

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

**SUSTENTABILIDADE E ENERGIA NUCLEAR:  
ANTES E DEPOIS DE FUKUSHIMA**

**PEDRO HENRIQUE MONTENEGRO PAIXÃO CORAL**

matrícula nº: 106029948

ORIENTADOR: Prof. Ronaldo Goulart Bicalho

MARÇO 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

**SUSTENTABILIDADE E ENERGIA NUCLEAR:  
ANTES E DEPOIS DE FUKUSHIMA**

---

**PEDRO HENRIQUE MONTENEGRO PAIXÃO CORAL**

matrícula nº: 106029948

ORIENTADOR: Prof. Ronaldo Goulart Bicalho

MARÇO 2014

*As opiniões expressas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do autor.*

## SUMÁRIO

RESUMO .....	5
INTRODUÇÃO .....	6
CAPÍTULO I: EVOLUÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA E SEUS ATUAIS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE .....	8
I.1 Evolução das fontes de geração de energia .....	8
I.2 Impactos atuais da geração de energia no meio ambiente .....	10
CAPÍTULO II – A SOLUÇÃO ATRAVÉS DA ENERGIA NUCLEAR .....	17
II.1 Ascenção e Queda da Energia Nuclear.....	17
II.2 O Renascimento da Energia Nuclear.....	22
CAPÍTULO III – O CENÁRIO ENERGÉTICO APÓS FUKUSHIMA .....	27
III.1 Os Impactos de Fukushima no Cenário Atual .....	29
III.1.1 Impactos Para as Plantas Existentes.....	29
III.1.2 Impactos na Construção de Novas Usinas .....	32
III.2 Energia nuclear seria a solução?.....	36
III.3 Possíveis soluções .....	39
III.4 Os pioneiros da transformação: Japão e Alemanha.....	42
CONCLUSÃO .....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50

## **RESUMO**

Este trabalho se inicia com uma breve análise histórica do desenvolvimento da geração de energia e das suas fontes, mostrando o surgimento e a expansão das fontes hoje convencionais (fontes fósseis, como o carvão, petróleo e o gás natural).

A partir disso, fazemos uma análise da ligação entre a expansão dessas fontes de energia e os impactos ambientais vistos hoje (como o aquecimento global) e as perspectivas desses impactos para o futuro.

Com isso, verificamos o surgimento da energia nuclear como uma possível solução aos problemas energéticos encontrados no mundo moderno. Analisamos, então, o nascer dessa nova indústria, seu desenvolvimento e declínio culminado com o acidente de Fukushima.

O acidente de Fukushima é visto sob duas óticas: os impactos nas atuais usinas nucleares e os impactos nas futuras usinas.

Após isso, analisamos a nova era para a geração de energia, pós-Fukushima, liderada pelo Japão e Alemanha e como essa evolução se encaixa com os desafios ambientais identificados inicialmente.

## **INTRODUÇÃO**

O planeta Terra provê a base para as sociedades humanas e suas atividades econômicas. As pessoas precisam de ar limpo para respirar, água potável para beber, comida saudável para comer, energia para produzir e transportar mercadorias, e recursos naturais que fornecem insumos para tudo isso.

Todavia, os atuais sete bilhões de habitantes no planeta estão juntos explorando esses recursos em intensidades que passam da capacidade do planeta de absorver resíduos e neutralizar os efeitos no meio ambiente. Esse modelo de exploração do planeta já se mostrou limitante para o desenvolvimento de alguns países no mundo.

Uma das principais causas do impacto que estamos causando no mundo é o processo de geração de energia. Em menos de 500 anos, nosso estilo de vida mudou completamente com o início da utilização de combustíveis fósseis (como o carvão, o petróleo e o gás natural), de uma maneira que não temos mais como voltar.

Esse modelo de exploração, porém, não é sustentável e estamos hoje em dia em uma busca de como garantir desenvolvimento econômico e tecnológico e ao mesmo tempo diminuir o impacto ambiental que causamos.

Foi nesse contexto que a energia nuclear ressurgiu nos últimos anos como possivelmente a melhor solução para essas questões. O acidente em Fukushima em 2011, porém, trouxe à tona novamente todas as preocupações que já existiam anteriormente a respeito dessa tecnologia, causando grandes impactos no futuro do setor.

Nesse trabalho, iremos fazer uma breve análise histórica da ascensão dos combustíveis fósseis e como eles se consolidaram como principal fonte de energia. Após isso, entenderemos os impactos que a utilização desses combustíveis têm causado ao meio ambiente, e as motivações para uma busca por outra solução.

No segundo capítulo, vamos olhar a trajetória da energia nuclear: sua ascensão após a segunda guerra e sua posterior queda com o acidente de Chernobyl. Logo em seguida vamos olhar para seu ressurgimento nos anos 2000 e quais foram as causas que motivaram isso.

Por fim, no terceiro capítulo iremos analisar a nova crise ocasionada pelo acidente de Fukushima e quais foram seus impactos no setor e no planejamento para a construção de novas usinas. Vamos olhar, também, se a energia nuclear realmente seria a solução para os problemas que vivemos hoje e olhar para outras alternativas que estão surgindo. Ao final, olhamos os casos do Japão e da Alemanha, que foram dois dos países mais impactados por essa crise.

## **CAPÍTULO I: EVOLUÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA E SEUS ATUAIS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE**

O homem nunca demandou tanto da natureza quanto demanda atualmente. Esse relacionamento, agora insustentável do ponto de vista ambiental, vem gerando sérios impactos no planeta nos últimos 250 anos. Com o crescimento da população mundial e o enriquecimento de países emergentes, o consequente aumento na demanda por energia terá fortes impactos na natureza. O aumento da oferta de energia é inevitável. Porém, vivemos uma situação delicada, que nos força a rever como será o futuro da estrutura da matriz energética global e a buscar maior eficiência das tecnologias utilizadas atualmente para utilizarmos de forma inteligente os recursos que temos disponíveis.

### **I.1 Evolução das fontes de geração de energia**

No artigo “The Industrial Revolution as Energy Revolution”, de 2011, Paul Kedrosky discorre sobre as mudanças na geração de energia a partir da revolução industrial. Segundo o texto, os economistas clássicos Smith e Ricardo previam que o crescimento econômico dependia de três elementos principais: terra, trabalho e capital. Trabalho e capital poderiam ser expandidos, porém a terra seria limitada.

A terra seria utilizada não apenas para a produção de alimentos, mas também para a produção de minérios, como o carvão vegetal, que é obtido através da carbonização da madeira ou lenha.

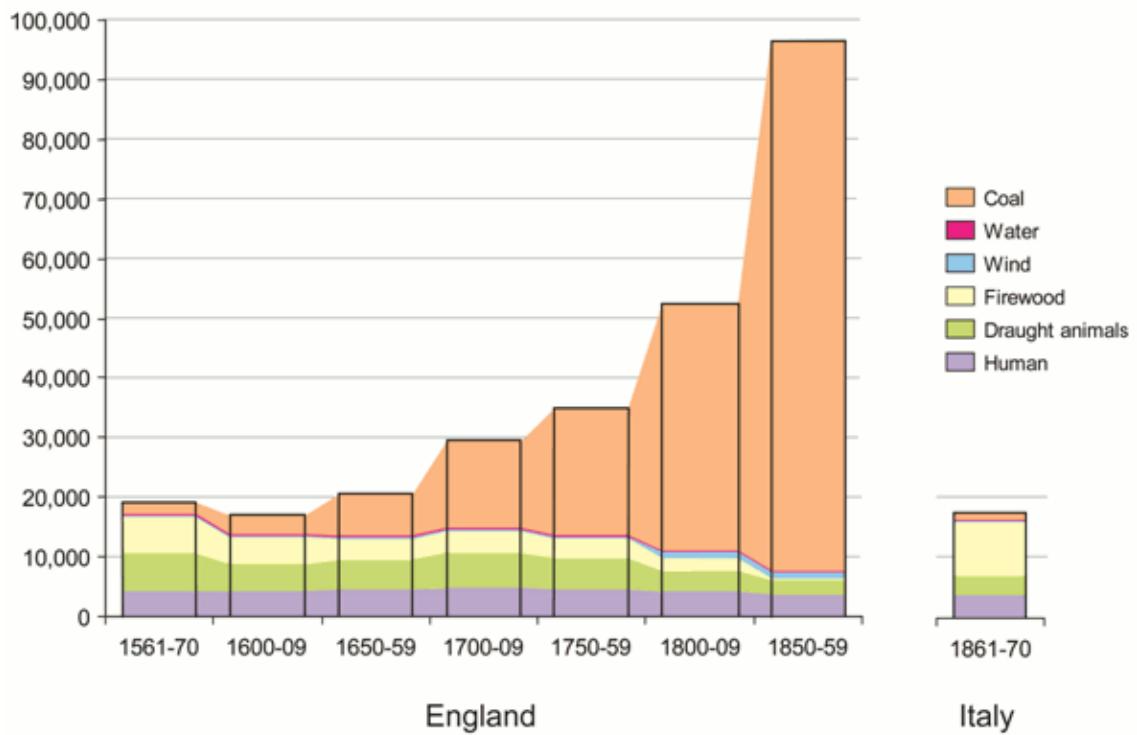
Isso implica que para você produzir mais, você deve ou explorar terras menos produtivas, ou explorar as terras com mais intensidade. Essas soluções, porém, teriam rendimentos decrescentes de escala, fazendo com que o lucro da atividade tenda a diminuir conforme a produção cresça. Sendo assim, a terra seria claramente o fator limitante para o crescimento capitalista.

A solução para a crescente demanda por energia (necessária como fonte de calor para a sociedade) foi, então, a substituição da madeira como fonte de energia por carvão.

Foram necessárias muitas décadas para se aprender a utilizar efetivamente o carvão como fonte de energia. A expansão inicial ocorreu majoritariamente nas residências, que o utilizavam

como fonte de calor. A produção de carvão rapidamente cresceu, e no fim do século XVII cerca de metade de capacidade da frota mercantil já estava dominada para esse tipo de comércio.

Com o surgimento da máquina a vapor, que passou a produzir energia mecânica a partir do calor, a importância do carvão cresceu ainda mais. Como ele era abundante, o problema previsto por Smith e Ricardo para a expansão do produto havia sido solucionado.



**Figura 1.** Consumo de energia per capita em megajoules na Inglaterra, País de Gales e Itália. Fonte: Wrigley (2010).

Através da Figura 1 podemos perceber o avanço da participação do carvão na matriz energética da Inglaterra, onde se teve início a exploração dessa fonte de energia. No meio do século XVI, a energia utilizada era predominantemente a humana, a animal e a da madeira. Porém, no início do século XVIII o carvão já representava metade da matriz energética, e no meio do século XIX sua participação foi para 90% da energia total produzida.

Desde então, o uso per capita do carvão, em média, duplicou a cada meio século. Como a população da Inglaterra quintuplicou nesse mesmo período, o crescimento da utilização do carvão

foi muito grande. Se analisarmos esse crescimento em números absolutos, podemos ter uma ideia ainda melhor da rápida expansão do consumo de carvão, conforme está disposto na Tabela 1.

	<b>Human</b>	<b>Draught animals</b>	<b>Firewood</b>	<b>Wind</b>	<b>Water</b>	<b>Coal</b>	<b>Total</b>
<i>Annual energy consumption (terajoules)</i>							
<b>1561-70</b>	14,860	21,100	21,490	200	550	6,930	65,130
<b>1600-9</b>	19,190	21,430	21,810	390	700	14,540	78,060
<b>1650-9</b>	26,080	27,700	22,200	880	900	39,060	116,820
<b>1700-9</b>	27,330	32,780	22,480	1,360	990	84,000	168,940
<b>1750-9</b>	29,730	33,640	22,560	2,810	1,300	140,810	230,850
<b>1800-9</b>	41,810	34,290	18,540	12,660	1,100	408,680	517,080
<b>1850-9</b>	67,800	50,090	2,240	24,360	1,700	1,689,100	1,835,300

**Tabela 1.** Consumo anual de energia na Inglaterra e País de Gales em terajoules. Fonte: Wrigley (2010).

Como se pode perceber, o consumo de carvão cresceu 240 vezes nesse período de cerca de 300 anos.

Os impactos desse crescimento seriam vistos apenas mais tarde, pela geração de Karl Marx, que perceberam que não era razoável esperar que o nível de produção continuasse crescendo nesse ritmo.

