacidade instalada total de 4 GW, gerando 65,4 TWh, com 11,9% de participação na matriz elétrica de 2021 (IAEA, 2022).

Figura 6 - Participação da energia nuclear na produção de eletricidade na Alemanha em 2021 e nos últimos 20 anos



Fonte: IAEA, 2022.

A invasão russa na Ucrânia modificou completamente a realidade do setor energético alemão. A Rússia é seu principal fornecedor de energia, já que o país importa mais da metade do suprimento de gás natural e carvão, além de um terço do petróleo bruto. Em função disso, a Alemanha manda para a Rússia o equivalente a mais de US\$200.000 por dia, recursos que estão financiando uma invasão que os alemães consideram intolerável. Segundo a ministra alemã das Relações Exteriores, Annalena Baerbock, líder do Partido Verde, prometeu que a Alemanha deixaria de importar petróleo da Rússia até o final de 2022, assim como deixaria de importar gás natural russo o mais breve possível. No curto prazo, isso pode significar fornecedores alternativos de combustíveis fósseis, incluindo os Estados Unidos e, também, a manutenção por maior tempo que o previsto das usinas nucleares (National Geographic, 2022).

O governo atual anunciou que pretende investir na descarbonização de sua matriz energética com o abandono total do carvão mineral até 2030, oito anos antes da meta estabelecida pelo governo anterior. A meta atual da Alemanha é obter 80% de sua eletricidade

a partir de energia renovável, ou seja, acima da meta anterior, que era de 65%, e quase o dobro da participação de 42% fornecida em 2021 (National Geographic, 2022).

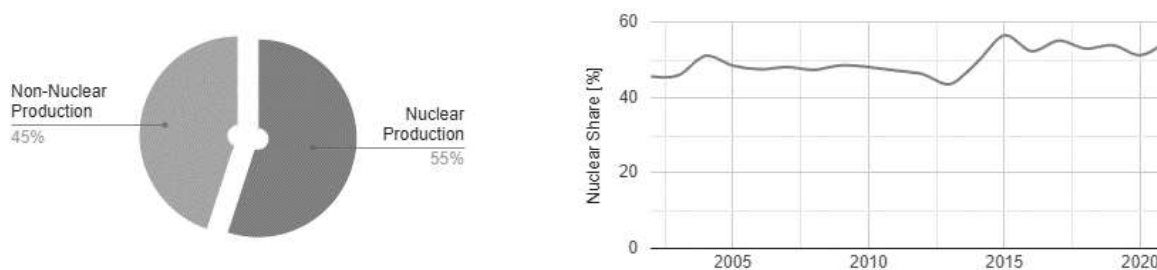
Os conflitos na Ucrânia também modificaram os planos do governo alemão. Para atender a demanda de energia durante inverno europeu, o ministro da Economia da Alemanha, Robert Habeck, anunciou em setembro de 2022, que o país manterá duas de suas três usinas nucleares restantes em funcionamento até, pelo menos, abril de 2023. Habeck disse que as usinas nucleares localizadas no sul do país, a Isar 2, na Baviera, e a Neckarwestheim, em Baden-Württemberg, continuarão em atividade no primeiro trimestre do próximo ano (REUTERS, 2022).

#### 4.2.4 Panorama nuclear ucraniano

Apesar de controvérsias associadas ao acidente de Chernobyl – considerado o mais grave acidente nuclear da história (Xavier et al. 2007), devido a sua magnitude, política, social, econômica, biológica e nuclear, a Ucrânia não extinguiu a utilização de energia nuclear, sendo até hoje uma das suas principais fontes de produção de eletricidade.

Atualmente o país conta com 15 reatores distribuídos em quatro usinas, dos quais 6 constituem a Central Nuclear de Zaporizhia, a maior usina nuclear da Europa, que foi invadida e dominada pelos russos em março de 2022. Segundo IAEA, em 2021 a energia nuclear foi responsável pela produção de mais de 86,2 TWh, o que corresponde a mais de 55% da energia produzida, e a mais de 51% da energia consumida pelos ucranianos (Gráfico 6).

Figura 7 – Participação da energia nuclear na produção de eletricidade na Ucrânia em 2021 e nos últimos 20 anos



Fonte: IAEA, 2022.

A Central Nuclear de Zaporizhia, em plena operação no país, fornecia um quinto de eletricidade da Ucrânia, mas devido aos conflitos, as linhas de transmissão estão sendo

desconectadas. Em 12 de outubro de 2022, Zaporizhia entrou em blackout completo, após a subestação de Dnipro Vska ser danificada por ataques russos, levando ao acionamento emergencial de geradores a óleo diesel. O operador nuclear nacional da Ucrânia, a Energoatom, foi interrompida de abastecer os estoques de diesel, evidenciando o terrorismo nuclear russo, colocando em risco a segurança das unidades, o que pode ocasionar em um grande desastre de radiação (ENERGOATOM, 2022).

