

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

Centro de Engenharias, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas

Curso de Pós-Graduação em Energia

Dissertação de Mestrado

Mariana Pedrosa Gonzalez

O Mito do Alto Custo

Uma comparação entre a Energia Solar Fotovoltaica e a Energia Nuclear

Santo André - SP

2010

MARIANA PEDROSA GONZALEZ

O Mito do Alto Custo

Uma comparação entre a Energia Solar Fotovoltaica e a Energia Nuclear

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Energia da Universidade Federal do ABC para a obtenção do título de mestre em Energia.

Área de concentração: Meio Ambiente e Sociedade

Orientador: Sérgio Henrique Ferreira de Oliveira

Coorientador: João Manoel Losada Moreira

Colaborador: João Wagner Alves

Santo André - SP

2010

ERRATA

Folha	Linha	Onde se lê	Leia-se
8	Nota de Rodapé 8	GEE: material particulado (MP); metano (CH ₄); dióxido de enxofre (SO ₂); óxidos de nitrogênio (NO _x); monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO ₂).	GEE: dióxido de carbono (CO ₂), metano (CH ₄), óxido nitroso (N ₂ O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF ₆).

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Universidade Federal do ABC.

GONZALEZ, Mariana Pedrosa

O mito do alto custo Uma comparação entre a Energia Solar Fotovoltaica e a Energia Nuclear / Mariana Pedrosa Gonzalez — Santo André: Universidade Federal do ABC, 2010.

Orientador: Sérgio Henrique Ferreira de Oliveira

Co-orientador: João Manoel Lousada Moreira

Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do ABC, Programa de Pós graduação em Energia, 2010.

1. Energia Solar fotovoltaica 2. Energia Nuclear 3. Planejamento Energético I. OLIVEIRA, Sérgio Henrique Ferreira de. II. MOREIRA, João Manoel Lousada. III. Programa de Pós graduação em Energia, 2010, IV. Título.

CDD 333.79



Programa de Pós-Graduação em Energia

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Santo André, 15 de outubro de 2010.

Ilustríssima Comissão de Pós-Graduação

Relatamos que, em 15 de outubro de 2010, realizou-se a **Defesa de Dissertação**, da Sra. Mariana Pedrosa Gonzalez, aluna da pós-graduação de Energia da UFABC, nível mestrado, com o título do trabalho: "O mito do alto custo. Uma comparação entre a energia solar fotovoltaica e a energia nuclear."

Abaixo o resultado de cada participante da Banca de Exame:

Nome do participante	Sigla da Unidade	Resultado
Sérgio Henrique Ferreira de Oliveira	UFABC	APROVADO
Sinclair Mallet Guy Guerra	UFABC	APROVADA
Paulo Marcos Noronha Serpa	Fundação Santo André	APROVADO
Federico Bernardino Morante Trigos	UFABC	
Ildo Luís Sauer	USP	

Resultado final: APROVADO

Assinaturas:

Sérgio Henrique Ferreira de Oliveira
Orientador

Sinclair Mallet Guy Guerra
Examinador

Paulo Marcos Noronha Serpa
Examinador

Federico Bernardino Morante Trigos

Suplente

Ildo Luís Sauer

Suplente

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, de acordo com as observações levantadas pela banca no dia da defesa, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

Santo André, 20 de outubro de 2010.

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Ao Sol.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à Universidade Federal do ABC, pela bolsa de estudo concedida e pela oportunidade de realizar o mestrado.

Ao meu orientador Sérgio Oliveira, cúmplice e amigo durante todo o desenvolvimento da pesquisa e cuja confiança e incentivo despertaram minha esperança pelo mundo. Ao meu coorientador, João Moreira, cuja contribuição foi importante para a conclusão desse projeto. Um agradecimento especial ao meu colaborador e grande amigo João Alves, meu primeiro mestre. Ao Prof. Joel Felipe, que participou no início dessa jornada e me trouxe um novo olhar sobre a pesquisa acadêmica e a importância de nossa contribuição para o mundo. Aos professores Hélio Silva, Arilson Favareto, Sinclair Guerra, Federico Morante e Gil Anderi, que ajudaram nas minhas decisões.

Ao Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB; ao Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL; a InterAcademy Council – IAC; à Eletrobrás; ao Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel; ao Ministério de Minas e Energia – MME; à Empresa de Pesquisa Energética – EPE; à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL; ao Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT; e a International Atomic Energy Agency – IAEA, meus agradecimentos por terem colocado a minha disposição livros e materiais que foram importantes para o desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço também a atenção recebida dos professores Jayme Hollanda, Dagoberto Lorenzetti, Ricardo Esparta e Guilherme Queiroz e do jornalista Milton Leal, do “Jornal da Energia”.

Aos amigos da Universidade, em especial, Anna, Renato, Natália, Emerson, Elaine, Patrícia, Ceará e Breitner e todos os outros que percorreram juntos a mesma jornada. Às famílias Pedrosa, Gonzalez e Camanho, em especial às mães Rejane e Lúcia e aos meus pais Pedro e Roberto, como também Arthur, Rafael, Thomaz, Fernanda, Emma e Thereza. Aos amigos: Ju, madrinha deste trabalho; Gabi, Ro, Bia, Beta, Dani, Cris, Guto, Kuba, Fábio, ao Fe e a Anna.

A Manoela, fonte de confiança e construção, e a Carol, fonte de inspiração.

Ao meu leal amigo e eterno companheiro Spike.

*“O mito é o nada que é tudo.
O mesmo sol que abre os céus
É um mito brilhante e mudo...”*

Fernando Pessoa (1934).

RESUMO

GONZALEZ, M. P. O Mito do Alto Custo. Uma Comparação entre a Energia Solar Fotovoltaica e a Energia Nuclear. 2010. 196 f. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Energia, Universidade Federal do ABC, Santo André, 2010.

À luz do desenvolvimento, buscou-se questionar o alto custo atribuído à tecnologia solar fotovoltaica e o que a escolha dessa energia representaria em comparação a outra fonte energética, no caso, a nuclear. As duas fontes em questão são consideradas tanto de baixa emissão de gás de efeito estufa para a matriz energética brasileira como potencialmente, estratégicas para o país. Esses motivos tornam interessante avaliá-las, dado que a relação entre energia e desenvolvimento implica no dimensionamento de questões econômicas, ambientais e sociais.

A energia solar fotovoltaica é uma fonte renovável, e durante anos foi apresentada como opção desfavorável por conta de seu alto custo, de sua baixa densidade energética e da aleatoriedade do recurso energético primário. Entretanto, nas experiências realizadas por outros países, como, por exemplo, pela Alemanha, foram observados resultados positivos com a apropriação dessa fonte energética.

A metodologia utilizada na presente pesquisa baseou-se em referências bibliográficas e na comparação entre as duas formas de geração de energia elétrica, suas vantagens e desvantagens, custos, potencialidades e em uma análise preliminar de seu ciclo de vida.

A longo prazo, um planejamento energético deve estar atento a todos os aspectos, mensuráveis ou não, presentes em uma fonte energética, e ao risco que se deseja correr por esse desenvolvimento, para que seja possível assim atender às múltiplas necessidades de um país e de seus cidadãos. A realização da pesquisa e o desenvolvimento do trabalho tornaram possível concluir que a tecnologia solar fotovoltaica pode ser estratégica para o país, tanto no modelo atual de desenvolvimento, quando se observa seu estímulo à economia, como do modelo sustentável, dado que contribui também para as esferas social e ambiental.

Palavras-chave: desenvolvimento, sustentabilidade, energia solar fotovoltaica, energia nuclear, planejamento energético, economia, meio ambiente e sociedade.

ABSTRACT

GONZALEZ, M. P. The Myth of High Cost. A Comparison between the Solar Photovoltaic and Nuclear Power. 2010. 196 f. Dissertation (Masters program). Programa de Pós-graduação em Energia, Universidade Federal do ABC, Santo André, 2010.

In light of development, questions on the high cost attributed to solar technology and what the choice for this energy represents in comparison to other energy source were sought. In this particular case, nuclear energy is the focus. The two sources in question are considered both of low emission greenhouse gas to the energetic system of Brazil and potentially strategic for the country. These subjects make the research interesting, since the relation between development and energy implies in measurements of economic, environment and social issues.

The photovoltaic solar energy is a renewable energy, and for many years was introduced as an unfavorable option because of its high cost, low energy density and random primary energetic resource. However, experiments in other countries, such as Germany, for example, show positive results with the appropriate use of this technology.

The methodology presented in this research was based on bibliographic references and the comparison between the two forms of power generation, their advantages and disadvantages, costs, capabilities and a preliminary analysis of life cycle.

In the long term, an energy planning should focus all aspects, measurable or not, present in an energy source, and the risk that we wish to run for such development, so that it could be possible to address the multiple needs of a country and its citizen. This research and the development of this work make it possible to conclude that solar technology could be strategic for the country, both in the current model of development given it stimulates the economy, and the sustainable model, given that it contributes to the social and environment aspects.

Key-words: development, sustainability, photovoltaic solar energy, nuclear energy, energy planning, economics, environment and society.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MODELO DE FLUXOGRAMA - ACV	54
FIGURA 2- CADEIA INTERIOR DE TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA SOLAR PARA A PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE	66
FIGURA 3- REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA RESIDÊNCIA.....	69
FIGURA 4- DESENHO REPRESENTATIVO DE UMA USINA NUCLEAR.	99
FIGURA 5- LOCALIZAÇÃO DAS USINAS NUCLEARES NO MUNDO.	102
FIGURA 6- LOCALIZAÇÃO DE ANGRA I, II E III	126
FIGURA 7- USINA INTERLAGOS.	135

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

TABELA 1 – ENERGIA ELÉTRICA	29
TABELA 2- EQUIVALÊNCIAS (RAZÃO ENTRE A EMISSÃO DE SP E BRASIL)	57
TABELA 3 - EMISSÕES DE GEE, EM 2005, DO BR E DE SP.....	58
TABELA 4- MATURIDADE, EFICIÊNCIA E <i>PAY-BACK</i> DOS MATERIAIS UTILIZADOS	67
TABELA 5- GERAÇÃO DE ENERGIA EM 2007, EM ORDEM DECRESCENTE.....	71
TABELA 6- PERICULOSIDADE E PROBLEMAS DECORRENTES POR TIPO DE MÓDULO E MATERIAL.	88
TABELA 7- QUANTIDADE DE ENERGIA GASTA NA RECICLAGEM DE ALGUNS MATERIAIS (TÉP/KG)	92
TABELA 8- RENTABILIDADE ENERGÉTICA.....	93
TABELA 9 - CADEIA INTERIOR DE TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR PARA A PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE.....	99
TABELA 10- CADEIA DE FORNECIMENTO DA ENERGIA NUCLEAR.....	101
TABELA 11- PREVISÃO DO AUMENTO DA CAPACIDADE INSTALADA EM ENERGIA NUCLEAR	103
TABELA 12- PREVISÃO DA IMPLANTAÇÃO DE USINAS NUCLEARES POR ANO	110
TABELA 13- CONSEQÜÊNCIA DO MAIS GRAVE ACIDENTE EM UM REATOR PWR	125
TABELA 14 MEIAS-VIDAS DE ALGUNS ISÓTOPOS EM ANOS/DIAS	130
TABELA 15- CADEIA DE FORNECIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	139
TABELA 16 PREÇOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS E PREVISÃO DE CUSTOS E PREÇOS FUTUROS	141
TABELA 17- INVESTIMENTOS ADICIONAIS PARA O TÉRMINO DA USINA NUCLEAR ANGRA III.....	147
TABELA 18- ORÇAMENTO PARA A CONCLUSÃO DA USINA NUCLEAR ANGRA III.....	147
TABELA 19- ERROS DE AVALIAÇÃO QUANDO SE FEZ O ACORDO NUCLEAR (1975).....	149
TABELA 20- COMPARAÇÃO ENTRE AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E DA ENERGIA NUCLEAR – MEIO AMBIENTE E SOCIEDADE	155
TABELA 21- COMPARAÇÃO ENTRE AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E DA ENERGIA NUCLEAR – ECONOMIA E ESTRATÉGIA	156
GRÁFICO 1 - ENERGIA COMERCIALIZADA NO MUNDO POR TIPO DE COMBUSTÍVEL	27
GRÁFICO 2 - PRODUÇÃO MUNDIAL DE ELETRICIDADE POR COMBUSTÍVEL.....	28
GRÁFICO 3 - ESTRUTURA DA OFERTA DE ELETRICIDADE POR FONTE DE GERAÇÃO NO BRASIL EM 2008.....	30
GRÁFICO 4- DISTRIBUIÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE, EM 2005, DO BR, COM DADOS PRELIMINARES	57
GRÁFICO 5 - PROVÁVEL DISTRIBUIÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE, NO ANO DE 2005, NO ESTADO DE SP, COM BASE NO INVENTÁRIO NACIONAL E NAS EQUIVALÊNCIAS CITADAS ACIMA.....	58
GRÁFICO 6- EMISSÃO DE GEE DAS CADEIAS DE ENERGIA SELECIONADAS.	60
GRÁFICO 7- ANÁLISE DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA A PARTIR DE CENTRAIS ELÉTRICAS CONVENCIONAIS E RENOVÁVEIS (GRAMAS EQUIVALENTES DE CO ₂ /KWH).	62
GRÁFICO 8- EFICIÊNCIA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	67
GRÁFICO 9- VOLUME TOTAL DE NEGÓCIOS POR FONTES RENOVÁVEIS NA ALEMANHA, 2008.	74
GRÁFICO 10- MÉDIA E INTERVALO DE MULTIPLICADORES DE EMPREGO DIRETO DE DEZ DIFERENTES TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS.....	83
GRÁFICO 11- EMPREGO DIRETO, INDIRETO E INDUZIDO POR ANO PARA USINAS COM POTÊNCIA DE 1500 MWE.....	111
GRÁFICO 12- DIAS DE INTERRUPÇÃO PARA O REABASTECIMENTO DAS USINAS NUCLEARES NOS EUA.	127
GRÁFICO 13- CUSTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	141

GRÁFICO 14– CUSTO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA	142
GRÁFICO 15– DIMINUIÇÃO DO CUSTO DO MÓDULO FOTOVOLTAICO ENTRE O PERÍODO 1975 – 2030	142
GRÁFICO 16– ACIDENTE COM FONTES DE ENERGIA – DANOS POR RECURSO, 1907 – 2007.....	150

LISTA DE SIGLAS

ABEN - Associação Brasileira de Energia Nuclear
ACCV – Análise do Custo do Ciclo de Vida
ACV – Análise do Ciclo de Vida
AIEA - Agencia Internacional de Energia Atômica
APM - Administração da Produção de Monazita
Bechtel - Corporação energética Bechtel
BFS - Escritório Federal para Proteção contra Radiação
BIPV – Building Integrated Photovoltaic
BMU – Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety
BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRIC - Brasil, Rússia, Índia e China
BWR – Boiling Water Reactor, reatores de água fervente
CB-Solar – Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica/ PUC/RS.
CBTN - Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear
CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CNAAA - Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto
CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear
CTMSP - Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo
ECCS – Sistema que provê a refrigeração de emergência do núcleo do reator
EEG - Erneuerbare Energie Gesetz - Lei de Energia Renovável
EIA – International Energy Outlook
ENU – Evento não usual
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
Euratom - Comunidade Européia da Energia Atômica
FUSP - Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo
GCC - Gulf Cooperation Council - Bahrain, Kuwait, Omã, Arábia Saudita, Emirados Árabes, Qatar.
GDP - GDP real é utilizado como medida para o crescimento econômico (variação positiva da produção econômica).
GEE - Gases de Efeito Estufa
GTES – Grupo de Trabalho de Energia Solar
HLW - High Level Waste
IEN - Instituto de Engenharia Nuclear
IIASA - International Institute for Applied Systems Analysis

ILW - Intermediate Level Waste
IME – Instituto Militar de Engenharia.
INB - Indústrias Nucleares do Brasil
INES - Escala internacional de eventos nucleares
INL - Laboratório Nacional Idaho
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial
IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
LABSOLAR - Laboratório de Energia Solar/ UFSC.
LLW - Low Level Waste
LNT - Linear Non-Threshold
N-11 – Next 11 - Bangladesh, Egito, Indonésia, Irã, Coréia, México, Nigéria, Paquistão, Filipinas, Turquia e Vietnã
NRC - Nuclear Regulatory Commission
NUCLEMON - Nuclebras Monazita
Nuclen - Nuclebrás Engenharia
Nuclep - Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A
OMS - Organización Mundial de La Salud
PHWR - Pressurized Heavy Water Reactor
PIB – Produto Interno Bruto
PWR - Pressurizer Water Reactor, reator à água pressurizada
RNL – Renda Nacional Líquida
SCRAM – Sistema que apaga o reator através da inserção de barras de cádmio e água borada
SVTC - Silicon Valley Toxics Coalition
SWU - Unidades de trabalho
TMI - Three Mile Island
UNCED - United Nations Conference on Environment and Development
USAM - Usina Santo Amaro
Usin – Usina Interlagos
WEC – World Energy Council

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	1
INTRODUÇÃO	5
OBJETIVO	14
MOTIVAÇÃO	15
METODOLOGIA	17
JUSTIFICATIVAS	18
ECONÔMICA	18
AMBIENTAL	19
SOCIAL	22
TECNOLÓGICA.....	23
CAPITULO I ENERGIA E DESENVOLVIMENTO	24
1.1 HISTÓRIA & PERSPECTIVA DE DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO MUNDIAL	24
1.2 PLANEJAMENTO ENERGÉTICO DO BRASIL	29
1.3 DESENVOLVIMENTO	31
1.3.1 <i>Transição entre modelos de desenvolvimento</i>	38
1.3.2 <i>Desenvolvimento Sustentável</i>	40
1.4 SUSTENTABILIDADE	44
1.4.1 <i>Economia neoclássica versus economia ecológica</i>	47
1.4.2 <i>Externalidade</i>	50
1.5 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA – ACV	54
CAPITULO II: ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	63
2.1 ESTADO DA ARTE	63
2.1.1 <i>Edifícios fotovoltaicos conectados à rede</i>	69
2.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA NO MUNDO	71
2.2.1 <i>Caso Alemanha</i>	72
2.3 ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL	75
2.4 POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	77
2.4.1 <i>Recursos naturais</i>	77
2.4.2 <i>Geração de emprego e renda</i>	79
2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	84
2.5.1 <i>Economia e estratégia</i>	84
<i>Indústria</i>	85
<i>Social e ambiental</i>	86
<i>Mineração</i>	89
<i>Reciclagem</i>	90
<i>Rentabilidade energética</i>	92
2.6 OUTROS ASPECTOS E BARREIRAS	94
CAPÍTULO III ENERGIA NUCLEAR	97
3.1 ESTADO DA ARTE	97
3.2 ENERGIA NUCLEAR NO MUNDO	101
3.2.1 <i>Caso Alemanha</i>	103
3.3 ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL	106
3.4 POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR	107
3.4.1 <i>Recursos naturais</i>	107
3.4.2 <i>Geração de emprego e renda</i>	109
3.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ENERGIA NUCLEAR	111
3.5.1 <i>Economia e estratégia</i>	111
3.5.2 <i>Social e ambiental</i>	115
<i>Mineração</i>	116
<i>Rejeitos</i>	120

<i>Reciclagem do combustível nuclear</i>	122
3.6 OUTROS ASPECTOS E BARREIRAS	123
<i>Acidentes e Armas Nucleares</i>	123
<i>Segurança e Medidas Preventivas</i>	129
<i>Usina Santo Amaro (USAM)</i>	133
CAPITULO IV O MITO	137
4.1 CUSTO E PREÇO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	137
4.2 CUSTO E PREÇO DA ENERGIA NUCLEAR.....	145
<i>Descomissionamento</i>	150
4.3 MODELOS DE DESENVOLVIMENTO E TECNOLOGIAS	151
4.4. VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS TECNOLOGIAS	154
4.5 POTENCIAL DE GERAÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E DA ENERGIA NUCLEAR	158
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	160
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	164
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	165
TRABALHOS PUBLICADOS DURANTE O MESTRADO	176
ANEXO I - FLUXOGRAMA DA ENERGIA NUCLEAR - PRESSURIZER WATER REACTOR (PWR)	177
ANEXO II - FLUXOGRAMA DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	179

APRESENTAÇÃO

Face ao esquema evolucionista, o homem moderno é regido pelo projeto de dominar o mundo (AKOUN, 1972) e, ao mesmo tempo, salvá-lo. Por sua vez, direcionado em prol da economia, esse mesmo homem busca garantir sua sobrevivência e atender às demandas da humanidade.

E mesmo que sua busca seja favorável ao desenvolvimento, enquanto a ciência aponta caminhos para os aspectos social, econômico, ambiental e tecnológico, o espaço e o tempo vão, durante a história, se transformando e modificando as necessidades e oportunidades existentes. Essa mudança pode ser observada através da evolução das fontes energéticas e da crescente demanda por elas. Deve-se, portanto, estar atento às chances de se fazer melhores escolhas, de acordo com o que se deseja para o futuro.

Inserido nesse contexto, o mito, que é uma história contada, mas que representa mais que um conto, é uma realidade vivenciada, afirma a fé do homem perante à vida (AKOUN, 1972). Ele afirma também a crença naquilo que pode ser realizado em face dos problemas que advêm das ordens econômica, ambiental e social. O mito determina um enorme número de comportamentos e de relações. Sua essência é conferir estabilidade às ordens natural e social e manter a coesão do grupo, assegurando-lhe ao mesmo tempo segurança (AKOUN, 1972).

Por essas razões, torna-se imprescindível a desconstrução de alguns mitos para que novas verdades surjam e para que, de acordo com as necessidades atuais, novos comportamentos e diferentes escolhas possam ser implementados. “O mito de hoje é a expressão racional de uma representação dinâmica do mundo e as ideologias políticas contêm grande dose de mito” (BIROU, 1982).

Alguns autores já fizeram uso do termo “mito” para a discussão energética diante de temas como desenvolvimento, energia e economia. Dupas (2007), por exemplo, mostra em seu trabalho o mito sobre o progresso. Para desconstruir esse discurso, o autor analisa a quem o progresso serve, assim como os riscos e custos de natureza social e ambiental que ele acarreta. Georgescu (2005) apresenta, em “Energia e Mitos Econômicos”, uma tentativa de desmistificar a ligação entre desenvolvimento e crescimento. Ele mostra também como o homem idealiza e sempre está em condições de encontrar novas fontes de energia e de

recursos naturais para seu benefício. Cavalcanti (2003), por sua vez, trouxe à tona a discussão sobre o livro “O Mito do Desenvolvimento Econômico”, de autoria de Celso Furtado, que discute, em sua primeira parte, os impactos do processo econômico sobre o meio físico, ou seja, sobre a natureza, e, na segunda parte, analisa o mito sobre o desenvolvimento. Foi refletindo sobre esses dados que se propôs, como desafio para essa dissertação de mestrado, organizar uma leitura crítica sobre o alto custo atribuído à energia solar fotovoltaica e como esse contexto deve ser desmistificado.

Em um primeiro momento, a discussão se embasa na falta de competitividade da tecnologia solar, considerando-se os moldes do desenvolvimento atual. Isso porque o modelo econômico incentiva ferozmente o consumo, adentrando todos os ramos da vida social através de símbolos utilizados na venda de produtos¹, como, por exemplo, beleza, status e poder. “Desde a escola até os meios de comunicação de massa, os valores, os modos de comportamento e o estilo de vida dos que detêm o poder são apresentados como o único modelo válido” (OLIVEIRA e OLIVEIRA apud BÔA NOVA, 1985).

E para a realização de tal propósito, paga-se o preço que for quando faz sentido para o capital. “A tônica dominante é a do consumismo compulsivo e do desperdício sistemático, que não se destinam a atender às necessidades da população, mas às do grande capital.” (BÔA NOVA, 1985). Nesse caso, portanto, o custo da tecnologia não seria um obstáculo.

Sob outra perspectiva, sabe-se que os serviços que a fonte solar possui são discutidos há anos, mas, no entanto, a macroeconomia não contabiliza seus aspectos qualitativos, entre os quais a possível descentralização da geração de energia elétrica e por se tratar de uma fonte renovável.

A proposta, portanto, é realizar um levantamento dos benefícios não-mensuráveis advindos dessa fonte, levando-se em conta outro modelo de desenvolvimento e planejamento. Propõe-se fazer isso com a tentativa de se observar a contribuição positiva que as fontes renováveis podem representar para a estrutura econômica, social e ambiental de um país, mesmo que seu

¹ No sistema capitalista faz-se preciso abrir novos mercados, fomentar novos hábitos de consumo, suscitar novas “necessidades”, estabelecer novas maneiras de satisfazer as necessidades já existentes. (Oliveira e Oliveira apud Bôa Nova, 1985).

preço inicialmente seja mais elevado se comparado com o de outra tecnologia, que, nesta pesquisa, é a nuclear.

Discute-se na Introdução deste trabalho, a importância de se avaliar o modelo de planejamento energético que torne possível a opção por uma tecnologia que possa contribuir no atendimento da crescente demanda de energia elétrica, e de forma sustentável. É feita também nessa parte introdutória uma primeira caracterização das fontes solar fotovoltaica e nuclear.

No capítulo I, cujo título é “Energia e Desenvolvimento”, o eixo teórico é representado, inicialmente, pelo Plano Nacional de Energia 2030, realizado pelo Ministério de Minas e Energia. Traz-se à tona as perspectivas mundiais e informações sobre a trajetória de algumas fontes energéticas no período histórico imediatamente após a Revolução Industrial. Posteriormente, discutem-se o modelo de desenvolvimento atual e o modelo desejado do desenvolvimento sustentável. A discussão fundamenta-se também no contexto da sustentabilidade e no confronto entre a economia neoclássica e a ecológica. Por fim, é apresentado o conceito de externalidade e uma análise preliminar do ciclo de vida das duas tecnologias pesquisadas.

No capítulo II, intitulado “Energia Solar Fotovoltaica”, é apresentado o estado da arte dessa tecnologia, sua atuação no mundo, mais especificamente na Alemanha, por ser a atual líder do mercado de sistemas conectados à rede. São apresentadas também as perspectivas para sua utilização no Brasil. Este capítulo aborda também a potencialidade dessa tecnologia no que diz respeito aos recursos naturais disponíveis, geração de emprego e renda, geração de resíduos, impactos ambientais, suas vantagens e desvantagens para a economia e para a estratégia do país, como também meio ambiente e sociedade.

No capítulo III, cujo título é “Energia Nuclear”, observa-se a mesma estrutura de tópicos adotada no capítulo anterior. O estado da arte dessa tecnologia, sua atuação no mundo, mais especificamente na Alemanha, por ter instituído o desligamento das usinas conforme sua vida operacional, meta esta que permanece em espera por conta do novo governo, e as perspectivas de utilização dessa tecnologia no Brasil. Aponta-se, nesse capítulo, para a potencialidade dessa tecnologia no que diz respeito aos recursos naturais disponíveis; geração de emprego e

renda; geração de resíduos e impactos ambientais, como também suas vantagens e desvantagens.

O capítulo IV, intitulado “O Mito” é apresentado nos dois primeiros tópicos o custo e preço de ambas as tecnologias. Em seguida discute-se os temas anteriormente apresentados contrapondo seus principais pontos, as vantagens e desvantagens, os modelos de desenvolvimento abordados e sua representação diante as tecnologias pesquisadas e as potencialidades.

A última parte da dissertação apresenta as conclusões e sugestões para futuras discussões.

INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis, carvão, petróleo e gás foram fontes importantes para o progresso técnico do século XX, pois 80% das fontes energéticas no mundo provêm desses recursos. (GOLDEMBERG e LUCON, 2008). Mas, segundo os mesmos autores, por diversas razões essas opções não puderam manter-se como fontes hegemônicas, por se tratar de reservas finitas e cujo acesso exige a superação de problemas geopolíticos. Além disso, existe, como se sabe, uma dependência crescente dos EUA em relação ao petróleo importado e o aumento de seu consumo na China e em outros países em desenvolvimento, como o Brasil.

Em relação à recente descoberta do pré-sal no Brasil, segundo Sachs (2009) a única vantagem é que o país passa a contar com uma nova fonte de petróleo, embora de difícil manejo e com alto custo de exploração. E, ainda segundo o autor, uma opção seria, em vez de utilizar esse petróleo para queima de combustível, reservá-lo para fins químicos e petroquímicos, que são seus usos mais nobres.