## I.2 Impactos atuais da geração de energia no meio ambiente

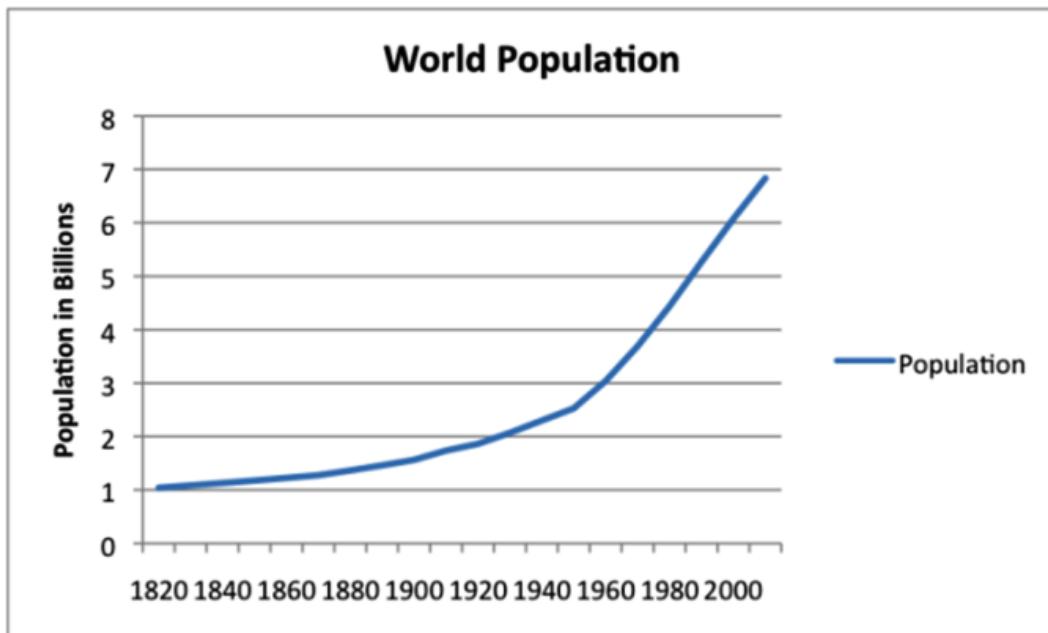
No artigo “Why Malthus Got His Forecast Wrong”, Gail Tverberg explica que Thomas Malthus fez, em 1798, uma previsão de que o mundo passaria por uma crise na produção de alimentos, pois a demanda por alimentos superaria a capacidade do planeta de provê-los.

Embora hoje vejamos que ele estava errado, é importante entendermos o por quê.

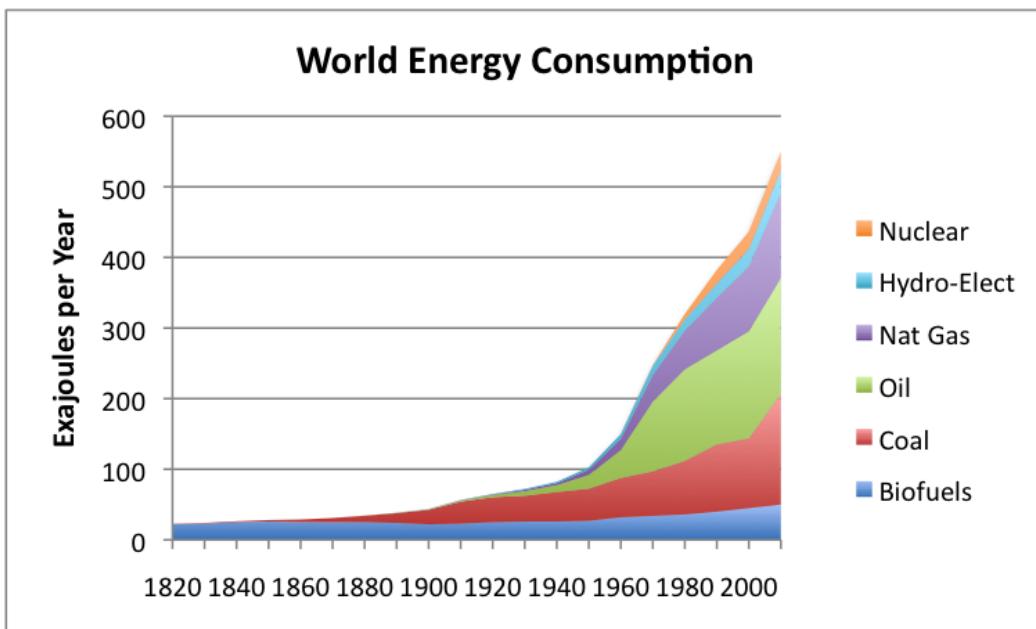
Malthus viveu na época imediatamente anterior ao período em que houve um grande aumento na utilização de combustíveis fósseis. O advento da tecnologia que usa o carvão como fonte de energia possibilitou uma verdadeira revolução no modo de vida das pessoas e na estrutura econômica e social do mundo.

Essa tecnologia, por exemplo, possibilitou a produção de melhores metais, utilizados, dentre outros fins, na produção de trens para transportes de longa distância. Essa e outras invenções possibilitaram que, embora o número de pessoas no campo diminuisse (através da migração gradual para as cidades), a produção de alimentos aumentasse (em função de ganhos de produtividade através de novos equipamentos para a produção e da possibilidade de se produzir a uma distância maior da região de consumo final do produto, com a utilização de novos meios de transporte).

Se não fosse pela utilização de combustíveis fósseis, que se iniciou com o carvão, provavelmente Malthus estivesse correto hoje com a sua previsão, uma vez que o crescimento da população só ocorreu após o aumento na utilização de combustíveis fósseis, conforme podemos verificar nas figuras abaixo.



**Figura 2.** População mundial, com base nas estimativas de Angus Maddison.



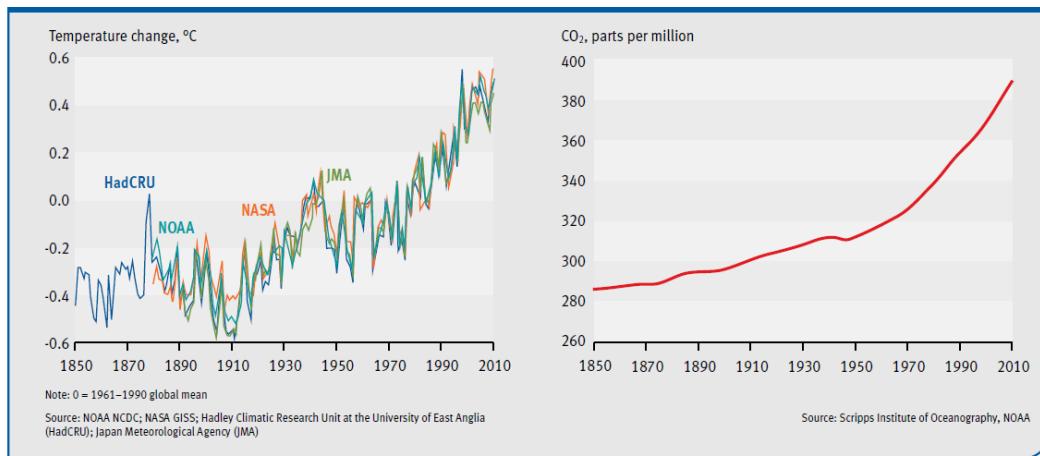
**Figura 3.** Consumo de energia por tipo, com base nas estimativas de Vaclav Smil em Energy Transitions: History, Requirements and Prospects, junto com dados estatísticos da BP.

A partir das figuras 2 e 3, podemos perceber que houve um grande aumento na população em particular logo após a Segunda Guerra Mundial, nos anos 50 e 60. Esse também foi o período em que o consumo de petróleo teve um grande aumento e quando também houve uma melhora no transporte da produção rural até o mercado, o início do uso de tratores e outros equipamentos rurais, e ainda avanços médicos como o antibiótico.

Em suma, se por um lado a utilização de combustíveis fósseis (não apenas o carvão, mas também o petróleo e o gás) resolveu o problema previsto por Smith e Malthus de fonte de energia e de limitação do nível de produção necessários para permitir um crescimento da população, por outro esse tipo de energia também causou uma série de efeitos colaterais.

De acordo com o IPCC, é muito provável que as alterações climáticas que estamos tendo cada vez mais frequentemente na Terra nos últimos anos sejam um efeito do grande aumento nas emissões de gases do efeito estufa nos últimos 250 anos, emitidos em virtude da utilização de combustíveis fósseis. Como podemos ver na Figura 4, as mudanças em temperatura no planeta claramente acompanharam as mudanças nos níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera, mostrando então uma relação entre essas duas variáveis. Percebemos, também, que a década de 2000 a 2009 foi a década mais quente de que se tem registro, com concentração de CO<sub>2</sub> também crescendo (UNEP, 2012).

Apenas em 2010, o mundo emitiu 33,16 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera, sendo um quarto desse valor proveniente apenas da China (“Statistic Review of World Energy”, British Petroleum). Esses valores vêm aumentando continuamente ano a ano, conforme podemos ver abaixo.



**Figura 4.** Tendências em mudanças na temperatura e nas concentrações de CO<sub>2</sub>, entre 1850-2010. Fonte: NOAA; NCDC; NASA; GISS; Hadley Climatic Research Unit na University of East Anglia (HadCRU); Japan Meteorological Agency (JMA).

O maior contribuinte para a liberação desses gases na atmosfera é o setor energético: estima-se que seja responsável por cerca de 41% das emissões de gases do efeito estufa em função da queima de combustíveis fósseis na sua produção (“CO<sub>2</sub> Emissions From Fuel Combustion Highlights 2012”, International Energy Agency). Por isso, esse setor é o centro das atenções quando o tema é sustentabilidade.

Energia, porém, é um assunto delicado, não apenas do ponto de vista da sustentabilidade, mas também sob a ótica de estratégia e soberania de um país, por ser um dos insumos mais importantes para crescimento econômico e desenvolvimento social. Sem energia, um país não consegue crescer.

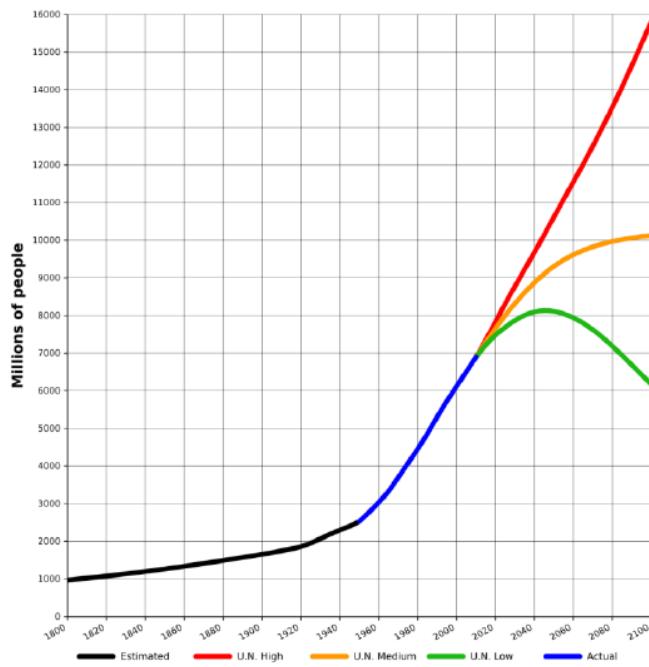
Para mostrar esse forte relacionamento entre energia e crescimento, podemos analisar o caso do Brasil em 2010, quando o Produto Interno Bruto cresceu 7,5% (IBGE), enquanto o consumo de energia elétrica cresceu 7,8% no mesmo período (“Relatório de Sustentabilidade 2010”, Eletrobrás).

Em 2011, o crescimento do PIB foi de 2,7% (IBGE), enquanto o aumento no consumo de energia elétrica foi de 3,6% (EPE).

Para o futuro, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), durante os próximos 10 anos a expectativa é que o consumo de energia elétrica no Brasil aumente, em média, 4,5% ao ano (EPE, 2012). Esse valor está acima da expectativa de crescimento do consumo energético da China (2% a.a.), e próximo da estimativa de 4,7% de crescimento do PIB brasileiro para o mesmo período (EPE, 2012). Isso significaria que, nesse ritmo, o Brasil teria de dobrar sua capacidade de geração de energia a cada 15 anos (EPE, 2012).

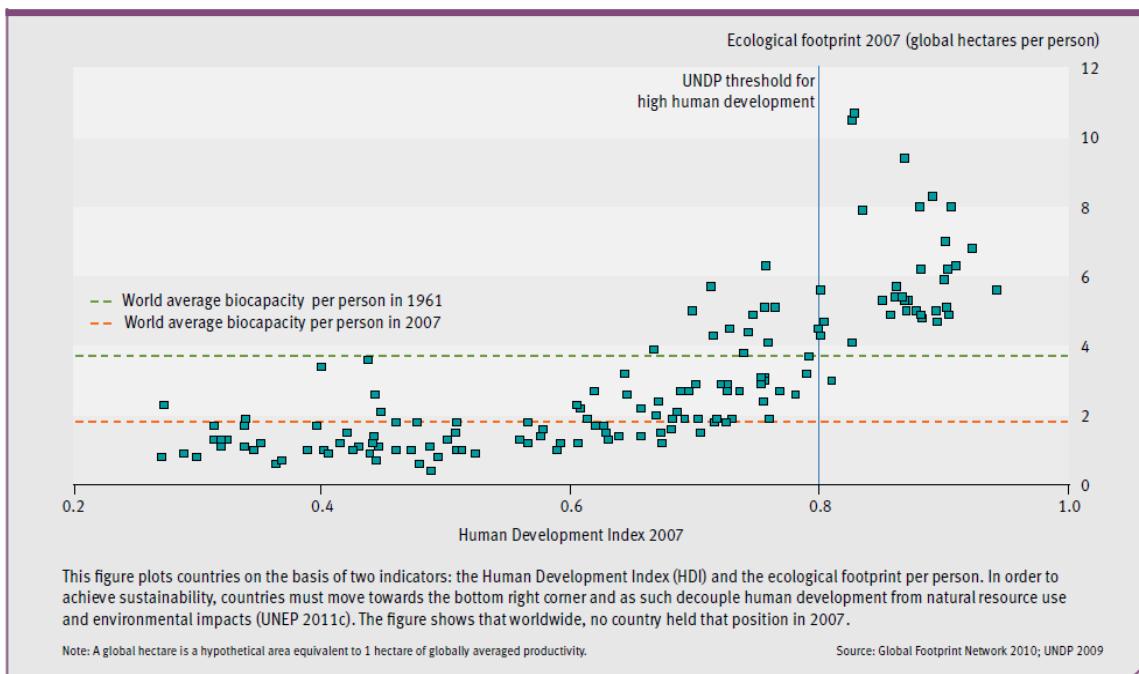
Já no âmbito global, a expectativa da Agência Internacional de Energia é de que o consumo mundial de energia cresça a uma média de 1,3% ao ano.