Conforme apresentado no capítulo 3 do presente trabalho, a Ucrânia é um país chave para a segurança energética europeia e global. A invasão russa levou a Ucrânia a reformular sua dependência anterior das importações de energia da Rússia. À medida que a invasão continua, a Ucrânia concentra seus esforços em rastrear interrupções no fornecimento de energia em larga escala e trabalhar ativamente para recuperar energia e aquecimento para sua população. A médio prazo, a estratégia energética da Ucrânia continua focada na integração europeia, ao mesmo tempo que visa um sistema energético preparado para alcance de suas metas de redução de emissões de GEE.

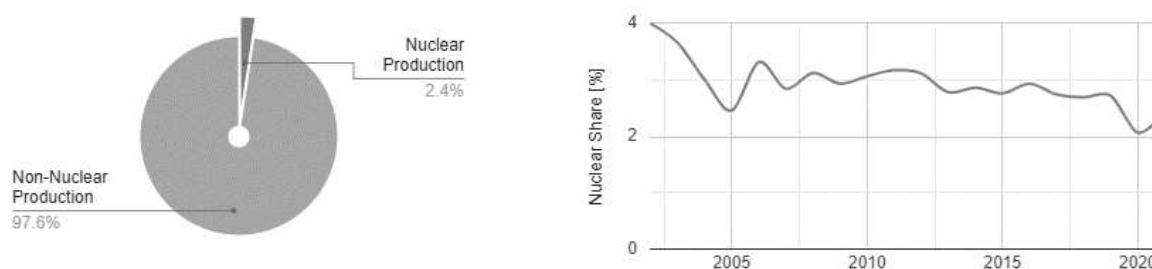
#### **4.2.5 Panorama nuclear brasileiro**

Na América Latina, a energia nuclear contribui com apenas 2,2% da produção de eletricidade da região. Ao todo, são sete reatores distribuídos da seguinte forma: três na Argentina, dois no México e dois no Brasil.

Segundo a IEA (2022), a demanda brasileira total por energia primária dobrou desde 1990. Processo que se deve ao crescimento econômico e ao forte consumo de eletricidade nos setores industrial e de transportes nos últimos anos.

O Brasil detém uma matriz energética bastante diversificada e equilibrada, em que 44,7% são provenientes de fontes renováveis de energia e 55,3% de não renováveis. Esses números representam não só a produção de eletricidade, mas também, a energia para aquecimento de água, energia dos combustíveis de transporte e uso doméstico. Quando analisadas apenas as fontes de produção de eletricidade, o Brasil se destaca pela presença marcante de geração hídrica (56,8%), mas considerando a fonte de geração nuclear, apenas 2,2% de toda eletricidade é proveniente de usinas term nucleares, através da produção de Angra I e II (EPE, 2022).

Figura 8 – Participação da energia nuclear na produção de eletricidade no Brasil em 2021 e nos últimos 20 anos



Fonte: IAEA, 2022.

Atualmente, a Eletrobras Eletronuclear, situada na Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA) em Angra dos Reis (RJ), constituída pelas usinas Angra I, Angra II e Angra III (ainda em construção) é responsável pela geração de pouco mais de 2% de toda eletricidade ofertada no país e por 30% da eletricidade consumida apenas no Estado do Rio de Janeiro.

Com custo aproximado de R\$8,4 bilhões, Angra I entrou em operação comercial apenas em 1985. Durante seus primeiros 15 anos de funcionamento, sofreu diversas paralisações, inclusive por pequenos acidentes, e por este motivo ganhou o apelido de “Usina Vagalume”. Atualmente possuindo 640 MW de potência, dispõe de um reator de água pressurizada (PWR), suficiente para abastecer uma cidade com mais de 1 milhão de habitantes.

Angra II, com mais de o dobro da potência instalada (1350 MW) de Angra I, custou R\$17,2 bilhões, e iniciou sua operação comercial em 2001. Sua construção contribuiu para desenvolvimento tecnológico próprio e domínio sobre praticamente todas as fases de fabricação de combustível nuclear (ELETRONUCLEAR, 2022).

O desempenho das usinas Angra I e II, são notáveis e tiveram sua excelência reconhecida por entidades internacionais, como a Associação Mundial dos Operadores Mundiais (WANO), o Instituto dos Operadores em Energia Nuclear (INPO) e pela IAEA, demonstrando maturidade e domínio da tecnologia nuclear e sua aplicação.