Segundo Lawson et al., (2006), a motivação pela maior dependência da energia hidrelétrica e de outras renováveis coincide com o momento em que se evidencia o aumento dos preços dos combustíveis fósseis e em que o aquecimento global ganha uma repercussão irremediável, por conta da concentração das emissões dos gases de efeito estufa.

Segundo Lawson e Dragusanu (2008), a projeção realizada para 2003 – 2030 é que dobrará o consumo da energia obtida através das fontes renováveis. Alguns países, como a Alemanha, Espanha e Japão, inseriram em suas respectivas matrizes a tecnologia fotovoltaica e, segundo BMU (2009), esta experiência comprovou-se efetivamente positiva, entre outros, pelos seguintes aspectos: por ter promovido o aquecimento do mercado industrial, minimizado os impactos ambientais e estimulado a geração de emprego. A Alemanha hoje é líder em sistemas fotovoltaicos conectados à rede e possui a maior planta fotovoltaica do mundo (*Gut Erlasse*, com 12 MW de capacidade, gerando 14 GWh/ano) (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

No Brasil, a oferta interna de energia elétrica apresentou um aumento de cerca de 5% em 2007, totalizando 482,6 TWh. Deste montante, quase 90%, ou 433,0 TWh, são provenientes de fontes renováveis de energia (EPE, 2008). Mesmo assim, a previsão acerca da expansão

térmica no Brasil, quando do esgotamento do potencial hidrelétrico aproveitável após 2020, é que ela deverá ser fundamentalmente baseada em uma combinação de geração a carvão com a geração nuclear e complementada pela geração a gás (BRASIL, 2007).

Contudo, os Planos Nacional 2030 e o Decenal 2007-2016 (BRASIL, 2008 e BRASIL, 2008, vol. 1), ao discutirem a importância das fontes renováveis e limpas² por parte da oferta, incentivam a instalação de novas usinas nucleares e a criação de um parque industrial de sistemas fotovoltaicos. E, por parte da demanda, incentivam a maximização da racionalização e a eficiência energética³, e, como justificativa, questionam a capacidade de suporte do meio ambiente⁴. Em decorrência de todos esses aspectos, prevê-se um melhor aproveitamento dos recursos naturais e o gerenciamento dos resíduos produzidos.

O objetivo prioritário, portanto, é a busca simultânea do desenvolvimento econômico e da preservação ambiental, por meio de medidas restritivas que abrangem todas as atividades que contribuem, direta ou indiretamente, para o aquecimento global (BRASIL, 2008, vol. 1).

Mesmo assim, no Plano Decenal de Expansão de Energia, percebe-se que a atenção é mais contundente para a tecnologia nuclear do que para a energia solar fotovoltaica. Isso porque é pouca ainda a consideração que se tem pelo uso da energia solar na matriz energética brasileira e, por conta disso, ainda não existem incentivos, normas e regulamentos que estimulem a abertura de mercado para a disseminação e conseqüente desenvolvimento dessa forma de geração de eletricidade. Segundo Oliveira (2002), isso ocorre porque a escolha prioriza o custo da tecnologia solar e a aleatoriedade do recurso energético primário.

No Brasil, o aumento da demanda por energia é incentivado pelo crescimento econômico e pelo aumento da população e o ingresso de outros não contemplados e que passam a ser consumidores. Nos próximos dois anos, segundo o Plano Decenal 2007-2016, o crescimento econômico nos países emergentes deve continuar acima de 6% (BRASIL, 2008, vol.1). Portanto, para ser possível acompanhar esse aumento e ampliar a matriz energética com

² Energia Limpa é a fonte energética que não libera ou libera poucos gases ou resíduos que contribuam para o aquecimento global, em sua produção ou consumo.

³ Vantagens da eficiência energética: custo da economia de energia é inferior ao da geração; segurança no fornecimento enquanto poupam-se recursos finitos; ganhos micro e macroeconômicos com o aumento da produtividade e de competitividade industrial; aumento da disponibilidade de acesso à energia e redução dos impactos ambientais, como a emissão de gases poluentes e de efeito estufa. (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

⁴ Capacidade de suporte do meio é basicamente a capacidade natural de assimilar o impacto causado por um agente agressor. (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

eficiência, para que toda a população brasileira possa ter acesso à energia elétrica, é necessário que se reduzam os impactos ambientais decorrentes da intensificação do uso dos recursos naturais. É necessário ainda um planejamento que avalie as opções energéticas e que atenda às necessidades econômica, ambiental e social, promovendo-se o desenvolvimento sustentável do país.

Como argumenta o Ministério de Minas e Energia no Plano Decenal de Energia, o desenvolvimento tecnológico contribui para a superação dos desafios ligados a um abastecimento energético confiável, eficiente, seguro, ambiental e economicamente aceitável, benéfico para a sociedade e para a competitividade dos setores industrial, comercial e de serviços. A escolha por uma tecnologia, segundo o relatório, deve ser por aquela que oferece “qualidade superior, mesmo a custos eventualmente mais elevados, isso porque pode levar a uma mudança drástica no estilo de vida e na forma do uso de energia pela população” (BRASIL, 2008, vol. 1).

De acordo com Goldemberg e Lucon (2008), a inserção de uma tecnologia no mercado é resultado de uma combinação complexa da disponibilidade de fontes competidoras de energia, da conveniência do seu uso e da economia. E um dos critérios que deve orientar sua escolha é, geralmente, sua avaliação pelo custo⁵. Com base nesse critério, os recursos não-renováveis, porém mais baratos e amplamente conhecidos, são geralmente a opção escolhida.

Entretanto, devido à economia de escala, sabe-se que os preços caem à medida que as vendas aumentam, de acordo com “curvas de aprendizado⁶”. Para Goldemberg e Lucon (2008), algumas propostas para o crescimento e o desenvolvimento acelerado de uma tecnologia são: 1) compras em grande escala com subsídios governamentais, abatendo-se parte dos custos; 2) contratos de fornecimento com tarifas favoráveis; e 3) legislações mandatórias como os códigos de edificações. A implementação dessas propostas se faz necessária para que exista estímulo para a redução dos preços e à pesquisa e desenvolvimento. Também para Goldemberg e Lucon (2008), existe dificuldade em estimar com precisão os danos causados pelas várias fontes de energia à saúde humana e ao meio ambiente. Para tanto, uma tentativa

⁵ Os custos energéticos não refletem o custo total da energia, tanto por embutir diversos subsídios quanto por não incluir as externalidades, ambos pagos por toda a sociedade. (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

⁶ Uma tecnologia pode ser estimulada por políticas adequadas, o que inclui subsídios e subvenções, tornando-a competitiva com tecnologias convencionais através de ganhos de escala. (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

que se apresenta é a inserção dos créditos de carbono. A respeito disso o artigo “Perguntas Frequentes sobre o Mercado e Carbono” contém a seguinte consideração:

A redução de uma unidade de GEEs emitida ou “sequestrada” da atmosfera por uma empresa situada em um país em desenvolvimento poderá ser negociada no mercado mundial com os países industrializados que precisam desses “créditos” para cumprirem suas metas junto ao Protocolo (BM&F, [S.d]).

Os créditos de carbono⁷ têm apenas a função de reduzir o custo do cumprimento das metas dos países do Anexo I, do Protocolo de Quioto. Esses créditos, portanto, não contribuem para a redução das emissões porque cada certificado emitido autoriza uma emissão de GEE equivalente pelo país comprador. Eles auxiliam, sim, a implementação do desenvolvimento sustentável, mas não necessariamente no que concerne à redução das emissões de GEE⁸. O custo é, efetivamente, transferido de um país para o outro, mas a emissão não é evitada. Os únicos que estão evitando emissões são os países desenvolvidos, aqueles do Anexo I do Protocolo de Quioto. Para se evitar, é necessário desenvolver tecnologias de baixo carbono, como, por exemplo, a fonte solar fotovoltaica e a nuclear, pois, desse modo, se evitam as emissões sem transferir os direitos para que outro país possa continuar emitindo-as.

Implica um desafio considerável encontrar variáveis sociais e ambientais e demonstrar seu efeito na economia. Dessa maneira, a tentativa de atribuir força a esses diversos atores torna-se mais que necessária para que se produza um planejamento energético eficiente.

Outro aspecto relacionado ao planejamento energético e à escolha de uma fonte energética é o fator da capacidade energética. A preocupação, segundo Bôa Nova (1985), consiste em se avaliar as quantidades de energia obtidas por uma tecnologia com a finalidade de se atender à demanda. Ainda segundo este autor, a projeção entre o aumento da demanda e uma melhor oferta que torne exequível esse crescimento nunca é discutida. Um indício disto, segundo Bôa Nova, é a mínima ação de medidas, como a conservação de energia e outras que se voltam para a eficiência energética, o que deveria anteceder a inserção de novas fontes de energia, nas residências, na indústria, no setor de transportes, entre outros.

⁷ Créditos de Carbono: nome dado às quantidades certificadas de emissões evitadas em projetos desenvolvidos dentro das regras do Artigo 12 do Protocolo de Quioto, o MDL. (Informação fornecida por João Alves, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2010).

⁸ GEE: material particulado (MP); metano (CH₄); dióxido de enxofre (SO₂); óxidos de nitrogênio (NO_x); monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂) (IPCC, 2006).

Milton Santos (2001) afirma que é ilusório acreditar que somente o aumento da oferta de energia pode permitir o acesso da energia elétrica a toda população. Gerar riqueza no país, segundo o autor, parece acertar um ou outro ponto do problema, mas não se consegue de fato ainda atender todos os requisitos para um real desenvolvimento. Ele reconhece que tem muito ainda a ser feito para que efetivamente ocorra o desenvolvimento econômico e social do país. E assegura: “Uma mudança na estrutura política, cultural e social seria um novo início, para novas ações” (SANTOS, 2001).

Por sua vez, para o Ministério de Minas e Energia, a conservação de energia através de uma mudança na forma do seu uso pela população é um dos paradigmas mais difíceis de serem quebrados no contexto de vida que se vive hoje. A influência do modelo norteamericano de vida, que se orienta pelo consumo exacerbado, pela presença constante de inúmeras novidades no mercado, o que estimula a troca constante de bens por outros mais modernos, atua como obstáculo para que seja possível concretizar a passagem do desenvolvimento atual para outro mais sustentável.

Bôa Nova faz, em seu livro, uma crítica sobre a idéia da necessidade que os países em desenvolvimento têm de percorrer o mesmo trajeto que os países desenvolvidos trilharam. Sugere que se deve repensar essa conduta diante do aumento tanto da desigualdade social como dos impactos ambientais. “As perspectivas energéticas mundiais costumam estabelecer o mesmo tipo de itinerário para todos os países. Existe uma visão linear que se refere à demanda energética e também ao processo de desenvolvimento”(BÔA NOVA, 1985).

O paradigma, portanto, consiste na reprodução do modelo econômico neoclássico⁹. No âmbito desse modelo, a tecnologia é utilizada como alicerce para atender às crises econômicas e aos problemas decorrentes dos recursos escassos e do uso irracional das matérias-primas. Nesse contexto, não existe escassez de recursos, a tecnologia é o caminho para alcançar o objetivo desejado: o maior consumo e o fomento à economia.

Encontra-se em ação, portanto, um modelo socioeconômico que incentiva o consumo e seu aumento, e não se apropria plenamente de medidas como conservação e eficiência, enquanto,

⁹ Economia neoclássica – tentativa de incorporação da problemática ambiental e de critérios de sustentabilidade por parte do *mainstream* econômico. (ANDRADE, 2008)

paralelamente, a sociedade, com reduzida consciência ecológica, não faz autocrítica e continua a aumentar seu poder de compra, incentivada pelo crescimento econômico.

Por outro lado, o Ministério de Minas e Energia, propõe que o caminho da eficiência energética e dos recursos renováveis pode estimular a população a repensar seu comportamento na sociedade e a ampliar sua consciência ambiental.

Nesse contexto o modelo econômico-ecológico¹⁰ critica a economia neoclássica quando aponta as dificuldades que o homem futuramente enfrentará, em consequência da forma como usufrui dos recursos naturais e da falta de gerenciamento dos resíduos produzidos. Os recursos naturais, por serem finitos, devem ser utilizados com precaução e com compromisso com as gerações futuras. Além disso, a redução de recursos naturais pode comprometer a resiliência de um ecossistema.

Ainda assim, a escolha de outras alternativas, ainda de acordo com o relatório do Ministério de Minas e Energia, depende de fatores como disponibilidade de recursos, preços das fontes energéticas, definições regulatórias, restrições institucionais e custos das tecnologias. Portanto, da leitura do Plano Decenal de Energia depreende-se que a avaliação do custo é importante na escolha de uma tecnologia, mas não é, contudo, o fator primordial.

Para que na elaboração desse trabalho se pudesse contar com um parâmetro no qual fosse possível estabelecer correspondências ou comparações entre as vantagens e desvantagens de diferentes fontes energéticas, foi realizada uma pesquisa entre a energia nuclear, fonte não-renovável e considerada de baixa emissão de gás de efeito estufa, e a energia solar fotovoltaica, fonte renovável e também considerada de baixa emissão de gás de efeito estufa.

A escolha dessas duas tecnologias foi realizada principalmente pelo fato de ambas apresentarem diversas possibilidades estratégicas para o país, podendo ser incluídas na matriz quando o atual contexto ambiental requisita fontes com baixa emissão de gases de efeito estufa. Outro fator motivador para essa escolha foi a possibilidade de se contar com o exemplo da Alemanha. Como já foi apresentado, trata-se de um país que possui experiência

¹⁰ Economia ecológica – corrente ainda não-influente no pensamento econômico que tenta ampliar o escopo da análise dos problemas ambientais, reivindicando a contribuição de outras disciplinas com o objetivo geral de apresentar uma visão sistêmica sobre a relação meio ambiente – economia. (ANDRADE, 2008)

em ambas as tecnologias, onde existe atualmente um movimento que reivindica o descomissionamento das usinas nucleares e ao mesmo tempo apresenta um forte comprometimento com as fontes renováveis e, principalmente com a inserção da energia solar fotovoltaica na matriz energética, aspectos estes que contribuíram para a comparação e avaliação.

A proposta, portanto, não será apenas a avaliação de uma fonte energética que incentive somente o crescimento econômico. Mas analisar outros aspectos ligados a cada uma delas, como, por exemplo, a possibilidade de gerar empregos e de causar impactos ambientais menos significativos. E essas condições devem exercer influência na escolha das fontes a serem inseridas na matriz energética brasileira e no desenvolvimento do planejamento energético.

O Brasil possui duas usinas nucleares em funcionamento, localizadas em Angra dos Reis, RJ, que juntas operam com uma potência de 2007 MWe. (Angra I – 657 MWe e Angra II – 1350 MWe). O acordo de cooperação nos Usos Pacíficos da Energia Nuclear estabelecido com a Alemanha em 1975 e o programa de desenvolvimento autônomo realizado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e o Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP) permitiram ao Brasil dominar as tecnologias de projeto e de construção de usinas nucleares, e também o ciclo completo de enriquecimento do combustível nuclear (BRASIL, 2007). Em 1982, iniciou-se o processo de licitação para as obras de Angra III e a preparação do local para sua construção. Entretanto, segundo o relatório do Ministério de Minas e Energia, 2007, devido às restrições orçamentárias e à oposição de grupos ambientalistas, a obra foi paralisada ainda na década de 80. Passados mais de vinte anos, as obras se reiniciaram no final de 2009, mesmo não sendo a fonte energética mais barata. Foi definido que, em 2013, Angra III inicie suas atividades.

O Plano 2030 realizado pelo Ministério de Minas e Energia recomenda a construção de mais usinas nucleares. O governo tem a intenção de implantar até oito novas usinas entre 2010 e 2034, sendo que quatro já estão previstas para serem instaladas nas regiões Sudeste e Nordeste do país. Essa fonte de energia, considerada limpa e detentora de alta densidade energética, é uma das opções que desperta interesse do setor energético e governamental. A dificuldade, entretanto, são suas desvantagens, como, por exemplo, os rejeitos radioativos com tempo de vida longo e a possibilidade de ocorrer um acidente de graves consequências.

Em relação aos resíduos produzidos, a CNEN tem como tarefa futura apresentar o cronograma físico-financeiro de dois projetos de depósitos de rejeitos nucleares: o depósito definitivo de armazenamento de rejeitos de média e baixa atividades, para 2018, e a criação do depósito de armazenamento de 500 anos. Por enquanto, segundo o IBGE (2008), os rejeitos radioativos produzidos no país são armazenados, temporariamente, no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), em São Paulo; no Instituto de Energia Nuclear – IEN, no Rio de Janeiro; e no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), em Minas Gerais, todos ligados à CNEN e às Usinas de Angra I e II. Desse modo diminuirá suficientemente o calor emitido pelos resíduos radioativos, os quais, depois, serão encaminhados a outros tipos de depósitos ou serem reciclados.

O fato de o Brasil possuir uma das maiores reservas mundiais de combustível nuclear, o urânio, e a possibilidade de dar continuidade a projetos que levem ao domínio tecnológico o ciclo de produção de energia elétrica de origem nuclear são considerados aspectos estratégicos que motivam a esta opção. Tem-se buscado colaboração entre os países na área da geração termonuclear visando às seguintes perspectivas: ampliar a vida útil das plantas; à confiabilidade e a flexibilidade operacionais com alta disponibilidade; promover a diminuição das paradas não-programadas e do tempo das paradas para manutenção e reposição do combustível; estender o ciclo da queima do combustível (de 12 meses para 24) e o aumento da segurança (BRASIL, 2007).

Em relação à energia solar fotovoltaica, sabe-se que a indústria fotovoltaica internacional está em crescimento a taxas de 40% ao ano (BRASIL, 2008). Por sua vez, o Brasil possui potencial para o uso da energia solar. É o maior exportador mundial de silício grau metalúrgico, possui uma das maiores reservas mundiais de silício e se destaca pela quantidade de radiação solar durante o ano. E de acordo com o Plano Nacional 2030:

O Brasil tem duas oportunidades únicas para a sua inserção no mercado internacional: a primeira é aproveitar o programa de universalização como esteio inicial para fomentar no País a criação de um parque industrial competitivo de sistemas fotovoltaico, capaz de disputar esse mercado e a segunda é fomentar no Brasil a instalação de indústrias de beneficiamento do silício metalúrgico para alcançar o grau de pureza solar (BRASIL, 2007).

Além disso, os resíduos como vidro, alumínio e material semicondutor, no final de sua vida útil podem ser encaminhados para a reciclagem e reaproveitamento.

O Projeto de Lei nº 630, de 2003, que tramita na Câmara dos Deputados, estabelece o marco regulatório de energias renováveis que incentiva à microgeração, mas tal determinação ainda precisa ser votada no Senado e regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. No final de 2009, o Núcleo Tecnológico de Energia Solar, vinculado à Pontifícia Universidade Católica – PUC, campus do Rio Grande do Sul, apresentou tecnologia de fabricação de módulos fotovoltaicos. Essas iniciativas fortalecem a possibilidade de inserção dessa fonte energética no país e demonstram também existir incentivo e disposição, por parte dos formadores de opinião, para a pesquisa e desenvolvimento da tecnologia.

Assim, a questão principal escolhida para ser discutida nesse trabalho é a atribuição dada ao alto custo da energia solar fotovoltaica. “A maior dificuldade para a utilização dos sistemas fotovoltaicos no Brasil reside no custo das células fotovoltaicas” (BRASIL, 2008). E tentar desmistificar essa narrativa diante de outro modelo de desenvolvimento, o sustentável, tal como se acordou na Conferência Rio-92. Sua avaliação deve orientar-se por critérios não só econômicos, como também sociais e ambientais, os quais, ao serem tratados *a priori*, repercutem em questões econômicas e na sustentabilidade do país.

OBJETIVO

Objetivo Geral

- Desconstruir o mito do alto custo da energia solar fotovoltaica em prol do planejamento da expansão da matriz: discussões acerca do modelo atual de desenvolvimento.

Objetivos Específicos

- Identificar vantagens e desvantagens da energia solar fotovoltaica e da nuclear.
- Avaliar diferentes tipos de desenvolvimento, suas dificuldades e necessidades.
- Diferenciar as fontes de geração avaliadas em face do desenvolvimento que se deseja.
- Identificar nas duas tecnologias as potencialidades no que diz respeito aos recursos naturais e à geração de emprego.

MOTIVAÇÃO

Devido ao constante aumento no consumo de energia elétrica e da necessidade de se minimizar os impactos ambientais, se torna importante planejar com eficiência a matriz energética brasileira. Dessa forma, acredita-se, ser possível proteger a população, os direitos sociais e o meio ambiente, conforme dispõem a Constituição Federal quando trata dos Direitos e Garantias Fundamentais¹¹, e a Ordem Social¹², respectivamente (BRASIL, 2004).

Apesar de as duas fontes de energia pesquisadas serem distintas quanto às formas de geração, na ordem de grandeza dos sistemas instalados, na disparidade do tempo de entrega de energia elétrica, densidades energéticas e custos, ambas são consideradas fontes de baixa emissão de GEE e com grande potencialidade estratégica para o país. Primeiro porque o país é um dos maiores detentores tanto de reserva de urânio quanto de silício, tem-se também o conhecimento sobre o ciclo completo do combustível nuclear, e agora também da fabricação de células fotovoltaicas em escala laboratorial. E também são tecnologias possíveis a serem utilizadas para ampliar a diversificação da matriz energética.

Embora a primeira usina nuclear brasileira tenha iniciado sua operação em 1984, a tecnologia nuclear, por ter pequena participação na matriz energética do país, ainda pode ser considerada uma tecnologia emergente. Dessa forma, se a energia nuclear pode ser estratégica, e tem sido trabalhada para entrar no mercado, assim também pode ser com a energia solar fotovoltaica. Além disso, o interesse em relação a energia nuclear foi retomado, conforme Adamantiades e Kessides (2009) apontam, por conta das seguintes motivações: volatilidade dos preços dos combustíveis fósseis, a preocupação com a segurança energética e a mudança climática. Essas motivações, contudo, demonstram abrir caminho também para a fonte solar.

Além disso, as duas tecnologias estudadas atuam de forma distinta quando se consideram distintos modelos de desenvolvimento e, além disso, possuem especificidades com relação a custos e contabilização de ganhos e limitação nas esferas econômica, ambiental e social.

¹¹Art. 6º Dos Direitos e Garantias Fundamentais. São direitos sociais a educação, a saúde, o trabalho, a moradia, o lazer a segurança, a previdência social, a proteção à maternidade, e à infância, a assistência aos desamparados, na forma desta Constituição.

¹²Art. 225º Da Ordem Social. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Assim, considera-se oportuno desenvolver uma discussão sistemática e aprofundada acerca das opções de abastecimento energético consubstanciadas em modelos de desenvolvimento. Esta discussão pretende questionar ou relativizar o mito do alto custo do aproveitamento energético da radiação solar pela tecnologia solar fotovoltaica.

METODOLOGIA

O propósito desta pesquisa é desmistificar o mito do alto custo da tecnologia solar fotovoltaica através da leitura das referências bibliográficas, da avaliação do estado de arte e de uma comparação entre as duas tecnologias, solar e nuclear, dos principais casos e da repercussão do seu uso em outro país.

Para essa comparação, foram apontadas suas vantagens e desvantagens nos aspectos econômico, estratégico, ambiental e social, custos e potencialidades no que se refere a recursos naturais, geração de emprego e impactos ambientais e uma análise preliminar da Análise do Ciclo de Vida (ACV).

A contribuição, portanto, é auxiliar a avaliação realizada pelos tomadores de decisão (governos locais, corporações, agências reguladoras, entre outros) para aspectos que muitas vezes não são levantados por questões econômicas e analisados em curto prazo. O estudo mais detalhado da energia solar fotovoltaica e da nuclear, em prol do desenvolvimento sustentável, exemplifica a necessidade de se fazer uma releitura e diagnosticar novos caminhos para o planejamento energético.

JUSTIFICATIVAS

“A energia custa para a sociedade muito mais do que seus usuários pagam diretamente por ela” (GOLDEMBERG e LUCON, 2008). Segundo os autores, os custos ocultos da energia incluem subsídios, degradação ambiental, despesas com saúde e compensação por perda de empregos. Entretanto, é difícil estimar com precisão os danos causados pelas várias fontes de energia à saúde humana, agricultura, monumentos históricos e ao meio ambiente.

Por conta dessa falta de precisão com as externalidades, a energia nuclear é muitas vezes lembrada pelas suas vantagens quantitativas, embora algumas de suas desvantagens não sejam passíveis de ser quantificadas monetariamente, como é o caso do tempo de vida dos resíduos radioativos, que é posto de lado. De forma similar, alguns aspectos da energia fotovoltaica não são passíveis de serem contabilizados financeiramente, como é o fato de se tratar de uma fonte renovável, mas, contrariamente ao que acontece com a energia nuclear, são suas desvantagens, como o seu alto custo, os primeiros pontos a serem considerados.

Uma avaliação simples, portanto, se torna insuficiente para um planejamento sustentável. É míope atribuir resultados satisfatórios somente a um aspecto, o econômico. Isso porque as questões ambientais e sociais também se refletem no crescimento do país.

A seguir, são destacados os fatores econômicos, ambientais, sociais e tecnológicos que justificam com mais detalhes a questão apresentada por este trabalho.

Econômica

Segundo Brasil (2008), a perspectiva que se vislumbra nos países em desenvolvimento – cuja liderança é exercida pela expansão chinesa é a de um cenário contínuo de expansão da economia. Brasil, Rússia, Índia e China (BRIC) têm a expectativa de se tornarem potências econômicas globais até 2050. O consumo de energia nesses países tem crescido a taxas altas, e se verifica que tal tendência persistirá durante as próximas décadas em decorrência do crescimento populacional e econômico, resultante este último de sua independência política, integração na economia mundial e acesso à informação (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

Tendo em vista que o Brasil tem perspectivas de crescimento a longo prazo e que a hidroeletricidade é a fonte dominante de sua matriz energética, evidentemente um mix de fontes, diversificaria sua economia e pouparia seus recursos naturais.

Entretanto, caso sejam implantadas novas usinas nucleares no Brasil e a tecnologia fotovoltaica venha a conquistar seu espaço, alguns pontos devem ser firmados. Em primeiro lugar, realizar um trabalho complementar que favoreça o bom uso do conhecimento que o país já detém a respeito do ciclo do combustível nuclear e, também, da fabricação de módulos fotovoltaicos atualmente em escala laboratorial. Por exemplo, no caso da tecnologia fotovoltaica, a fabricação em grande escala dos módulos exigiria a necessidade de outras etapas industriais. Em segundo lugar, tendo em vista a grandeza das reservas minerais que o país detém, criar condições para exportação tanto do silício grau solar como do urânio. Com essa perspectiva, agregar valor a esses minérios, exportando-os depois de enriquecidos, ou seja, após receberem tratamento químico, o que igualmente exige a implementação de outras etapas industriais. Em terceiro lugar, promover o gerenciamento da cadeia de produção das duas fontes energéticas com eficiência.

Neste trabalho em específico, se dá atenção à forma descentralizada da fonte solar conectado à rede elétrica, mesmo essa podendo ser apropriada de forma centralizada também. Desse modo, como o intuito é diversificar a matriz, as formas distintas de energia não são um obstáculo, ao contrário, são um incentivo a mais para a desestruturação do conservadorismo e a divisão do “poder”, isto é, a energia sendo gerada em escalas menores inicialmente. Outro ponto importante a ser considerado é a inserção da fonte nuclear em escala pequena até então. Isso porque a instalação pontual de uma usina, não torna o uso dessa forma de geração de energia competitiva. Dessa maneira, o custo aumenta e não se tem ganho em escala.

Ambiental

A matriz elétrica brasileira é de origem predominantemente renovável, sendo que a geração interna hidráulica responde por mais de 70% da oferta. (BEN, 2009), com uma potência instalada de 76.400 MW (BRASIL, 2009, vol.1). A energia nuclear representa 2,80% da matriz energética, com uma potência instalada de 2.007 MW (BEN, 2009), enquanto a energia solar fotovoltaica continua tendo representação inexpressiva no país.