Sem dúvida, o crescimento na demanda global por energia é inevitável. Alguns dos fatores chave que puxam esse crescimento são a expectativa de crescimento da população mundial (como podemos verificar abaixo na figura 5), a contínua industrialização dos países emergentes (necessitando de mais energia para alimentar suas indústrias) e o enriquecimento de camadas mais pobres da população mundial (com mais pessoas tendo acesso a diferentes bens, aumentando a demanda no mercado).



**Figura 5.** População mundial de 1800 a 2100, baseado nas projeções e estimativas históricas de 2010 das Nações Unidas e US Census Bureau.

Esses fatores agravam ainda mais a situação que temos atualmente, onde possuímos hoje um estilo de vida, em especial nos países desenvolvidos, que gera impactos que estão muito além do que o planeta consegue suportar, como podemos ver na figura 6. Com o aumento da população e enriquecimento das classes sociais, a tendência é que mais países cruzem a fronteira do que é sustentável para o planeta.



**Figura 6:** Gráfico do nível de IDH e o impacto ambiental por pessoa nos países. Fonte: Global Footprint Network, 2010; UNDP 2009

Nesse cenário, o desafio que se tem enfrentado no momento é: como suprir essa nova demanda por energia sem necessariamente aumentarmos o impacto no meio ambiente?

## CAPÍTULO II – A SOLUÇÃO ATRAVÉS DA ENERGIA NUCLEAR

Embora outras fontes de energia tenham sido descobertas desde o início da utilização do carvão, combustíveis fósseis continuam sendo a nossa base para geração de energia (cerca de 70% da oferta atual de energia – IEA 2010). Como vimos, porém, um aumento na oferta de energia mantendo as mesmas proporções da atual matriz energética global é algo insustentável para o planeta. Não apenas do ponto de vista ambiental, mas também do ponto de vista econômico.

Os combustíveis fósseis, além de serem um grande contribuinte para a geração de gases de efeito estufa, são altamente concentrados geograficamente, o que também aumenta o risco econômico para os países (por exemplo, de novos choques de preços do petróleo) e por isso acabam também se tornando uma questão de segurança nacional (na falta dessa energia, um país para).

Sendo assim, há anos diversos países já buscam diferentes alternativas para a produção de energia. Ao mesmo tempo, o crescente debate acerca dos impactos ambientais na produção de energia tem pressionado as autoridades governamentais a se comprometerem cada vez mais com fontes renováveis.

Foi nesse cenário que a energia nuclear recentemente começou a ganhar mais atenção como possível resposta a esses problemas. Nesse capítulo, vamos analisar como se decorreu esse processo e quais seus principais impactos.

### II.1 Ascenção e Queda da Energia Nuclear

De acordo com a World Nuclear Association em seu texto “Outline History of Nuclear Energy”, embora os primeiros experimentos relacionados à energia nuclear datem de 1895, apenas a partir de 1939 começamos a ter reais avanços na área.

Nesse período, até 1945, o maior foco da pesquisa nuclear foi voltado para o desenvolvimento de armas para a Segunda Guerra Mundial. Apenas a partir do fim da guerra é que passou-se a ter um maior investimento em pesquisa para fins passíveis desse tipo de energia, como a geração de energia elétrica. (U.S. Department of Energy)

Segundo a IAEA (texto “Nuclear Power Development: History and Outlook”), a energia elétrica foi gerada pela primeira vez a partir de um reator nuclear em 20 de dezembro de 1951,

através de um gerador experimental chamado *Experimental Breeder Reactor I*, em Idaho (EUA). A partir de então, o foco dos anos 50 foi mostrar ao mundo que é possível gerar energia comercialmente a partir de reatores nucleares.

O primeiro reator nuclear comercial para geração de energia foi completamente instalado em 1957, na Pensilvânia (EUA). Após esse reator se tornar operacional, indústrias privadas começaram a se interessar cada vez mais a desenvolver reatores nucleares.

A indústria nuclear cresceu rapidamente nos EUA durante os anos 60, pois viam nela a oportunidade de se gerar energia de maneira econômica, limpa (sem grandes impactos ambientais), e segura. No começo da década, o mundo já possuía 17 reatores nucleares em operação em quatro países diferentes (França, União Soviética, Reino Unido e Estados Unidos), totalizando cerca de 1.200 megawatts. Nessa mesma década, programas nucleares foram lançados em outros seis países.

No início da década de 70, o mundo já possuía 90 reatores nucleares em operação em 15 países diferentes, totalizando 16.500 megawatts. Durante essa década, teve-se uma média de 25 a 30 novos reatores nucleares no mundo a cada ano. Em 1980, já tínhamos 253 reatores nucleares em produção no mundo em 22 países, totalizando uma produção de 135.000 megawatts. Além disso, ainda havia 230 novos reatores sendo construídos, que trariam um adicional de 200.000 megawatts de produção ao mundo.

Provavelmente a maior razão para esse grande avanço na geração de energia nuclear foi o choque do petróleo na década de 1970, pondo em cheque a utilização de combustíveis fósseis como principal fonte de energia. A partir desse debate, diversos países (especialmente os mais desenvolvidos), motivados a encontrar novas fontes de energia para diversificação de suas matrizes energéticas, olharam para a energia nuclear como uma boa solução para esse problema.

Os principais fatores que levaram a energia nuclear a essa posição de destaque e a ser considerada uma boa opção ao carvão foram:

1. Menor emissão de CO<sub>2</sub>: A energia nuclear oferece um menor nível de emissão de gases de efeito estufa, liberando cerca de 1,9% do CO<sub>2</sub> liberado para produzir a mesma quantidade de energia através do petróleo. (GESEL, 2011)

2. Melhor distribuição geográfica: As reservas de urânio estão melhor distribuídas ao redor do mundo, aumentando consideravelmente o número de países detentores de reservas, diminuindo assim o grau de dependência externa dos países e as chances de formação de cartéis. (GESEL, 2011)
3. Grandes reservas: Atualmente, as estimativas de reserva de urânio são de 101 anos, sendo menor apenas que as do carvão (119 anos). Assim, ainda que o urânio não seja uma fonte renovável, há reservas suficientes no mundo para não restringir o aumento da oferta de energia por muito tempo, o que daria oportunidade às tecnologias utilizadas nas fontes renováveis para que pudessem melhor se estabelecer. (GESEL, 2011)
4. Geração contínua de energia: Ao contrário de algumas fontes renováveis, a energia nuclear não possui o problema da intermitência (ou seja, a produção não cessa). Em função disso e da quantidade de energia que se é capaz de produzir a partir do urânio, essa fonte é capaz de servir como “energia de base” de uma matriz energética (ou seja, ser uma das principais fontes de energia de determinada matriz, tendo outras fontes como complementares). (GESEL, 2011)

Além desses quatro principais fatores, a energia nuclear também foi vista como uma das opções com os menores impactos socioambientais, conforme podemos verificar na Tabela 2:

<b>Fontes</b>	<b>Impactos Sócio-Ambientais</b>
<b>Termoelectricidade</b>	Emissão de Gases do Efeito Estufa; Emissão de Material Particulado; Emissão de SOx; Emissão de NOx;
<b>Hidroelectricidade</b>	Alagamento para Construção de Barragens; Alteração nos Regimes dos Rios a Jusante; Assoreamento a Montante da Barragem; Barreiras à Migração dos Peixes; Proliferação de Algas; Perda de Patrimônio Histórico, Arqueológico e Turístico; Remoção de Populações Locais;
<b>Bioelectricidade</b>	Perda de Biodiversidade; Poluição Atmosférica; Mortandade de Peixes; Contaminação de Aquíferos Freáticos.
<b>Energia Eólica</b>	Poluição Sonora; Poluição Estética; Morte de Pássaros.
<b>Energia Solar</b>	Acúmulo de Resíduos Tóxicos no Ambiente.
<b>Pequenas Hidroelétricas</b>	Interferência na Fauna e Flora Locais; Conflitos com o Turismo
<b>Energia Nuclear</b>	Risco de Acidentes; Incertezas no Gerenciamento dos Resíduos;

**Tabela 2.** Impactos socioambientais da geração de energia elétrica. Fonte: GOLDEMBERG e LUCON (2007).

Embora tenha sido a alta dos preços do petróleo que tenham dado maior atenção à energia nuclear, também foi ela um dos grandes fatores que causou a desaceleração da sua expansão.

Com o aumento dos preços do petróleo, os preços de todas as commodities também aumentaram. O custo de produção de energia a partir de qualquer fonte (incluindo a nuclear) aumentou consideravelmente. Além disso, nesse ponto também já se havia acumulado bastante experiência na construção e operação de usinas nucleares de escala comercial, desenvolvendo-se diversas melhorias, fazendo com que o custo de investimento de novos reatores e seu tempo de

construção também aumentassem. Preocupações acerca da segurança nuclear aumentaram e as regulações para as usinas passaram a se tornar mais restritas.

A desaceleração econômica causada pela alta do petróleo também fez com que muitos países (especialmente os mais desenvolvidos, por serem mais industrializados) diminuíssem seu consumo de energia e consequentemente percebessem que não precisavam de uma expansão tão grande de suas matrizes. Isso fez com que o ritmo de instalação de novas usinas nucleares diminuísse.

Além disso, conforme as usinas nucleares passaram a se tornar cada vez mais uma indústria e menos um “glamour” do sucesso científico, as pessoas ficaram cada vez mais cientes, interessadas e preocupadas sobre o assunto.

Associações das usinas nucleares com bombas, destruição, perigo, radiação e medo do desconhecido passaram a tomar conta da opinião pública e a contar negativamente. Ao mesmo tempo, a preocupação ambiental cresceu consideravelmente, em especial nos países industrializados, e organizações de proteção ambiental começaram a surgir e ter sua atenção focada para essas questões, tornando essas usinas um alvo fácil.

Em 1979 ocorreu o primeiro grande acidente nuclear na usina Three Mile Island (TMI) nos Estados Unidos.

Esse acidente chocou a todos no mundo inteiro, e fez com que surgissem muitos questionamentos acerca do futuro dessa tecnologia. De maneira geral, na prática isso contribuiu para a já existente tendência de queda na construção de novas usinas, e, embora a capacidade de geração de energia nuclear tenha continuado a aumentar em função de usinas que passaram a se tornar operantes, houve uma grande diminuição na construção de novos reatores, e muitos outros projetos foram suspensos ou cancelados.

Essa reação, porém, não ocorreu em todos os países. Alguns países mantiveram seus projetos de expansão de seus programas nucleares em pleno vapor, enquanto muitos outros desaceleraram o ritmo. Em muitos casos, os motivos para a desaceleração não foram apenas relacionados à segurança, mas também questões financeiras, demanda reduzida por energia, questões públicas e aceitação política.

Embora o acidente em TMI tenha dado um grande baque à indústria, com esse incidente também vieram muitas lições que se converteram em melhorias ao design, construção e operação de usinas nucleares no que se diz respeito à segurança e confiança.

Assim, o período após o acidente de TMI mostrou sinais de recuperação da indústria e melhorias nas estatísticas. No início de 1986, sete anos após o acidente de TMI, o mundo quebrou a marca de 3.500 anos-reator de experiência em operação, sem nenhum acidente fatal. A meta na comunidade nuclear era de alcançar 4.000 anos-reator em breve para apagar a memória do acidente de TMI.

Em 26 de abril de 1986, porém, a história da energia nuclear e o mundo sofreram mais um baque: o acidente de Chernobyl, na Ucrânia, deixando mortos e um alto nível de radiação, que chegou a ultrapassar as bordas do país.

## II.2 O Renascimento da Energia Nuclear

Após o acidente de Chernobyl, em 1986, a utilização de energia nuclear começou a ser bastante questionada, levando diversos países a abandonar planos de expansão de suas usinas. No período posterior ao do acidente, pouquíssimas usinas foram construídas no mundo, com exceção de apenas alguns países como a França, o Japão e a Coréia do Sul.

No texto “The Future of Nuclear Power After Fukushima”, Paul L. Joskow e John E. Parsons explicam que uma discussão sobre uma nova expansão nuclear foi ocorrer apenas nos anos 2000, em decorrência dos seguintes fatores:

1. **Diminuição de emissões de carbono:** políticas em diversos países para a diminuição da eliminação de carbono para que possam atingir suas metas de emissões para 2020 e 2050, favorecendo a utilização de energia nuclear.
2. **Regulação mais favorável:** nos EUA, maior produtor de energia nuclear do mundo, foi criada uma nova regulação para a criação de novas usinas, o que facilitou a aprovação de novos projetos.