Angra III será a terceira usina da CNAAA e apresenta a mesma tecnologia alemã Siemens/KWU (hoje, Framatome) de Angra II. Com potência de 1.405 megawatts, será capaz de gerar mais de 12 milhões de MWh anuais, energia suficiente para abastecer 4,5 milhões de pessoas. A energia gerada após sua conclusão representará 3% do consumo do país, já no Rio de Janeiro, a energia nuclear passará a gerar o equivalente a 60% do consumo do estado. Com custo inicial de R\$7,8 bilhões, a unidade está 65% concluída, mas as obras estão paradas desde



2015. Eletronuclear assinou um contrato com o consórcio formado por Ferreira Guedes, Matricial e ADtranz que permitirá a retomada da construção da usina ainda em 2022. Em paralelo, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) realiza uma avaliação independente sobre a viabilidade técnica e financeira da usina, para garantir segurança aos futuros parceiros e investidores do empreendimento. Estima-se que serão necessários R\$19,4 bilhões para que a usina seja concluída (ELETRONUCLEAR, 2022).

Segundo INB (2022), o Brasil ocupa a nona posição no ranking mundial de reservas de urânio, o que corresponde a mais de 240.000 toneladas de urânio ( $U_3O_8$ ), considerando que menos de um terço de sua extensão territorial foi prospectada. A principal jazida encontra-se na cidade de Caetité, na Bahia, em operação desde 2000, com capacidade instalada de produção de 400 toneladas de urânio por ano, produzindo um volume de 100.000 toneladas, o que seria suficiente para abastecer o Complexo CNAAA (Angra I, II e III) por aproximadamente 100 anos.

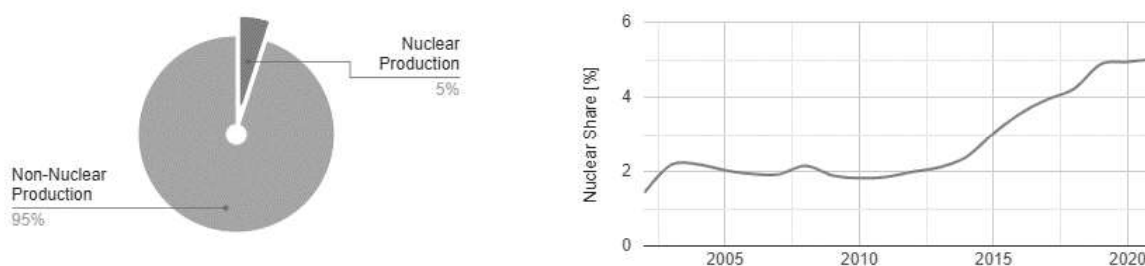
Existem estimativas para o potencial da região Norte do país, com cerca de 300.000 toneladas de urânio, situação que está em estudo e alerta positivamente para este cenário (INB,2022). Este é o caso, por exemplo, da cidade de Pitinga, no Amazonas, na qual foi identificado o urânio, porém associado a outros minérios. Outro investimento está associado ao Consórcio de Santa Quitéria, localizado no município do Ceará, a 210 km de Fortaleza. Conforme dados da página oficial do consórcio, neste complexo minero-industrial, fosfato e urânio são encontrados em um mineral conhecido como colofanito e, por meio de um processo sustentável, são separados e destinados à produção de fertilizantes agrícolas fosfatados, fosfato bicálcico (suplementação animal) e concentrado de urânio para geração de energia elétrica.

Algumas políticas existentes favorecem a transição e expansão energética relacionadas ao setor nuclear no país, como a Política Nacional sobre Mudança de Clima (PNMC), Lei 12.187, de 2009, que estipula o compromisso voluntário de redução de 36,1% a 38,9% das emissões projetadas até 2020, a política de Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), que define o compromisso de reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em 37% até 2025, e em 43% até 2030 (levando em consideração os dados de emissão do ano de 2005). Dentre as políticas específicas ao setor nuclear está estabelecida a Política Nuclear Brasileira (PNB), instituída pelo Decreto nº 9.600 de 5 de dezembro de 2018, que direciona as ações e atividades nucleares do Brasil, visando principalmente preservar e fortalecer o domínio tecnologia no País, conscientizar a sociedade para os benefícios da utilização da energia nuclear, fomentar a pesquisa, prospecção e produção de minérios nucleares e garantir a segurança dos processos e rejeitos radioativos.

#### 4.2.6 Panorama nuclear chinês

Em segundo lugar no ranking mundial, a China é o país que mais cresce na produção de energia nuclear devido às práticas políticas e econômicas adotadas nos últimos anos, por meio das quais essa nação almeja se tornar a próxima superpotência mundial neste segmento. Atualmente, a China opera um total de 55 reatores nucleares com capacidade instalada total de 55,2 GW, o que representa uma participação de 5% em sua matriz energética. Além desses, encontram-se em construção mais 18 reatores – uma adição de mais 18,5 GW na capacidade total de produção (IAEA, 2022).