Segundo Brasil (2008, vol.1), o país dispõe de algumas alternativas tecnológicas com baixas taxas de emissão de poluentes gasosos, entre as quais se incluem o etanol, o biodiesel, o uso de óleos vegetais na produção do diesel (H-bio) e a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis – como a biomassa, as centrais eólicas, a energia solar – ou de fontes não-convencionais – como os resíduos urbanos – e da energia nuclear.

Dentre essas opções, a decisão de se abordar nesta pesquisa as tecnologias solar e nuclear foi tomada exatamente por conta da preocupação energética e das mudanças climáticas. Embora a energia solar fotovoltaica e a energia nuclear possam contribuir para a matriz energética do país de maneiras distintas, elas têm em comum: o fato de não emitirem gases de efeito estufa durante a geração de energia elétrica. E a escolha pela solar fotovoltaica foi indispensável, vistos o alto crescimento e a repercussão que essa fonte tem apresentado durante os últimos anos.

O efeito estufa é necessário para manutenção da temperatura da Terra, contribuindo para a existência de vida no Planeta. Entretanto, desde a época pré-industrial, as emissões crescentes de gases de efeito estufa decorrentes das atividades humanas provocaram um aumento acentuado das concentrações atmosféricas desses gases (IPCC, 2007). A concentração atmosférica global de dióxido de carbono aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 280 ppm para 379 ppm em 2005. Já a concentração atmosférica global de metano aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 715 ppb para 1774 ppb em 2005 e a do óxido nitroso aumentou de cerca 270 ppb para 319 ppb em 2005. (IPCC, 2007a).

Por conta desse aumento da emissão de gases e, conseqüentemente, do super aquecimento do Planeta, alguns efeitos são negativos para o ecossistema e para o homem. O IPCC, no Relatório Internacional de Mudanças Climáticas, apresenta as conseqüências previsíveis para esse cenário.

Em escalas continental, regional e da bacia oceânica, foram observadas numerosas mudanças de longo prazo no clima, as quais abrangem mudanças nas temperaturas e no gelo do Ártico, mudanças generalizadas na quantidade de precipitação, salinidade do oceano, padrões de vento e aspectos de eventos climáticos extremos, como secas, precipitação forte, ondas de calor e intensidade dos ciclones tropicais (PNUMA, [S.d]).

Esses são alguns impactos ambientais que não são mensuráveis, mas que não vão a favor da economia, e que traduzem, portanto, a importância da avaliação das tecnologias para favorecer uma escolha futura a favor de um Planeta habitável. E independentemente se foi ou não o homem o maior responsável por esse aumento dos gases de efeito estufa na atmosfera, deve haver um esforço para diminuir ou evitar essas emissões.

Problemas ambientais como a poluição do ar e da água e o abastecimento e o esgotamento de recursos já são enfrentados pelos países desenvolvidos e em desenvolvimento, incluindo os do grupo BRIC. Esses países são também vulneráveis às consequências do aquecimento global e muitas de suas cidades importantes como Xangai, Mumbai, São Petersburgo e Rio de Janeiro são costeiras e, portanto, sensíveis a quaisquer alterações no nível do mar. Outro problema que pode vir a ser enfrentado nesses lugares é a alteração dos padrões de chuva, que interferem na época da colheita das plantações, o que tornaria vulnerável a agricultura, atividade esta que representa de 5% a 20% do PIB (LAWSON et al., 2007). Caso esses problemas venham a acontecer, a atividade econômica e 600 milhões de pessoas que vivem ao longo da costa (cerca de um quarto da população total dos BRICs) sofrerão forte impacto.

O reconhecimento da interferência do homem no meio ambiente deve orientar suas ações para minimizar os impactos por meio do emprego de tecnologias eficientes e da conservação dos recursos. A favor disso, no caso do Brasil, especificamente de São Paulo, em 2009, foi instituída a Política Estadual de Mudanças Climáticas – PEMC, contendo princípios, objetivos e instrumentos de aplicação. A lei 13.987, aprovada em novembro de 2009, ilustra, em seu parágrafo 1º do Artigo 32, o seguinte ato: “O Estado terá a meta de redução global de 20% (vinte por cento) das emissões de dióxido de carbono (CO₂), relativas a 2005, em 2020” (SÃO PAULO, 2009).

Desse modo, as tecnologias analisadas no desenvolvimento deste trabalho, não emitem gases de efeito estufa durante a geração de energia elétrica, mas, de forma indireta, podendo emitir nas fases de extração, transformação da matéria prima, na fabricação e no transporte, por isso devem ser analisadas com mais apuro e rigor.

Conforme será discutido, mesmo que ambas as fontes pesquisadas sejam estratégicas no cenário das Mudanças Climáticas, deve-se atentar para outros aspectos, como, por exemplo, aos materiais tóxicos, rejeitos, mineração, entre outros. Isso porque o modelo de

desenvolvimento sustentável sugere o gerenciamento de todo o ciclo de vida, desde a produção até a reciclagem, e, se possível, o reaproveitamento dos resíduos produzidos no fim de sua vida útil.

Social

O crescimento da população urbana será das mais importantes nas próximas décadas. Hoje existem sete bilhões de pessoas no mundo, e, por conta disso, serão necessários investimentos em larga escala em eletricidade, água, saneamento, habitação e em uma série de outros serviços (LAWSON e DRAGUSANU, 2008). O planejamento energético deve, portanto, conter diretrizes que satisfaçam esse crescimento para que seja possível o acesso da energia elétrica por toda a população, desde que sejam utilizadas ferramentas como eficiência energética e o uso racional da energia em conjunto.

A desigualdade entre a população mais rica e a mais pobre vem-se tornando maior a cada ano. Segundo Lorenzo (2006), nunca na história da humanidade houve tão poucos ricos tão ricos nem tantos pobres tão pobres, e essa diferença de renda entre os 10% mais pobres e os 10% mais ricos na Terra tem-se multiplicado por três. Além disso, 20% da população mais rica da Terra utiliza 80% de todos os recursos energéticos, o que significa que um rico dispõe de tanta energia quanto dezesseis pobres em média. Para efeito de ilustração, estabelece-se a seguinte comparação: um habitante em Serra Leoa consome sozinha quarta parte do que um habitante em Marrocos, 64 vezes menos que um espanhol e 130 vezes menos que um canadense (LORENZO, 2006).

É importante avaliar a eficaz contribuição da energia solar fotovoltaica no atendimento da população que vive distante dos meios urbanos e que, portanto, enfrenta dificuldade para ter acesso à energia elétrica. É importante avaliar também sua contribuição significativa no aumento da geração de empregos, por conta do crescimento do mercado gerado pelos incentivos a essa mesma tecnologia, efeito demonstrado por experiências internacionais. Outro ponto a ser considerado é o custo social gerado pela instalação de usinas nucleares, isto é, o impacto proporcionado nas comunidades locais durante o processo de construção de uma usina.

Tecnológica

Faz-se necessário o uso da tecnologia tanto para tornar acessíveis, entre outros bens, a iluminação, a refrigeração e os automóveis a toda a população dos países em desenvolvimento, como também para tornar possível a manutenção do consumo dos países desenvolvidos.

Em 1996, Goldemberg e outros pesquisadores estimaram a energia que seria necessária para atender toda a população. O cálculo utilizou a melhor tecnologia disponível no mercado, incluindo dispositivos energeticamente eficientes. O resultado obtido pelo autor na época foi que, com o uso de mecanismos de eficiência energética, a energia necessária era aproximadamente a mesma que se consumia nos anos 90. Essa constatação ilustrou a possibilidade de o emprego maciço de tecnologia moderna também poder estabilizar o consumo de energia em países em desenvolvimento.

Por outro lado, segundo Bermann (2001), a tecnologia em si não resolverá a questão da sustentabilidade. Poderá, sim, permitir que o sistema vigente sobreviva por mais algum tempo até que a sociedade evolua para um estágio no qual os bens materiais não sejam o centro das atenções, mas apenas instrumentos secundários de apoio à sobrevivência física do homem. Tal fato se dá porque, segundo o autor, mesmo que os processos tecnológicos tornem-se eficientes para atender o crescimento econômico, se for considerado que um indivíduo numa economia industrial de mercado consome 80 vezes mais energia do que um habitante rural africano, seria necessário um salto tecnológico muito grande, com descobrimento de sistemas ainda não imaginados pela ciência moderna, para que todos os habitantes do Planeta pudessem usufruir a mesma quantidade de energia.

Além disso, um aumento de 75% da eletricidade instalada entre os países do grupo BRIC, N-11¹³ e GCC¹⁴ geraria enorme poluição para a atmosfera. As preocupações ambientais têm sido levadas com maior seriedade pelas organizações e existe uma maior pressão por tecnologia e eficiência energética. Segundo Lawson e Dragusanu (2008), incentivos para conter o aquecimento global e o controle de emissões serão encontrados através da tecnologia e da redução do uso de recursos naturais.

¹³ *Next-11* (N-11) Bangladesh, Egito, Indonésia, Irã, Coreia, México, Nigéria, Paquistão, Filipinas, Turquia e Vietnã.

¹⁴ *Gulf Cooperation Council* (GCC) Bahrain, Kuwait, Omã, Arábia Saudita, Emirados Árabes, Qatar.

CAPITULO I ENERGIA E DESENVOLVIMENTO

1.1 História & Perspectiva de desenvolvimento energético mundial

A revolução no modo de produção e, conseqüentemente, nos meios de comunicação e transporte foram decorrentes do aumento do uso da máquina a vapor para servir a indústria têxtil no período industrial (BÔA NOVA, 1985). E, segundo o autor, não foi o carvão nem mesmo o petróleo que impulsionaram a industrialização nos EUA, mas, sim, a lenha.

Contudo, a lenha, que poderia ter sido o combustível a ser utilizado pela máquina a vapor, foi substituído pelo carvão mineral. Primeiro, porque ele apresentava maior poder calorífico¹⁵, o que era mais vantajoso. Além disso, com o crescimento industrial no final do séc. XV e a expansão das ferrovias, os norte-americanos procuraram um substituto para a lenha, que, mesmo tendo permanecido por muitas décadas como principal combustível, estava sendo trazida cada vez de mais longe e com um custo muito maior do que no início. A madeira, por outro lado, apresentou um aumento de consumo considerável em Londres, como material de construção e, também, como combustível nas indústrias manufatureiras.

Já a energia hidráulica, utilizada principalmente nos moinhos de água desde a Idade Média até o séc. XIX, apresentava a necessidade de ser consumida no próprio local onde era produzida, motivo pelo qual foi posta de lado nesse período. E, com o advento da máquina a vapor, tinha-se maior flexibilidade para a localização industrial.

O petróleo por sua vez era difícil de ser encontrado em quantidade suficiente para comercializá-lo a preços acessíveis. Contudo, quando os poços se multiplicaram, os preços caíram vertiginosamente passando de 20 para 0,10 dólares, voltando a crescer posteriormente, sob estímulo do mercado (BÔA NOVA, 1985).

Nas indústrias e nos navios, o óleo combustível competia com o carvão barato, sendo seu preço limitado apenas pela capacidade de compra dos consumidores. Em 1940, segundo Bôa Nova (1985), a produção mundial estava situada em 300 milhões de toneladas. Isso significa segundo o autor, que nem mesmo a crise econômica de 1929 impediu que a produção de petróleo aumentasse mais que o triplo, no período 1920/1940.

¹⁵ O carvão pode chegar a conter mais de 7.000 kcal/kg, enquanto o poder calorífico da madeira seca é de 4.000kcal/kg. (BÔA NOVA, 1985).

No mundo, até o início dos anos 60, o carvão seria ainda utilizado, até o momento em que o petróleo viria a se exceder, depois da Segunda Guerra, quando assumiu a liderança no balanço energético dos EUA. As companhias petrolíferas representaram papel importante nessa mudança, ao lançarem enormes quantidades de petróleo barato no mercado internacional. Simbolicamente, segundo Bôa Nova (1985), o automóvel atropelou o mineiro (ou minério) de carvão. Este, por outro lado, nunca substituiu o carvão que continuou aumentando a um ritmo menor, mas somou-se a ele, assim como a hidroeletricidade e outros combustíveis.

Geralmente são atribuídos alguns fatores técnicos para a ascensão do petróleo. Em primeiro lugar, o fato de o conteúdo energético do petróleo ser mais alto que o do carvão. Em segundo lugar, por ser um líquido, o que implica maior facilidade na extração, transporte e manipulação. Em terceiro lugar, a extensa e variada gama de derivados que saem do petróleo bruto; e, em último lugar, seu aproveitamento sem deixar resíduos, o que não acontece com o carvão.

Entretanto, o autor continua a discussão argumentando que o petróleo se localiza em jazidas muito mais profundas que o carvão, e por conta disso exige a utilização de equipamentos muito mais sofisticados e caros. No entanto, uma vez encontrado, ele jorra para a superfície com relativa facilidade, sem demandar grande mobilização de mão-de-obra. Já o carvão exige intenso trabalho humano por conta da localização dos depósitos, que, embora pouco profunda, torna difícil a extração. O resultado, segundo Bôa Nova, é que são necessários menos pessoas trabalhando por unidade equivalente de energia produzida na extração e refino do petróleo, enquanto os salários pagos pela indústria do carvão, embora baixos, participam no custo do produto com proporções muito maiores. “O petróleo se mantém muito menos intensivo em mão-de-obra e, correspondentemente, muito mais intensivo em capital” (BÔA NOVA, 1985).

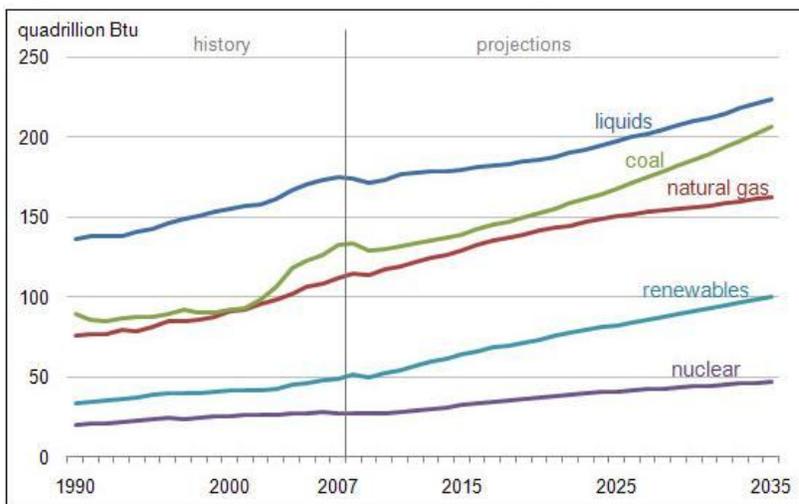
E, mesmo sendo observado um aumento na qualidade de vida, mesmo desigual, houve uma concentração de poder nas mãos de quem detém o controle do mercado de energia; o grande capital e a tecnocracia de Estado (BOA NOVA, 1985).

Por fim, as grandes companhias dos EUA em pouco tempo se transformaram nas empresas transnacionais que iniciaram o domínio da economia mundial e impulsionaram todos os países, em maior ou menor medida, aos padrões norte-americanos de produção e consumo, formas de organização, tecnologia, métodos de comercialização e crédito ao consumidor e meios de comunicação de massa (Sunkel, apud Bôa Nova, 1985).

O capitalismo, ainda segundo Bôa Nova (1985), está estruturado sobre um gigantesco aparelho produtivo cuja operação envolve custos muito elevados. O investimento necessário, contudo, não é fator delimitador para a escolha de uma tecnologia, mas é estimulante para alcançar o objetivo final, o lucro. Torna-se necessário para isso, segundo o autor, a existência de um mercado dimensionado em grande escala e propenso a aceitar os incessantes lançamentos de novos produtos e serviços.

Segundo Goldemberg e Lucon (2008), o atual sistema energético mundial desenvolveu-se ao longo dos anos sem preocupações sérias com a otimização, pois os custos dos combustíveis fósseis eram muito baixos até a crise do petróleo nos anos 70. Hoje esse não é mais o caso, e, por conta disso, a expansão do sistema energético nos países em desenvolvimento tem que suprir a demanda ao menor custo possível.

Em relação ao momento atual, a recessão econômica mundial no início de 2007, e que prosseguiu até 2009, teve um impacto profundo na demanda mundial energética. O consumo total no mercado mundial energético foi de 1.2% em 2008 para uma estimativa de 2.2% em 2009 (EIA, 2010). E, mesmo aparentando que a recessão tivesse acabado, o ritmo de recuperação tem demonstrado ser desigual. Enquanto a China e a Índia lideram, o Japão e a União Européia estão em atraso. O crescimento do consumo energético mais rápido entre 2007 a 2035 aparecerá, segundo o relatório do *International Energy Outlook*, em países que não estão inseridos na Organização para Cooperação Econômica e o Desenvolvimento – OECD. No total, um aumento de 84% para os países não-OECD, em comparação a 14% no aumento energético dos países da OECD.



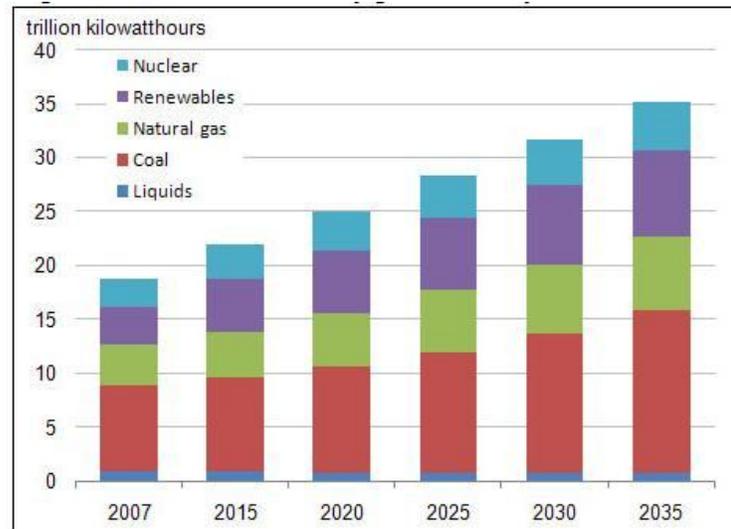
Fonte: EIA (2010).

Gráfico 1 - Energia comercializada no mundo por tipo de combustível

O gráfico 1 mostra que os combustíveis fósseis são esperados para continuar a fornecer grande parte da energia utilizada no mundo.

O rápido aumento dos preços mundiais de energia, associado às preocupações ambientais e a emissões de gases de efeito estufa, conduz a um renovado interesse em alternativas para os combustíveis fósseis, em particular a energia nuclear e os recursos renováveis apoiados por incentivos governamentais (EIA, 2010).

Entre 2007 e 2035, o consumo mundial de energia renovável para geração de eletricidade crescerá a uma média de 3% ao ano (EIA, 2010). O carvão apresenta um aumento na geração em média anual de 2,3%, o que o torna a segunda maior fonte em crescimento na geração de eletricidade no sistema. Contudo, esse quadro poderá ser alterado por conta de uma eventual legislação futura que possa reduzir ou limitar o aumento dos gases de efeito estufa na atmosfera.



Fonte: EIA (2010).

Gráfico 2 - Produção mundial de eletricidade por combustível.

Segundo a projeção apresentada no gráfico 2, embora as fontes renováveis continuem a constituir uma pequena parte, exceto pela hidrelétrica e a eólica, as fontes solar, geotérmica, biomassa, resíduos e a maremotriz crescerão a um ritmo acelerado ao longo do período considerado da projeção.

Mesmo assim, segundo o relatório, a previsão é que a energia nuclear se torne competitiva economicamente, mesmo com os custos relativamente altos das usinas. Além disso, a maioria das plantas nucleares nos países da OECD e da Eurásia terá prorrogações em sua vida operacional. A geração nuclear tem atraído interesse por conta da procura no aumento da diversidade da matriz energética, da melhoria na segurança energética e do fato de ser uma alternativa de baixo carbono. Mas, mesmo assim, existe uma incerteza nas projeções. Alguns problemas delimitadores são a segurança nas plantas, eliminação dos resíduos radioativos, custos de construção, aumento do risco de investimento e preocupação com a proliferação de material nuclear (EIA, 2010).

Segundo Goldemberg e Lucon (2008), a forma de acelerar a substituição por novas fontes de energia e as tecnologias associadas é através de ações governamentais ou de subsídios.

Os cenários ecológicos, como, por exemplo, os desenvolvidos pelo *World Energy Council* (WEC) e o *International Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA), apresentaram, segundo os autores, um menor uso de energia no futuro através de uma redução na

intensidade energética, uma taxa menor de crescimento na demanda por energia e políticas muito vigorosas. As pesquisas apontam uma transição dos combustíveis fósseis, provavelmente a partir do ano 2025, com o advento de tecnologias solares, e demonstram também uma participação mais significativa das fontes renováveis a partir de 2050.

Entretanto, as escolhas pelas fontes de energia que participaram durante o desenvolvimento dos países tinham e têm a necessidade em atender o sistema econômico vigente, que é fundamentado na geração de energia elétrica – como foi observado anteriormente. O que diferenciará na escolha por uma tecnologia, a ser inserida na matriz futura, serão aspectos não só econômicos, mas que indiretamente se relacionem a eles. Os aspectos que determinarão a opção não serão estritamente por conta do preço ou do fator de capacidade, mas por serem estratégicos para o meio ambiente e para a sociedade também.

1.2 Planejamento energético do Brasil

O país apresentou expressivo desenvolvimento econômico durante o século XX, em especial a industrialização e uma notável expansão demográfica, acompanhada por uma taxa de urbanização acelerada (BRASIL, 2008).

Em 1970, a oferta interna de energia era inferior a 70 milhões de tEP, enquanto a população era de 93 milhões de habitantes. No ano 2005, a oferta era de 219 milhões de tEP e a população ultrapassava 184 milhões de habitantes (BRASIL, 2008).

Em 2008, o consumo de energia elétrica no país teve um aumento de 3,9% em comparação ao ano anterior. E, como pode ser observado na tabela 1, nos últimos três anos houve um aumento considerável de 63,3 TWh na matriz energética brasileira.

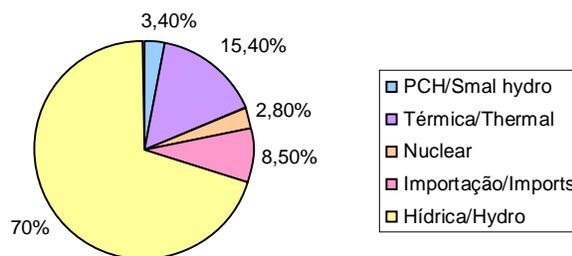
Tabela 1 – Energia Elétrica

	Unidade	2005	2006	2007	2008
Oferta Interna de Energia Elétrica - OIEE	TWh	442,0	460,5	483,4	505,3
Geração de Energia Elétrica	TWh	402,9	419,3	444,6	463,1
Consumo Final	TWh	375,2	390,0	412,1	428,1
Aumento do Consumo Final	%	-	3,9	5,6	3,9
Perdas sobre a OIEE	%	-	15,3	14,7	15,8

Fonte: BEN, 2007 e BEN, 2009.

Como já foi dito, o Brasil apresenta uma matriz de energia elétrica de origem predominantemente renovável. A parte importada é essencialmente também de origem renovável hídrica, e a geração térmica é originada de biomassa. Mesmo assim atenta-se para o aumento do consumo de combustíveis fósseis, em particular o gás natural e o carvão, sobretudo no caso de serem impostas restrições ao aproveitamento do potencial hidrelétrico¹⁶.

Entre 2005 e 2030 é projetado um aumento de 6% de outras fontes renováveis enquanto a energia nuclear admite um crescimento de 1,8% (BRASIL, 2008). No gráfico 3 é apresentada a estrutura de oferta interna por fonte de geração de energia elétrica.



Fonte: BEN, 2009.

Gráfico 3 - Estrutura da oferta de eletricidade por fonte de geração no Brasil em 2008.

Segundo Brasil (2008), o planejamento energético apresenta dois pontos relevantes para a sociedade: o primeiro é a busca por eficiência energética e o segundo, o respeito às questões socioambientais, inseridos ambos na ótica do desenvolvimento sustentável. Quanto a isso, o Plano Nacional (BRASIL, 2008) apresenta duas questões inéditas, relacionando-se a primeira com a abordagem energética ampla, e a segunda, com a participação da sociedade, que deve ocorrer desde a fase de concepção do planejamento, através da realização de seminários públicos. Além disso, o trabalho realizado para o Plano Nacional 2030 é apresentado pela primeira vez no país como um estudo de planejamento energético de longo prazo, cobrindo não somente a questão da energia elétrica, como também dos demais energéticos,

¹⁶ Cerca de 70% do potencial hidrelétrico a ser aproveitado está na Amazônia ou no Cerrado, biomas que cobrem aproximadamente dois terços do território nacional e nos quais se apresentam, de forma muito nítida, as discussões e as dificuldades na definição de políticas e práticas de manejo ambiental sustentável. (BRASIL, 2008).

notadamente petróleo, gás natural e biomassa. Nas recomendações apresentadas no relatório, em especial nos pontos que relacionam o objeto de pesquisa deste trabalho, foram apontadas as seguintes metas:

- Definir o prosseguimento do programa nuclear brasileiro, após Angra III, com uma expansão mínima de 4GW, podendo alcançar 8GW até 2030, nas regiões Sudeste e Nordeste, e iniciar os estudos de localização destas novas centrais nucleares.
- Analisar mecanismos de fomento às fontes alternativas renováveis, de forma a aumentar a participação destas fontes na matriz energética nacional, tais como da agroenergia e da energia eólica.
- Direcionar os recursos de P&D disponíveis no setor para as áreas prioritárias estudadas no documento, com especial destaque para os temas bioenergia, eficiência energética e energias renováveis, além de reservar uma parcela dos recursos para novas pesquisas.

Em relação aos aspectos socioambientais direcionados pelo Plano Nacional 2030, tem-se a preocupação com o lado do consumo, para atender as atividades social, econômica, educacional; como o lado da produção, que pode ser realizada em locais distantes da área de consumo. A consideração dos aspectos socioambientais segundo o relatório consiste em apresentar o impacto sobre os consumidores e sobre o meio ambiente na proporção com que são usados os recursos energéticos.

O relatório aponta a necessidade em demonstrar os ganhos do desenvolvimento econômico com os custos ambientais associados à implantação de projetos e ao consumo de energia, sendo um grande desafio, portanto, escolher fontes apropriadas para a expansão da oferta.

1.3 Desenvolvimento

O tema desenvolvimento intriga muitos pesquisadores por conta das implicações que o modelo atual traz para a sociedade e para o meio ambiente, com o aumento da disparidade social e dos desastres ecológicos. Por conta disso, em muitas pesquisas algumas questões aparecem como decorrência desse dilema, como, por exemplo, desenvolver o quê e para quem; energia para quê e para quem; ou, que modelo de desenvolvimento se deseja? O modelo de desenvolvimento implantado no Brasil se alicerçou, segundo Bôa Nova (1985),

numa exacerbação do consumismo, o que necessariamente implica enorme dispêndio de recursos naturais, particularmente a energia.

Segundo o dicionário Aurélio, desenvolver significa crescer. E, para medir o crescimento alcançado por um país e seu suposto desenvolvimento, a medida deste crescimento utilizada é o Produto Interno Bruto (PIB)¹⁷, que averigua a produção de bens e serviços ao longo de um período. O PIB é o indicador mais utilizado para medir o desempenho de economias nacionais e outro tipo de indicador é a Renda Nacional Líquida (RNL), que representa o valor monetário que a sociedade pode utilizar. (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

Entretanto, segundo Doti (2008), o processo de desenvolvimento não deve ser reduzido a somente um indicador, nesse caso o PIB. Isso porque o sistema é composto por um conjunto de mediadores como política, cultura e ideologia, assim como a natureza e a sociedade.

Uma concepção adequada de desenvolvimento deve ir muito além da acumulação de riqueza e do crescimento do Produto Nacional Bruto e de outras variáveis relacionadas à renda. “[...] o crescimento econômico não pode sensatamente ser considerado um fim em si mesmo. O desenvolvimento tem de estar relacionado, sobretudo, com a melhora da vida que levamos e das liberdades que desfrutamos (SEN, 2000).

Embora o consumo de energia esteja ligado de certa forma à economia e ao desenvolvimento¹⁸, segundo Morante (2004), hoje se considera de maneira categórica que o desenvolvimento não seja de fato igual ao crescimento econômico. Isso porque o enriquecimento, como se conhece hoje, não atinge toda população e degrada o meio ambiente de forma intensa. Não existe uma justiça distributiva e grande parte da sociedade ainda carece de sistema básico de saneamento, água potável, energia, educação e saúde.