3. **Melhor performance das usinas nucleares:** usinas de diversos países tiveram melhorias de performance significantes, chegando a ter uma média de 90% de utilização da sua capacidade de produção na última década, e também com melhores resultados de indicadores de segurança.
4. **Aumento dos preços de combustíveis fósseis:** um novo aumento dos preços do petróleo e seus derivados, em especial o gás natural, aumentando também a preocupação da Europa com sua dependência de outros países, como a Rússia, para atender à sua demanda.
5. **Nova geração de usinas:** nova geração de usinas nucleares que foram desenhadas para serem mais seguras, precisar de um menor investimento e habilidade de atingir altos níveis de produção de forma a torná-las uma opção competitiva para a geração de energia de base.
6. **Grande divulgação e promoção para novas usinas:** foco muito grande em divulgação e promoção por parte das empresas envolvidas na criação de novas usinas.
7. **Apoio de governos anteriormente contrários:** anúncios de alguns governos anteriormente contra energia nuclear (como a Itália, a Espanha e a Suécia) de que iriam novamente analisar a possibilidade de criação de um programa nuclear.
8. **Necessidade de expansão de curto prazo da produção de energia nos países emergentes:** diversos países emergentes demonstraram interesse em energia nuclear para atender às crescentes demandas por energia no curto prazo, pois para alguns deles seria mais interessante economicamente usar os combustíveis fósseis produzidos no país para exportação e também havia a expectativa de que a produção doméstica de combustíveis fósseis diminuiria no futuro.

No momento precedente ao acidente de Fukushima o setor já operava sem grandes acidentes há alguns anos, o que, junto com os pontos destacados anteriormente, contribuiu para que se começasse a se ter novamente uma maior aceitação política para projetos na área. Assim, pedidos tanto para o prolongamento da produção das usinas existentes quanto para a criação de novas usinas eram aprovados sem grandes problemas (especialmente nos três países maiores produtores de energia nuclear – Estados Unidos, França e Japão).

Pouco antes do acidente, apenas nos EUA, 71 usinas tiveram suas licenças estendidas, e 13 ainda estavam aguardando resposta.

As expansões de licenças de produção de energia nuclear começaram no próprio Japão, antes do acidente. Apenas um mês antes do acidente, a unidade 1 da usina de Fukushima havia recebido uma extensão de 10 anos de sua licença.

A França também já havia iniciado a análise para expansão de licenças de suas usinas por 10 anos.

Diversos outros países que anteriormente eram contra energia nuclear também passaram a estender as licenças de suas usinas, como a Alemanha, a Suécia, a Itália, a Espanha e a Bélgica, sendo que no caso da Itália e da Espanha eles chegaram até a expandir a produção então corrente. Isso também incentivou outros países a tomarem interesse em construir usinas, incluindo países em desenvolvimento.

Olhando agora para a criação de novas usinas, nos EUA os governos Bush e Obama ofereceram grandes incentivos fiscais e empréstimos para a construção de novas usinas. Foi criada uma nova regulação para a novas usinas, e pouco antes do acidente de Fukushima 28 novos projetos foram registrados.

Na Europa, a França e a Finlândia iniciaram a construção de novas usinas e o Reino Unido também já se comprometia com a expansão do programa.

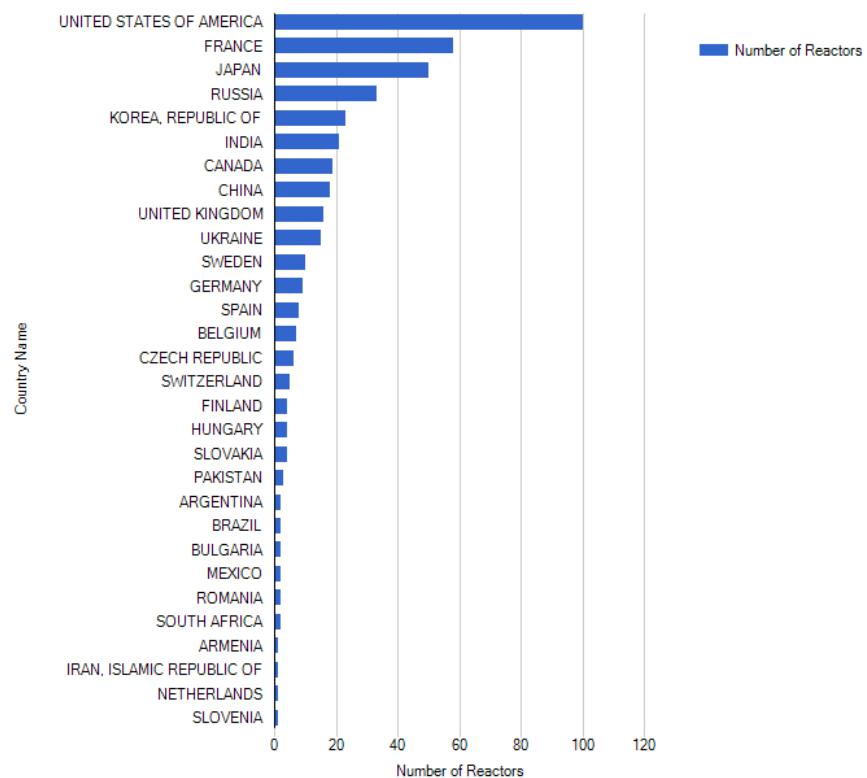
O maior plano de expansão, porém, era o da China, que planejava que a energia nuclear passasse de 1% (11 GW) da sua capacidade instalada para 6% (100 GW) até 2020, tendo 27 usinas em construção no período do acidente. Ainda na Ásia, a Coréia do Sul, o Japão e Taiwan também anteciparam a construção de suas usinas.

Países em desenvolvimento, como Arábia Saudita, Turquia, Egito, Israel, Jordão, Chile, Venezuela, Vietnã e outros também se destacaram com seus projetos de expansão de energia nuclear.

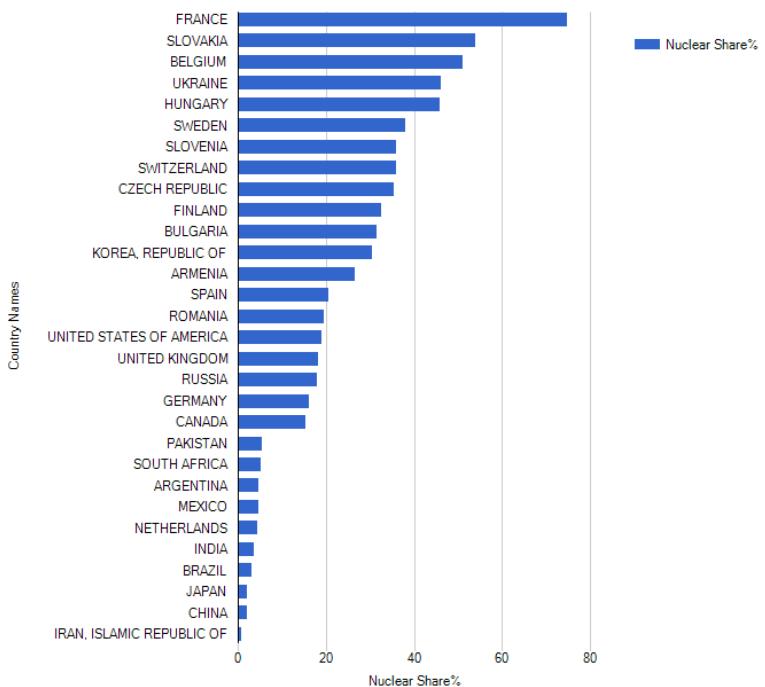
Hoje, chegamos à marca de 435 reatores nucleares instalados pelo mundo (Figura 7), sendo a maior parte deles localizada nos EUA. Para alguns países, a energia nuclear já representa a maior

parte da matriz energética nacional (Figura 8), como no caso da França, que representa cerca de 70% da produção da energia nacional.

Para diversos países, a energia nuclear passou a ser a principal estratégia para alcançar as ambiciosas metas de redução da emissão de gases, sendo boa parte do tipo de energia gerada com baixa emissão de carbono.



**Figura 7.** Reatores nucleares no mundo. Fonte: IAEA 2013.



**Figura 8.** Participação de energia nuclear na produção nacional. Fonte: IAEA 2013.

No texto do GESEL (“Perspectivas da Matriz Elétrica Mundial Pós-Fukushima”), vemos que a maior limitação, porém, das usinas nucleares é a falta de conhecimento acerca dos possíveis danos causados por acidentes em função de um número reduzido de acidentes registrados até hoje.

A imprevisibilidade dos potenciais impactos de um acidente nuclear é o que caracteriza a **incerteza** desse tipo de atividade. Ou seja, no momento não se é possível estimar a probabilidade de um acidente ocorrer, nem tampouco as consequências dele, diferentemente das situações caracterizadas por **risco**, quando essas variáveis podem ser calculadas.

Outros pontos críticos que contam negativamente para a energia nuclear são o tratamento dos resíduos da produção, que são altamente radioativos e podem contaminar águas e alimentos ingeridos, e o alto custo de instalação de uma planta (cerca de 10 bilhões de dólares por reator), apesar de seu custo de produção ser bem menor que o das fontes atuais.

### CAPÍTULO III – O CENÁRIO ENERGÉTICO APÓS FUKUSHIMA

Ainda que a confiança e o consequente investimento em energia nuclear tenham crescido nos últimos anos, o evento do acidente de Fukushima pôs novamente em xeque a viabilidade de expansão desse tipo de projeto.

Ainda de acordo com o artigo de Paul Joskow e John Parsons, para analisar os efeitos do acidente de Fukushima na geração de energia nuclear, podemos tomar o período de 2010 e 2011 (época da ainda então “renascença nuclear”) como base para comparação do nosso estudo. E, para facilitar, podemos também analisar os impactos sob duas óticas: impactos na construção de novas usinas e impactos na produção atual.

Embora tenhamos visto que no período então denominado de “renascença nuclear” tenha havido um grande aumento no interesse por energia nuclear, é preciso analisarmos se, no fim das contas, realmente havia um comprometimento concreto dos países com a expansão da energia nuclear, ou se esse movimento de “renascença” seria mais uma euforia em função do contexto econômico, político e ambiental vivido naquele momento.

O que podemos observar é que realmente havia um grande otimismo com relação à extensão de licenças para a produção de energia nuclear nos EUA, França, Japão, Canadá, entre outros países, e havia boas perspectivas de conclusão de algumas usinas novas até 2020 nos EUA e em outros países desenvolvidos antes do acidente de Fukushima. Não havia, no entanto, nenhum grande programa de investimentos em expansão da capacidade nuclear nos países desenvolvidos nesse momento.

Nos EUA, havia cerca de 8 novos projetos de construção de novas usinas à época de Fukushima, sendo que eles ainda possuíam certo grau de incerteza acerca de seus prosseguimentos. Dos projetos que estavam indo para frente com grandes investimentos, todos eram ou previstos para receberem empréstimos federais ou previstos para serem em estados onde seriam regulados por comissões estaduais, em vez de um mercado competitivo. Em ambas as opções, o risco seria transferido para o consumidor.

Havia também um reator sendo construído na Finlândia, um na França (ambos atrasados e acima do orçamento), e dois no Japão (que ainda possuíam futuros incertos).

Outros países, como o Reino Unido, a França e o Canadá também consideraram seriamente uma expansão da produção. Na Itália, Espanha, Bélgica e alguns outros países europeus, parecia que políticas que proibiam a construção de novas plantas se tornariam mais favoráveis e passariam a receber investimentos na área.

De maneira geral, a maior parte da expansão prevista da capacidade nuclear nos países desenvolvidos durante a próxima década seria em função de extensão de contratos, pequenas expansões de reatores atuais e construção de algumas usinas novas nos EUA, Canadá, Europa Ocidental e Japão.

A EIA (*Energy Information Administration*), órgão oficial de estatísticas de energia nos EUA, estimava um crescimento da energia nuclear nos Estados Unidos de menos de 1% ao ano até 2035, dando cerca de 10% de crescimento acumulado no período. Com isso, a porção de energia nuclear nos EUA cairia de 20% para 17%.

Para os países OECD, a expectativa de crescimento era de 1% ao ano para o mesmo período, acumulando 32% até 2035, com a participação da nuclear ficando constante em 21%.

Para os países não OECD a expectativa era maior, com grande peso do plano da China de ampliar sua capacidade de geração em 100 GW de energia nuclear até 2020. Alguns países, como a Rússia, países do leste europeu que foram parte da URSS, Coréia do Sul, Índia, Paquistão e Taiwan também possuíam planos de expansão, enquanto outros países que não tinham energia nuclear consideravam construir suas primeiras usinas, como a Turquia e os países do Golfo Pérsico.

Juntos, a expectativa da EIA era de que esses países não OECD crescessem cerca de 6% até 2035, acumulando um crescimento de 377% no período. O crescimento seria ainda maior se considerássemos apenas a Ásia, que teria um crescimento médio de 9,2% ao ano até 2035.

Sendo assim, se realmente havia alguma “renascença nuclear” ocorrendo antes do acidente de Fukushima, essa era percebida apenas na China, com 27 novas usinas em construção, na antiga URSS, com 17, na Índia com 6 e na Coréia do Sul, com 5, do total de 65 reatores em construção no mundo.

### **III.1 Os Impactos de Fukushima no Cenário Atual**

O acidente de Fukushima ainda é relativamente recente, logo os impactos dele no setor energético ainda estão sendo observados. Podemos, porém, analisar algumas das respostas do setor que tivemos até o momento.

Seguindo ainda a análise Para facilitar a análise de Paul Joskow e John Parsons, vamos dividir os impactos observados nas plantas existentes e impactos na construção de novas plantas.

#### **III.1.1 Impactos Para as Plantas Existentes**

Os impactos nas plantas existentes variaram, de acordo com a localidade. No EUA, maior produtor de energia nuclear no mundo, por exemplo, as plantas existentes ainda não foram impactadas diretamente pelo acidente de Fukushima. Ainda que as usinas atuais continuaram tendo suas licenças estendidas para operação, todas elas tiveram que passar por uma fiscalização para garantir que estão seguras.