Figura 9 – Participação da energia nuclear na produção de eletricidade na China em 2021 e nos últimos 20 anos



Fonte: IAEA, 2022.

A China planeja que os combustíveis não fósseis correspondam a 25% de seu consumo total de energia até 2030 e que a neutralidade de carbono seja atingida até 2060. Segundo Luo Zuoxian, chefe de inteligência do Instituto de Pesquisa em Economia e Desenvolvimento da Sinopec, a energia nuclear é para o país uma ótima alternativa para um contexto de escassez global de energia, garantia da estabilidade e consistência de um novo sistema de energia e cumprimento das metas verdes. As aprovações de projetos nucleares da China ajudam na garantia de fornecimento adequado de energia além de impulsionar as economias locais devido aos novos investimentos. Entre 2016 e 2020, o país dobrou sua capacidade para 47 GW, com 20 novas usinas, e em 2035 deve chegar a 180 GW, quase o dobro da capacidade atual dos Estados Unidos (BBC, 2022).

É importante destacar este deslocamento do eixo nuclear no globo, já que o Oriente Médio e o Sul da Ásia tiveram o maior aumento de produção, gerando 20% a mais de eletricidade nuclear comparando os anos 2020 e 2021. Pelo segundo ano consecutivo, a China

produziu mais eletricidade do que a França. Assim, a nação asiática foi o segundo maior produtor de energia nuclear, atrás apenas dos Estados Unidos (IAEA, 2022).

#### **4.3 Perspectivas com relação ao gerenciamento de rejeitos nucleares**

Segundo JANNUZZI (2001) a insegurança e questionamentos quanto à operação de usinas nucleares, estão atrelados à três principais fatores:

- Riscos de manuseio do material radioativo e durante o processo de produção do combustível, com riscos de vazamentos e acidentes;
- Rota clandestina de fornecimento de material radioativo para utilização em armamentos;
- Descarte e formas de armazenamento dos produtos residuais do processo de conversão.

Após o acidente nuclear de Fukushima, em 2011, muito se discutiu sobre segurança dos processos nucleares e algumas lições precisavam ser consolidadas. Neste contexto, muitos países identificaram a necessidade de melhorias para os processos de licenciamento ambiental e nuclear de seus reatores nucleares e gerenciamento de riscos relacionados à operação e armazenamento dos materiais radioativos.

Como esses elementos podem produzir diversos danos à saúde humana, dos animais e vegetação, é de extrema importância que os rejeitos produzidos sejam dispostos de forma segura à longo prazo, uma vez que as cargas ionizantes podem permanecer ativas na natureza por milhares de anos (MARQUES, 2011).

Atualmente, as formas mais modernas de gestão dos rejeitos radioativos, encontram-se em disposição por via seca, e diversas centrais optam por esse tipo de armazenagem. As instalações por via úmida apresentam maior grau de satisfação, devido aos seus protocolos padronizados desde o momento de retirada do elemento combustível até a armazenagem para reprocessamento, além de apresentarem menores taxas de corrosão (NEA, 2020).

Os sistemas de armazenagem a seco, também garantem blindagem da radiação proveniente do combustível queimado, com resfriamento passível, sem necessidade de um processo de resfriamento adjacente, além de serem mais flexíveis quanto a mobilidade, viabilizando uma mudança rápida de local caso seja necessário (ROMANATO, 2005).

Segundo a ABEN (2016) a armazenagem dos elementos radioativos é realizada de forma a aproveitar o grande potencial ainda existente nos rejeitos gerados e proteger o ambiente de

possíveis danos causados pela radioatividade. Neste contexto, duas estratégias são utilizadas pelos países para gerenciamento dos rejeitos. A primeira delas é referente a estocagem do combustível manipulado dentro da central da usina, para futuro reprocessamento com o objetivo de extrair os resquícios de combustível existente no material irradiado. O reprocessamento do material radioativo já utilizado nos reatores pode gerar um reaproveitamento de 95% do combustível. Um dos elementos obtidos nesta reciclagem, o plutônio, é utilizado para produzir o MOX (Mescla de Óxidos), outro tipo de combustível nuclear que pode ser utilizado nas usinas. Apesar de ser uma alternativa com vantagens ecológicas e econômicas, apenas a França, Reino Unido e Japão desenvolveram a tecnologia exigida para o reprocessamento. Por este motivo, alguns países enviam seu lixo nuclear para reaproveitamento nestes locais. Já a outra estratégia trata-se de considerar o uso desse produto como rejeito e armazenar temporariamente com base em seus níveis de decaimento em seguida encaminhando à sua disposição final.