Além disso, Morante (2004) considera que o crescimento econômico pode ocorrer sem necessariamente atribuí-lo somente ao aumento na oferta de energia. Pelo contrário, pode-se trabalhar com menos. O que precisaria ser realizado, segundo este autor, é o melhor uso dessa energia, com menos desperdício através da eficiência e da conservação. Para isso, o modelo político e socioeconômico escolhido por uma sociedade desempenha papel importante quanto

¹⁷ O Produto Nacional Bruto é semelhante ao PIB, mas considera a produção de empresas nacionais no exterior e desconta a produção das estrangeiras em território nacional. (Goldemberg e Lucon, 2008).

¹⁸ Existe certa afinidade entre a variação do consumo de energia e o PIB. Mas não existe certeza de uma correlação quantificada que se aplique a diferentes tempos e lugares, `a semelhança das leis físicas. (BÔA NOVA, 1985).

ao consumo energético e o planejamento de sua matriz. No Brasil, por exemplo, a oferta interna de energia em 2007 teve um acréscimo de 5,6%, sendo superior ao crescimento da economia de 5,4% (EPE, 2008).

Seguindo por esse caminho, segundo Goldemberg e Lucon (2008), o fato de o desenvolvimento e de o consumo de energia não estarem ligados de forma indissolúvel aponta para a existência de caminhos alternativos para o desenvolvimento da sociedade sem um aumento correspondente de energia. Em outras palavras, pode-se separar o crescimento econômico do consumo através de evidência histórica e comparações entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. A evidência histórica, por exemplo, é demonstrada pelos autores através do efeito de saturação dos países desenvolvidos nos quais o aumento da intensidade energética¹⁹ ocorreu por mais de um século e à medida que a infra-estrutura e a indústria se desenvolviam junto com o aumento da intensidade energética, atingindo-se um pico e, em seguida, um declínio progressivo. Reino Unido, Alemanha, França e EUA são alguns países que se tem como exemplo esse processo. Além disso, ainda segundo os autores, após 1990 o desempenho da América Latina e Caribe, inclusive do Brasil, foi inferior ao da média dos países em desenvolvimento, e, embora tenha havido aumento da intensidade energética, o PIB não acompanhou o aumento no uso de energia.

Isso quer dizer que, com o uso eficiente de formas renováveis de energia, pode-se dar prosseguimento ao desenvolvimento sem que seja posto sob o meio ambiente tais níveis de pressão como antigamente (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

Segundo Bermann (2001), o cenário energético sustentável parte da premissa de que é possível para o Brasil alcançar um crescimento econômico consumindo menos energia. A intensidade energética foi estipulada no valor de 0,9 para as próximas duas décadas²⁰. Ao longo dos anos 90, a intensidade energética foi da ordem de 1,39.

Mas, de certa forma, o consumo de energia está ligado à saúde e ao bem-estar do ser humano. Segundo Harrison (2001), as populações que consomem baixa quantidade de energia

¹⁹ Intensidade energética: energia por renda ($I = E/PIB$). A evolução da intensidade ao longo do tempo reflete o efeito combinado das mudanças estruturais na economia, na composição de fontes energéticas e na eficiência do uso da energia. (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

²⁰ Para cada unidade de crescimento do PIB irá corresponder a necessidade do incremento de 0,9 unidades de energia. (BERMANN, 2001).

apresentam altas taxas de mortalidade infantil, baixos índices de alfabetização e baixa expectativa de vida.

Bermann (2001) aponta que apenas 10% da população brasileira detem quase a metade do rendimento total do país. A participação dos 50% mais pobres no rendimento nacional é praticamente equivalente à participação dos 1% mais ricos. Isso significa que 1,6 milhões de brasileiros mais ricos possuem a mesma renda que 80 milhões de brasileiros pobres. Além disso, no mundo 2 bilhões de pessoas não têm ainda acesso a energia elétrica e utilizam lenha e esterco para o cozimento de alimentos e o aquecimento de suas casas (HARRISON, 2001).

E, segundo Doti (2008), esse acesso diferenciado aos bens materiais mantém o padrão de valorização do capital. Essa diferença se dá através do modo de produção que destrói quantidades crescentes de recursos naturais que teoricamente são tratados como quantidades infinitas, transformando seu entorno num complexo processo de materialidade e padrão de civilização. Por conta disso, o acesso a essa materialidade se dá de forma diferenciada em função da diversidade das classes sociais na sociedade e das estruturas geopolíticas e geoeconômicas em escala mundial. O homem então ganha valor perante a sociedade através de sua produção e do acesso diferenciado a esse material.

Inserido nesse sistema, o homem faz parte de um grupo que o oriente e o faça se sentir parte de algo. Através da tão almejada busca pela felicidade, conforto e status, cria-se uma dependência e nunca com plena satisfação, o que leva o homem a consumir sempre mais recursos (DOTI, 2008). O ciclo formado, portanto, é, por um lado, o capitalismo como força para o desenvolvimento, e, do outro, por contraponto, o homem, que alcança esse desenvolvimento através de sua produção. Porém, como foi observado, todo esse processo fica ao alcance de poucos e, mesmo quando atingem alguns, essa materialidade não é contemplada como prometida pelo sistema, continuando a insatisfação permanente e incentivando cada vez mais o consumismo.

“Esse modelo de desenvolvimento que produz, dissemina e reproduz em paralelo ao padrão de consumo se dá através das relações sociais, culturais, políticas, geopolíticas e ideológicas que permeiam a sociedade capitalista” (DOTI, 2008).

Mas, mais do que suprir o básico para a população e o consumo exacerbado dessa materialidade, Morante questiona em seu trabalho: como pode ser definida qual é a melhor forma de vida para alguém? E faz uma crítica ao capitalismo, segundo o qual,

O desenvolvimento, do modo como é concebido, ignora aquilo que não é calculável nem mensurável: a vida, o sofrimento, a alegria, o amor; e o único critério pelo qual se mede a satisfação é o crescimento (da produção, da produtividade, da receita monetária). Definido unicamente em termos quantitativos, ele ignora as qualidades, as qualidades de existência, as qualidades de solidariedade, as qualidades do meio, a qualidade da vida (MORIN, 2002).

Segundo Favareto (2007), o crescimento econômico pode não só não contribuir para que o conjunto da sociedade alcance uma situação de bem-estar como pode igualmente contribuir para que aumente a desigualdade na sociedade, gerando sérios problemas de coesão social. O desenvolvimento, ainda segundo o autor, deve ser compreendido como uma etapa alcançada ou alcançável pela sociedade, e como um processo dessa evolução.

Sen (2000) identifica, em seu livro *Desenvolvimento como liberdade*, a liberdade como principal objetivo do desenvolvimento, não somente como fim primordial, mas também seus principais meios. E o indivíduo insere-se como agente²¹ ativo para o processo de expansão do desenvolvimento. A liberdade apresenta uma semelhança genérica, segundo o autor, com a preocupação com a qualidade de vida, e não apenas nos recursos ou na renda de que elas dispõem.

Segundo o mesmo autor, os homens de Bangladesh, por exemplo, têm mais chance de viver até depois dos quarenta anos do que os homens afro-americanos na cidade de Nova York. E isso ocorre apesar de os afro-americanos serem muitas vezes mais ricos do que as pessoas do Terceiro Mundo, com as quais estão sendo comparadas. O fato, portanto, não é somente uma privação relativa em termos de renda per capita, mas também de uma privação absoluta. As influências causais relacionadas com esses contrastes incluem disposições sociais e comunitárias como saúde, educação, lei e ordem, prevalência da violência etc.

²¹ Agente: alguém que age e ocasiona mudança e cujas realizações podem ser julgadas de acordo com seus próprios valores e objetivos, independentemente de as avaliarmos ou não também segundo algum critério externo. (SEN, 2000).

As liberdades instrumentais²² ligam-se umas às outras e contribuem com o aumento da liberdade humana em geral. Dessa forma, a privação de uma liberdade, por exemplo, a econômica, pode gerar a privação de liberdade social, ou ao contrário. E, ainda segundo o autor, é importante apreender essas interligações ao deliberar políticas de desenvolvimento. Desse modo, a contribuição do crescimento econômico deve ser julgada não somente pelo aumento de rendas privadas, mas também pela expansão dos serviços sociais que o crescimento econômico pode ocasionar.

Ainda assim, alguns contrastes apresentados por Sen é interessante serem lembrados, como, por exemplo, a diferença entre países que apresentam crescimento econômico elevado, e, com grande êxito também, o aumento da duração e a qualidade de vida (Coréia do Sul), enquanto outros países com crescimento econômico elevado não apresentam êxito comparável nesses outros campos (Brasil). Por outro lado, países com grande êxito no aumento da duração e da qualidade de vida, o contraste é que alguns também apresentam grande êxito no crescimento econômico (Taiwan) enquanto outros não têm êxito na obtenção desse elevado crescimento econômico (Sri Lanka).

É possível, portanto, apresentar reduções muito rápidas nas taxas de mortalidade e melhora das condições de vida sem grande crescimento econômico. Enquanto em Kerala (estado na Índia), o PNB não alcança os 500 US\$/per capita, a expectativa de vida ao nascer é de 73 anos. Já no Gabão, a renda ultrapassa os 3500 US\$/per capita, mas a expectativa de vida ao nascer é de 64 anos (SEN, 2000).

Contudo, o que se observa geralmente é o argumento que, para investir em aspectos sociais, é importante em princípio que um país primeiro esteja mais rico. Outro exemplo apresentado pelo autor, mas, agora, de um país desenvolvido, foi que as décadas de rápida expansão da expectativa de vida foram os mesmos períodos de crescimento lento do PIB per capita. Uma explicação são as mudanças no grau de compartilhamento social durante as décadas de guerra e no aumento no custeio público de serviços sociais (SEN, 2000).

²² Cinco tipos distintos de liberdades são vistos de uma perspectiva instrumental: liberdades políticas (liberdade de expressão, crítica, direitos civis), facilidades econômicas (oportunidades com propósito de troca, consumo e produção), oportunidades sociais (saúde, educação), garantias de transparência (necessidades de sinceridade, direito à revelação) e segurança protetora (benefícios aos desempregados, distribuição de alimentos em época de crise). (SEN, 2000).

Segundo Goldemberg e Lucon (2008), no processo de desenvolvimento determinada sociedade pode aprender com os erros cometidos por outras, pulando etapas e evitando, assim, os impactos gerados pelo processo intermediário de maturação pelo qual os países desenvolvidos já passaram. Mais ainda: as mesmas necessidades sociais podem ser satisfeitas a custos ecológicos muito diferentes, dependendo das opções que forem feitas em relação aos estilos de consumo e das técnicas de produção (BÔA NOVA, 1985).

E, segundo Bermann (2001), é importante que a adoção de tecnologias mais avançadas seja associada à implementação de políticas ambientais eficientes, enquanto é reduzido o consumo de energia. Contudo, dessa forma, o sistema econômico mundial seria posto em xeque. Isso porque a diminuição do consumo implicaria a abdicação de vários fatores de satisfação material, o que iria contra a lógica capitalista totalmente voltada para o consumo e para o desperdício.

É em face desses questionamentos, que contam com um cenário acentuado de disparidade social e de uso irracional dos recursos naturais, de que a tecnologia favorável ao crescimento econômico e à superação de obstáculos deve ser utilizada em prol do sistema econômico, social e ambiental. Utilizando com eficiência os recursos naturais, reutilizando-os e reciclando-os quando possível, além da inserção das fontes renováveis.

Em resumo, com o apoio dos tomadores de decisão e da própria sociedade que atende aos critérios do modelo vigente, pela busca incessante de crescimento econômico, não foi possível suprir até hoje, e com plenitude, a condição primordial, que é atender a toda a população.

O crescimento econômico permitiu que somente parcelas de outras dimensões, como a social e a ambiental, pudessem expressar-se. Todas as dimensões, se avaliadas em conjunto, refletiriam no novo modelo de desenvolvimento que será tratado nos próximos tópicos. O desafio, portanto, é inserir tecnologias de geração de energia que consigam atender a toda população mundial e, ao mesmo tempo, atentar para a preservação do meio ambiente, assegurando, dessa forma, um efetivo desenvolvimento.

1.3.1 Transição entre modelos de desenvolvimento

Milton Santos pontua em seu livro²³ que o momento atual é de transição. A primeira globalização, segundo o autor, iniciada entre 1500 e 1600, contou com o processo de ocupação territorial dos países. A segunda globalização, ocorrida durante o século XX, se caracteriza pelas revoluções, tecnologias e pelo consumo, fragmentando, assim, em territórios. E a terceira e futura globalização, ainda segundo este autor, contará com uma nova etapa, que partirá do princípio de que se faz necessária uma mudança significativa na adoção de políticas, as quais devem associar-se aos sistemas técnico e tecnológico contemporâneo, para que seja menor a dependência e menor desigualdade.

Segundo o autor, a globalização, como se conhece, é apresentada sob dois modos diferentes. Primeiro, através do sistema como o vemos, isso porque torna possível saber o que acontece em qualquer lugar e a qualquer hora. Nesse estado, através da tecnologia e do encurtamento das distâncias, o mercado apresenta-se como capaz de promover a homogeneização do Planeta, quando, na verdade, apenas as diferenças são aprofundadas e a informação não chega através da interação entre as pessoas. Essas informações são, portanto, notificadas, mas não internalizadas. Sabe-se, por exemplo, das novas ações que são adotadas no mundo, mas o posicionamento do Estado e das corporações é conservador, percorrendo o mesmo trajeto dos países desenvolvidos.

A tecnologia, portanto, somente como consulta não tem mobilizado a adoção de novas ações, pois não tem propiciado uma reavaliação do próprio sistema e a motivação por um novo planejamento.

O segundo modo consiste na globalização tal como realmente é, ou seja, composta pelo dinheiro e pela informação. Essa forma exemplifica a condição de desemprego, pobreza, perda de qualidade de vida da classe média, mortalidade e carência de educação, egoísmo, cinismo, corrupção, comportamentos competitivos e uma evolução negativa. O dinheiro, visto como centro do mundo, se afirma como motor da vida econômica e social e o objetivo resultante é a necessidade, real ou imaginada, de se buscar mais dinheiro, que é visto como

²³ SANTOS, Milton. **Por uma outra globalização, do pensamento único à consciência universal**. 5ª edição. Rio de Janeiro. Record: 2001.

indispensável à existência das pessoas, das empresas e das nações. Dessa forma, seja qual for a maneira como o dinheiro é obtido, ela já se encontra justificada.

Em relação à informação, Santos entende que o Estado e as empresas diante de seus objetivos veiculam através de seus atores informações que, ao invés de esclarecer, confundem. O evento já é entregue maquiado ao leitor, ao ouvinte, ao telespectador, e é também por isso que se produzem no mundo de hoje, simultaneamente, fábulas e mitos. Existe, portanto, a defasagem da informação e do dinheiro. O Estado está a serviço da economia dominante, das classes, e não do interesse das populações. E a política é realizada pelas corporações.

A próxima transformação consistiria, segundo o autor, em uma importante quebra de paradigma do modelo de desenvolvimento que impera na sociedade. Isso porque a falta de soberania condiciona o país a trilhar percursos estipulados pela economia internacional, aspecto este igualmente discutido por Bôa Nova.

Contudo, para que ocorra tal mudança, Santos julga importante que o Estado nacional tenha uma visão de conjunto, enquanto haja uma redistribuição de poderes e tarefas e, para que a técnica seja utilizada como plataforma para o alcance da liberdade. Esse momento de transição é composto por ações que nortearão outro caminho. Hoje o que nos governa conta com os seguintes aspectos em relação à produção e ao consumo: incorporação de modos de vida e produção ilimitada de carência e escassez e produção acelerada e artificial de necessidades, pautadas pelo desejo de crescimento do mercado, longe dos anseios primordiais da sociedade.

Devem ser avaliadas, portanto, a forma de produção e de consumo, a finalidade que se quer alcançar com esse sistema e a quem ele é destinado. As Organizações Não-Governamentais—ONGs e as instituições do terceiro setor não podem assegurar a necessidade de toda a população, mas somente de certos setores, em específico. Cabe ao Estado, sim, através de ações, cuidar dos interesses de toda a sociedade.

As variáveis da globalização que se instalam em toda parte e a tudo influenciam direta ou indiretamente aprofundam as diferenças. E, mesmo assim, a preocupação que se tem somente é com a crise financeira, e não com qualquer outra. Dessa forma aprofunda-se o pano de fundo a crise real, que é econômica, social, política e ética.

A atualidade converge os momentos quando a hora é a mesma para todos, mas os homens não são iguais em face desse mesmo tempo. A técnica aparentemente cria todas as possibilidades da fluidez, mas os privilégios somente são usufruídos por poucos (SANTOS, 2001).

Se por um lado a tecnologia, a ciência e as técnicas estão a favor do homem, por outro o homem se rendeu à tecnologia através da velocidade e da aceleração obrigatória. E essa velocidade está ao alcance de um número limitado de pessoas. E, finalmente, quando esse progresso técnico alcançar um nível superior, a globalização se realiza, mas não a serviço da humanidade.

Em resumo, a transformação à qual Santos se refere como essencial em uma nova forma ou estágio do processo de globalização conta com uma efetiva mudança nas ações e por quem as toma. O Estado, que hoje é mobilizado pelo poder de compra das classes e que é condicionado pelas corporações, deve crescer na medida em que internalizar, no sistema democrático, uma visão real de conjunto, de redistribuição de poderes e de uso da técnica e da informação a favor de um novo modelo de desenvolvimento.

O conhecimento para construir novas ações políticas avança no momento em que a insegurança política se transforma e ganha espaço. E é nessa transição que o modelo de desenvolvimento sustentável surge e contempla as esferas ambiental, social e econômica em prol de toda a sociedade.

1.3.2 Desenvolvimento Sustentável

A abordagem ambiental na Conferência de Estocolmo apontou para a necessidade de os países do norte e do sul gerenciarem racionalmente seus recursos em detrimento do desenvolvimento sócioeconômico. A Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento criaram o relatório *Nosso Futuro Comum*, Brundtland, 1987 (UNITED NATIONS, [S.d]). E, em 1992, as propostas preparadas pela *United Nations Conference on Environment and Development* (Unced) na Cúpula da Terra, que foi realizada no Rio, tiveram como resultados os seguintes documentos: Agenda 21, Convenção do Clima, Convenção da Biodiversidade, Declaração do Rio e Princípios sobre Florestas (EARTH SUMMIT, 1997).

Além desses documentos, foram apontados as seguintes necessidades e aspectos: proteção ao meio ambiente e a sua relação com a pobreza e a degradação; maior parcela de culpa dos países desenvolvidos pela poluição causada; colocação de recursos e tecnologias a serviço dos países em desenvolvimento e solucionar o problema da dívida externa.

Para tanto, seria necessário desenhar um novo paradigma, de acordo com o qual as questões econômicas, políticas, sociais, tecnológicas e ambientais devem ser avaliadas de forma sistêmica, através de uma nova abordagem, que é a multidisciplinar. A estrutura seria:

- Uso racional de recursos renováveis,
- Reciclagem,
- Distribuição justa dos recursos,
- Flexibilidade na escolha das tecnologias,
- Gerenciamento eficaz,
- Definição de novos conceitos de eficiência,
- Estimar os custos e benefícios sociais e ambientais das atividades humanas sustentadas.

O Plano Nacional (BRASIL, 2008) aponta no relatório para alguns desses aspectos. São eles: uso racional dos recursos renováveis; flexibilidade na escolha de tecnologias; gerenciamento eficaz e definição de novos conceitos de eficiência. Observa-se, portanto, nesse plano uma intenção de mudança, mesmo que ainda teórica, na estrutura do planejamento.

Segundo o relatório Brundtland de 1987, “desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz às necessidades das gerações presentes sem afetar a capacidade de gerações futuras de também satisfazerem suas próprias necessidades”.

A palavra necessidade no Dicionário Aurélio significa: 1) o que é absolutamente necessário, e 2) aquilo que é inevitável. Em economia, segundo Sandroni (2007), necessidade significa exigência individual ou social, que deve ser satisfeita por meio do consumo de bens e serviços para sobreviver biológica e socialmente (FERREIRA, 1988). O homem tem necessidades ligadas à alimentação, vestuário, moradia, educação, saúde, transporte e lazer. (SANDRONI, 2007).

As definições retratadas geram um questionamento sobre o que seja de fato necessidade, tendo em vista que parte da população nunca se encontra satisfeita, enquanto outras não são atendidas com recursos básicos como energia e saneamento, entre outros. As necessidades de hoje muitas vezes envolvem aspectos luxuosos, apelativos e demonstrações de poder. E fazem parte de uma condição na qual o homem aceita e se predispõe a participar.

Segundo Bôa Nova (1985), por necessidades humanas básicas são entendidas não apenas as mundialmente aceitas, como meio ambiente sadio, alimentação, saúde, habitação, educação, emprego, mas também todas aquelas outras necessidades e aspirações compartilhadas socialmente que variam segundo o tempo histórico e contextos socioculturais. “As necessidades básicas não significam a exclusão de outras aspirações dos vários atores sociais, mas o ponto de partida para se buscar a sua realização” (BÔA NOVA, 1985).

Segundo Favareto (2007), em um primeiro momento a sinalização do relatório Brundtland não foi direcionar para a mudança na estrutura de um padrão. O questionamento da estrutura de um padrão equivaleria à crítica da escassez dos recursos naturais, cujo desdobramento poderia ser a crítica à desigualdades social, a qual não é apontada pelo relatório.

A definição de desenvolvimento sustentável poderia ser ampliada, portanto, para: desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades básicas de toda a população mundial, de forma mais eficiente possível no uso dos recursos naturais, e que incentive a próxima geração a uma nova identidade que também respeite o meio ambiente e a sociedade.

O debate a respeito do desenvolvimento resultou em considerações para além do crescimento econômico. As Nações Unidas adotaram a noção de desenvolvimento humano, que gerou o IDH (1999), e seu formulador foi Mahbub Ul Haq. O IDH propõe medir o desempenho geral de um país, no que diz respeito a três aspectos: longevidade, conhecimento e nível de vida. Essa ferramenta cobre múltiplas dimensões da vida econômica e social de uma população e conseguiu se impor como uma alternativa ao PIB na condição de elemento que mensura o desenvolvimento (FAVARETO, 2007). Entretanto, ele não abrange todos os aspectos de desenvolvimento e não oferece uma representação da felicidade, tampouco indica o melhor lugar para se viver.

O Programa das Nações Unidas de 1992 afirmou que o desenvolvimento humano é um processo que amplia o espectro de opções para as pessoas, oferecendo-lhes maiores oportunidades de educação, atenção médica, renda e emprego e abrangendo toda a gama de opções humanas, desde um ambiente físico com boas condições até liberdades econômicas e políticas (PNUD [S.d]).

Para um cenário promissor, Bermann (2001) aponta duas orientações que se complementam. De um lado, a redução da demanda, de forma a assegurar à população brasileira um padrão de qualidade de vida distribuído com equidade e que ofereça bens e serviços com menos consumo de energia. O uso final de energia enquanto hábito de uso e cultura do consumo comporta altos níveis de desperdício. Por outro lado, faz-se também necessário o aumento da participação de fontes renováveis na oferta energética.

Em relação à inserção das fontes renováveis, a experiência da Alemanha pode servir como exemplo da repercussão positiva ao país. No relatório do Ministério Federal do Meio Ambiente, Conservação Ambiental e Segurança Nuclear da Alemanha (BMU, 2009), pode-se encontrar algumas justificativas acerca da escolha pelo uso de energias renováveis, que são:

- Proteção climática (redução de GEE e gases poluentes). Em 2008 foi possível evitar a emissão de 109 milhões de toneladas de dióxido de carbono,
- Sustentabilidade,
- Segurança energética e menor dependência por combustíveis fósseis,
- Proteção ao aumento de gastos associados à importação de energia,
- Reciclagem,
- Aumento da competitividade industrial (desenvolvimento econômico) e geração de emprego,
- Oportunidade para os países em desenvolvimento. Acesso à energia e erradicação da pobreza.

Algumas medidas propostas para orientação do setor energético rumo a um desenvolvimento sustentável contam com:

- Desenvolvimento de tecnologias e eficiência energética,

- Políticas que redirecionam escolhas tecnológicas e o comportamento dos consumidores,
- Quebra de monopólios estatais e abertura do setor para investidores privados,
- Maior integração de sistemas de produção e distribuição e eficiência no uso de materiais, transporte e combustíveis,
- Desverticalização,
- Regulamentação e fiscalização,
- Diminuição do uso dos combustíveis fósseis e maior uso de combustíveis renováveis,
- Políticas energéticas que cubram os custos ambientais de alternativas não-sustentáveis (REIS e SILVEIRA, 2001).

O atual paradigma do desenvolvimento sustentável aponta para a necessidade de mudanças profundas nos sistemas de produção, na organização da sociedade e na utilização dos recursos naturais bem como inovação tecnológica. O ecossistema natural, a estabilidade econômica e o desenvolvimento social são dimensões que devem ser avaliados juntos. Ou melhor, a solução para questões ambientais tem de ser encontradas em um contexto amplo em que questões sociais, econômicas e políticas atuem de forma conjunta (REIS e SILVEIRA, 2001).

1.4 Sustentabilidade

Sustentabilidade é um termo complexo e todas as suas possíveis abordagens contêm, intrinsecamente, o conceito de equilíbrio da biosfera e bem-estar da humanidade. (SICHE et al., 2007). Segundo os autores, o conceito de sustentabilidade foi introduzido no encontro internacional *The World Conservation Strategy* (IUCN et al., apud SICHE et al., 2007).

Sustentabilidade ecossistêmica corresponde, segundo Veiga (2010), a um suposto equilíbrio. E, em virtude de seu compromisso com o meio ambiente, ganhou força o conceito de resiliência, que é a capacidade que um sistema tem em enfrentar distúrbios mantendo sua função e estrutura. E foi essa discussão que levou à comparação entre biocapacidade de um território e as pressões a que são submetidos seus ecossistemas em decorrência do aumento do consumo de energia e matéria pelas sociedades humanas e das poluições emitidas (VEIGA, 2010). Essa é a raiz ecológica da noção de sustentabilidade. Já em relação à economia, sustentabilidade agrega os conceitos “fraca” e “forte”, isto é, a economia neoclássica e a economia ecológica. A primeira, ainda segundo o autor, condição necessária intercambiável

ou intersubstituível é o natural/ecológico e o humano/social. Por outro lado, tem-se a sustentabilidade forte que aponta para a necessidade de que os serviços do capital natural sejam mantidos constantes. E a variante dessa corrente é a preocupação com os recursos naturais e sua finitude no Planeta. E é por conta disso que o barômetro do desempenho sócioeconômico, o PIB, é criticado, pois considera as atividades mercantis e ignora o consumo intenso e a depreciação dos recursos naturais e humanos.

A partir da Agenda 21, documento resultante da Conferência Rio-92, a demanda por um tipo de indicador econômico de sustentabilidade foi impulsionada. A proposta foi definir padrões sustentáveis de desenvolvimento, ou seja, que considerem aspectos ambientais, econômicos, sociais, éticos e culturais (SICHE et al., 2007). Segundo Veiga (2010), a avaliação, a mensuração e o monitoramento da sustentabilidade exigem um conjunto de indicadores, pois é impensável unir duas ou três dimensões em um mesmo índice. O autor aponta para a possibilidade de expressar-se a resiliência dos ecossistemas através de indicadores não-monetários, como, por exemplo, a emissão de gases de efeito estufa, biodiversidade e a segurança hídrica. E, igualmente, é importante apontar para o desempenho econômico através da renda familiar, não somente a partir do viés produtivista. Finalmente, faz-se necessário incluir um indicador de qualidade de vida.

Um exemplo de indicador é a Pegada Ecológica²⁴, usado para calcular a quantidade de recursos naturais utilizada para sustentar as atividades humanas; entretanto, ela não é uma medida exata, mas, sim, uma estimativa (WWF, 2010). Segundo Veiga (2010), esse indicador inicialmente foi proposto por Wackernagel e Rees, em 1995, e é promovido tanto pelo *World Wide Fund for Nature* (WWF), pelo *Global Footprint Network* e o *Redefining Progress*. O autor também observa que, como decorrência de algumas incoerências apresentadas pelo indicador, ele deve ser entendido como uma ferramenta de medida da valoração da insustentabilidade global, em vez de ser concebido como um indicador de sustentabilidade deste ou daquele país.