No total, 104 usinas foram inspecionadas nos EUA e receberam recomendações de melhorias de segurança pela Comissão de Regulação Nuclear americana (sigla NRC, em inglês), com base em um relatório criado por uma equipe nomeada pela própria NRC acerca das lições aprendidas com o acidente de Fukushima.

Essa equipe também concluiu em um estudo que as usinas atuais no país poderiam continuar em operação normal, o que não apresentaria nenhum risco de segurança e saúde à sociedade. Todavia, também concluiram necessidades de melhoria de alguns critérios de segurança na regulação da NRC, que podem se afetar financeiramente as usinas existentes.

Na União Europeia, os países membros também concordaram em inspecionar todas as suas usinas e testá-las também com base nas lições aprendidas de Fukushima. Embora ainda nenhuma usina tenha sido fechada em função dessas inspeções e testes, alguns países como a Alemanha e a Suíça já tomaram providências que impactam as plantas atuais.

Em março de 2011, a Alemanha fechou permanentemente as oito usinas mais antigas do país, das 17 que eles possuem. Em junho de 2011, o parlamento alemão aprovou uma lei que prevê o desligamento de todas as usinas no país até 2022, sem previsão de construir mais nenhuma usina

nova. A Siemens, empresa que construiu as usinas nucleares na Alemanha declarou em setembro de 2011 que não mais construirá usinas em nenhum lugar do mundo, inclusive cancelando projetos que estavam em andamento.

Na Suíça, o parlamento suíço aprovou uma lei que prevê que todas as usinas do país serão permitidas de manterem suas licenças de produção atuais até que as mesmas expirem, não podendo posteriormente serem renovadas. Espera-se que a última licença de usina nuclear expire em 2034. Essa decisão foi tomada ainda que o órgão regulador de energia nuclear no país não tenha identificado qualquer problema que cause risco à segurança das usinas atuais no país com base no ocorrido em Fukushima e que tenha sido feito um referendo que indicou que a população apoia a construção de reatores novos para substituir os antigos.

No Reino Unido, ainda há muita incerteza com relação à continuidade das plantas atuais, porém a tendência é de que algumas usinas eventualmente serão desligadas em função mais de razões econômicas do que do acidente de Fukushima, que aparenta não ter peso nessa decisão.

Na França, que é um país onde boa parte da energia produzida é nuclear, foi feita uma auditoria de segurança nas usinas atuais para detectar quaisquer riscos à população. Embora tenha sido feita essa auditoria, a França aparenta estar comprometida com o programa nuclear e a manutenção das usinas atuais. Algumas delas, porém, se situam próximas das bordas com a Alemanha e Suíça, correndo então o risco de serem desligadas em função das políticas adotadas por esses países.

Na Bélgica, onde há sete usinas ativas, a situação ainda é incerta. Embora em 2003 o governo tenha decidido que nenhuma nova usina seria construída e que as usinas operantes então fechariam entre 2015 e 2025, em 2009 o governo decidiu estender a licença das três usinas mais antigas em operação. Essa extensão, porém, não foi formalizada. A situação política do país acabou atrasando a definição dessa questão, uma vez que o país se encontrava sem um governo à época do acidente e o então governo provisório preferiu não tomar decisões acerca das usinas à época.

Finalmente, no Japão é onde está a maior questão, pois é o terceiro maior produtor de energia nuclear do mundo. Após o acidente, o Japão fechou as unidades 1, 2, 3 e 4 de Fukushima Daiichi, e o futuro das unidades 5 e 6 ainda ficaram incertos. Boa parte das 50 usinas japonesas foram fechadas direta ou indiretamente em função do terremoto e tsunami de 2011. Atualmente o país considera a reativação de algumas delas, porém com grande reprovação popular.

As autoridades japonesas na área de energia ainda estão analisando potenciais riscos das usinas atuais para definir se será necessária alguma modificação na estrutura das mesmas ou se algumas delas precisarão ser desligadas por motivos de segurança.

De maneira geral, percebemos que hoje há uma maior preocupação com a segurança em energia nuclear no mundo, o que se converterá em maiores custos para as atuais usinas, que terão que se adaptar às novas regulações e restrições. O futuro das usinas atuais dependerá não apenas da política adotada pelo país (que poderá, por exemplo, optar pelo desligamento imediato das usinas – como na Alemanha –, pela não renovação das licenças – como na Suíça – ou pela continuidade do programa nuclear – como nos EUA), mas também do novo cenário político e econômico em que o setor se encontra (tendo que responder a perguntas como: o retorno de estender a licença de produção de energia por mais 20 anos vale o investimento necessário com as novas adequações e o risco político de uma decisão do governo de simplesmente terminar o programa nuclear?).

Além disso, ainda temos que considerar que as opções à energia nuclear para redução da emissão de gases do efeito estufa (como o gás natural e fontes renováveis) ao mesmo tempo também se tornaram mais atraentes. No caso do gás natural, novas reservas de *shale gas* foram descobertas nos EUA, Canadá, China e Europa, empurrando os preços dessa fonte para baixo. Para as renováveis, muitos países definiram essas fontes como a solução para a diminuição de emissões de carbono, fazendo com que haja maior investimento na área, também diminuindo o preço desse tipo de energia.

Levando em consideração esses fatores, é possível que a atratividade da extensão de licença de produção para uma usina nuclear em alguns países acabe perdendo competitividade com relação às outras opções disponíveis no mercado, o que pode acarretar em algumas usinas optando por encerrarem suas atividades antes mesmo do término do contrato.

Até o momento, porém, a maioria dos governos têm tomado medidas mais conservadoras que as tomadas pela Alemanha, Japão e Suíça, focando mais em inspeção para avaliação de risco das usinas no curto prazo e revisões nos critérios de regulamentação para o longo prazo. Segundo Andrew DeWit, em seu texto “Japan’s Remarkable Renewable Energy Drive – After Fukushima”, a resposta rápida dos governos quanto aos riscos expostos com o incidente em Fukushima, a garantia do governo de que as usinas atuais são seguras, as inspeções regulares às usinas para identificação de riscos, as melhorias nos procedimentos de emergência, entre outras medidas, ajudaram bastante a minimizar os impactos na aceitação pública para esse tipo de energia. Uma pesquisa de opinião, por

exemplo, feita nos EUA pós-Fukushima acerca da segurança das usinas nucleares e a necessidade de construção de novos reatores mostrou que a resposta foi bem similar ao resultado da mesma pesquisa feita em 2001, indicando que o acidente não teve grandes impactos na opinião pública com relação ao assunto.

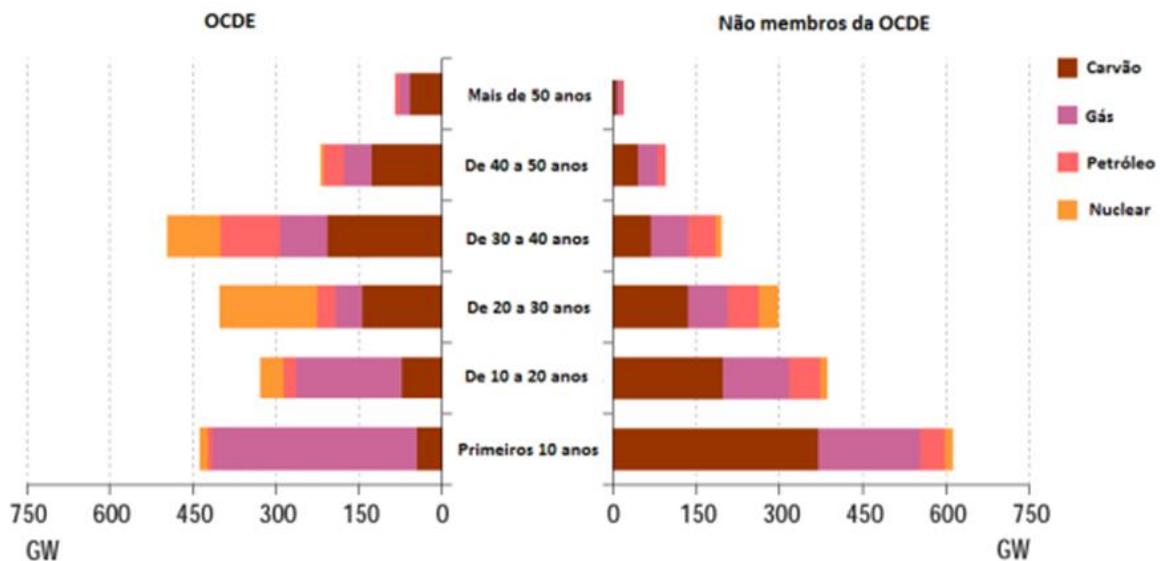
Decisões como as da Alemanha, Suíça e Japão, e a possibilidade de que alguns países também possam abandonar seus programas nucleares, porém, podem ter grande influência na decisão de outros governos acerca da continuidade de seus próprios programas. Esses três países juntos representam cerca de 20% da produção mundial de energia nuclear. Com a desinstalação das usinas nesses países, a base de produção nuclear no mundo diminuirá consideravelmente, podendo diminuir ainda mais com a possível desistência de outros países e com o desligamento antecipado de outras usinas.

### **III.1.2 Impactos na Construção de Novas Usinas**

No cenário “Novas Políticas”, a IEA (2010b) estima que a participação da energia nuclear na matriz energética global, hoje em 14%, se manterá a mesma até 2035. No mesmo cenário, a IEA prevê um aumento da demanda global por energia elétrica de 16.819 TWh em 2008 para 30.329 TWh em 2035. Dessa forma, para que a energia nuclear mantenha a mesma participação de 14% na matriz energética global, seriam necessários grandes investimentos em novas usinas, para gerar, em 2035, um total de 4.900TWh, sendo que apenas a China seria responsável por 40% da produção mundial.

Segundo o GESEL, fora os grandes investimentos necessários na expansão da produção de energia nuclear para a manutenção da mesma participação na matriz global, seriam necessários também investimentos para a substituição das usinas atuais que passem a se tornar obsoletas durante esse período. A vida útil estimada de uma usina nuclear é de cerca de 40 anos, podendo ser estendida através da substituição de equipamentos críticos ao seu funcionamento, caso seja economicamente interessante.

Na Figura 9 podemos visualizar a distribuição por idade das usinas de energia (nucleares e não nucleares) no mundo.



**Figura 9.** Idade das usinas de energia no mundo. Fonte: IEA (2010b)

De acordo com a IEA, boa parte das usinas nucleares possuem entre 20 e 40 anos, o que indica que uma parcela considerável dessas usinas terá que ser substituída até 2035.

A Tabela 3, abaixo, complementa as informações mostradas na Figura 9, mostrando a idade média das usinas por país.

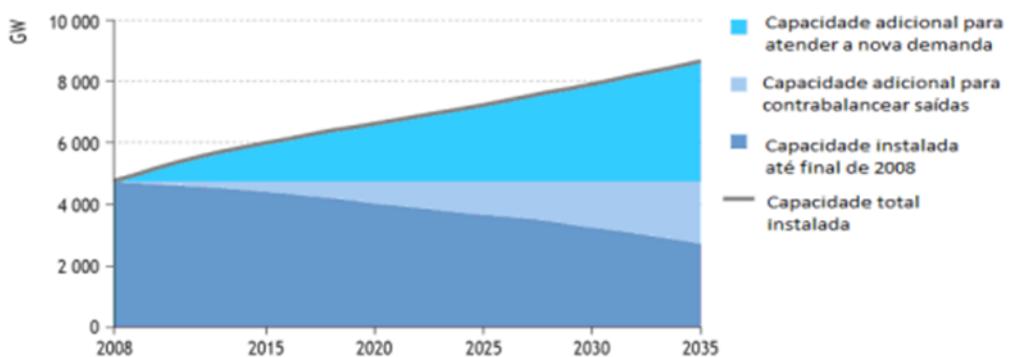
**Idade Média do Parque Nuclear Mundial: 2010 (em MW e anos)**

País	Capacidade Instalada (em MW)	Idade das Usinas (em anos)
AFRICA DO SUL	1.880	26
ALEMANHA	21.507	28
ARGENTINA	1.005	30
ARMÊNIA	408	31
BÉLGICA	6.192	29
BRASIL	2.007	15
BULGÁRIA	2.000	19
CANADÁ	13.425	26
CHINA	8.958	9
CORÉIA DO SUL	18.453	17
ESLOVÁQUIA	1.896	18
ESLOVÊNIA	730	28
ESPAÑA	7.801	26
EUA	106.291	30
FINLÂNDIA	2.800	31
FRANÇA	66.022	24
HOLANDA	515	37
HUNGRIA	2.000	25
INDIA	4.340	15
JAPÃO	48.847	23
MÉXICO	1.364	18
PAQUISTÃO	462	12
REINO UNIDO	11.902	26
REPÚBLICA CHECA	3.892	16
ROMÊNIA	1.412	9
RÚSSIA	23.242	26
SUÉCIA	9.761	30
SUÍÇA	3.405	32
TAIWAN	5.190	28
UCRÂNIA	13.835	20

**Tabela 3.** Idade média das usinas nucleares no mundo. Fonte: IAEA (2010).

Na Figura 10, abaixo, podemos também verificar visualmente a real necessidade de construção de novas usinas para que a participação de energia nuclear se mantenha a mesma até 2035, conforme previsto pela IEA.