Nos dias atuais, a instituição que tem maior participação no tratamento dos rejeitos nucleares é a IAEA, por meio das Convenções Conjuntas Sobre a Segurança da Gestão do Combustível Usado e a Segurança da Gestão de Rejeitos Radioativos. Essas reuniões estipulam que os países adotem medidas de responsabilidade para proteção dos seres humanos, sociedade e meio ambiente, através da criação e deliberação de leis como instrumento legal para fiscalização de suas operações, além de levantar base para alguns questionamentos e preocupações sobre a implementação de repositórios geológicos. Tudo isso para com o objetivo de garantir alto nível de segurança dos rejeitos radioativos e evitar ações emergenciais de controle a potenciais impactos causados (FERREIRA, 2016).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Garantir as atividades essenciais da sociedade significa atender a demanda por energia de uma população mundial que cresce em ritmo acelerado. Um futuro sustentável deve ser construído através de alternativas que produzam menos impactos à vida e ao meio ambiente. A transição nas matrizes energéticas, e a constante preocupação em conter as consequências climáticas deverão trazer respostas positivas nas próximas décadas. Ainda assim, a composição da nova matriz energética dependerá de muitos fatores, de difícil previsão.

A energia nuclear é uma fonte de energia que apresenta uma grande vantagem no contexto das mudanças climáticas, em função das emissões, e com grande potencial de crescimento mundial. Apesar de todos os riscos ambientais associados o seu emprego, em locais de alta demanda energética e com nenhuma ou poucas condições favoráveis para o emprego de outras fontes energéticas, tem sido considerado. Historicamente, revelou ser uma das principais fontes para de eletricidade sem emissão de carbono, com produção de forma constante (à noite e em dias sem vento), além de ocuparem menos espaço nas paisagens em relação às outras fontes. Entretanto, o contraste com a opinião pública e a constante preocupação com segurança, são pontos importantes e que interferem na exploração de seu potencial. Além disso, projetos de construção extensos e de alto custo, somados às dificuldades jurídicas e legais para se instalar usinas produtivas e sustentáveis, dificultam a consolidação da energia nuclear. Nesse sentido, fontes menos complexas e que se tornaram mais econômicas nos últimos anos, como gás natural, energia solar e eólica, acabam sendo alternativas melhores, mais difundidas e com mais investimentos. Esse cenário leva diversos países a abandonarem projetos nucleares, porém o recuo da aplicação desta energia, e uso de outras fontes pode resultar em milhões de toneladas adicionais de emissões de carbono.

A guerra na Ucrânia evidenciou a dependência, principalmente da Europa, com o fornecimento de gás e petróleo russo. Com o conflito ativo, sem perspectiva de acordos de paz, os países tiveram suas economias abaladas e estão testemunhando uma complexa crise energética. Entretanto a eclosão da guerra acelerou os planos de transição energética dos países, visando maior segurança energética e redução das importações dos recursos russos. A reestruturação do comércio energético global admitiu a importância de uma matriz diversificada e com maiores participações de fontes renováveis, como a energia nuclear.

Os principais produtores de eletricidade a partir das term nucleares, como os EUA, França e China, intensificaram seus planos e estão investindo na fonte para construção de novas usinas e desenvolvimento de novas tecnologias. Por outro lado, países que estavam reduzindo

a utilização das usinas nucleares, como a Alemanha, viram-se obrigadas a no mínimo manter as operações para atender as demandas de abastecimento interno.

Mesmo com os altos investimentos necessários para construção dos reatores e usinas, a longo prazo, a energia nuclear se destaca pelos baixos custos de manutenção e menor volume de recursos utilizados para produção de eletricidade, retornando o valor investido em poucos anos. De fato, é de extrema importância que as empresas, concessionárias e órgãos fiscalizadores envolvidos, mantenham o alto nível de rigor para com os processos, visando sempre a segurança da sociedade e do meio ambiente.

A disposição final dos rejeitos ainda é um grande desafio, já que até o momento todos os campos de armazenamento são temporários e não existe um local especial para serem alocados e inutilizados. Os países devem aumentar os esforços para que novas tecnologias sejam colocadas em operação para reutilizar o máximo potencial dos elementos manipulados e que, caso não tenham mais uso, sua posterior armazenagem não traga riscos para o ambiente.

Portanto é possível verificar a complexidade em elaborar planos de transição energéticas para os próximos 50 anos no qual não haja uma significativa participação da fonte nuclear para atender às demandas de geração de energia concentrada, juntamente com as renováveis, haja visto a configuração energética de diversas nações. É necessária a eliminação gradativa dos combustíveis fósseis no cenário energético, mas isso deve ser realizado de maneira a manter as condições de garantia à segurança e eficiência energética, a fim de proporcionar melhoria da qualidade de vida para bilhões de seres humanos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEN. Panorama da Energia Nuclear no Mundo. 2016. Disponível em: <<http://www.aben.com.br/Arquivos/451/451.pdf>>. Acesso em 04 nov. 2022.