Entretanto, alguns autores como Daly (2004) apontam ser impossível o crescimento sustentável, assim como sair da pobreza e da degradação ambiental por meio do crescimento

²⁴ A Pegada Ecológica de um país, de uma cidade ou de uma pessoa, corresponde ao tamanho das áreas produtivas de terra e de mar, necessárias para gerar produtos, bens e serviços que sustentam determinados estilos de vida. (WWF, 2010).

econômico mundial. Isso porque, segundo o autor, a economia é um subsistema aberto do ecossistema terrestre, e esse, por sua vez, é finito e materialmente fechado. E, à medida que o subsistema econômico cresce, ele incorpora uma proporção cada vez maior do ecossistema total, que deve alcançar um limite a 100%.

Mesmo que um aumento quantitativo e qualitativo sejam expressos pelo crescimento do Produto Interno Bruto, o ecossistema não cresce, se desenvolve, e, portanto, a economia deveria parar de crescer, mas continuar a se desenvolver. Por conta disso, o desenvolvimento sustentável, segundo o autor, somente faria sentido para a economia se entendido como desenvolvimento sem crescimento. Em outras palavras, o consumo de recursos naturais teria que estar dentro da capacidade regenerativa e assimilativa do ecossistema, no qual a melhoria qualitativa de uma base econômica física seria mantida em um estado estacionário.

A questão mais delicada, contudo, é a seguinte: se a economia não pode crescer para sempre, o quanto, então, ela pode crescer? Daly apresenta essa questão diante de milhões de pessoas que ainda não têm o mesmo acesso ao padrão de uso dos recursos naturais, e, também porque não se consegue ir além de 100%, tornando-se improvável, portanto, aumentar o produto interno líquido.

Além dessa, outra questão levantada por Daly é se realmente o crescimento nos torna mais ricos. Segundo ele mesmo existe evidências nos EUA de que o crescimento atualmente nos torna mais pobres, na medida em que aumentam os custos mais rapidamente do que os benefícios ocasionado pelos danos ambientais. E crescer além da escala ótima é uma questão crucial, quando não são todos os que acompanham esse crescimento, e, mais ainda, terão de sofrer os danos futuros resultantes da interferência global no Planeta.

No futuro, o investimento, portanto, não será somente para a população pobre, mas para o meio ambiente também. Os gastos serão muito maiores na tentativa de “consertar” os erros outrora cometidos.

Medidas políticas e algumas diretrizes foram apontadas pelo autor como possíveis incentivos a um desenvolvimento sustentável. São eles: inserção de taxas para a extração de recursos, especialmente de energia; utilização dos recursos renováveis de maneira que as taxas de

colheita não excedam as taxas de regeneração; adoção de medidas para que as emissões de resíduos não excedam a capacidade assimilativa do meio ambiente local.

Não existe dúvida da relação entre o consumo de energia e a capacidade do ecossistema de suportar o aumento da demanda por recursos naturais. No próximo tópico serão apresentados os modelos econômicos neoclássico e o ecológico, os quais detalham, com maior precisão, a diferente postura diante do meio ambiente com o propósito do crescimento e do desenvolvimento.

É certo que o desenvolvimento sustentável é uma estratégia de potencialidade, com novas perspectivas. Uma delas é a adaptação do modelo através de novas fontes energéticas, as renováveis. Segundo Verbruggen et al., (2009) as cinco dimensões da sustentabilidade apropriadas pelos mercados alcançaram as seguintes etapas: melhores governanças; melhora na economia visto que serão reduzidos os impactos ambientais que até então não são contabilizados; eficiência espacial e temporal; menor utilização de recursos naturais e uma busca maior por justiça e igualdade.

1.4.1 Economia neoclássica versus economia ecológica

Segundo Andrade (2008), no momento em que a escassez de recursos foi notada, assim como a magnitude dos rejeitos eliminados tanto nos processos de produção como pelo consumo, a interferência da economia na esfera ambiental estendeu-se à do bem-estar do homem, de acordo com a teoria do bem-estar elaborada por Pigou. Essa teoria considera a poluição uma externalidade negativa e busca entender quais são os danos gerados, os custos e benefícios envolvidos na adoção de mecanismos para seu controle, entre os quais taxaço e licença pela poluição, que são capazes de promover a internalização das externalidades no cálculo econômico. Além do viés do bem-estar, tem-se também o meio ambiente como provedor de recursos ao sistema econômico (economia dos recursos).

O ponto em comum entre as duas correntes econômicas, segundo Andrade, é a interação do sistema econômico com o meio externo, ou seja, a maneira como o sistema econômico afeta o ecossistema maior que o sustenta e de que maneira a degradação do meio ambiente pode contrair o crescimento econômico. E a principal diferença está na hipótese ambiental adotada.

Na economia neoclássica, segundo Andrade, o caráter finito de recursos energéticos pode tornar-se um obstáculo para a expansão do sistema econômico. Para tanto, procura-se responder a questões referentes ao padrão ótimo de uso desses recursos, ao manejo adequado e à taxa ótima de depleção de recursos não-renováveis. Mais ainda: a economia dos recursos naturais parte do princípio de que a questão do uso dos recursos deve ser resolvida através da alocação intertemporal de sua extração, isto é, devendo a alocação ser determinada com base na maximização dos ganhos obtidos com a extração do recurso ao longo do tempo, através dos conceitos de custo de oportunidade e desconto para se determinar a taxa ótima de extração (ANDRADE, 2008).

O meio ambiente para essa corrente é neutro e passivo e os impactos causados pelo sistema econômico assumem a forma de externalidades negativas, sendo necessário promover mecanismos que concorram para sua internalização. A preocupação é o bem-estar dos indivíduos, e o meio ambiente fica, portanto, em segundo plano. Considera-se que o meio ambiente não oferece obstáculos para que a economia não possa, através do progresso tecnológico, enfrentar e relativizar no que concerne ao efeito da escassez de recursos no processo produtivo. A sustentabilidade fraca, portanto, considera o capital natural e o capital construído pelo homem como substitutos.

O sucesso da economia neoclássica está relacionado com a “cientificização” (WEINTRAUB, 2002). Economistas do século XX, como Fisher dos EUA, queriam legitimar a economia como uma disciplina acadêmica, e, naquele período, segundo o autor, os economistas eram otimistas a respeito do futuro, ligados ao avanço da tecnologia. “Uma forma de garantir o melhor progresso era que a sociedade usasse o melhor conhecimento científico” (WEINTRAUB, 2002). Desse modo, segundo o autor, uma vez que a economia neoclássica fora associada à economia científica, qualquer desafio à abordagem neoclássica parecia um questionamento da ciência, do progresso e da modernidade.

Para exemplificar o modelo neoclássico, o autor faz uma comparação através do planejamento das necessidades futuras de energia em seu Estado. A instituição x faz uma previsão (neoclássica) de demanda, em união a uma análise (neoclássica) de custo de construção de usinas de vários tamanhos e modelos, por exemplo, uma usina movida a carvão de baixo enxofre com capacidade de 800 MW. Desenvolve uma estratégia de implementação da usina em um sistema de mínimo custo com uma concomitante estratégia de preço. Em prol disso,

todos os envolvidos, da indústria à prefeitura, das companhias elétricas aos ambientalistas, utilizam os mesmos termos sobre a elasticidade da demanda e da minimização dos custos, custos marginais e da taxa de retorno. A cientificidade da economia neoclássica não é sua fraqueza, segundo o autor, mas seu ponto forte (WEINTRAUB, 2002).

Já o surgimento da economia ecológica deu-se em 1987, em uma conferência em Barcelona, na qual foi evidenciada a insatisfação de pesquisadores tanto no ramo da economia como das ciências sociais. A complexidade dos problemas ambientais exige, conforme se chegou à conclusão, uma integração analítica de várias perspectivas. Esta corrente analisa as relações entre sistema econômico e meio ambiente, adotando um *approach* metodológico pluralista e não-mecanicista, para assim incentivar os modelos neoclássicos incorporando variáveis ecológicas e físicas não contempladas na análise convencional (ANDRADE, 2008). Essa corrente rejeita a visão da economia ambiental neoclássica no momento em que esta desconsidera aspectos biofísicos-ecológicos, levando a uma análise parcial e reducionista.

A economia ecológica admite a análise das leis da termodinâmica e suas implicações na dinâmica econômica, e isso porque é importante admitir os fluxos materiais e energéticos para a análise do funcionamento do sistema econômico e pelo fato de que a economia é, em si, um processo físico. A lei da conservação da matéria e da energia (primeira lei²⁵) e a lei da entropia (segunda lei²⁶) demonstram as implicações com a escassez, sendo esse o principal obstáculo à economia (ANDRADE, 2008).

Portanto, a economia ecológica se preocupa em admitir a finitude dos recursos naturais, que é o sistema que sustenta a economia e se preocupa com os limites biofísicos que constroem o sistema econômico. A sustentabilidade forte volta-se contra alguns pontos da outra vertente no que diz respeito ao seu otimismo tecnológico.

Em relação à escala ótima e ecologicamente sustentável por parte dessa corrente, seriam necessárias implicações políticas, mudanças na teoria macro que incluíssem alterações na base de taxaço, e que se passasse a taxar energia, materiais e fluxos de resíduos, em substituição à renda, ao trabalho e ao capital. Seria necessário também, ainda segundo essa

²⁵ A primeira lei da termodinâmica estabelece que as quantidades de matéria e energia do universo são constantes, não podendo ser criadas ou destruídas.

²⁶ A segunda lei da termodinâmica estabelece que a energia do universo, embora constante, sofre um processo de irreversível mudança de um estado disponível para um estado indisponível.

corrente, que houvesse incremento no investimento público e que fossem criadas novas instituições globais para regular os fluxos de capitais e a transferência de fundos para as nações em desenvolvimento (ANDRADE, 2008).

A falta, contudo, de um conhecimento sistêmico sobre todos os processos que ocorrem no meio natural não torna possível ainda conhecer os limites dos ecossistemas e o quanto o sistema econômico pode expandir-se sem gerar danos irreversíveis aos ecossistemas naturais. Além disso, segundo o autor, o desafio, portanto, dessa corrente está no aperfeiçoamento de um sistema de valoração multicritério, em que o valor monetário é ponderado com os valores não-monetários. “Admitir a incomensurabilidade econômica de alguns aspectos dos sistemas naturais, em um contexto de riscos e incertezas, requer a utilização de indicadores físicos e sociais de falta de sustentabilidade” (ANDRADE, 2008).

A economia ecológica não descarta integralmente os métodos de valoração existentes, mas, segundo o autor, reconhece que, em alguns momentos, as técnicas de valoração não são aplicáveis, o que demonstra a necessidade de se utilizar métodos que não objetivem somente o valor monetário como resultado. Entretanto, a linha ecológica oferece instrumento analítico mais condizente com a sustentabilidade e a preservação do ecossistema.

1.4.2 Externalidade

A produção de energia causa diferentes tipos de impactos sobre o meio ambiente, a depender da tecnologia utilizada. Como exemplo têm-se o ruído emitido pela fonte eólica; a acidificação causada pela emissão de dióxido sulfúrico no processo de produção de combustíveis fósseis de energia, acidentes nucleares, e gases de efeito estufa, entre tantos outros. O termo externalidade é utilizado para expressar os impactos ambientais, os quais não são incluídos no preço enfrentado pelo produtor e consumidor. Contudo, os custos externos são difíceis de serem contabilizados por conta de diversos aspectos. A realidade e as previsões são incertas e as diferentes tecnologias e processos de obtenção de energia elétrica causam impactos diferentes.

Segundo Sena (1999), vários países já incorporaram os custos da destruição dos recursos naturais em suas análises econômicas, como, por exemplo, a Noruega, que incorporou o valor da depleção de diversos recursos, entre eles minérios e pescados.

Contudo a contabilidade da renda nacional convencional, segundo Goldemberg e Lucon (2008), não leva em conta algumas categorias de despesa, entre as quais a despesa defensiva, isto é, a prevenção da poluição ou sua limpeza e aquelas decorrentes do consumo de recursos exauríveis. Isso porque no balanço futuro a taxa de crescimento pode ser bem menor por conta do esgotamento dos recursos e da utilização conflitante dos serviços ambientais, como, por exemplo, tornar a atmosfera, de um lado, um depósito de rejeitos, por parte dos produtores de insumos, e, do outro, transformá-la em um bem de consumo pelos usuários. (GOLDEMBERG e LUCON, 2008). O Japão, por exemplo, fez diversas simulações demonstrando que prevenir a poluição custa algumas vezes menos do que reparar os estragos.

Como se sabe, o PIB mede o crescimento da produção, mas não leva em conta a depreciação das reservas de capital físico nem natural, isto é, não considera os itens ambientais e recursos naturais, cujo esgotamento ainda é difícil de ser mensurado. Mesmo assim propostas para incluir no PIB o efeito das mudanças na qualidade do meio ambiente já foram feitas, e essa necessidade é percebida em muitos países onde os aumentos constantes no PIB mascaram os efeitos de décadas de degradação ambiental.

O Manual Global de Ecologia, segundo Sena, informa que os custos econômicos da chuva ácida, por exemplo, são cada vez mais reconhecidos e os danos estimados encontram-se em US\$ 20 bilhões/ano. Porém, o custo total dos prejuízos ocasionadas pela chuva ácida ainda são difíceis de serem avaliados, motivo por que os danos à agricultura, lagos, áreas de pesca, vegetação, saúde humana e animal, turismo, entre outros, deveriam ser também incluídos na contabilização. Até porque, ainda segundo a autora, estudos demonstram que o PIB de alguns países, como o México, por exemplo, seria reduzido se fossem computados os custos referentes ao uso intensivo de recursos naturais.

Em relação aos efeitos provocados pelo aquecimento global, por exemplo, e pelo aumento dos gases de efeito estufa na atmosfera, os custos e riscos equivalerão a perdas de 5% do PIB global permanentemente, e, considerando-se maiores impactos e riscos, as estimativas sobem para 20% (GOLDEMBERG e LUCON, 2008). Em contrapartida, segundo os autores, os custos das ações de mitigação de emissões podem limitar-se a cerca de 1% do PIB global ao ano. Os custos de estabilização são significativos, porém gerenciáveis; o atraso, segundo os autores, é muito mais caro e perigoso.

Segundo outros estudos apontados pelo Ministério Alemão (BMU, 2009), as emissões de GEE têm um papel fundamental na contabilização final por parte das fontes geradoras de energia. Foram contabilizados no estudo os seguintes gases: CO₂, CH₄ e N₂O evitados através do uso de fontes renováveis. A melhor estimativa realizada pelos danos causados por essas emissões é cerca de 70 euros/t de CO₂. Parte disso já é contabilizada na conta de eletricidade por emissão negociada. Mas a saúde, os danos materiais causados pela poluição do ar e, em menor medida, as perdas de receitas agrícolas são ocorrências também importantes para o custo final. O cálculo realizado teve como base o saldo líquido que contempla tanto as emissões evitadas pelo uso de combustíveis fósseis e como as emissões resultantes do abastecimento de energia renovável (eletricidade). O fator evitado (kg/GWh) foi de 808,662 de CO₂ equivalente, e as emissões evitadas (1000 t) foi de 75,027 de CO₂ equivalente.

Em prol disso, algumas formas foram encontradas para amenizar os impactos causados no meio ambiente. O princípio do poluidor pagador e o do usuário pagador são alguns deles. O primeiro caso, o poluidor pagador foi concebido com o objetivo de internalizar os custos externos relativos à degradação ambiental. Isso significa que o consumidor, produtor ou transportador devem arcar com os custos decorrentes do dano ambiental, assim como de sua reparação (SENA, 1999). A origem deste princípio se encontra na obra de Pigou, nos anos 20, em que foi formulada a Teoria da Internalização dos Custos Sociais. Os responsáveis pela poluição devem arcar com os custos para evitá-la ou reduzi-la, para que se possam alcançar níveis de qualidade ambiental satisfatórios, levando-se em conta o interesse público. A autora utiliza como exemplo uma fábrica, que lança seus efluentes sem nenhum tratamento em um corpo d'água. Sendo verificado que essa água encontra-se contaminada e gera impactos aos vizinhos, provocando doenças e conseqüentemente perdas de dias de trabalho, obriga-se o governo a instalar estações de tratamento. Nesse caso, a fábrica transfere seus custos, fazendo com que outro órgão pague pela poluição gerada, a isso se chama externalidade. O princípio do poluidor pagador busca internalizar essas externalidades através de instrumentos de mercado, pelos quais o Estado só intervém diante de uma imperfeição.

Já o segundo caso, o princípio do usuário pagador, estende a cobrança à utilização dos recursos naturais, preocupando-se não somente com sua qualidade, mas, também, especialmente com a sua quantidade. Nesse caso, é adotada a premissa com base na qual quem utilizou recursos naturais pagou. A gestão ambiental em especial se baseia em

instrumentos regulatórios com foco no controle de descargas e emissões. Esses instrumentos representam custos sociais importantes, tanto para o setor público como para o setor privado, à medida que necessitam de uma fiscalização eficiente. A modernização desses instrumentos deverá induzir o uso mais eficiente de materiais e insumos; melhor controle do processo produtivo; redução dos custos de disposição; manejo de efluentes, resíduos e emissões; criação de novos produtos e materiais menos agressivos ambientalmente; incremento na produtividade; a identificação e o aproveitamento de mercados para materiais secundários, e eficiência energética, entre outros (SENA, 1999). Porém, como já foi mencionado, o custo total dos prejuízos ainda são difíceis de serem avaliados.

O conhecimento científico não permite dizer qual é o ponto a partir do qual o ecossistema perderá sua resiliência e estará, de fato, comprometido. E, sem esse tipo de informação, não haverá consistência em qualquer estimativa do custo de conservação de uma área de manguezal”, por exemplo (VEIGA, 2005).

Segundo BMU (2009), mesmo que a relação dos custos de fontes renováveis (que é apta a ser remunerada sob a Lei de Energia Renovável - EEG²⁷) seja ainda mais cara que as fontes de energia convencional, os custos determinados pela Lei de Energia Renovável não são suficientes para uma avaliação econômica global do uso dessas fontes.

A dimensão microeconômica, segundo o relatório, não reflete que a geração de eletricidade pelo meio convencional causa impactos significativos ao meio ambiente, ao contrário da eletricidade gerada por fontes renováveis. Esses são os chamados custos externos e eles não são incorporados ainda na conta da eletricidade, conforme é exigido pelo princípio do poluidor-pagador.

Como comparação, os custos externos da geração de eletricidade gerada através de carvão e lignite – mesmo com a mais moderna tecnologia contam com 6 a 8 cents/kWh. Para o gás natural e usinas a vapor, os custos externos são de aproximadamente 3 cents/kWh. Em contrapartida, a produção de eletricidade através de fontes renováveis causa menos de 0,5 cents/kWh, a fotovoltaica custa ainda 1 cents/kWh. O custo da construção e eliminação das plantas está incluso na conta (BMU, 2009).

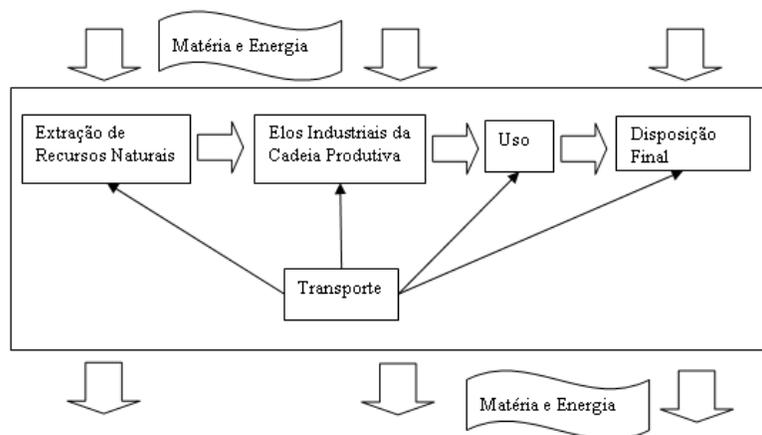
²⁷ EEG. Erneuerbare Energie Gesetz - Renewable Energy Sources Act. - Lei de Energia Renovável.

Em resumo, os economistas não incluem o trabalho despendido pelo próprio ecossistema nos custos finais. Por exemplo, qual seria o custo de se tirar gás carbônico do ar e devolver em oxigênio? E, na economia convencional, isto não é incluído. A atribuição ao crescimento econômico como meta primordial para o desenvolvimento não contabiliza o homem e seu trabalho, muito menos o meio ambiente com seus recursos.

Os custos, portanto, serão mais altos no caso de as tecnologias demorarem a ser incorporadas e no caso também de os políticos falharem na inserção de ações com esse viés. Esse contexto poderá criar empregos e oportunidades de negócio como já é observado com os créditos de carbono.

1.5 Análise do Ciclo de Vida – ACV

A Análise do Ciclo de Vida, segundo Silva (2006), é o conjunto de todas as etapas necessárias para que um produto cumpra sua função ao longo de todo o seu ciclo de vida. Isto é, desde a obtenção dos recursos naturais usados em sua fabricação até sua disposição final, passando, portanto, por todos os elos industriais da cadeia produtiva e pela distribuição e uso dos mesmos. A Figura 1 representa o modelo de fluxograma utilizado nas ACVs e as partes que compõem seu ciclo de produção.



Fonte: Adaptado de Silva, 2006.

Figura 1 - Modelo de Fluxograma - ACV

De acordo com Haes e Heijungs (2007), a ACV pode contribuir de diversas maneiras. Em primeiro lugar, para o design, isto é, para o desenvolvimento de produtos que apresentem o mínimo de impacto ambiental em seu ciclo de vida. Em segundo lugar, porque a ACV é uma ferramenta que dá atenção ao reuso e a reciclagem, gerenciando o processo do “berço a

sepultura”. E, em terceiro e último lugar, porque contribui também para evitar possíveis problemas entre os diferentes processos dos produtos que já se encontram no mercado. Além disso, ainda de acordo com os autores, a ACV é uma ferramenta quantitativa que oferece às partes interessadas (*stakeholders*) informações sobre a cadeia de produção e o consumo de recursos, contribuindo, desse modo, para a tomada de decisão durante as etapas do ciclo.

A metodologia utilizada na avaliação é a identificação das interações do ciclo de vida do produto com o meio ambiente e a análise dos impactos ambientais associados a essas interações. Entre outros impactos têm-se: a emissão de gases poluentes e o efeito que eles geram no meio ambiente, entre os quais se incluem o efeito estufa, a destruição da camada de ozônio, a formação fotoquímica de ozônio e a chuva ácida. O método, portanto, utiliza um banco de dados, de caráter regional, que pode demonstrar a interação do ciclo com os impactos considerados (SILVA, 2006). Alguns autores, como, por exemplo, Lenzen e Stoppato²⁸, apresentam em seus estudos os bancos de dados utilizados para a análise do ciclo de vida das tecnologias solar fotovoltaica e nuclear. Nesse trabalho, contudo, não foi abordada a fundo essa interação, mas apresentados alguns dos resultados obtidos por diversos autores no tocante à emissão de gases de efeito estufa que essas tecnologias emitem indiretamente.

Além disso, segundo Coltro (2007), um estudo de ACV é dividido em quatro fases, quais sejam:

- Definição do objetivo e do escopo, dos quais constam a finalidade do estudo e sua amplitude,
- Análise de inventário, com informações sobre as entradas e saídas consideradas relevantes para o sistema no qual são quantificadas,
- Avaliação de impacto, a qual associará os dados e as informações geradas pela análise de inventário a impactos ambientais específicos; e, a última etapa, que é a
- Interpretação, quando os resultados obtidos nas últimas duas fases são combinados e interpretados de acordo com os objetivos definidos.

²⁸ LENZEN, M. **Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: a review.** Energy 49 (2008) 2178-2199. 2008.

STOPPATO, A. **Life cycle assessment of photovoltaic electricity generation.** Energy 33 (2008) 224-232. 2008.

Entretanto, a Análise de Ciclo de Vida tem suas limitações. Isso porque sempre ocorre um processo atrás do outro processo e não se conhece a relevância em não incluí-los na cadeia. Por exemplo, no caso do transporte do combustível nuclear, este produto é incluído, mas não o é a construção dos navios e caminhões e, menos ainda, a construção da fábrica onde os caminhões foram montados (HAES e HEIJUNGS, 2007). Nesse caso, a decisão é arbitrária, isto é, depende da escolha de quem está realizando a análise.

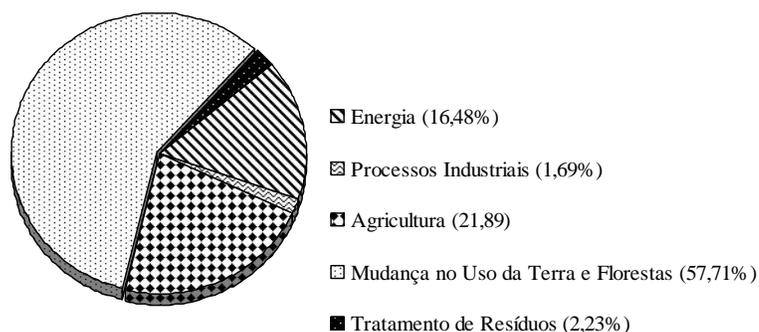
Especificamente no que concerne aos aspectos econômicos, a ACV pode ser trabalhada em paralelo com o custo do ciclo de vida. A Análise de Custo do Ciclo de Vida - ACCV, segundo Coltro (2007b), é uma metodologia que envolve tanto os custos e os benefícios econômicos “contabilizáveis” como os impactos que, muitas vezes, não são “contabilizáveis”, os quais são denominados pela literatura de externalidades. Como, por exemplo, os subsídios relacionados com o uso da energia renovável (COLTRO, 2007b), que podem ser inseridos na análise, deixando, desse modo, de ser uma externalidade na medida em que passa a ser “contabilizado”.

Em especial nas análises sobre as energéticas, a tecnologia nuclear é difícil de ser investigada por conta da improvável, mas potencial, catástrofe que provoca, caso haja um acidente. Por este motivo, ela não pode ser avaliada a partir do alcance global dos impactos oriundos de sua interação com o meio ambiente (HAES e HEIJUNGS, 2007).

A ACV identifica impactos ambientais nas seguintes ordens: oriundos do aquecimento global, da emissão de ozônio, de sua toxicidade, acidificação e eutrofização. Em especial neste trabalho, o recorte feito se limitou à análise que os artigos pesquisados realizam sobre a emissão de gases de efeito estufa à análise preliminar dos fluxogramas criados, os quais se encontram no anexo deste trabalho.

A atenção maior que se dispensa à emissão de gases de efeito estufa justifica-se pela sua inserção na Política Estadual de Mudanças Climáticas – PEMC, que, como referido nas justificativas desta pesquisa, foi instituída através da Lei Estadual 13.987. Como ilustra o parágrafo 1º de seu artigo 32, tal política é assim enunciada: “O Estado terá a meta de redução global de 20% (vinte por cento) das emissões de dióxido de carbono (CO₂), relativas a 2005, em 2020” (SÃO PAULO, 2009).

Para se ter uma idéia do que esse número representa dentre as emissões do Gás de Efeito Estufa (GEE) do país, foram feitas estimativas sobre as prováveis emissões desse gás no Estado de São Paulo, com base naquelas ocorridas no Brasil, em 2005, segundo cálculos realizados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia. O primeiro gráfico apresenta a distribuição das emissões. Essa verificação se faz acompanhar de estudos que definem os custos de abatimento e as políticas de mitigação, que, se adotadas, podem permitir a avaliação dos impactos na economia do país.



Fonte: MCT, 2009.

Gráfico 4- Distribuição das emissões de GEE, em 2005, do BR, com dados preliminares

Com base nos dados sobre as emissões de GEE do Brasil, representadas no Gráfico 4 e na Tabela 2, são feitas considerações de equivalência entre os dados nacionais e as emissões do Estado São Paulo, sendo estes últimos apresentados na Tabela 3.