### Capacidade Instalada Mundial no Cenário Novas Políticas: 2008-2035 (em GW)



**Figura 10.** Capacidade instalada mundial no cenário Novas Políticas (2008-2035) em Gw. Fonte: IEA (2010b).

Voltando à análise de Paul Joskow e John Parsons, se olharmos para os países OECD que possuam programas nucleares, boa parte dos países que possivelmente construiriam novas usinas para substituir as atuais no futuro (como a Alemanha, Suíça, Itália, Espanha e a Bélgica) acabaram abandonando seus programas. Se adicionarmos o Japão à essa lista, o impacto do acidente de Fukushima na construção de novas usinas torna-se substancial. Para os demais países OECD com programas nucleares, a expectativa é de que a expansão da capacidade nuclear seria lenta, mesmo sem o incidente em Fukushima. O acidente teria apenas feito as usinas se tornarem menos atrativas economicamente.

A exceção para a desaceleração seria o Reino Unido, que possui um número grande de usinas deverão ser desativadas por motivos técnicos e econômicos, onde governo até o momento está mantendo a decisão tomada em 2008 de apoiar a construção de novas usinas. Os projetos, porém, foram adiados para aguardar o resultado do relatório de lições aprendidas com Fukushima para a União Europeia.

A queda dos preços do gás natural pode pôr em risco a retomada dos projetos de construção de novas usinas no Reino Unido, que já possui uma estrutura de mercado desfavorável à instalação de usinas nucleares (não possui contratos de longo prazo). Ainda que o governo inglês preveja reformas no mercado para oferecer condições mais favoráveis à construção de novas usinas, a

expectativa é de que energia nuclear não seja o foco da estratégia do Reino Unido para alcançar as metas de emissão de carbono.

Como podemos perceber, de maneira geral a expectativa é de que não haveria um crescimento acentuado na produção de energia nuclear nos países OECD durante os próximos anos, mesmo que não tivesse ocorrido o acidente em Fukushima. Para os países não-OECD, porém, as expectativas são diferentes.

Nos países não OECD, há uma expectativa de grande crescimento da produção nuclear na China, seguida da Rússia e dos antigos países da URSS. O que se pode perceber até o momento é que o acidente de Fukushima não teve grandes impactos nos planos dos países que já tinham planejamento para um grande programa nuclear antes do acidente. O maior impacto teria sido no programa da China, que reduziu em 10 GWe o seu planejamento de expansão para 2020. Embora tenha ocorrido a redução, especialistas acreditam que a meta original da construção de geração para 100 GWe também não fosse realista, e que essa redução não necessariamente seria relacionada ao acidente.

A Rússia, a Índia, a Coréia do Sul e a maioria dos países não OECD continuam com seus planos originais, aguardando apenas maiores informações de segurança acerca do que ocorreu em Fukushima. Outros países que não possuem produção de energia nuclear hoje, como a Turquia, a Arábia Saudita e o Vietnã também enfatizaram novamente seus interesses na construção de suas primeiras usinas.

Alguns outros países, porém, como Taiwan, Chile, Israel e Venezuela haveriam desistido de começar/recomeçar seus programas nucleares. Embora tenha ocorrido a desistência desses países, esses casos não impactariam o total global de energia nuclear produzida, uma vez que essas produções seriam relativamente pequenas.

### **III.2 Energia nuclear seria a solução?**

Com base no nosso cenário atual, o qual temos a necessidade de reversão dos efeitos do aquecimento global através da redução das emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera, e opções limitadas de fontes de energia que sejam renováveis e compatíveis com a nossa demanda, ficamos com a pergunta: a energia nuclear seria mesmo a solução?

Oliver Tickell analisa essa questão em seu artigo “Does the world need nuclear power to solve the climate crisis?”, e sugere que se analisarmos a nossa demanda por energia em 2010, podemos perceber que a nossa demanda equivalente por energia primária foi de 12.000 milhões de TEP (toneladas equivalentes de petróleo), sendo que 87% dessa energia foi produzida a partir de combustíveis fósseis (petróleo, gás e carvão), enquanto a energia nuclear contribuiu com 5% do total e as energias renováveis cerca de 8%.

Assumindo que a demanda por energia no mundo cresça uma média de 2% ao ano durante os próximos 35 anos, isso significaria que, ao final desse período, nossa demanda por energia teria duplicado, passando para 24.000 milhões de TEP.

Se para essa nova demanda fôssemos utilizar a energia nuclear como uma das principais fontes visando a redução de eliminação de gases do efeito estufa, quais seriam as mudanças necessárias na nossa atual matriz energética?

Considere que no nosso cenário atual temos não apenas que parar a nossa tendência de crescimento de eliminação de CO<sub>2</sub>, mas também reduzir as nossas emissões atuais. Dessa forma, se a energia nuclear fosse utilizada para suprir essa nova demanda (12.000 TEPs) e para diminuir parte das nossas emissões atuais (substituindo 4.000 TEPs da atual produção, por exemplo), teríamos um total de 16.000 TEPs a serem produzidos apenas a partir de energia nuclear.

Isso significaria um aumento de 25 vezes na quantidade atual de produção para esse tipo de energia.

Atualmente, temos no mundo cerca de 440 reatores nucleares em operação, então em 35 anos precisaríamos de 11.000 reatores funcionais. Para chegarmos a esse número, teríamos que construir um reator por dia até lá.

As estimativas, porém, são de construirmos apenas mais 100 reatores nesse período. Além disso, nesses 35 anos alguns dos reatores atuais se tornariam obsoletos e seriam desligados, diminuindo o número total de reatores ativos.

Considerando que o custo de cada reator é de cerca de 10 bilhões de dólares, precisaríamos de cerca de 110 trilhões de dólares para construir esses reatores (ou seja, o PIB mundial de dois anos investidos apenas em novas plantas nucleares).

Além de o investimento ser muito grande, ele também não é atrativo para a iniciativa privada, por ser um investimento de retorno muito demorado e possuir inúmeros riscos políticos, financeiros e econômicos. Sendo assim, caberia aos governos boa parte da responsabilidade e orçamento para a construção desses reatores.

Ainda, porém, que isso tudo se concretizasse, os impactos no planeta poderiam ser catastróficos.

De início, a radioatividade do planeta aumentaria cerca de 25 vezes. Além disso, um aumento tão grande quanto esse na produção refletiria também um grande aumento por profissionais treinados para poderem operar essas usinas. Por serem profissionais de perfil muito específico, é razoável considerar que não teremos pessoas suficientes para o trabalho, ou que a qualidade dos profissionais a serem empregados será inferior à necessária para que se evite que acidentes como os de Fukushima e Chernobyl se tornassem mais comuns.

Embora, como vimos, tenhamos uma disponibilidade muito grande de urânio no planeta, o único tipo de urânio capaz de ser naturalmente utilizado para a produção de energia é escasso no planeta. Para utilizar os outros tipos, mais abundantes, o urânio teria de ser enriquecido e reprocessado, o que é muito complexo, caro, poluente e perigoso, além de liberar grandes quantidades de radiação ao planeta.

Ou seja, para termos 11.000 reatores funcionais no globo, muitos países precisariam aprender como processar o urânio, que é um método que também pode ser utilizado para a fabricação de bombas nucleares. O risco político e militar de uma popularização dessa tecnologia é altíssimo.

A partir dessa conclusão, podemos perceber que o cenário de utilizarmos energia nuclear para suprir a demanda por energia para os próximos anos não apenas é improvável, mas como poderia ter impactos altamente catastróficos.

### **III.3 Possíveis soluções**

Como vimos anteriormente, há uma grande necessidade atualmente de passarmos a utilizar uma fonte de energia sustentável, a fim de revertermos e evitarmos maiores estragos ambientais, incluindo o aquecimento do planeta.

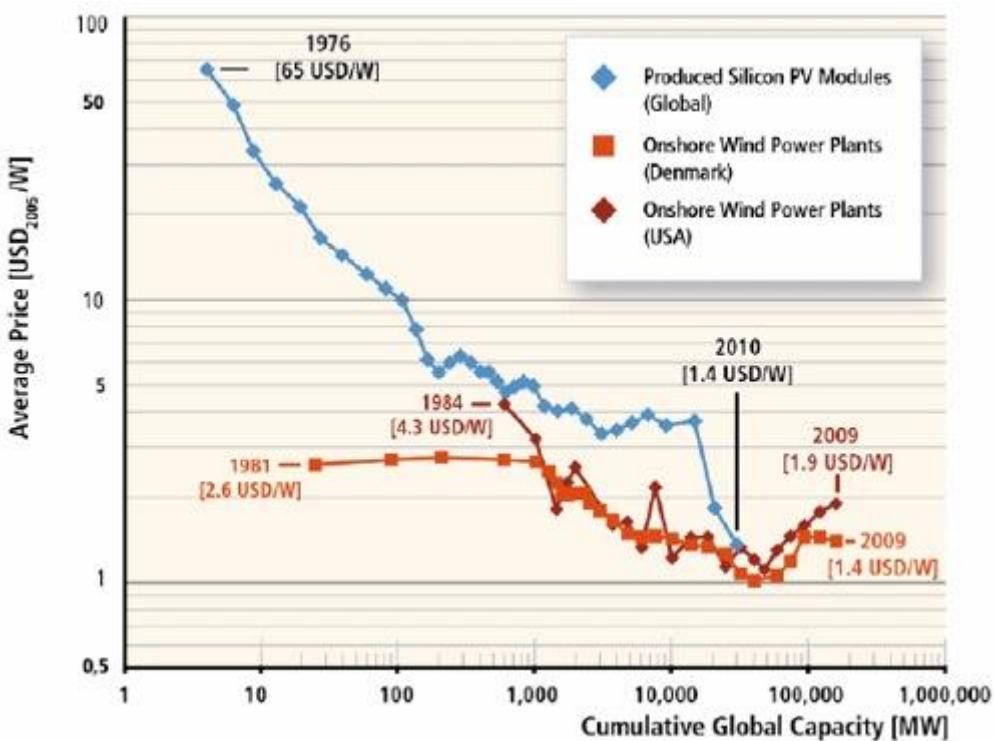
O acidente de Fukushima deixou evidente os riscos da utilização da energia nuclear, devido às proporções das consequências de um acidente e também de sua imprevisibilidade, eliminando para muitos (como, por exemplo, a Alemanha) a energia nuclear como uma possível solução para os desafios energéticos atuais.

Diversas frentes de estudo já vêm trabalhando há alguns anos para o desenvolvimento de novas tecnologias na geração de energia como alternativas aos combustíveis fósseis e a nuclear, que não causem um impacto tão grande ao planeta. Essas seriam as chamadas de energias “renováveis”, pois suas fontes se reconstituem em uma escala de tempo “humana”, como luz solar, vento, chuva, maré, ondas e o calor proveniente da Terra. As fontes renováveis de maior destaque atualmente são a hidráulica, solar, eólica e térmica.

Oliver Tickell também explica em seu texto que, hoje em dia, a maior parte das energias renováveis produzidas no planeta são a partir de hidroelétricas (cerca de 1,5% do total de energia produzida em 2010), que utilizam a água dos rios como fonte para produção. Esse tipo de energia, apesar de poder produzir em grande escala (como no caso do Brasil), tem um limitado potencial de expansão, pois poucos lugares no mundo possuem rios capazes de ter uma usina hidroelétrica instalada.

As fontes solar, eólica e térmica, porém, possuem um grande potencial de expansão, e já crescem rapidamente (essas fontes cresceram cerca de 15% apenas em 2010). Entre 2005 e 2010, as energias eólica e térmica cresceram em média 25% ao ano, enquanto a solar cresceu cerca de 50% para o mesmo período, diz Oliver Tickell.

A energia solar, de maneira similar à energia eólica, possui como limitador o fato de ser intermitente (dependem do contato com o sol ou com o vento). Além disso, embora o preço da geração desses tipos de energia tenha caído muito nos últimos anos (Figura 11), a produção desses tipos de energia ainda é muito cara (em especial a solar) se comparada com as fontes convencionais, e sendo ainda também muito menos eficiente.



**Figura 11.** Curvas de custo de energias solar e eólica.

Para se ter uma ideia, a capacidade de geração elétrica da usina hidrelétrica de Belo Monte equivalerá a 19 usinas termelétricas, 17 usinas nucleares iguais a Angra II, 3700 torres de energia eólica ou 49,9 milhões de placas de energia solar. Ainda assim, um megawatt-hora produzido pela hidrelétrica custará R\$ 22, enquanto se essa energia tivesse sido tirada de uma eólica custaria R\$ 99, ou de uma solar custaria quase R\$ 200.

Um outro ponto negativo da energia solar seria que sua utilização ainda pode gerar resíduos que são prejudiciais ao meio ambiente.

Ainda assim, essa tecnologia vem tendo expressivas quedas no seu custo, ampliando seu horizonte de utilização no futuro.

No momento, ainda que a energia eólica não se compare em termos de preços e produtividade com a energia convencional, há boas perspectivas para a ampliação de seu uso no futuro, com melhorias na tecnologia e na baixa de custos. Na avaliação de Maurício Tolmasquim (presidente da Empresa de Pesquisa Energética – EPE), por exemplo, ao criarmos torres maiores no Brasil o nosso potencial de produção de energia eólica poderá ser duplicado, uma vez que seríamos capazes de capturar ventos mais fortes.