ABEN. Europa: pedido à Alemanha para usar energia nuclear. 2022. Disponível em:<<https://aben.com.br/europa-pedido-a-alemanha-para-usar-energia-nuclear/>> Acesso em: 05 Nov. 2022.

AGUILAR, Sergio L.C.. Rússia e política de influência. Série Conflitos Internacionais. São Paulo, Brasil, 2014. Disponível em: <<https://www.marilia.unesp.br/Home/Extensao/observatoriodeconflitosinternacionais/n01-----russia-e-politica-de-influencia.pdf>> Acesso em: 05 Nov. 2022.

ALMANAQUE ABRIL. Lixo radioativo. 2014. Disponível em: <<https://almanaque.abril.com.br/lixo-radioativo>>. Acesso em: 05 Nov. 2022.

AMERISE, Atahualpa. 7 pontos para entender energia nuclear e os desafios para substituir petróleo. BBC News Mundo, 2022. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-61261074>> Acesso em: 05 Nov. 2022.

ANDRE, Paula. Notas do Processo do Meio Ambiente em Curso. ISCTE-Instituto Universitário de Lisboa. 2022. Disponível em: <[https://repositorio.iscte-iul.pt/bitstream/10071/26250/1/conferenceobject\\_91083.pdf](https://repositorio.iscte-iul.pt/bitstream/10071/26250/1/conferenceobject_91083.pdf)> Acesso em 05 Nov. 2022.

ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica. Ed. – Brasília, Brasil, 2008. Disponível em: <[https://catalogobiblioteca.cnmc.es/LIBR/BRLIBR000002044/BRLIBR000002044\\_G2/Texto%20completo.PDF](https://catalogobiblioteca.cnmc.es/LIBR/BRLIBR000002044/BRLIBR000002044_G2/Texto%20completo.PDF)> Acesso em: 05. Nov. 2022.

BANDEIRA, Luiz Alberto Moniz. A desordem mundial [recurso eletrônico]: o espectro da total dominação: guerras por procuração, terror, caos e catástrofes humanitárias / luiz alberto moniz bandeira. - 1. ed. – rj:EDITORA JOSÉ OLYMPIO LTDA, 2016. Disponível em: <[http://resistir.info/livros/desordem\\_mundial.pdf](http://resistir.info/livros/desordem_mundial.pdf)> Acesso em: 05 Nov.2022.

BBC News Brasil. Ucrânia. BBC, 2022. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/topics/cr50y51pqjw>> Acesso em: 05 Nov. 2022.

BBC News Brasil. O que explica a escalada de violência na Ucrânia? BBC World Service, 2015. Disponível em: <[https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/02/150204\\_ucrania\\_explainer\\_hb\\_lgb](https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/02/150204_ucrania_explainer_hb_lgb)> Acesso em: 05 Nov. 2022.

BBC News Brasil. Por que motivos a Rússia invadiu a Ucrânia: resumo. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-60606340>> Acesso em: 05 Nov. 2022.

BBC News Brasil. 6 meses de guerra na Ucrânia: o custo humano, político e econômico. BBC, 2022. Disponível em:< <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-62651687>> Acesso em: 05 Nov. 2022.

BRUSSELS, Marina Straus. *EU declares nuclear and gas to be green*. DW-Politics: Europe. 2022. Disponível em: <<https://www.dw.com/en/european-commission-declares-nuclear-and-gas-to-be-green/a-60614990>> . Acesso em: 05 nov. 2022.

CARAJILESCOV, Pedro; MOREIRA, João Manoel Losada. Aspectos técnicos, econômicos e sociais do uso pacífico da energia nuclear. *Cienc. Cult.*, São Paulo, v. 60, n. 3, p. 33-36, Set. 2008. Disponível em: <[http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S000967252008000300012&lng=en&nrm=iso](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000967252008000300012&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 05 Nov. 2022.

CNEN – COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Site oficial. 2022. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/>>. Acesso em: 05 Nov. 2022

ELETRONUCLEAR. Nossas atividades: *Angra 2*. Disponível em: <<https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-2.aspx>>. Acesso em: 30 out. 2022.

Empresa de Pesquisa Energética [EPE]. Balanço Energético Nacional 2022: Ano base 2021. Rio de Janeiro: EPE, 2022.

*The Columbia Electronic Encyclopedia. Ukraine: History*. Infoplease, 2022. Disponível em: <<http://www.infoplease.com/encyclopedia/world/ukraine-history.html>> Acesso em: 05 Nov, 2022.