Tabela 2- Equivalências (Razão entre a emissão de SP e Brasil)	
Setor	Equivalências
Energia	Do BEESP, sem equivalência com o nacional, o dado 68.470 foi obtido do BEESP.
Processos Industriais	Razão entre SP e BR do pessoal ocupado (total da população que trabalha na indústria): 36,00% das emissões são do Estado de São Paulo.
Mudança no Uso da Terra e Florestas	Arbitrado zero
Agropecuária	Média aritmética da razão de área de cultivo de arroz SP/BR e razão do efetivo bovino SP/BR: 3,64%
Tratamento de resíduos	Razão entre SP e BR da população urbana: 24,97% (população urbana de SP/ população nacional)

Fonte: Informação pessoal de ALVES, 2010²⁹.

A Tabela 3 apresenta as emissões de GEE emitidas pelo Brasil e por São Paulo. As maiores contribuições do Brasil são representadas em ordem decrescente e decorrem de mudanças

²⁹Dados referentes a São Paulo, extraídos do Balanço Energético do Estado de SP (BEESP, 2009) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE [S.d]).

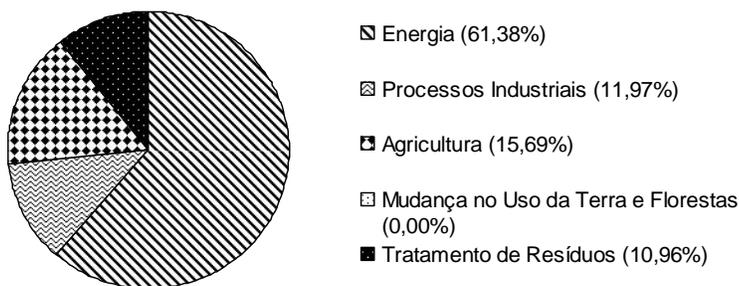
ocorridas no uso da terra e das florestas; a essa contribuição se seguem as emissões dos setores agropecuário e energético, contabilizando ambos 2.196.908 de Gg³⁰CO₂ equivalente; já no Estado de São Paulo, o maior contribuinte é o setor energético, cujas emissões totalizam 111.555 de GgCO₂ equivalente.

Tabela 3 - Emissões de GEE, em 2005, do BR e de SP

Setor	BR GgCO ₂ equivalente	SP
Energia	362.032	68.470
Processos Industriais	37.097	13.355
Mudança no Uso da Terra e Florestas	1.267.889	-
Agropecuária	480.945	17.506
Tratamento de resíduos	48.945	12.224
Total	2.196.908	111.555

Fonte: Informação pessoal de ALVES, 2010³¹.

A partir dessas informações foi criado o Gráfico 5.



Fonte: Informação pessoal de ALVES, 2010.³²

Gráfico 5 - Provável distribuição das emissões de GEE, no ano de 2005, no Estado de SP, com base no inventário nacional e nas equivalências citadas acima

O objetivo de se estabelecer uma comparação entre os dados relacionados com as tecnologias pesquisadas foi primeiramente destacar a importância, na análise do ciclo de produção das duas fontes energéticas, todas as etapas de sua produção, desde a extração dos minérios, inclusive o processo de fabricação do módulo fotovoltaico e do combustível nuclear, o reator e, por fim, a disposição final dos resíduos gerados. E apresentar algumas pesquisas que apontem para a emissão do dióxido de carbono, gerado indiretamente durante as respectivas cadeias.

³⁰ Gg (Gigagrama) 1 Gg = 1000 t

³¹ Dados referentes ao Brasil, extraídos do “Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa”, MCT, 2009.

³² Gráfico produzido a partir das equivalências apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Em relação à fronteira geográfica do sistema, a tecnologia nuclear inclui, durante o ciclo do combustível e enriquecimento, trajeto que passa pelo Canadá e pela Holanda, retornando, depois, ao Brasil. Isso porque o combustível nuclear ainda não é produzido em sua totalidade no país. No caso da tecnologia solar, a proposta é de um cenário em que a fabricação dos módulos fosse aqui realizada. A fronteira temporal, no que se refere à tecnologia nuclear, baseia-se na cadeia dos procedimentos atualmente adotados, e num cenário futuro para a cadeia da energia solar fotovoltaica. Em relação à fronteira relacionada com a produção, alguns aspectos ficarão de fora, principalmente aqueles que dizem respeito à entrada e à saída (*inputs* e *outputs*) de matéria e energia nos fluxogramas. O intuito neste trabalho não é detalhar toda a matéria e energia que entram e saem da cadeia, mas apresentar, de modo geral, seu ciclo de produção e os dados já existentes sobre a emissão de GEE.

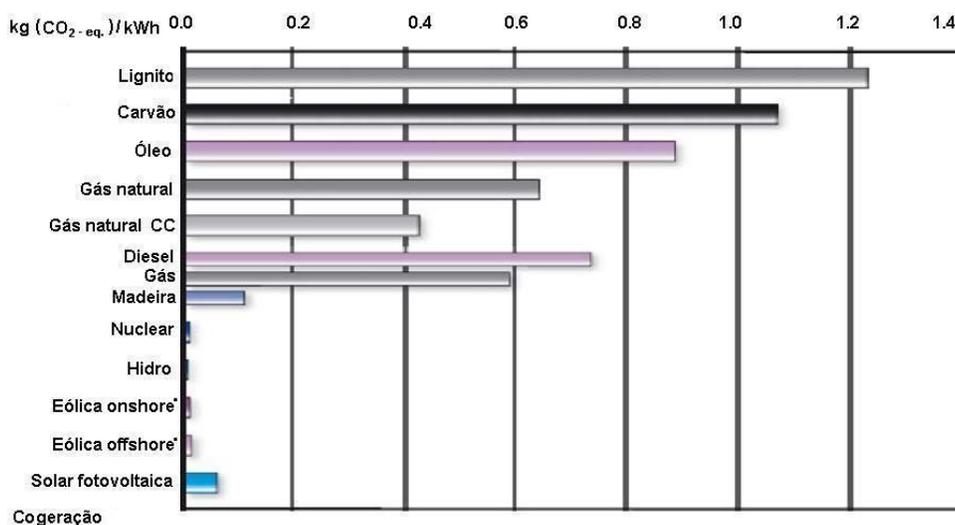
A interpretação dos resultados, portanto, se dará da seguinte forma: no anexo, a apresentação preliminar de dois fluxogramas das tecnologias solar fotovoltaica e nuclear, e os resultados obtidos, com base nos artigos publicados, sobre a emissão indireta de dióxido de carbono.

O que foi observado, até então, é a meta apresentada por pesquisadores em prol de uma tecnologia que não emita GEE ou emita menos do que os combustíveis fósseis, por conta do aquecimento global. Entretanto, esse recorte não é suficiente para estabelecer-se uma comparação clara entre todos os aspectos ambientais no que diz respeito às duas fontes, entre outros, os impactos decorrentes da emissão de outros gases poluentes ou de rejeitos radioativos, bem como da toxicidade do cádmio e do telúrio utilizados nos módulos policristalinos e da quantidade consumida de água e de energia utilizada, entre tantos outros recursos.

Alguns artigos pesquisados, como, por exemplo, aqueles elaborados por Fthenakis e Kim (2007) sobre a emissão de gases de efeito estufa por ambas as tecnologias, através da análise de seu ciclo de vida, apresentaram os seguintes resultados: a energia solar fotovoltaica emite 40-180 CO₂-eq/kWh e a fonte nuclear 3.5-100 CO₂-eq/kWh. Esses estudos também fazem referência a outros gases de efeito estufa, como o metano, o óxido nitroso, o clorofluorcarbono e à energia necessária na cadeia de produção das tecnologias. Os autores chamam atenção para a importância de serem futuramente elaborados estudos mais detalhados

acerca de ambas as tecnologias e, também, para a necessidade de se avaliar, com maiores detalhes, os locais destinados aos rejeitos radioativos, como o *Yucca Mountain*, nos EUA.

Outro estudo, desta feita realizado por Lenzen (2008), também estabeleceu comparação entre si das diversas tecnologias e apresentou suas respectivas emissões de dióxido de carbono. De acordo com esse trabalho, o combustível fóssil foi o responsável pela maior parte das emissões lançadas na atmosfera pelas usinas de energia. Também de acordo com esse trabalho, a maior emissão de gases gerados no ciclo do combustível nuclear ocorre nas fases de processamento *upstream* e *downstream* através da planta. Os reatores mais populares, LWR (*Light Water Reactor*, reator de água leve) e HWR (*Heavy Water Reactor*, reator de água pesada), precisam entre 0.1 e 0.3 kWhth, uma média de 0.2 kWhth, para cada kWh gerado. Esse dado se traduz na emissão de dióxido de carbono na atmosfera na ordem de 10 a 130 g CO₂-e/kWhel, sendo que a média apontada foi de 65 g CO₂-e/kWhel. Embora esses números sejam menores que a emissão gerada através dos combustíveis fósseis, são maiores do que a emissão gerada pelas fontes eólica e hidro – que apresentaram o valor de 15 a 25 g CO₂-e/kWhel de gás lançado na atmosfera – e menor do que o valor encontrado para a emissão da tecnologia solar fotovoltaica e térmica, de 90 g CO₂-e/kWhel. (LENZEN, 2008).



*Onshore – terra/ Offshore – mar.

Fonte: OECD/NEA – IAEA (2008) baseado em Dones et al., apud Adamantiades e Kessides, 2009.

Gráfico 6- Emissão de GEE das cadeias de energia selecionadas.

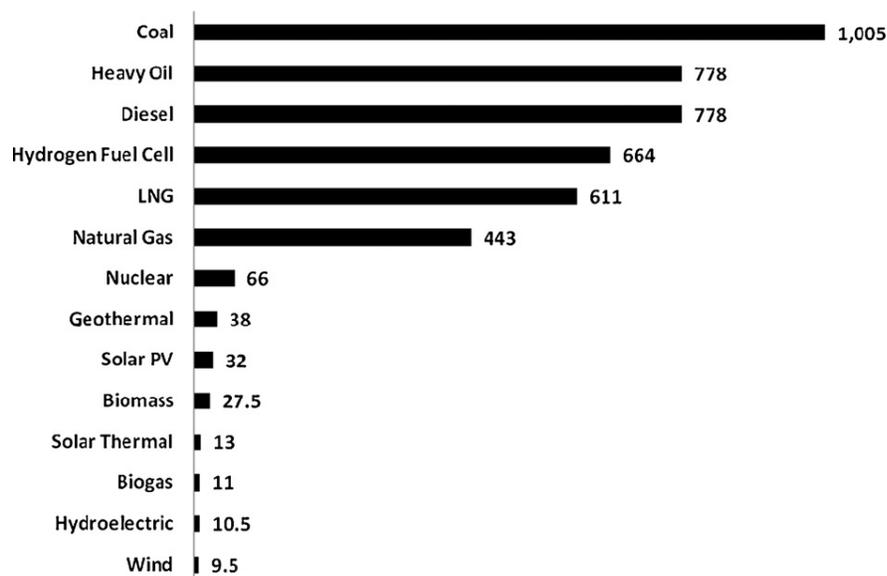
Assim como as fontes renováveis (hidro, eólica, solar, biomassa e geotérmica), a energia nuclear também é uma fonte de baixa emissão de gases de efeito estufa. De fato, segundo

Adamantiades e Kessides (2009) a emissão de gases de efeito estufa através da fonte nuclear e de tecnologias renováveis estão entre a primeira e a segunda ordens de menor magnitude de emissões de gases correspondentes à cadeia dos combustíveis fósseis. O lignito apresentado no Gráfico 6 representa a fonte de maior emissão, perto do carvão e do gás natural. Por outro lado, dentre as tecnologias renováveis, a hidro e a eólica apresentam reduzida emissão de gases em comparação com a solar fotovoltaica e com a cogeração da madeira. A fonte nuclear se compara favoravelmente com a maioria das fontes renováveis, apresentando menor emissão de gás de efeito estufa somente se comparada com a hidro.

A geração de energia elétrica através de uma usina nuclear contribui significativamente, segundo a referida pesquisa, para a mitigação da emissão de gás de efeito estufa. Ainda de acordo com os autores Adamantiades e Kessides (2009), se o mundo não estiver utilizando a fonte nuclear para a geração de energia, as emissões de CO₂ serão da ordem de 2.5 bilhões de toneladas/ano.

As emissões diretas de gases através da fonte nuclear são praticamente iguais às que são geradas pelas usinas eólicas e solares, enquanto se estima serem relativamente mais baixas as emissões indiretas através de plantas nucleares (ADAMANTIADES e KESSIDES, 2009).

No Gráfico 7, observa-se, contudo, que a emissão de dióxido de carbono pela tecnologia nuclear apresenta-se duas vezes maior do que sua emissão pela energia solar fotovoltaica. E é por conta das diferenças apontadas nos artigos desses autores que se revela a importância de serem gerados mais dados a respeito dessas tecnologias e de se dar continuação à pesquisa, porque só assim se torna possível relatar a emissão efetiva de gás no país.



Fonte: SOVACOOOL (2008).

Gráfico 7- Análise da emissão de gases de efeito estufa a partir de centrais elétricas convencionais e renováveis (Gramas equivalentes de CO₂/kWh).

Em resumo, a ACV avalia os impactos ambientais associados com a cadeia de produção e de serviços do ciclo de vida de um produto e com a energia envolvida em todas as etapas desse ciclo. Os aspectos energéticos são totalmente incorporados aos cálculos. A ACV não aparece separada, ou seja, como um resultado à parte da análise de um impacto, mas nos problemas que precedem o ciclo, como, por exemplo, na extração de petróleo e, nos que o sucedem, como é o caso tanto das emissões de gases de efeito estufa como dos problemas que lidam com o esgotamento dos recursos. Outras ferramentas são: a utilização da ACV na segunda lei da termodinâmica e, também, como avaliação dos sistemas de energia. Isso pode ser representado pelo estudo de pequena escala, de duas baterias, ou, até mesmo, pela comparação entre a estrutura da geração de eletricidade de dois países.

Uma análise de ACV ou ACCV mais detalhada não é o objeto de interesse desta discussão e, assim, recomenda-se a elaboração aprofundada desse estudo, de modo a tornar possível estabelecer-se uma comparação com maior detalhamento a respeito do emprego de ambas as tecnologias para serem usadas no planejamento energético.

CAPITULO II: ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.1 Estado da arte

A irradiação emitida pelo Sol é uma fonte inesgotável de energia e responsável pelo equilíbrio da vida na Terra. E é por causa desse potencial que se pode transformar, por meio de sistemas de captação e conversão, a energia solar em térmica ou elétrica.

A conversão térmica se realiza de várias maneiras: à baixa, média e à alta temperatura. A primeira forma utilizada para o aquecimento da água ou de outros fluidos, por meio da radiação solar, é destinado ao sistema de calefação de edifícios, à obtenção de água quente e a outros fins industriais. Para alta temperatura, utiliza-se uma caldeira termossolar, na qual o calor produzido através da concentração da radiação solar produz vapor com pressão e temperatura altas. Outra forma se dá através da conversão direta da luz em eletricidade, e esse processo é realizado por meio das células solares e do efeito fotovoltaico produzido (CASTRO GIL et al., 2000). Em relação às formas de energia, nessa pesquisa em específico foi apresentada a tecnologia de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica pública.

Além de ser uma energia limpa e renovável, desde seu primeiro dia de instalação o sistema fotovoltaico gera energia elétrica (GTES, 2008). A produção de painéis fotovoltaicos tem dobrado a cada dois anos, numa proporção de 48% por ano desde 2002, fazendo com que esta tecnologia tenha-se tornado a que mais rapidamente cresce no mundo (HERBST, 2009).

Inicialmente a energia solar foi utilizada pelas empresas de telecomunicação, e, em seguida, para ser utilizada no espaço, com posterior aplicação em satélites, por constituir o meio mais adequado para fornecimento de energia por longos períodos (GTES, 2008). Para o sistema terrestre, ainda existem alguns aspectos a serem trabalhados para que essa fonte ganhe mercado e maior potencialidade. Algumas atribuições feitas a essa tecnologia geralmente são: seu alto custo, baixa densidade energética e a aleatoriedade do recurso primário. Contudo, esses obstáculos não motivam maiores subsídios³³, dificultando o processo de transição dos combustíveis fósseis para o maior uso das fontes renováveis.

³³ Os subsídios são basicamente benefícios concedidos por governos em duas hipóteses: 1) contribuição financeira por um governo ou órgão público no interior do país e; 2) qualquer forma de sustentação de renda ou de preços que, direta ou indiretamente, contribua para aumentar exportações ou reduzir importações de qualquer produto. (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

A dimensão da mudança é uma questão importante, dado que exige transformação de contextos sociais, culturais e políticos. A descentralização da energia deve ser trabalhada para que a tecnologia possa servir de apoio a um cenário sustentável no futuro. E, mesmo assim, Scheer (2002) prevê que não existe chance de se prover toda a geração de eletricidade por meio de instalações eólicas ou fotovoltaicas exclusivamente. O uso consiste em um aproveitamento misto das diferentes possibilidades de produção de eletricidade, combinando assim diversas fontes.

Em relação à densidade energética da energia solar, alguns pesquisadores apresentam diferentes cenários. Segundo Fraidenraich et al., (2003), um grama de silício amorfo em células com múltiplas junções, com 13% de eficiência, deve gerar, em sua vida útil, o equivalente ao gerado por um grama de urânio ou tório em um reator “regenerador rápido” (*fast breeder*). Com estimativa similar, se chega à conclusão de que 0,5 toneladas de silício possui equivalência em termos de geração de energia elétrica, a cerca de 500.000 toneladas de carvão (FRAIDENRAICH et al., 2003). Sobre a aleatoriedade do recurso primário, têm-se, como motivação, as usinas hidrelétricas no país, que também utilizam um recurso intermitente, a água.

Outra consideração interessante a ser feita diz respeito à comparação entre a disponibilidade da energia solar e a área utilizada para geração de energia por uma usina hidrelétrica. Segundo Oliveira (2002), no caso de Itaipu, considerada uma usina hidrelétrica “eficiente”, com uma área alagada de $1,46 \times 10^9 \text{ m}^2$, foi instalada uma potência de 12,6 GW, que gerou cerca de 57,4 TWh de eletricidade no ano de 1993. Nesta mesma área, segundo o autor, incide $2,4 \times 10^3$ TWh de energia solar radiante. Assumindo-se, então, que a eficiência da conversão dos sistemas fotovoltaicos seja de 10%, verifica-se que a energia elétrica fotogerada por esta mesma área seria de 240 TWh, aproximadamente quatro vezes maior que a energia gerada por toda Itaipu.

Este pesquisador também estabeleceu outra comparação entre a energia elétrica fotogerada e aquela produzida por uma usina hidrelétrica localizada em Balbina, resultante da inundação de uma área de $2,36 \times 10^9 \text{ m}^2$, considerada menos eficiente e com uma potência instalada de 250 MW. Ao longo do ano de 1993, essa hidrelétrica gerou, aproximadamente, 2,2 TWh. Com base nos mesmos cálculos, o autor constatou que, nesta mesma área, incidem cerca de $3,89 \times 10^{12}$ kWh. Com uma eficiência de conversão de 10%, a eletricidade gerada através da

fonte solar seria de 380 TWh, cerca de 172 vezes maior que a energia elétrica gerada por Balbina.

Segundo Scheer (2002), para que sejam viáveis tecnicamente as diferentes fontes de energia renováveis, três dados são fundamentais. Em primeiro lugar, as necessidades energéticas de certa região e sua relação com a economia nacional; em segundo lugar, a capacidade de rendimento de cada uma das tecnologias solares, a superfície e o espaço que requerem e a radiação solar; e, em terceiro e último lugar, os custos de implantação das técnicas transformadoras distintas.

Um evento realizado na Califórnia, em 2009, chamado *The Solar Power International*, retratou aspectos e atores fundamentais para que haja de fato no mundo um crescimento da energia solar fotovoltaica. São esses fatores: liderança, política energética, custos reais, educação, geração de empregos e percepção pública. Especificamente, no que diz respeito aos custos reais, devem ser levados em conta o efeito que a tecnologia gera na sociedade e no meio ambiente; e a percepção pública, que se identifica pela forma como essas informações são propagadas, para os consumidores, pela mídia e pela publicidade.

Nos EUA, uma das formas encontradas para minimizar as barreiras contra a energia solar foi a adoção do mapa solar pelo site do *google*, em parceria com um portal do Estado de São Francisco. O mapa permite obter-se uma visão do progresso da energia solar através da área que vem sendo usada para essa função, além de identificar as fábricas que vêm adquirindo o processo de instalação e seu custo, o potencial elétrico solar da região, a disponibilidade de desconto e a estimativa da economia de energia e contatos para sua instalação.

O efeito fotovoltaico, produzido por meio da luz, representa a diferença do potencial gerado pelo deslocamento de cargas através de uma estrutura de material semicondutor, o silício, que, em união com o fósforo, é um dopante doador de elétrons, e o boro, por sua vez, um aceitador de elétrons. Forma-se com esses elementos o que se chama de junção pn. Os átomos livres do lado n (silício + fósforo) passam ao lado p (silício + boro), tornando-o negativamente carregado, e uma redução de elétrons do lado n o torna eletricamente positivo. Essas cargas aprisionadas geram um campo elétrico permanente e uma intensidade de corrente que atravessa a célula do campo p ao n.

O módulo fotovoltaico é uma associação de células conectadas em série, e a corrente que atravessa as células é a mesma. Essa corrente gerada pelo painel será igual ao produto entre o número de módulos conectados em paralelo (N_p) e a corrente (I) gerada por módulo ($N_p \times I$). A tensão resultante será igual ao produto entre o número de módulos conectados em série (N_s) e à tensão (V) por módulo ($N_s \times V$). E a potência gerada é o produto da tensão entre os extremos do módulo e a corrente (FRAIDENRAICH et al., 2003).

Para a produção da eletricidade, a cadeia interior de transformação da energia solar (Figura 2) é constituída pela luz solar, a célula, o inversor e, por fim, pela geração de eletricidade.

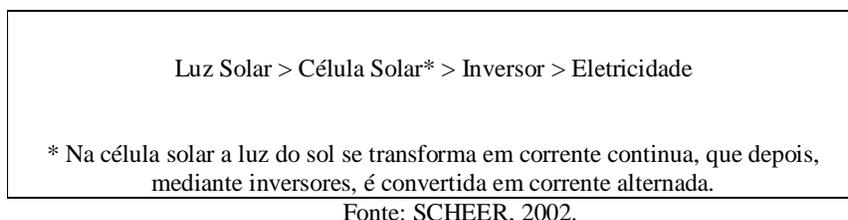


Figura 2- Cadeia interior de transformação de energia solar para a produção de eletricidade

Já o potencial teórico fotovoltaico é calculado através do atlas da radiação solar³⁴, em combinação com equações que descrevem as estações do ano, horário do dia e variação geográfica da irradiação solar (DEWULF e LANGENHOVE, 2006).

Existem, contudo, alguns fatores limitantes, como o espectro de radiação³⁵. Outro fator é que, para cada fóton absorvido, se excita um elétron, sendo assim, fótons com energia muito superior à energia do gap³⁶ são convertidos em calor. O processo de conversão não depende do calor, e esse, pelo contrário, faz o rendimento da célula fotovoltaica decrescer. Isso acontece porque os fótons da luz solar transferem sua energia diretamente para os elétrons, sem a necessidade de uma etapa térmica intermediária (CRAVEIRO, 2005).

O recurso natural extraído para ser utilizado na fabricação de células fotovoltaicas, o silício, é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre e é explorado sob diversas formas: monocristalino (mono-Si), policristalino (poly-Si) e amorfo (a-Si). Materiais alternativos vêm

³⁴ CHIGUERU TIBA (coord.), et al., **Atlas Solarimétrico do Brasil**. Banco de Dados Terrestres, Recife: UFPE, 2000 – 2007.

³⁵ O espectro de radiação deve ter comprimento de onda inferior a aproximadamente 1 μm .

³⁶ *Gap*: Também conhecida como banda proibida, é a separação entre as duas bandas da energia permitida dos semicondutores (CRAVEIRO, 2005).

sendo buscados também, como é o caso do silício amorfo e de outros materiais para os filmes finos. No anexo, constam as etapas envolvidas para a fabricação de células de silício monocristalino. Na Tabela 4, apresentam-se, em ordem decrescente de maturidade e utilização, os modelos usados para a construção de painéis e é apresentado também seu *pay-back*³⁷.

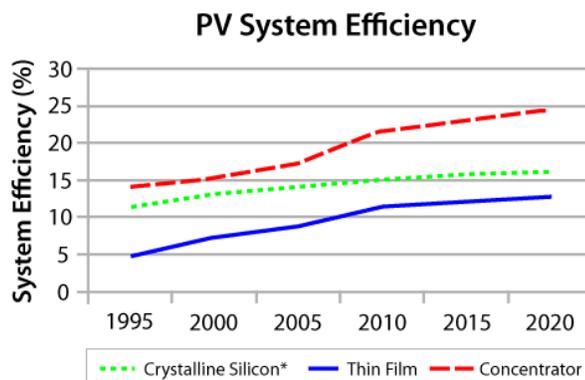
Tabela 4- Maturidade, eficiência e *pay-back* dos materiais utilizados

Modelo	Eficiência	<i>energy pay-back time</i>
c-Si laminas cristalinas	24% laboratório 15% comerciais	Mais de 3 anos
a-Si:H películas delgadas	15% laboratório 8-9% comerciais	1 ano
CdTe películas delgadas	16% laboratório 7 -9% comerciais	-

Fonte: Adaptado do GTES, 2008.

A disparidade entre a eficiência de células manufaturadas e as de laboratório identifica que essa transferência não é imediata e depende da evolução do mercado e de investimentos. Ainda segundo o Grupo de Trabalho de Energia Solar, os elementos cádmio, telúrio (CdTe, películas delgadas), índio e selênio (compostos relacionados ao dissulfeto de cobre e índio CuInSe₂ ou CIS películas delgadas) são elementos raros (GTES, 2008).

O Gráfico 8, extraído do Departamento de Energia dos EUA, apresenta a eficiência de alguns modelos de módulos fotovoltaicos, entre os quais se incluem o silício cristalino, filme fino e módulos com concentradores, especificamente esse último é o modelo que apresenta melhor eficiência.



Fonte: U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2007).

Gráfico 8- Eficiência do sistema fotovoltaico

³⁷ Tempo necessário para que o painel gere energia equivalente à utilizada em sua fabricação (RUTHER, 1999).

Algumas outras tecnologias recentes utilizadas nos processos de produção de células de silício são:

- Tecnologias de fita de Si (*Ribbon*),
- Confinamento magnético para o crescimento dos cristais de Si (*MCz growth*),
- Corte de células com fio contínuo diamantado,
- Melhor tratamento superficial das células (*etching*) e dos contactos metálicos enterrados (BCSC – *Buried Contact Solar Cells*).

Uma característica própria e exclusiva da tecnologia fotovoltaica é que não existe uma relação entre a eficiência e o tamanho dos sistemas. O rendimento/investimento é, em princípio, o mesmo em um sistema de poucos kW como em uma central de vários MW. Segundo Lorenzo (2006), isso se deve a uma consequência direta da relação entre a superfície e o volume de seu gerador que se mantém inalterada. A produção de uma central fotovoltaica de 1 MW chega em alguns anos a 1270 kWh/ kWp.