Qualquer que seja o rumo que será tomado, os níveis de investimento e tempo necessários para a substituição das fontes fósseis na matriz energética global atual serão um grande desafio. Na Figura 12, podemos ter uma dimensão do tempo que, por exemplo, o petróleo levou para se consolidar como uma importante fonte de energia (precisou de cerca de 100 anos para representar 25% da matriz global), embora tenha havido um nível altíssimo de investimentos e inovações durante esse tempo.

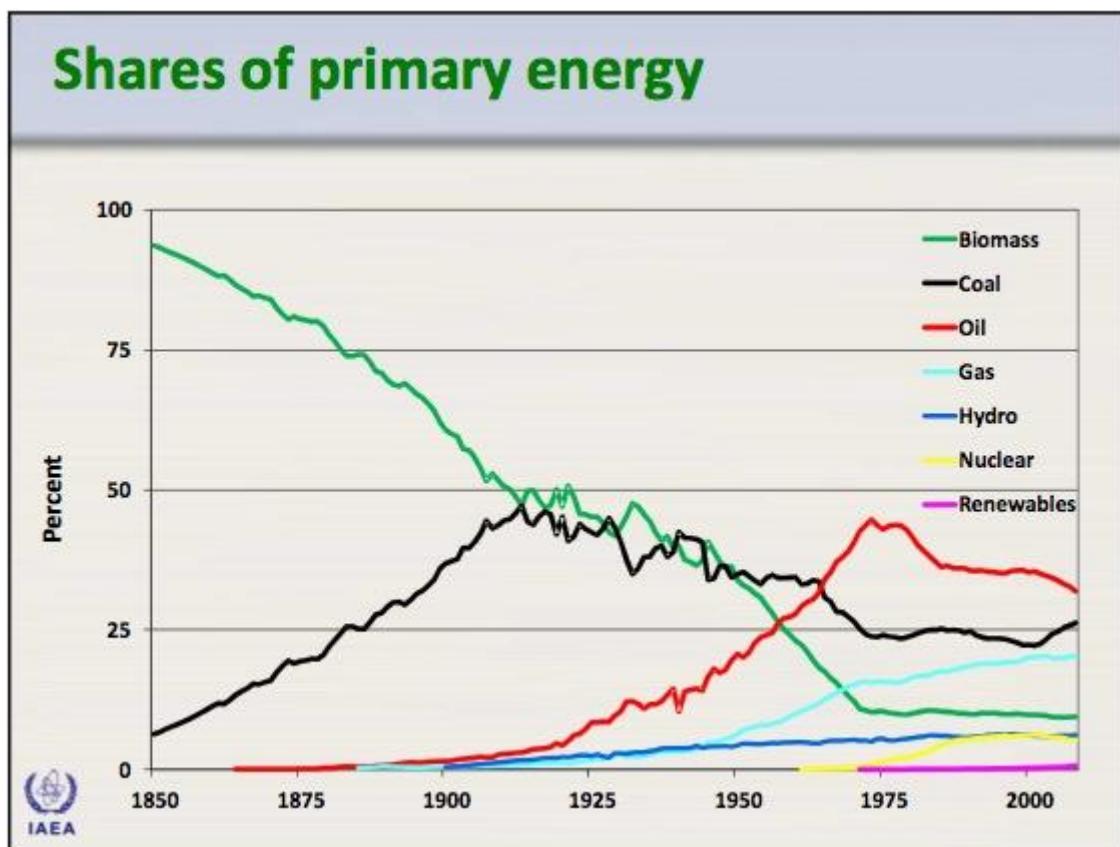


Figura 12. Fontes de energia primária. Fonte: International Atomic Energy Agency.

As conclusões que podemos tirar a partir desse gráfico são que as transições de fontes de energia são lentas, e que requerem um alto investimento de capital, trabalho e tecnologia. Segundo um relatório publicado pelo Post Carbon Institute no International Forum on Globalization, embora não seja uma opção o mundo continuar com as fontes fósseis, há muitas limitações para que as fontes renováveis efetivamente sejam as principais fontes até 2100. Para que isso ocorra, segundo o relatório, seria necessário um nível de investimentos que está além do alcance da sociedade, muito tempo (tempo demais para ser prático) e grandes sacrifícios em termos de qualidade de energia e confiança no abastecimento.

### **III.4 Os pioneiros da transformação: Japão e Alemanha**

Conforme vimos, o acidente de Fukushima teve grandes impactos no futuro da política energética em alguns países, sendo a Alemanha e o próprio Japão dois dos maiores exemplos.

O grande foco em abandonar seus atuais programas nucleares os forçou a encontrar uma solução alternativa para atender a demanda por energia antes suprida pelas suas usinas nucleares. A curto prazo, a única saída encontrada para esse problema foi o aumento da utilização das fontes convencionais (derivadas do petróleo). Mas agora esses países se lançaram em uma grande jornada para o aumento da utilização de fontes renováveis para passar a suprir essa demanda, tornando-se assim os países pioneiros nessa nova era pós-nuclear.

Em seu texto, Andrew DeWit explica que, no Japão, a desativação das usinas nucleares e o consequente aumento do custo da energia (uma vez que o país teve que passar a importar mais combustível) tiveram como um dos efeitos a aceleração de iniciativas no país nas áreas de eficiência energética, fontes renováveis e descentralização da produção de energia. Além disso, esse contexto também injetou grande força na sua iniciativa de “cidades verdes”, que é um benchmark internacional de modelo de cidades sustentáveis.

Os avanços na eficiência energética vieram como consequência principalmente das reduções compulsórias no consumo de energia, assim como subsídios e outros incentivos.

Um exemplo dessa nova política é que em 2011 um estudo de mercado indicou que no Japão menos de 2,2% das moradias possuíam lâmpadas do tipo LED (que são mais eficientes) instaladas. No ano seguinte, esse número passou para 49,4%.

Ainda em 2011, mesmo ano em que houve o acidente em Fukushima, o consumo de energia elétrica já havia começado a diminuir (caiu 5% em julho, 11,3% em agosto e 11,4% em dezembro, se comparados ao ano anterior), o que refletiu também em uma queda na produção de energia.

Embora o país já estivesse investindo bastante em eficiência energética antes mesmo do acidente, o evento de Fukushima certamente impulsionou esse processo. Para se ter uma ideia, 80% das 104 principais empresas do país afirmaram em uma pesquisa em 2012 possuir planos para redução do consumo de energia. Mais da metade delas (54) também declarou que investiria em eficiência energética, e 14 delas afirmaram que investiriam em geradores próprios de energia.

Para atender a essa nova demanda por eficiência, empresas estão desenvolvendo sistemas de gestão de energia para serem vendidos no mercado. A Toray Engineering, por exemplo, anunciou a venda de seu sistema “Eco-Plant EMS” para gestão da energia em fábricas. O sistema, que custa cerca de 500 mil dólares, pode alcançar cerca de 30% de redução de energia em ar condicionado e de 10 a 20% de redução do consumo da fábrica em geral.

Na frente de energia renováveis, o governo passou a oferecer subsídios de longo prazo para produtores desse tipo de energia, garantindo um preço mínimo de venda da produção. O objetivo dessa iniciativa seria de contribuir para uma difusão mais rápida desse tipo de atividade e ao mesmo tempo diminuir os preços de mercado.

Diversas organizações, incluindo governos locais, já se comprometeram com projetos em larga escala para a produção de energias solar e eólica. Apenas em 2012, o planejamento era de construir duas vezes mais usinas do que era previsto para se construir até 2020.

Já em 2011, o Japão instalou 143 turbinas para a geração de energia eólica em alto mar (totalizando cerca de um gigawatt), e em 2013 também inaugurou uma usina de energia solar com capacidade de 70 megawatt, consolidando sua posição de uma entre as cinco nações que alcançaram 10 gigawatts em produção de energia solar (as outras quatro são Alemanha, Itália, China e EUA). A previsão é de que até 2016 a capacidade de energia solar do Japão alcance 19 gigawatts (de acordo com a Associação de Indústrias de Energia Solar, 1 gigawatt é suficiente para suprir 139 mil moradias).

A previsão do governo japonês é de que o país alcance 20% de sua produção em energia renovável até 2020 (em 2011, a energia renovável representava apenas 2% da produção total).

Uma outra iniciativa que começou após o acidente foi a descentralização da produção de energia, motivada por receios de falta de abastecimento elétrico (“apagões”) em função da crise energética vivida no país. A cidade de Tóquio, por exemplo, decidiu criar uma geração própria de energia para abastecer as funções críticas da cidade (como o metrô) em casos de emergência.

As cidades de Osaka, Kobe e Kyoto também se uniram em projetos de eficiência energética produção de energia a partir de fontes renováveis, argumentando a inércia do governo central do país. Diversas outras cidades também criaram projetos próprios e políticas de incentivos nesse sentido, aumentando a independência energética, emprego, oportunidade de negócios e

competitividade internacional. Em 2012, o orçamento dessas cidades somavam cerca de 650 milhões de dólares para essas iniciativas.

Por fim, uma outra grande iniciativa do Japão é a de “cidades verdes”, que consiste na criação de um modelo de cidades sustentáveis para o meio ambiente, que seriam as “cidades do futuro”. Além da preocupação com o meio ambiente, essa iniciativa também inclui ações para lidar com sociedades que estão envelhecendo rapidamente e também disseminar políticas aprendidas nesse modelo. Esse modelo conta com metas relacionadas a aspectos como reciclagem, engajamento internacional e demonstração de sistemas de gerenciamento de energia.

Essa iniciativa, que possui 17 cidades japonesas participantes consideradas como “cidades-modelo”, está também sendo expandida para áreas que foram devastadas em 2011, sendo reconstruídas como “cidades inteligentes”, contando com um orçamento de 237 bilhões de dólares para esse processo.

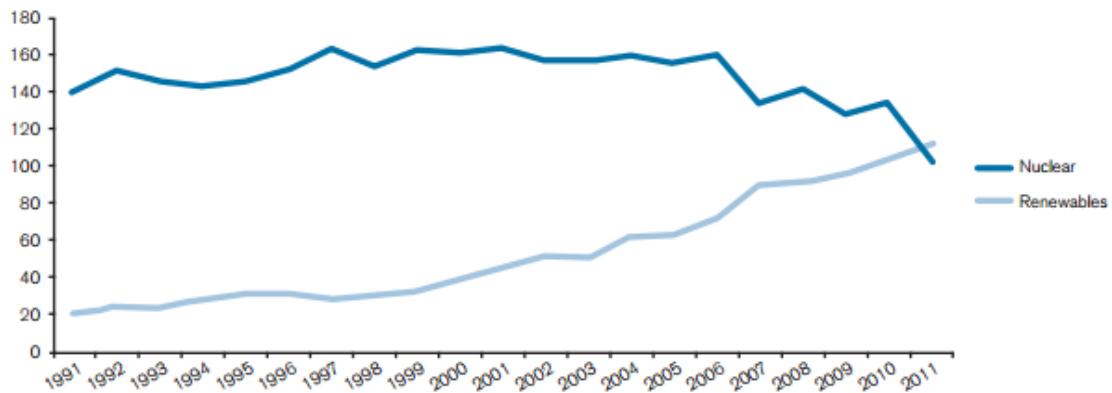
Parte dessa estratégia também seria exportar esse modelo para outros países, como a China. Espera-se que o Japão consiga com a venda desse modelo mais de um trilhão de dólares até 2025.

Embora possamos perceber muitas mudanças acontecendo no Japão, o país ainda se encontra bem dividido quando o tema é o futuro da produção de energia. Por um lado, a opinião pública é bem forte contra a utilização de energia nuclear, mas por outro há um grande lobby de empresas de produção de energia nuclear com o governo que não querem perder sua posição no mercado. Essa falta de decisão tem prejudicado bastante o andar de projetos energéticos no país e os investimentos na área que o país poderia ter atraído.

Na Alemanha, embora também tenha havido grandes desentendimentos políticos acerca do futuro do setor energético, o país se tornou o líder em energia renovável no mundo e conta hoje com um grande orçamento para a continuação de seu programa de energia renovável.

Segundo artigo publicado pela Chatman House, em agosto de 2011 foi aprovado um plano que conta com investimentos que somam 3,4 bilhões de euros para até fim de 2014 em pesquisa e desenvolvimento em energia renovável, eficiência energética, estocagem de energia, tecnologias de redes de transmissão e integração de renováveis. Isso representa um aumento de 75% se comparado ao orçamento para o período de 2006 a 2009.

A aprovação desse plano mostra continuidade na trajetória desse tipo de investimentos no país. Na última década, a produção de energia renovável na Alemanha quintuplicou, e de acordo com o Plano Nacional de Ação criado em 2010, espera-se que essa quantidade ainda dobre até 2020, alcançando 19,6% da capacidade nacional de produção energética.



**Figura 13.** Produção de energia elétrica nuclear e renovável na Alemanha, entre 1991 e 2011 (TWh).

Fonte: US EIA, International Electricity Statistics, base IAEA PRIS do World Nuclear Industry Status Report 2012.

Na Figura 13 podemos ver a velocidade dessa expansão de energia renovável que vem acontecendo nos últimos anos. Hoje, o país atingiu uma capacidade instalada de energia a partir de renováveis com cerca de 30.000 megawatts, contando também com quatro estados alemães gerando 45% de sua energia a partir de energia eólica e em um dos maiores estados chegando a 25% da energia utilizada.

Essa expansão também se intensificou recentemente, pois a Alemanha viveu em 2011 um boom de energia renovável, com 7.500 megawatts conectados à sua rede apenas com fotovoltaica, chegando a um total de 25.000 megawatts de capacidade instalada. De acordo com a Associação da Indústria Solar Alemã (DSW), a produção de energia solar deverá aumentar em 70% durante os quatro anos seguintes a 2011, chegando a 7% da capacidade instalada total do país, e posteriormente alcançando 10% em 2020.