European Parliament. Motion for a resolution - B9-0338/2022. Committee on Economic and Monetary Affairs. Committee on the Environment, Public Health and Food Safety. 2022. Disponível em: <[https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/B-9-2022-0338\\_EN.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/B-9-2022-0338_EN.html)>

FERREIRA, L. G. As políticas internacionais de proteção dos efeitos nocivos dos resíduos nucleares: os esforços diplomáticos em torno das ameaças à segurança humana. Minas Gerais, Brasil, 2016.

FERNANDES, Daniella Rodrigues; JÚNIOR, Iromar Coelho da Silva Campos; SILVA, Marcio Panta da; ARAÚJO, Vanderson de Oliveira; SILVA, Bárbara Vasconcellos da; SANTOS, Nadja Paraense dos; REZENDE, Michelle Jakeline Cunha. Energia Nuclear: Importância, Conceitos Químicos e Estrutura das Usinas Nucleares. *Revista Virtual de Química*. UFRJ Instituto de Química. Rio de Janeiro, Brasil. Ed13, p.635-649, Maio.2021. Disponível em: <[http://rvq.sbq.org.br/detalhe\\_artigo.asp?id=1348](http://rvq.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=1348)> Acesso em: 05 nov. 2022.

GIF, *Generation IV International Fórum*. Disponível em: <<https://www.gen-4.org/gif/>> Acesso em: 05 Nov 2022.

HANKIN, Lorna. Guerra na Ucrânia: 6 gráficos mostram impacto devastador de 6 meses de conflito. Serviço Mundial da BBC. *BBC News Brasil*. 2022. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-62657362>> Acesso em: 05 Nov. 2022.

HOWARD, Larry. A.. *The Historical, Legal, and Political Contexts of the Russian Annexation of Crimea*. *New English Review*. New York, US, 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/301301209\\_The\\_Historical\\_Legal\\_and\\_Political\\_Contexts\\_of\\_the\\_Russian\\_Annexation\\_of\\_Crimea](https://www.researchgate.net/publication/301301209_The_Historical_Legal_and_Political_Contexts_of_the_Russian_Annexation_of_Crimea)> Acesso em: 05 Nov. 2022.

IAEA. *PRIS Power Reactor Information System*. 2022. Disponível em: <<https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=US>> Acesso em 04 nov. 2022.

IEA. *Fuels & Technologies: Nuclear*. 2022. Disponível em: <<https://www.iea.org/fuels-and-technologies/nuclear>> Acesso em 04 nov. 2022.

Indústria Nucleares do Brasil [INB]. *Ciclo do combustível nuclear*. Disponível em: <<http://www.inb.gov.br/Nossas-Atividades/Ciclo-do-combustivel-nuclear>>. Acesso em: 30 out. 2022.



Instituto de Energia Nuclear [IEN]. Recebimento de rejeitos radioativos. Comissão Nacional de Energia Nuclear CNEN. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/ien/pt-br/servicos/recebimento-de-rejeitos/recebimento-de-rejeitos-radioativos>> Acesso em: 05. Nov. 2022.

INTERFAX, *Interntational Information Group*. Disponível em: <<https://interfax.com/>> Acesso em: 05 Nov 2022.

IPCC. Sixth Assessment Report (AR6). Mitigation of Climate Change. 2022. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>> Acesso em: 05 nov. 2022.

JANNUZZI, G. D. M. Energia e meio ambiente. Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, 2001.

KULIKE, Marcelli. As Invasões Russas na Geórgie (2008) e na Crimeia (2014). Série Conflitos Internacionais. São Paulo, Brasil, 2014.

LANA, Luana Teixeira Costa; ALMEIDA, Tânia Mara Grigolli. USINA NUCLEAR: OBTENÇÃO DE ENERGIA E RESÍDUOS GERADOS. Universidade FUMEC. v.2 n.1, 2016. Disponível em: <<http://revista.fumec.br/index.php/eol/article/view/3961>> Acesso em: 05 Nov. 2022.

MAZAT, Numa. Uma análise estrutural da vulnerabilidade externa econômica e geopolítica da Rússia / Numa Mazat. – Rio de Janeiro. UFRJ, IE, PEPI 2013. Disponível em: <<https://www.ie.ufrj.br/images/IE/PEPI/teses/2013/Numa%20Mazat.pdf>> Acesso em: 05 Nov. 2022.

MORALES, Juliana. O que foi a Conferência de Estocolmo e o que se discute 50 anos depois. Guia do Estudante: Atualidades. 2022 Disponível em: <<https://guiadoestudante.abril.com.br/atualidades/o-que-foi-a-conferencia-de-estocolmo-e-o-que-se-discute-50-anos-depois/>>. Acesso em: 05 Nov. 2022.