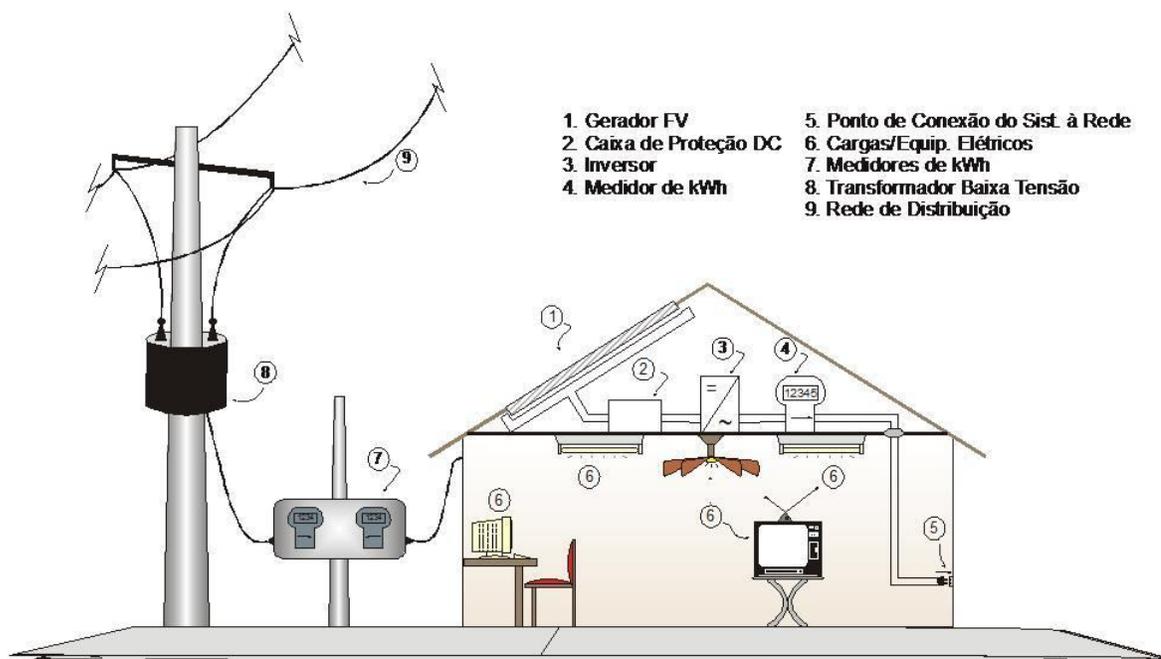
Em relação aos sistemas fotovoltaicos, segundo Dewulf e Langenhove (2006), eles podem ser separados nos seguintes grupos:

1. Centralizado, sistemas conectados a plantas convencionais;
2. Sistema de geração distribuída conectado à rede, em áreas urbanas;
3. Sistema doméstico *off-grid*;
4. Sistema remoto *off-grid*. aplicado à telecomunicação, bomba de água (*Grid-connected systems* constituem 70% do mercado mundial, do qual 90% na forma distribuída).

Nesse trabalho, foi dada atenção especial ao sistema de geração distribuída conectado à rede. Porém é importante lembrar que outros sistemas e suas diferentes aplicações, entre outras, a eletrificação rural, o bombeamento de água em postos de saúde, a eletrificação de escolas etc., apresentam grande importância sócioeconômica. Isso porque, levando-se em conta a dimensão territorial do país e a dificuldade de ter acesso à energia elétrica muitos municípios aos quais a rede elétrica pública não chega, a tecnologia solar torna-se estratégica também. Essa é uma potencialidade da fonte solar fotovoltaica, que, comparada com a nuclear, tem maior alcance pelo fato de poder ser utilizada de forma descentralizada.

2.1.1 Edifícios fotovoltaicos conectados à rede

Os edifícios fotovoltaicos conectados à rede contemplam dois aspectos ímpares. O primeiro refere-se à otimização energética, isto é, à sua eficiência no ciclo de vida, e o segundo, à efetiva integração ao edifício, conferindo uma nova modalidade em sua arquitetura, além de não ocupar espaço extra.



Fonte: OLIVEIRA (2002).

Figura 3– Representação esquemática de um sistema fotovoltaico em uma residência

Os painéis fotovoltaicos podem contribuir de diversas formas para arquitetura e, conforme são substituídos, o custo dos materiais de revestimento e de recobrimento pela instalação solar tende a ser reduzido. Algumas possíveis funções da aplicação na arquitetura são: separação interior/exterior, isolamento térmico, iluminação natural e/ou sombreamento, comunicação e estética (RODRIGUES, 2005).

A grande vantagem do uso do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede – SFCCR é sua simplicidade no projeto de instalação, dado que as baterias, nesse caso, são eliminadas do conjunto, pois toda a potência gerada é destinada à rede no ato da geração da energia elétrica. Uma instalação conectada à rede se resume ao gerador fotovoltaico, ao inversor e ao

transformador que adapta a tensão e a frequência imposta pela rede, além dos equipamentos de controle e proteção (CASTRO GIL et al., 2000).

Os módulos fotovoltaicos necessitam de pouca manutenção durante sua vida útil e são ideais para locais em que é preciso autonomia de funcionamento. A parte frontal dos módulos de silício cristalino é constituída por vidro temperado, o que os torna bastante resistentes a qualquer tipo de variação climática. Para a limpeza dos módulos, deve-se utilizar água e sabão neutro. O que deve ser planejado anteriormente à colocação das placas consiste no asseguramento de que elas não irão ser interceptadas por sombras de objetos próximos em nenhuma parte dos módulos e na certeza de que as ligações elétricas estão em bom funcionamento (FRAIDENRAICH et. al., 2003). O sistema conectado na Universidade de Madrid, por exemplo, não passa de 1100 kWh/kWp. Entretanto, o sistema não está posto na melhor orientação e recebe sombra de um edifício do entorno. Mas esse aspecto é compensado porque a energia gerada no ponto de consumo e na tensão de consumo evita perdas na transmissão e distribuição (FRAIDENRAICH et. al., 2003).

Esse modelo de sistema é utilizado como fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual está conectado. Segundo Ruther (2003), pode-se coincidir a geração e o consumo em casos específicos, como, por exemplo, na demanda por ar condicionado e na oferta solar no mesmo período. Pode-se, também, reduzir a exigência sobre transformadores, adiando-se, assim, o *upgrading* de linha e aumentando a vida útil do equipamento. Para ser aplicado com eficiência e segurança, devem ser atendidas às exigências estabelecidas pela concessionária no que diz respeito aos limites de distorção harmônica, desvio de frequência e fator de potência, além de a concessionária dever ser capaz de isolar o sistema fotovoltaico, evitando-se, assim, riscos aos técnicos de manutenção da rede elétrica. Ainda segundo Ruther, pelo fato de o sistema ser modular, ele permite, assim, um aumento progressivo na capacidade instalada, curto prazo para instalação e posta-em-marcha, e o capital investido gera retorno financeiro e energia quase que imediatamente.

Outras características acrescentadas por Fraidenraich et al., (2003), são: aumento da confiabilidade do sistema de transmissão e distribuição e melhora da qualidade da potência fornecida em pontas de linha. Trata-se de uma ferramenta de gerenciamento pelo lado da demanda (SPIEGEL; KERN; GREENBERG, 1998).

Por outro lado, algumas desvantagens desse sistema são: curva diurna de geração, baixo fator de capacidade dos sistemas fotovoltaicos e aleatoriedade na disponibilidade do recurso, o que dificulta a previsão do despacho de cargas instantâneas (OLIVEIRA, 2002). Quanto a isso, tem-se desenvolvido, através de pesquisas, sistemas de armazenamento de energia, como, por exemplo, a célula a combustível.

Existem diversas modalidades de operação destes sistemas. Segundo Fraidenraich et. al. (2003), o sistema pode transferir toda a energia gerada para a rede e comprar a quantidade necessária para atender sua demanda ou pode, também, atender sua demanda com a energia gerada pelo sistema fotovoltaico e vender o excedente. O acordo do usuário com a concessionária dependerá dos preços pagos por essa.

2.2 Energia fotovoltaica no mundo

Dos países apresentados na Tabela 5 que mais geraram energia no ano de 2007 também foram e têm sido os que mais têm investido em mecanismos de incentivo para a inserção da tecnologia fotovoltaica. São eles: Alemanha, EUA, Japão e Espanha. Especificamente na Comunidade Européia, segundo o CGEE (2008), tem-se investido 120 bilhões de dólares para tornar, até o ano de 2010, 12% de sua demanda energética atendida por energia oriunda de fontes renováveis. No quadro a seguir são apresentados os países detentores das maiores gerações de energia no ano de 2007.

Tabela 5- Geração de energia em 2007, em ordem decrescente.

Países	M kWh
Alemanha	4,060 M kWh
EUA	2,133 M kWh
Japão	2,017 M kWh
Espanha	803 M kWh
Itália	147 M kWh
Austrália	116 M kWh
França	92 M kWh
Coréia do Sul	82 M kWh
Holanda	56 M kWh
Suíça	44 M kWh

Fonte: U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2008).

Um estudo da Associação das Indústrias de Módulos Fotovoltaicos da Europa estima que, para o ano de 2010, haja uma produção anual de módulos fotovoltaicos da ordem de 630 MWp, destinando-se 23% dela aos sistemas fotovoltaicos autônomos e 17%, aos sistemas

conectados à rede. A previsão é de que esteja instalado em torno de 4000 MWp (MOEHLECKE, 2005).

No mundo, de 1992 a 2007, o número de instalações saltou de 5,8 GW para 8,5 GW. Isso significa que mais de 3 GW, ou 90% dos sistemas conectados à rede, foram instalados em 2007. Em 2007, o mercado mundial cresceu a uma taxa de 69% com a comercialização de 4300 MW. Isto corresponde, aproximadamente, a 5 turbinas de Itaipu por ano (CGEE, 2008). Em 2008, a capacidade instalada foi de 5.5 GW de painéis fotovoltaicos, totalizando 14 GW. E, para 2009, foram previstos mais 7 GW, totalizando, em 2013, 21 GW de painéis instalados (LARSEN, 2009).

A previsão é de que, em 2050, 50% da geração de energia no mundo se origine de fontes renováveis. Dessa demanda, 25% serão supridos pela energia solar fotovoltaica (*WBGU German Advisory Council on Global Change*, apud CGEE, 2008). Em 2100, 90% serão oriundas de fontes renováveis, 70% das quais de origem fotovoltaica.

2.2.1 Caso Alemanha

De acordo com o relatório do Ministério Federal do Meio Ambiente, Conservação Ambiental e Segurança Nuclear (BMU, 2009), a Alemanha tem obtido resultados positivos com a inserção em sua matriz energética de fontes renováveis, em especial a tecnologia solar fotovoltaica. Por meio da inserção da energia solar, segundo o relatório suprarreferido, tem-se obtido a contribuição necessária para a segurança do abastecimento de energia e da eficiência energética no país. Além disso, ocorreu a minimização dos Gases de Efeito Estufa (GEE) e da dependência energética por óleo, gás natural, carvão e urânio.

Durante os últimos anos têm-se utilizado na Alemanha diversas formas de geração de energia elétrica oriundas de fontes renováveis, entre as quais a energia eólica, a biomassa, a geotérmica, a hidroeletricidade, a energia solar térmica e fotovoltaica, o biogás, o gás de aterro e esgoto, combustíveis sólidos e líquidos e resíduos (BMU, 2009). Em 2008, mais de 15% da eletricidade gerada foi através de energia renovável, cenário este que representou um pilar essencial para a indústria. Segundo o Ministério, com a expansão do mercado e a inovação tecnológica no futuro, o uso da energia fotovoltaica tornar-se-á acessível e o custo das plantas, reduzido.

As companhias públicas alemãs são legalmente obrigadas a comprar eletricidade oriunda de fontes renováveis, gerando-se, assim, maiores gastos. Em 2008, essas despesas totalizaram 4,5 bilhões de euros. A Agência Federal destinou cerca de 0,6 bilhões de euros para o equilíbrio energético e compensatório, assim como a transação dos custos para os operadores da rede de transmissão, necessário nas fontes renováveis. Os efeitos benéficos da inclusão da EEG incluem os seguintes pontos positivos: inovação, no volume de negócios e no valor acrescentado, contribuindo-se, assim, para a redução do custo da eletricidade produzida; e, na Alemanha, para a criação de empregos. Além disso, o programa de incentivo de mercado que apóia o uso de energias renováveis é um dos mecanismos fundamentais do governo alemão para promover o uso das energias renováveis no mercado em aquecimento.

Além dos 280 mil postos de emprego criados no setor energético de fontes renováveis, foi possível economizar, na importação do carvão e do gás natural, economia esta que, associada com a da biomassa, foi da ordem de 2,7 bilhões de euros. Ainda segundo essa pesquisa, a energia renovável contribuiu para o fornecimento sustentável de energia das seguintes formas:

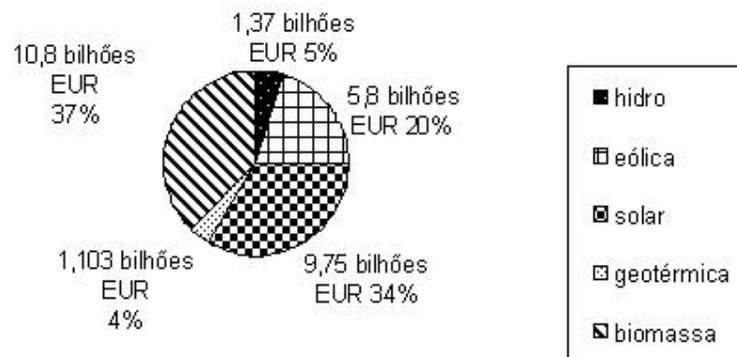
- 1- Contribuindo decisivamente para a proteção do clima: em 2008 foi evitada a emissão de 109 milhões de toneladas de dióxido de carbono.
- 2- Reduzindo a dependência dos recursos fósseis e, conseqüentemente, os conflitos.
- 3- Reduzindo os custos associados com a importação de energia, como, por exemplo, com combustíveis fósseis e recursos nucleares.
- 4- Criando condições que facilitem o desmanche e a reciclagem, ao final de sua vida útil, das plantas de energia renovável, diferentemente do que ocorre com as plantas nucleares.
- 5- Contribuindo para a região e para a geração de emprego, dado o predominante perfil doméstico da energia renovável. Em 2008, 29 bilhões de euros foram gerados, e 280 mil empregos.
- 6- Em países pobres a energia renovável pode ser um dos meios para conter a pobreza e também facilitar o acesso do meio rural à energia elétrica.

Em contrapartida, a postura em relação a energia nuclear na Alemanha se tornou ambivalente. Políticas foram adotadas segundo o *World Nuclear Association* (2010) para promover a inserção de energia eólica e solar, mesmo o país não estando geograficamente bem localizado

em relação às duas fontes. Isso porque a previsão para 2020 é de que 20% da eletricidade gerada sejam a partir de fontes renováveis, em comparação aos atuais 14% (parte por hidro e a outra por eólica) com o intuito em reduzir a emissão de dióxido de carbono.

Em especial à energia solar, o volume de negócios gerado a partir da construção das plantas fotovoltaicas na Alemanha em 2008 foi de 6,200 bilhões de euros (47.3%) e a solar térmica 1,450 bilhões de euros (11.1%) dentro de um total de aproximadamente 13,1 bilhões de euros onde constam também a hidroeletricidade, eólica geotérmica e biomassa para aquecimento e eletricidade. O valor de negócios gerado a partir da operação das plantas em 2008 na Alemanha, em especial à solar fotovoltaica foi de 2,100 bilhões de euros (13.4%) inserido em um total de 15,7 bilhões de euros aproximadamente. (BMU, 2009).

O total de volume de negócios gerado foi representado pela energia solar fotovoltaica e a solar térmica no valor de 9,750 bilhões de euros (33.8%), dentro de um total de 28,8 bilhões de euros. Por medida de comparação o gráfico 9 apresenta o valor gerado pelas fontes renováveis no ano de 2008.



Fonte: Baseado em BMU (2009).

Gráfico 9– Volume total de negócios por fontes renováveis na Alemanha, 2008.

Nos últimos anos, as fontes renováveis tiveram um desenvolvimento significativo na escala econômica. Entre 2003 e 2008, o volume de negócios total com os recursos renováveis teve um aumento de 10 bilhões de euros para 28,8 bilhões de euros aproximadamente, o que representa um aumento de 188% em relação ao ano de 2003. (BMU, 2009).

2.3 Energia fotovoltaica no Brasil

O Brasil é um país que apresenta um enorme potencial solar energético apesar de esse ser um recurso primário aleatório. Para melhor aproveitamento do sistema localizado no hemisfério sul, o conjunto de células fotovoltaicas deve estar orientado ao norte geográfico de modo a receber os raios solares durante o ano, e sua inclinação com relação à horizontal em um ângulo próximo ao da latitude do lugar.

Instituições de P&D nacionais como o CB-SOLAR³⁸, LABSOLAR³⁹, CETEM⁴⁰, CETEC⁴¹, IME⁴², INMETRO⁴³ e INPI⁴⁴ podem cooperar significativamente para a cadeia produtiva da energia fotovoltaica no Brasil. Segundo o relatório do Centro de Gestão, essas instituições desenvolvem competências sob os seguintes aspectos (CGEE, 2008):

- Prospecção, caracterização e descontaminação de quartzo para produção de silício metalúrgico e grau solar;
- Desenvolvimento de planta pré-industrial de células e módulos;
- Desenvolvimento de coletores solares e análise do desempenho de instalações autônomas ou interligadas à rede elétrica;
- Capacidade certificadora em módulos, inversores e baterias;
- Levantamento de competências na tecnologia de módulos fotovoltaicos para auxiliar *roadmaps*⁴⁵;
- Competência para integração de sistemas fotovoltaicos, relacionado a edificações e ao *design*;
- Estudos avançados para desenvolvimento de novas tecnologias como filmes finos.

Além desses grupos de pesquisa, existem indústrias já presentes no Brasil com interesse em atuar na comercialização do silício grau solar; comercialização de lâminas; comercialização de sistemas fotovoltaicos completos; e, usina geradora de energia fotovoltaica. A previsão,

³⁸ CB-SOLAR – Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica/ PUC, RS.

³⁹ LABSOLAR – Laboratório de Energia Solar/ UFSC.

⁴⁰ CETEM – Centro de Tecnologia Mineral

⁴¹ CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

⁴² IME – Instituto Militar de Engenharia.

⁴³ INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

⁴⁴ INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial

⁴⁵ Os *roadmaps* sintetizam as informações obtidas e apontam o caminho para chegar ao futuro desejado (CGEE, 2007).

segundo o CGEE (2008), é que, caso haja falta de silício no mercado, o setor industrial que se instalar no Brasil irá conseguir vender seu produto.

Além do potencial energético no país e das diversas instituições de pesquisa presentes, tem-se como ponto estratégico a enorme quantidade de quartzo no Brasil.

Contudo, estudo apresentado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos identificou alguns aspectos necessários a serem trabalhados, para que haja, efetivamente, a possibilidade de o país adquirir domínio do ciclo de produção dessa tecnologia e poder desenvolvê-la. São esses:

- O país é dependente de importação de equipamentos e componentes. Ainda não há infraestrutura de produção de equipamentos nacionais que atenda ao mercado.
- Os sistemas de eletrificação rural a partir de geradores fotovoltaicos sofrem um problema de gestão por não haver suficiente mão-de-obra para projeto, inspeção e manutenção.
- Os atuais 20 MW de fotovoltaicos produzidos e a perspectiva de outros 80 mil sistemas individuais não oferecem escala de mercado.
- O processo de ampliação da P&D para a venda de tecnologias não é setorialmente dominado no Brasil.
- A importação de insumos e produtos químicos é um processo demorado e complexo, que atrasa o ciclo de desenvolvimento de tecnologias comerciais.
- A logística para eletrificação fotovoltaica rural do Programa Luz para Todos é antieconômica para as concessionárias.
- Os grupos de P&D estão muito focados apenas no material. Não há no Brasil um laboratório que faça a caracterização elétrica e micro estrutural completa do silício.
- Há grave escassez de engenheiros, químicos, biólogos, e de uma série de outras especialidades necessárias ao empreendimento fotovoltaico.
- Os sistemas interligados à rede são tecnologias emergentes e caras. Não há necessidade dela ainda no sistema elétrico brasileiro.
- As empresas investidoras de fotovoltaicos que trabalham com sistemas conectados à rede esbarram na regulamentação que o Brasil ainda não possui.
- O desenvolvimento de baterias e de células fotovoltaicas requer investimentos multimilionários (CGEE, 2008).

Uma pesquisa realizada por Varella et al., (2009) apresentam detalhadamente todos os equipamentos necessários para efetuar a conexão do sistema fotovoltaico e teve como meta criar estímulos para a criação de uma indústria nacional e, conseqüentemente, reduzir a dependência por produtos importados. Os equipamentos pesquisados foram: módulo fotovoltaico; controlador de carga da bateria; inversor; inversor conectado a rede elétrica (*grid-connected*); baterias; conjunto motor-bomba. Para todos esses materiais, não foi encontrado no mercado nacional nenhum fabricante, sendo todos de domínio das multinacionais.

Mori et al., (2007) destacam a existência de capacitação científica e tecnológica em algumas universidades e centros de pesquisa do país. Segundo a autora, esses centros devem ser incentivados para que haja efetivo domínio das diversas etapas tecnológicas. Além disso, deve-se obter apoio para a expansão e a ampliação das indústrias de pó de quartzo, quartzo cultivado, osciladores, quartzo fundido, fibras óticas, silício grau eletrônico policristalino, solar, amorfo e monocristais semicondutores para microeletrônica e conversão fotovoltaica.

Os sistemas fotovoltaicos têm recebido grande atenção da comunidade técnica internacional. Por conta disso, a tecnologia fotovoltaica tem sido apontada como uma das grandes oportunidades no setor energético neste milênio. A produção mundial de painéis fotovoltaicos vem crescendo expressivamente como já foi apresentado anteriormente. Essa tendência é conseqüência de um grande esforço tecnológico e político, no sentido de reduzir custos e melhorar a eficiência e a confiabilidade dos painéis (MORI et al., 2007).

2.4 Potencial de geração de energia solar fotovoltaica

2.4.1 Recursos naturais

Segundo Fraidenraich et al., (2003), o Brasil possui 90% das reservas mundiais de quartzo economicamente aproveitáveis para a produção de silício grau solar. E muitos blocos de cristal, que é a forma mais nobre e que apresenta propriedades piezelétricas⁴⁶, localizam-se nos Estados de Goiás, Minas Gerais e Bahia. E em quantidades menores em Madagascar, China, África do Sul, Canadá e Venezuela (DINIZ FILHO, 2007).

⁴⁶ Efeito piezelétrico: ao ser comprimido, o quartzo gera cargas elétricas em sua superfície, e vice-versa (ARGONZ, 2001).

Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (apud Barbosa e Porphírio, 1995), os recursos mundiais de quartzo não estão disponíveis, mas acredita-se que o Brasil possua as maiores reservas, o equivalente a 73 milhões de toneladas. Portanto, a abundância desse recurso no território brasileiro, ainda segundo Fraidenraich (2003), atende aos critérios da escolha do silício como material semicondutor. O país, contudo, ainda é dependente de cristal cultivado, produto de importância estratégica para a indústria eletrônica nacional. Hoje quem se destaca como maior produtor mundial de quartzo cultivado é o Japão (DINIZ FILHO, 2007).

Estudo realizado por Marczewski et al., (2010) teve como objetivo principal diagnosticar tanto a possibilidade de se utilizar parte da reserva brasileira de quartzo para a construção de uma indústria fotovoltaica no Brasil como também verificar a possibilidade, com base em um cenário hipotético, de essa indústria expandir sua contribuição para outros mercados externos, fornecendo, portanto, essa tecnologia não só para o mercado interno como também para outros países da América Latina. O resultado obtido foi a constatação de que, no mínimo, parte da reserva de quartzo (cristal) existente é suficiente, não só para atender a inserção de 50 MW ao ano no país, como também para suprir demandas do mercado externo, e isso sem comprometer a construção de uma futura indústria fotovoltaica ou eletrônica brasileira.

Ainda segundo Fraidenraich et al., (2003), a reserva representativa de silício, em união com uma indústria de componentes eletrônicos, poderia levar o país a uma posição ímpar para o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica. A estimativa para o ano de 2010 é a de que a demanda pelo resíduo de Si-Ge da indústria fotovoltaica esteja na faixa de 8 mil toneladas por ano. Contudo, a perspectiva em torno de 30 GW de geração para os próximos 15 ou 20 anos demandaria cinco vezes a quantidade de silício na produção (FRAIDENRAICH et al., 2003).

Hoje a produção mundial de silício metálico é de aproximadamente 1 milhão de toneladas/ano, sendo a maior parte aplicada em química fina à base de silicone, em microeletrônica e tecnologia da informação e em ligas especiais. Uma parcela ínfima deste total de silício produzido (~1%) é hoje utilizada para a produção de células solares (MORI et al., 2007). Ainda segundo a autora, a estimativa de suprir energia solar para 200 milhões de novos consumidores a cada ano equivale à geração diária de 600 GWh, e corresponderia a uma produção adicional da ordem de 1.2 milhões de toneladas/ano de silício metálico.

2.4.2 Geração de emprego e renda

O governo alemão, com o objetivo de aumentar o uso de fontes renováveis de energia no país inseriu o projeto de produção de energia elétrica por fontes renováveis através da compensação obrigatória na tarifa da energia. De acordo com estudo realizado por Hillebrand et al., (2005), a geração de emprego produzirá, com a criação e execução da legislação sobre energias renováveis na Alemanha, dois efeitos: expansão, resultante dos investimentos realizados e, em decorrência, contração, consequente do aumento do custo da produção de energia.

Através de estudo econométrico realizado pelos autores acima referidos, o impacto causado na política de incentivo às fontes se desdobra, pois, se por um lado, as taxas compensatórias geram investimentos, por outro, caso isso não ocorra, não se mostra rentável o uso da tecnologia, e ele passaria a ser evitado. Portanto, a promoção dessas fontes implica, primeiramente, uma produção positiva e efetiva de empregos, mas, por outro lado, um efeito contrário, em decorrência do custo causado pelo pagamento dessa compensação e por sistemas de ajuste na produção e no transporte da energia elétrica para os consumidores.

A primeira constatação apontada pela pesquisa foi a necessidade de serem aumentadas as linhas de transmissão de energia, em 1200 km, no ano de 2010, gerando-se, desse modo, um gasto adicional de 550.000 euros/km. Esse investimento, segundo os autores suprarreferidos, chegará a 0,66 bilhão de euros. A segunda constatação é que a expansão da energia renovável exige modificações na estrutura da matriz energética. Isso porque, de acordo com Hillebrand et al., (2005), será necessário cobrir os picos de energia com mais turbinas a gás, quando não houver vento.

As simulações do modelo utilizado mostram que o impacto da promoção das energias renováveis varia por setor. No início, a legislação requer investimentos adicionais em tecnologias de energia, assim como no seu transporte na rede de distribuição. Existe, portanto, um efeito multiplicador na produção, que ultrapassa o investimento original. O investimento nos bens de produção – aço, máquinas, equipamentos e construção – os torna principais beneficiários. No entanto, com um declínio na dinâmica de investimento, o aumento do número de novos postos de trabalho cai para 20 mil em 2010. A análise empírica mostra que a legislação induz a um custo adicional de aproximadamente 1,5 bilhão. O aumento no preço da

eletricidade induz a reduções reais e de consumo e amplia o efeito de contração. Mais especificamente, em 2010, o crescimento econômico global induzirá a perda de 23 mil postos de trabalho.

Ainda de acordo com esses autores, em 2004 foram gerados 33 mil novos empregos, por meio da inserção de fontes renováveis, e, a partir de 2010, ocorrerá um efeito de contração, com menos 6 mil empregos, levando a um saldo negativo. Em síntese, enquanto existe o efeito positivo nos primeiros anos, um maior custo prevalecerá depois.

Por outro lado, a Agência Federal do Meio Ambiente da Alemanha demonstrou que a promoção e o uso de energias renováveis geraram 52 mil novos empregos entre 1998 e 2002, e que, em 2008, o montante foi de 280 mil empregos gerados pelo setor da energia oriunda de fontes renováveis. Desse total, a contribuição da energia solar correspondeu à geração de 74 mil e 400 empregos até 2008. A previsão é que, até 2020, sejam gerados 400 mil empregos no setor da energia gerada por fontes renováveis (BMU, 2009).

Outro estudo, desta feita elaborado por Lehr et al., (2007), discute a relação do uso de energias renováveis diante do cenário de aquecimento global, segurança energética e independência de importação de energia. Nessa pesquisa a atenção dada às justificativas para o uso das energias renováveis se reflete no aumento do preço do óleo para 60 dólares/barril, em 2020, e no aumento do preço do dióxido de carbono para 15 euros/tonelada, o que geraria, em 2015, um gasto de 5 bilhões de euros (LEHR et al., 2007). A pesquisa levantou quinze recentes estudos que tratam da criação de emprego nas áreas de energia renovável, eficiência energética, recursos de captura e seqüestro de carbono e a energia nuclear.

Os impactos positivos gerados por meio do aumento no uso de energias renováveis foram identificados através do investimento inicial e do volume da produção na saída, o efeito líquido de dois diferentes cenários políticos até 2030 e estudos de modelagem de exportação e efeitos no comércio. A conclusão foi que o aumento do emprego na indústria fotovoltaica depende fundamentalmente do desenvolvimento das exportações. Segundo os autores, se a Alemanha se estabilizar como líder de mercado, o emprego no setor poderá chegar a mais de 400 mil em 2030, e o efeito líquido será positivo para o país.