Outra parte da estratégia do governo para o uso de fontes renováveis inclui a utilização de veículos elétricos no país. Até 2020, espera-se ter pelo menos um milhão desse tipo de veículos no país, chegando a seis milhões em 2030. Para alcançar essa meta, o governo inclui algumas vantagens oferecidas para se utilizar esse tipo de veículo, como 10 anos de isenção de impostos,

estacionamentos dedicados com estações de recarga e a opção de utilizar as faixas exclusivas de ônibus.

O governo também oferecerá um suporte de 200 milhões de euros até 2014 para desenvolvimento de estocagem de energia, o que é crucial para a utilização de fontes intermitentes, como a energia eólica e a solar. Em um dos projetos, é possível estocar 360 megawatts e alcançar até 70% de eficiência.

Hoje há também um grande debate na Alemanha acerca das necessidades de transformação da transmissão de energia no futuro. Em 19 de julho de 2011, a Agência Nacional de Transmissão abriu um processo de avaliação no qual operadores devem desenvolver planos de melhorias de transmissão para 10 anos, de acordo com a Lei de Energias Renováveis. Eles devem conter as seguintes informações:

- Todas as expansões de rede devem ser implementadas durante os próximos três anos
- Prazos para a implementação das medidas
- Criar medidas piloto de extensão da transmissão de alta eficiência para transmissão de longa distância

Em paralelo, o Ministério da Economia e Tecnologia também criou uma plataforma chamada Rede Sustentável de Energia, para os principais atores na área, da indústria, operadores de rede, e autoridades regionais e federais para apresentar e discutir respectivas propostas para mudanças na rede de transmissão e modernização de acordo com diferentes níveis de preço de energia e CO<sub>2</sub>, e cenários de diversificação de fontes de energia.

A nova política energética alemã, chamada *Energiewende* (“transformação do sistema energético”) é muito baseada em mudanças no consumo e sugere que durante a próxima década políticas irão levar a uma redução de 10% do consumo de eletricidade. Para se alcançar esse objetivo será necessária uma rápida implementação de novas políticas e medidas, algumas das quais requerem altos níveis de investimento e, se alcançadas, ficariam entre os poucos exemplos de diminuição líquida de consumo. Caso o país não consiga alcançar esse objetivo isso trará um aumento da dependência de fontes fósseis a longo prazo.

A política energética alemã pós-Fukushima não prevê um aumento considerável para as metas de 2020, mas antecipa que a taxa de aumento após 2020 será mantida, permitindo as renováveis a chegar a 80% da demanda por energia até 2050.

## CONCLUSÃO

Através desse estudo, podemos concluir que o histórico crescimento populacional humano no planeta veio, com o tempo, desestabilizando as relações entre homem e natureza. Passamos a demandar do planeta mais do que ele consegue nos oferecer, e isso terá grandes impactos no longo prazo, com alguns deles já começando a serem sentidos atualmente.

A tendência é a população continuar crescendo, uma vez que no momento não temos limitantes para isso: possuímos determinada abundância de alimentos (ainda que distribuída de forma desigual no mundo) e a medicina é cada vez mais capaz de prevenir e remediar doenças.

Esse aumento da população e o processo em paralelo de enriquecimento de países em desenvolvimento acarretarão em um consequente aumento da demanda por energia, uma vez que essa variáveis caminham juntas. Em um cenário de aumento da cobrança por opções renováveis e sustentáveis de energia (em contrapartida ao uso de combustíveis fósseis) e pós-Fukushima (com o receio de se realizar maiores investimentos em energia nuclear), a definição de uma nova estrutura de matriz energética global nunca foi tão importante.

Temos algumas opções que estão ficando cada vez mais próximas da nossa realidade, como as energias eólica e solar, mas estas ainda não são capazes de suprir a base energética, servindo apenas como complementares. Ainda assim, sua utilização não deve ser descartada. Pelo contrário, deve ser expandida e deve-se buscar sempre melhorá-la e torná-la mais acessível, pois no momento elas atenderiam apenas a países mais ricos.

As fontes de energia que utilizamos possuem um papel fundamental no impacto ambiental que temos. Porém, é importante também considerarmos não apenas outras fontes de energia, mas também como podemos ser mais eficientes com a tecnologia que temos atualmente.

Por exemplo, devemos sempre nos questionar se não podemos diminuir as perdas de transformação e transmissão de energia, assim como diminuir os gases poluentes liberados na atmosfera e os resíduos na nossa produção.

O Japão e a Alemanha, que foram dois dos países mais impactados com o cenário pós-Fukushima, já tiveram diversos avanços nessas áreas e atualmente lideram o mundo com relação a

esse aspecto nessa era pós-energia nuclear. Para os próximos anos são esperadas grandes mudanças na nossa relação com a energia e na forma como a produzimos.

Infelizmente ainda não temos uma solução definitiva para as questões climáticas vivenciadas atualmente, pois ainda não há uma fonte de energia renovável que seja confiável como base de produção para um país e economicamente viável.

Ainda que encontrássemos essa fonte, o período de adaptação das nossas tecnologias atuais para esse novo contexto também demandaria bastante tempo e investimento.

Ao fazermos esforços em diferentes frentes, porém, estaremos contribuindo para uma diminuição do impacto que temos. Essas pequenas mudanças, ao final, podem fazer uma grande diferença.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

WRIGLEY, Tony. “Opening Pandora’s box: A new look at the industrial revolution”. VOXEU, 2011. (<http://www.voxeu.org/article/industrial-revolution-energy-revolution>)

KEDROSKY, Paul. “The Industrial Revolution as Energy Revolution”. VOXEU, 2011. (<http://paul.kedrosky.com/archives/2011/07/the-industrial-revolution-as-energy-revolution.html#more-16420>)

BRANDÃO, Roberto; DANTAS, Guilherme de A.; DE CASTRO; Nivalde José. “Perspectivas da Matriz Elétrica Mundial Pós-Fukushima”. GESEL UFRJ, 2011. (<http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/TDSE39.pdf>)

HOLLAND, Andrew. “The Nuclear Future and the Changing Technology”. Energy Trends Insider, 2013. (<http://www.energytrendsinsider.com/2013/10/10/the-nuclear-future-and-the-changing-technology/>)

THOMPSON, Nancy Slater; GOSPODARCZYK, Marta. “Global nuclear generation capacity totalled more than 370 gigawatts in 2012”. U.S. Energy Information Association, 2013. (<http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=13411>)

International Atomic Energy Agency (IAEA) – Power Reactor Information System (PRIS). (<http://www.iaea.org/>)

“Outline History of Nuclear Energy”. World Nuclear Association, 2010. (<http://world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Outline-History-of-Nuclear-Energy/#.Um1GPPnktps>)

“The History of Nuclear Energy”. U.S. Department of Energy – Office of Nuclear Energy, Science and Technology. ([http://energy.gov/sites/prod/files/The%20History%20of%20Nuclear%20Energy\\_0.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/The%20History%20of%20Nuclear%20Energy_0.pdf))

CSIK, B. J.; CHAR, N. L. “Nuclear power development: History and outlook”. IAEA, 1987. (<http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull293/29304781925.pdf>)

“Offshore wind farm revs up renewable energy in post-Fukushima Japan”. Metro News, 2013. (<http://metronews.ca/news/world/850790/offshore-wind-farm-revs-up-renewable-energy-in-post-fukushima-japan/>)

JOY, Oliver. “After Fukushima: Could Germany’s nuclear gamble backfire?”. CNN, 2013. (<http://edition.cnn.com/2013/09/27/business/german-offshore-wind-farms/>)

EATON, Sam; MULLINS, Lisa. “A year after Fukushima, clean energy still just a promise in Japan”. PRI, 2012. (<http://www.pri.org/stories/2012-03-23/year-after-fukushima-clean-energy-still-just-promise-japan>)

KASHI, David. “Two years after Fukushima, Japan opens biggest solar power plant, reaching a national milestone in renewable energy”. International Business Times, 2014. (<http://www.ibtimes.com/two-years-after-fukushima-japan-opens-biggest-solar-power-plant-reaching-national-milestone-1455572>)

SCHNEIDER, Mycle; FROGGATT, Antony; THOMAS, Steve. “Nuclear power in a post-Fukushima World”. Worldwatch Institute. ([http://www.worldwatch.org/system/files/pdf/WorldNuclearIndustryStatusReport2011\\_%20FINAL.pdf](http://www.worldwatch.org/system/files/pdf/WorldNuclearIndustryStatusReport2011_%20FINAL.pdf))

DEWIT, Andrew. “Japan’s remarkable renewable energy drive – after Fukushima”. The Asia-Pacific Journal, Vol 10, Issue 11, No 10, 2012. (<http://www.japanfocus.org/-Andrew-DeWit/3721>)

FROGGATT, Antony; MITCHELL, Catherine; MANAGI, Shunsuke. “Reset or restart? The impact of Fukushima on the Japanese and German energy sectors”. Energy, Environment and Resources – Chatam House, 2012. ([http://www.chathamhouse.org/sites/default/files/public/Research/Energy,%20Environment%20and%20Development/bp0712\\_fukushima.pdf](http://www.chathamhouse.org/sites/default/files/public/Research/Energy,%20Environment%20and%20Development/bp0712_fukushima.pdf))

“Six renewable energy sources judged to be the best prospect for future, says report”. Renewable Energy Focus, 2009. (<http://www.renewableenergyfocus.com/view/5304/six-renewable-energy-sources-judged-to-be-best-prospect-for-future-says-report/>)

CAINE, Mark. "New energy sources: possibilities and prospects". The Energy Collective, 2013. (<http://theenergycollective.com/markcaine/173971/new-energy-sources-possibilities-and-prospects>)

"Germany finds delays and surprises entering a post-nuclear power era". Scientific American, 2013. (<http://www.scientificamerican.com/article/germany-finds-delays-and-surprises-entering-a-post-nuclear-power-era/>)

JOSKOW, Paul L.; Parsons, John E. "The future of nuclear power after Fukushima". MIT Center for Energy and Environmental Policy Research, 2012. (<http://web.mit.edu/cepr/www/publications/workingpapers/2012-001.pdf>)

TICKELL, Oliver. "Does the world need nuclear power to solve climate crisis?". The Guardian, 2012. (<http://www.theguardian.com/environment/2012/aug/20/world-need-nuclear-power-climate-crisis>)

KIDD, Steve. "Climate change – is it still a good argument for nuclear?". Nuclear Engineering International, 2013.

TABUCHI, Hiroko. "Inquiry declares Fukushima crisis a man-made disaster". The New York Times, 2012.

SANG-HU, Choe. "Scandal in South Korea over nuclear revelations". The New York Times, 2013.

NEATE, Rupert. "Nuclear power turns to developing world as west recoils from Fukushima". The Guardian, 2012.

"Demanda de Energia Elétrica – 10 anos". Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2012.

"GEO-5 Assessment". United Nations Environment Programme. (<http://www.unep.org/geo/geo5.asp>)

EBC – Empresa Brasil de Comunicação (<http://agenciabrasil.ebc.com.br>)

Ministério do Desenvolvimento (<http://www.brasil.gov.br>)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (<http://www.ibge.gov.br>)

IEA – International Energy Agency (<http://www.iea.org/>)

World Bank (<http://www.worldbank.org/>)

EIA – U.S. Energy Information Administration (<http://www.eia.gov/>)

HERRERO, Mario; THORNTON, Philip K.; GERBER, Pierre; REID, Robin S. “Livesotck, livelihoods and the environment: understanding the trade-offs”. Elsevier B.V., 2009.

CHRISTMAN, Mairgareth A.; SPERRY, John S. “Single-vessel flow measurements indicate scalariform perforation plates confer higher flow resistance than previously estimated”. Plant, cell and Environment, 2010.

ENVIRONMENT AND NATURAL RESOURCES MANAGEMENT WORKING PAPER.  
“Impacts of Bioenergy on Food Security”. 2011.

GERBER, P. J.; VELLINGA, T. V.; STEINFELD, H. “Meat Science”. Elsevier B. V., 2009.

HAINES, A. “Health benefits of a low carbono economy”. Elsevier B. V., 2012.

KAMRA, D. N.; AGARWAL, N.; CHAUDHARY, L. C.; BHAR, R. “Methane Emissions by Livestock in India and Mitigation Strategies”. Sustainable Improvement of Animal production and Health – Food and Agriculture Organisation of the United Nations, 2010.

FRESCO, Louise O. “Challenges for food system adaptation today and tomorrow”. Elsevier B. V., 2009.

MCMICHAEL, Anthony J.; POWLES, John W.; BUTLER, Colin D.; UAUY, Ricardo. “Food, livestock production, energy, climate change, and health”. LANCET, 2007.

ERICKSEN, Polly J. “Conceptualizing food systems for global environmental change research”. Elsevier B. V., 2007.

VERMEULEN, Sonja; ZOUGMORÉ, Robert; WOLLENBERG, Eva; THORNTON, Philip; NELSON, Gerald; KRISTJANSON, Patricia; KINYANGI, James; JARVIS, Andrew; HANSEN,

James; CHALLINOR, Andrew; CAMPBELL, Bruce; AGGARWAL, Pramod. "Climate change, agriculture and food security: a global partnership to link research and action for low-income agricultural producers and consumers". Elsevier B. V., 2012.