NATTER, Ari. U.S. Is Set to Launch a \$6 Billion Effort to Save Nuclear Plants. Bloomberg. 2022. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-04-18/u-s-poised-to-launch-6-billion-effort-to-save-nuclear-plants?leadSource=uverify%20wall>> Acesso em: 05 Nov. 2022.

OLIVEIRA, Uriel Rodrigo Repas de. A Disputa entre a Rússia e a Ucrânia pela Região da Crimeia. Academia Militar. Lisboa, Portugal, 2016.

PERES, C. Disputas históricas entre a Rússia e a Ucrânia. Expresso online. Disponível em: <[http://expresso.sapo.pt/dossies/dossiest\\_internacional/Ucrnia/disputas-historicasentre-a-russia-e-a-ucrania=f860668](http://expresso.sapo.pt/dossies/dossiest_internacional/Ucrnia/disputas-historicasentre-a-russia-e-a-ucrania=f860668)> Acesso em: 05 Nov. 2022.

PNE. Plano Nacional de Energia 2050. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020

PLOKHY, Serhii. O último império: Os últimos dias da União Soviética. Editora Leya Brasil. Nov.2015.

RAMOS, Alexandre F; JAILLET, Michael. O Programa Nuclear Brasileiro: um fio de luz nos caminhos da nação. Vidigal, A A F. Amazônia azul: o mar que nos pertence. p 23. Record, 2006.

REIS, Gabriela Ferreira Chagas. O caminho da China rumo ao centro político-econômico global e a transição energética (2013-2020) : uma análise pela perspectiva dos ciclos sistêmicos de acumulação. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil, 2022.

REZENDE Gabriel Fonseca da Silva; OLIVEIRA, Luciano Santa Rita; FERNANDES, Marcela Tatiana; FILHO, Mauro Otto Cavalcanti Mello. Reatores Nucleares de Potência. IRD, Mestrado em

Radioproteção e Dosimetria. Rio de Janeiro, Brasil. 2009. Disponível em: <[http://www.lucianosantarita.pro.br/documentos/Reatores\\_nucleares\\_potencia.pdf](http://www.lucianosantarita.pro.br/documentos/Reatores_nucleares_potencia.pdf)> Acesso em: 05. Nov. 2022.

ROCHA, Bruno de Medeiros Vieira. Rejeitos radioativos: um estudo de caso para Angra 2. 2021. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

ROMANATO, L. S. Armazenagem de Combustível Nuclear Queimado. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil, 2005.

ROSSI, Amanda. Tudo o que você precisa saber sobre as usinas nucleares de Angra 1 e 2, e por que são diferentes de Chernobyl. BBC News Brasil. São Paulo, Brasil, 2019. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-48683942>> Acesso em: 05 Nov. 2022.

SATZEWICH, Vic. *Global Diasporas Collection*. Londres: Routledge. 2003.

SCHUMER, Clea; BOEHM, Sophie; FRANSEN, Taryn; HAUSKER, Karl; DELLESKY, Carrie. 6 conclusões do relatório do IPCC de 2022 sobre mitigação das mudanças climáticas. WRI Brasil. 2022. Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/noticias/6-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-de-2022-sobre-mitigacao-das-mudancas-climaticas>> Acesso em: 05 Nov. 2022.

TÁVORA, Fernando Juarez Pitanga. Termodinâmica e Usinas Nucleares. Ed. Ivan Rossi, 1979. Disponível em: <<https://buscaintegrada.ufrj.br/Record/aleph-UFR01-000175262>> Acesso em: 05 Nov 2022.

TRENIN, Dmitri. *The Brink of a War in Ukraine*. Carnegie Endowment Russia, 2014.

TRENIN, Dmitri. *The Ukraine Crisis and the Resumption of the Great-Power Rivalry*. Moscow: Carnegie Moscow Center. Russia, 2014.

UNFCCC. *United Nations Climate Change*. Site Oficial. Disponível em: <<https://unfccc.int/>> Acesso em: 05 Nov. 2022.

VARETTONI, William. *Crimea's Overlooked Instability*. *The Washington Quarterly*, 34:3, 87-99, DOI: 10.1080/0163660X.2011.588128. Washington, US. 2011.

WILSON, Andrew. *The Ukrainians: Unexpected Nation*. Yale University Press, New Haven and London, 2000.

XIN, Zheng. *Nation pushes nuclear power to ensure supply, reach carbon goals*. CHINA DAILY, 2022. Disponível em: <<http://global.chinadaily.com.cn/a/202209/16/WS6323dc25a310fd2b29e7808f.html>> Acesso em: 05 Nov. 2022.