A indústria da energia limpa vem sendo apontada como a chave para o investimento ambiental e econômico. Além de fornecer energia limpa, ela pode promover grande independência energética e segurança, sem contar os benefícios ambientais com a redução da emissão de gases de efeito estufa, o aprimoramento significativo, inovação e crescimento econômico.

Outra pesquisa realizada por Wei et al., (2009) apresentou uma metodologia para normalizar o banco de dados de emprego por unidade de energia produzida durante a vida útil de uma planta. Foram reunidas, no estudo, as tecnologias renováveis de eficiência energética e baixo carbono, e foi comprovado que elas geram mais postos de trabalho por unidade de energia do que as fontes de carvão e gás natural. Foi constatado que medidas agressivas de eficiência energética que alcancem 30% de sua meta em 2030 podem gerar 4 milhões de empregos em tempo integral, enquanto um aumento de 25% na produção da energia nuclear e de 10% da produção global, em 2030, pode render um adicional de 500 mil empregos/ano.

Foram consideradas duas categorias de emprego: a primeira congregando construção, instalação e manufatura, e a segunda, operação, manutenção e processamento do combustível. O primeiro grupo foi referenciado como emprego-anos/MWp, enquanto o segundo como empregos/MWp durante o tempo de vida da planta.

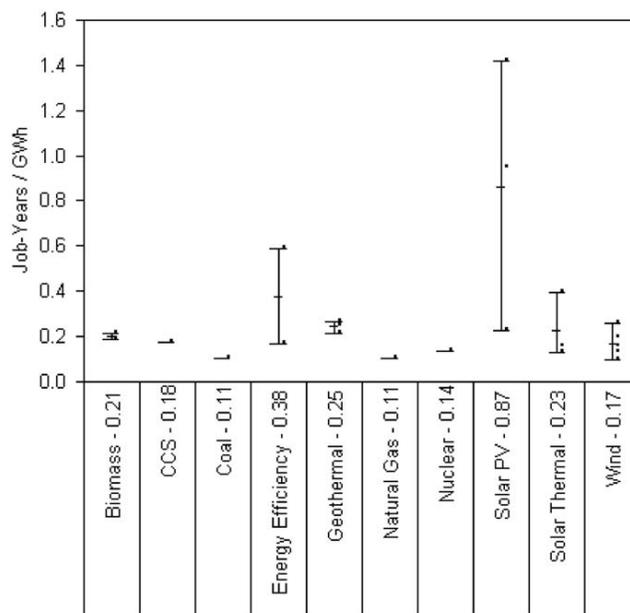
Com vistas ao estabelecimento de uma correspondência entre os estudos, foram adotadas duas normalizações simples com a finalidade de calcular o tempo médio de vida do emprego por unidade de energia. Primeiro, o emprego gerado na construção e instalação (emprego – anos/MWp) requer uma média de tempo de vida da planta para obter uma média de números de empregos (empregos/ MWp), que pode ser adicionado para os empregos gerados em operação e manutenção. Segundo, foi realizada uma comparação entre as tecnologias, com a diferença entre o fator de capacidade, calculado o emprego por unidade de energia gerada (emprego - anos/GWh) ou por unidade de MW da energia de saída (emprego-anos/ média MW). Os resultados obtidos foram:

- As fontes renováveis e o setor de baixo carbono geram mais trabalho por unidade de energia entregue do que o setor energético de combustíveis fósseis.
- Dentre as tecnologias renováveis, a solar fotovoltaica criou mais empregos por unidade de eletricidade gerada.

- Eficiência energética e energia renovável podem contribuir para menor emissão de dióxido de carbono e criação de empregos.

O artigo também expõe o impacto relacionado com o aumento das energias renováveis em vez das fontes convencionais, por conta do preço inicial. Em contrapartida, os trabalhos gerados no setor energético por meio das fontes renováveis possuem potencialidades que favorecem a tomada de decisão, mesmo com o alto preço inicial. Alguns benefícios decorrentes dessas potencialidades são a redução da importação por combustíveis fósseis e a minimização com custos de saúde, sendo que esse último apresenta magnitude incerta.

O Gráfico 10 apresenta a média e o intervalo de empregos diretos multiplicados por unidade de energia para dez diferentes tecnologias energéticas. Uma grande variação é observada em muitas tecnologias, particularmente na solar fotovoltaica. Segundo o autor, essa variação pode dever-se à diferença existente entre as diferentes fontes no que concerne à coleta de dados e à análise metodológica. Mesmo assim, a energia solar fotovoltaica tem o maior multiplicador de emprego médio e é grande a diferença entre este e o das tecnologias solar térmica e geotérmica. Tal diferença se deve em parte às muitas instalações discretas que contribuem para o desenvolvimento da energia solar, em comparação com a instalação de um parque eólico em uma localidade. Em face da comparação entre as tecnologias, encontra-se uma diferença entre a distribuição de empregos na construção, instalação e manufatura e operação, manutenção e produção do combustível.



Fonte: Wei et al., (2009).

Gráfico 10- Média e intervalo de multiplicadores de emprego direto de dez diferentes tecnologias energéticas.⁴⁷

Em dois aspectos a energia nuclear exerce liderança sobre a solar, que são: fator de capacidade (90 contra 20) e o tempo de vida útil (40 contra 25). Mas, no aspecto geração de emprego, a média alcançada pela tecnologia solar é 0.87 contra 0.14 da média atingida pela tecnologia nuclear, como pode ser observado no Gráfico 10.

O diagnóstico final foi que, com base no critério de unidade de energia entregue, todas as formas de energia renovável e de fontes de baixo carbono geram mais emprego do que o setor energético de combustíveis, enquanto o tipo de emprego difere entre as tecnologias (por exemplo, construção e manufatura versus extração do minério), podendo o tempo e a localidade do emprego serem diferentes de um país para outro ou da geografia local.

Essa informação, de acordo com a pesquisa, pode ser útil para os tomadores de decisão que estão planejando implementar, a curto ou longo prazo, programas de governo que estimulem a economia ou incentivem a geração do emprego direto (WEI et al., 2009).

⁴⁷ CCS, *retrofit* de captura de pós-combustão do carvão pulverizado, *retrofit* de pós-combustão de gás natural e captura de combustão.

Uma análise do custo versus benefício dos diversos investimentos em energia renovável deverá ser útil, levando-se em consideração o custo do carbono bem como o meio ambiente, a saúde e os benefícios da segurança energética.

2.5 Vantagens e desvantagens da energia solar fotovoltaica

2.5.1 Economia e estratégia

A vantagem econômica decisiva para a escolha de uma fonte, segundo Sheer (2002), consiste na possibilidade de ela gerar eletricidade de forma relativamente fácil do ponto de vista técnico e da infra-estrutura.

Segundo o autor, para fazer bom proveito das oportunidades tanto econômicas e técnicas como culturais e políticas que oferecem as tecnologias, não se deve comparar separadamente seus distintos rendimentos. Também não se deve calcular somente as variações extremas das cargas ambientais depois da transformação energética, uma vez que não menos importante são os processos que se desenvolvem antes dessa conversão.

O critério decisivo deve ser a comparação do conjunto de cada uma das cadeias energéticas, visto que a comparação isolada impede de serem observadas as possibilidades de aproveitamento das fontes renováveis. A comparação, portanto, deve incluir tanto os fatores constantes como as variáveis. O fator constante é a fonte. No caso das energias renováveis, existe uma diversidade de fontes substancialmente maior. E as variáveis são identificadas como o custo técnico e econômico que requer a obtenção da energia, dentro dos limites da disponibilidade de cada uma das fontes.

No caso das renováveis, existe a possibilidade de coletar ou captar a energia no mesmo lugar ou na mesma região para que possa ser utilizada de forma direta ou transformada onde dela se necessita. E é por conta dessa sua característica que os sistemas autônomos são econômicos em comparação com os custos da eletrificação convencional e das longas distâncias de transmissão da energia elétrica. Existe também como anteparo um mercado de equipamentos em desenvolvimento no Brasil, particularmente no que diz respeito aos sistemas autônomos ou mesmo aos conectados à rede (CGEE, 2008). O sistema fotovoltaico é de fácil instalação e gera energia quase imediatamente, além disso é modular, e, dessa maneira, pode-se aumentar sua potência ao longo do tempo.

Um dos aspectos estratégicos pelo qual o país se destaca é seu enorme potencial de insolação se comparado ao dos países que atualmente lideram a produção fotovoltaica. Outro ponto positivo é a posição do país no que diz respeito à disponibilidade de silício, como já foi apresentado anteriormente.

Indústria

Segundo Hoffmann (2006), a indústria fotovoltaica local de bolachas (*wafers*), células e módulos manufaturados sempre esteve em crescimento, de acordo com o respectivo tamanho do mercado local. A coincidência entre o desenvolvimento da indústria e o crescimento do mercado regional é impressionante, segundo o autor. Durante a década de 80 e meados da década de 90, o maior mercado se concentrava nos EUA, assim como os maiores fabricantes e as maiores empresas: Shell Solar, BP Solar, RWE SCHOTT Solar. Com o início do projeto de construção de 70 mil telhados no Japão, o objetivo deste país era ser líder mundial de fabricação. E, com o início da construção na Alemanha, em 1999, do projeto de 100mil telhados, e com a criação da tarifa no ano 2000, o mercado alemão cresceu dez vezes em apenas cinco anos, de 13 MW, em 1998, para aproximadamente 130 MW, em 2003. Esse crescimento foi acompanhado por muito investimento das companhias de fabricação, como, por exemplo, a Solar World, a Q-cells, a SCHOTT Solar, entre outras.

Segundo o mesmo autor, o que se pode comprovar é que as principais características da energia solar fotovoltaica para se tornar uma indústria do novo milênio, ou seja, com rápido crescimento no mercado, são as seguintes:

- Rápido crescimento do mercado: pois a cada ano dos últimos cinco anos seu crescimento médio no mercado global tem sido da ordem de 33%.
- Mercado substancial nos próximos anos: calcula-se que o volume de negócios dessa energia previsto para 2020 será entre 100-200 bilhões de euros/ano, um mercado que expandirá a geração de emprego na ordem de milhões de pessoas no mundo.
- Justiça global: a possibilidade de abastecer de energia elétrica bilhões de pessoas dos países em desenvolvimento.
- Mudança no serviço social: essa fonte de energia, ao tornar possível a fabricação de produtos com alta tecnologia, permite que diversos países industriais transformem a

sociedade industrial em uma sociedade de serviço em massa. A orientação do serviço prestado pela sociedade criará as condições para a criação do emprego correspondente, o que contribuirá para manter estável ou aumentar o Produto Nacional Bruto.

- Ambientalmente correta em virtude:
 - Da redução do grau de pureza do silício eletrônico e da redução do consumo de energia primária nos processos de fabricação, para a tecnologia do EFG c-si⁴⁸ e para o filme fino, que emprega menos materiais, reduzindo o custo do Watt produzido,
 - Montagem do módulo fotovoltaico de tal forma que a sua expectativa de vida (30 anos ou mais) e durante o período de funcionamento possa produzir multiplicado a energia primária necessária para a sua fabricação.

Esses aspectos combinam entre si questões econômicas, ambientais e sociais. Entretanto, em termos da contribuição global em eletricidade, a tecnologia solar fotovoltaica até o momento ainda não contribui, de forma relevante, para a geração de eletricidade. Segundo ainda o autor, lembrando que o tamanho do deserto do Saara e a incidência solar que chega nesse local pode ser suficiente para suprir de energia primária o mundo por ano, pode-se concluir que a combinação das fontes renováveis é uma boa solução para a geração futura, ou seja, utilizar o melhor reator de fusão, que é o Sol. (HOFFMANN, 2006)

Essa previsão é estimulante para a inserção de uma indústria fotovoltaica no Brasil, pois o ritmo atual de crescimento da energia solar pode atender à demanda futura, uma vez que se aliem políticas energéticas entre os governos.

2.5.2 Social e ambiental

Sob os aspectos sócio-demográficos, segundo o CGEE (2008), o benefício sócio-econômico da energia fotovoltaica existe. A questão fundamental é a possibilidade de tornar disponível energia elétrica para grande parte da população brasileira. A viabilização da energia fotovoltaica contribui para os sistemas de irrigação e as empresas transnacionais vêem o mercado de sistemas fotovoltaicos como uma oportunidade de mercado para a redução da pobreza. Para se ter uma idéia, no final de 2007, 17 mil empregos diretos foram contabilizados na Espanha e, na Alemanha, foram 40 mil (CGEE, 2008).

⁴⁸ *Edge-defined Film-fed Growth* (EFG) – Processo de produção de folha de silício cristalino na forma de octágonos. Essa proposta incide num aprimoramento da fabricação e no corte a laser do octágono EFG que leva a custos mais baixos e aumento da capacidade de produção. (KALEJS, 1992).

A tecnologia fotovoltaica, por gerar empregos diretos, em geral especializados, apresenta uma vantagem sócio-econômica importante. Segundo Fraidenraich et al., (2003), a eletricidade fotovoltaica utiliza de 12 a 14 homens-hora/GW ano contra 3 a 4 homens-hora/ GW ano que são empregados tanto pela energia elétrica que utiliza carvão como a nuclear.

Em relação ao aspecto ambiental, durante o processo de geração elétrica através do sistema fotovoltaico nenhum tipo de dano é causado ao meio ambiente. Esta tecnologia não produz ruídos nem fumaça e não exige sofisticadas medidas de segurança (Foronuclear, 2009). Além disso, ela não gera emissões de CO₂, SO₂ e NO_x, que são formados pelas centrais de produção de energia convencionais. Mais ainda: ocorrem, nessas fontes, durante a geração de energia, a perda de 50% sob forma de calor, o que não acontece em sistemas de geração por fontes renováveis.

Outro aspecto positivo é a integração dos painéis em ambientes já construídos (*Building Integrated Photovoltaic* - BIPV), que aproxima o centro produtor do centro de consumo, eliminando-se, desse modo, a necessidade de serem aumentadas as linhas de transmissão.

Sob outro aspecto, o aproveitamento da energia solar não modifica o equilíbrio térmico da Terra, porque corresponde à energia que inevitavelmente chega ao Planeta. Na realidade, isto é verdadeiro somente quando a energia solar for aproveitada indiretamente, ou seja, através de centrais hidroelétricas, eólicas ou maremotrizes. Quando a energia radiante for captada via coletores e módulos solares, esta afirmação só será correta se a energia for utilizada no local de sua incidência no solo e restituída em condições semelhantes àquelas em que a Terra restitui ao espaço (CRAVEIRO, 2005).

Apesar dos aspectos positivos, as instalações solares, assim como outras fontes energéticas, têm que seguir uma série de critérios para minimizar os impactos ambientais durante o processo de fabricação da tecnologia e, posteriormente, no final da vida útil do sistema.

Durante a produção da tecnologia, os materiais utilizados e o gerenciamento dos resíduos devem ser devidamente planejados. Para a produção dos módulos fotovoltaicos, exige-se grande quantidade de energia. A recuperação da energia investida desde a purificação do silício até a obtenção do módulo é da ordem de 3 a 4 anos (CGEE, 2008).

Além disso, em uma fábrica de módulos a periculosidade é devida a acidentes na linha de produção e a agentes químicos específicos. O uso de materiais como o índio, cádmio, telúrio e selênio deve ser manejado de acordo com critérios de saúde e segurança, por se tratar de substâncias pesadas. A intoxicação aguda ou crônica de metais pesados, arsênico, fosfina e outros agentes utilizados na produção dos módulos, é conhecida e já existem diretrizes estabelecidas por órgãos ambientais e de saúde (FRAIDENRAICH et. al., 2003). Na Tabela 6 são apresentados o tipo de periculosidade e os problemas decorrentes por tipo de material.

Tabela 6- Periculosidade e problemas decorrentes por tipo de módulo e material.

Material	Tipo de módulo	Tipo de periculosidade/ problemas
Si	Cristalino Policristalino Amorfo	Queima por ácido fluorídrico Queima por ácido fluorídrico Fogo ou explosão SiH ₄
CdTe	Policristalino	Toxicidade do Cd; cancerígeno; manejo do lixo no fim do ciclo
CIS	Policristalino	Toxicidade do Se
GaAs	Monocristal Policristalino	Toxicidade Toxicidade do As; cancerígeno; manejo do lixo no fim do ciclo
Fosfina (PH ₃)	Dopante para vários módulos	Toxicidade

Fonte: Serchuk, apud Fraidenraich et. al., 2003.

Outras substâncias, como, por exemplo, flúor, cloro, nitratos, dióxido de enxofre, óxido de nitrogênio, partículas de sílica, dióxido de carbono, ácidos e solventes, isopropanol, dentre algumas outras que são perigosas, devem ser administradas com segurança também (GOOD COMPANY, 2008).

Além disso, na extração do minério, os trabalhadores devem adotar medidas de segurança, entre outras a utilização de equipamentos para a prevenção contra a silicose. Alguns procedimentos, como, por exemplo, o uso do solvente e álcool, pode contribuir para a formação fotoquímica de ozônio e direta ou indiretamente pode causar problemas respiratórios.

Entre outros procedimentos, têm-se também: o uso do alumínio e do vidro; a utilização de água para a fabricação das células solares; de energia elétrica no refino do material, e de combustível fóssil para a extração das matérias-primas e transporte (GOOD COMPANY, 2008).

No fim da vida útil do sistema fotovoltaico, há necessidade de se gerenciar o descarte do resíduo, sua reciclagem e, quando possível, sua reutilização.

Mineração

O cristal de quartzo pode ser obtido na Natureza ou por crescimento hidrotérmico, na indústria (cristais cultivados). Na Natureza, o silício só ocorre combinado e encontra-se em praticamente todas as rochas, areias, barros e solos (MORI et al., 2007).

A partir de lascas naturais, blocos de cristal de rocha natural, quartzitos e arenitos, obtêm-se, por meio de vários processos, produtos intermediários, entre os quais se destacam o quartzo cultivado, o quartzo fundido, o silício grau metalúrgico e o silício grau eletrônico. O emprego do quartzo, com aproveitamento de suas propriedades piezelétricas, iniciou-se com a produção de transmissores e receptores de rádio.

O quartzo cultivado, obtido a partir de lascas de quartzo e de sementes de blocos de quartzo, substitui, em sua quase totalidade, o quartzo com propriedade piezelétrica, e é utilizado nas indústrias eletroeletrônicas e óticas. A partir do pó de quartzo, obtido de lascas variadas, e devendo passar por um controle rígido para obtenção de um alto grau de pureza e de granulometria adequadas, produz-se o quartzo fundido, utilizado em setores de eletroeletrônicos, ótica, medicina, química e outros.

O silício grau metalúrgico é obtido a partir de quartzo, quartzitos ou areias silicosas, usando coque de petróleo, carvão mineral ou vegetal como agentes redutores. A redução é realizada em fornos de arco elétrico com eletrodos de carbono submersos, reduzindo-se o óxido de silício a silício. Esse processo, entretanto, apresenta baixa eficiência, sendo que, para a produção de 1kg de silício, são necessários cerca de 3 kg de quartzo, 2 kg de carvão, 1 kg de madeira e 14 kWh de energia elétrica (ARGONZ, 2001).

E é a partir do silício grau metalúrgico que se obtém o silício grau eletrônico, que possui extrema pureza, e, em sua forma monocristalina, se constitui na base da microeletrônica, para a fabricação de dispositivos semicondutores. Serve também de insumo básico para a conversão fotovoltaica na produção de células solares. Para a produção de SiGS, o rendimento

é de 60% a 80%, ou seja, para cada 100 kg de silício metalúrgico, pode-se obter de 60 kg a 80 kg do grau solar (MINAS FAZ CIÊNCIA, 2006).

Segundo Mori et al., (2007), na produção brasileira de quartzo predomina o pequeno minerador e o minerador informal (não legalizado), tanto na produção de lascas⁴⁹ quanto na produção de cristais. A lavra de quartzo é comumente realizada por desmonte natural, a céu aberto, através de pás e picaretas, não superando 20 metros de profundidade. Apenas em algumas lavras a mina é semimecanizada.

Os cristais de grau eletrônico (usados na indústria de cristal cultivado) são mais raros e de produção esporádica. A ausência de capacitação tecnológica dentre os mineradores não permite a agregação de valor ao bem mineral nas etapas da lavra e do beneficiamento. O empreendimento mineral, segundo ainda o autor, é intensivo em capital e demandante de mão-de-obra altamente qualificada. Essa deve ser treinada e formada pela própria empresa de mineração contratante, o que significa, para ela, internalizar custos educacionais que o Estado ou os indivíduos suportam para vários outros setores.

Os fabricantes de cristais osciladores e filtros de cristais brasileiros continuam importando as barras de cristais cultivados, necessários ao processo industrial. Segundo o estudo realizado por Mori, existe hoje a necessidade de implementação de uma política de estímulo à industrialização interna, para que possa ser agregado valor à matéria-prima mineral, solucionando-se, assim, o problema da dependência externa no que concerne à aquisição de produtos industrializados, o que torna os setores de telecomunicações e informática totalmente vulneráveis ao mercado internacional. O desenvolvimento de uma área até o início da exploração, obedecendo-se às regras de sustentabilidade, requer grande capacidade financeira própria ou acesso a linhas de financiamento especiais por causa da presença de *sunk costs* (custos irre recuperáveis). Por conta disso, parte dos mercados de substâncias minerais tende ao oligopólio ou mesmo ao monopólio (NEVES, 2007).

Reciclagem

As placas fotovoltaicas duram em média trinta anos (FORONUCLEAR, 2009). Elas devem ser tratadas no final de sua vida útil, tendo uma destinação final apropriada, assim como as

⁴⁹ Lascas: Fragmentos de quartzo selecionados manualmente pesando menos de 200 gramas. (MORI et al.,2007).

lâmpadas fluorescentes que contêm mercúrio e as telas de computadores que contêm chumbo. Entretanto, o silício é cem vezes menos tóxico que esses outros elementos.

Para tanto, o rejeito deve ser reciclado parcialmente e a parte restante disposta em algum aterro sanitário. Segundo Fthenakis (apud Fraidenraich et. al., 2003), algumas considerações em relação ao SFCR sobre essa problemática são as seguintes:

- Os procedimentos atuais de reciclagem dos aparelhos eletrônicos, de comunicação e de baterias de celular de NiCd podem ser aplicados na tecnologia fotovoltaica;
- O processo de recuperação do módulo de CdTe poderá ser muito caro ou inviável e deverá, portanto, ser reutilizado por ser mais econômico esse processo. Caso seja inviável a reutilização do módulo, esse poderá ser classificado como material perigoso e deverá ser armazenado de forma especial.
- O chumbo, considerado perigoso e utilizado nas conexões, deve ser reutilizado também.
- Do mesmo modo os módulos de filme fino, com materiais raros como o In, Te, Ge.

Larsen (2009) observa que a *Silicon Valley Toxics Coalition* (SVTC) argumenta que, para a energia solar ser verdadeiramente “verde”, a indústria deve reduzir e, eventualmente, eliminar o uso de materiais tóxicos e desenvolver práticas sustentáveis. As indústrias, portanto, devem responsabilizar-se pelos impactos gerados durante o ciclo de vida, testando-se novos materiais e processos, expandindo-se a tecnologia de reciclagem e criando-se um *design* que facilite a reciclagem dos painéis.

Os módulos, por exemplo, contêm substâncias como vidro, alumínio e material semicondutor que podem ser reaproveitadas e reutilizadas. A reciclagem pode recuperar mais de 84% do peso do módulo. O vidro pode ser reutilizado em novos produtos e 95% do material semicondutor pode ser reaproveitado para a fabricação de novos módulos.

A energia da incineração de polímeros pode ser usada em outros processos ou para o pré-aquecimento de novos encargos das produções futuras (LARSEN, 2009). O processo térmico recupera até 98% das células intactas, dependendo do dano, tipo de estrutura do módulo e das células solares usadas. Caso haja lascas nas células ou outros danos, eles não poderão ser

reciclados e passam somente pelo processo de obtenção do silício. Quanto menor a espessura das células, menor o rendimento.

O processo de reciclagem é constituído pelas seguintes etapas:

- Os módulos são incinerados onde os componentes de plástico são queimados no processo de proteção de semicondutor a 600 °C,
- Os materiais, como as células solares, vidro e metais, são separados manualmente e esses dois últimos encaminhados à reciclagem,
- As células solares são re-gravadas no *wafer* (bolacha).
- O vidro pode ser utilizado como matéria-prima para a reciclagem.

De um lado, entretanto, discute-se que a reciclagem não seja viável economicamente por conta da energia gasta no processo de reutilização dos painéis e porque é mais barato utilizar a matéria-prima *in natura*. Já, por outro lado, segundo Goldemberg e Lucon (2008), a reciclagem dos módulos já é econômica e tecnicamente viável. A justificativa é a de que o volume de resíduos gerados pela produção poderá fazer crescer o mercado da reciclagem nos próximos anos, pois não existem muitas empresas que reciclam, embora já existam módulos a serem reciclados. Outro ponto é que a energia necessária para reciclar alguns poucos materiais básicos é menor do que a energia necessária para produzi-los a partir da matéria-prima. A tabela, a seguir, apresenta a quantidade de energia gasta na reciclagem de alguns materiais em tEP/kg.

Tabela 7- Quantidade de energia gasta na reciclagem de alguns materiais (tEP/kg)

	Vidro	Aço	Plástico	Alumínio
A partir da matéria-prima	6,5	35,0	35,0	100,0
Materiais reciclados	4,5	15,0	15,0	25,0

Fonte: GOLDEMBERG e LUCON, 2008.

Rentabilidade energética

Segundo Lorenzo (2006), para ser sustentável, um sistema energético deve reaplicar parte da energia produzida para compensar a energia investida em sua construção. Portanto, a energia realmente entregue para o uso é menor que a produzida.

Para se produzir os módulos fotovoltaicos utilizam-se 5600 kWh de eletricidade por cada kilowatt de potência nominal. Mais 900 kWh/kW associado ao resto do sistema: estrutura de suporte, obra civil, transporte (logística mais reduzida), inversores, proteção etc., gerando-se um total de 6500 kWh/kW. Supondo-se que a produtividade média do sistema seja de 1200 kWh/kW e seu tempo de vida útil, 40 anos, se conclui que a rentabilidade energética é de 4,5 (hoje) $\leq r \leq 7,4$ (futuro).

Tabela 8- Rentabilidade energética

$$r_e = \left(\frac{ELIBRE}{E\ INV} \right) = \left(\frac{EP}{E\ INV} \right) \eta_{AT} - FINV$$

r e Rentabilidade Energética

ELIBRE energia entregue para o uso

E INV energia investida na construção dos equipamentos

EP energia entregue pelo sistema fotovoltaico

η_{AT} eficiência da cadeia 0,75

Fonte: Lorenzo (2006).

Entretanto, segundo Lorenzo (2006), existe diante desse exercício a incerteza derivada essencialmente da dificuldade em se estimar a energia realmente usada durante a fabricação, instalação e operação dos sistemas fotovoltaicos.

Em outras palavras, a eletricidade fotovoltaica é rentável energeticamente e, por isso, pode ser elemento constituinte de um futuro sustentável, porém não é rentável economicamente e, por conta disso, seu desenvolvimento não pode fiar-se apenas nos mecanismos de mercado. Deve-se, entretanto, investir em pesquisa para que a tecnologia possa ter no futuro como proporcionar energia abundante e de forma distribuída.

2.6 Outros aspectos e barreiras

Segundo Oliveira (2002), algumas barreiras em relação aos aspectos técnicos são: as normas de segurança, a qualidade da energia injetada na rede, a natureza intrinsecamente aleatória e a garantia de que o sistema não opere em ilhamento⁵⁰.

O CGEE (2008) apontou algumas oportunidades e desafios que devem ser avaliados em relação à tecnologia fotovoltaica:

- Interligar milhares de sistemas fotovoltaicos na rede elétrica injetará *flickers* e harmônicos indesejáveis, o que representa um desafio para os especialistas em sistemas de potência;
- Uma indústria de silício grau solar demandaria um insumo de cinco noves de pureza (99,999%);
- O custo do silício cristalino abriu espaço para outras tecnologias e as células de alta eficiência incorporam essas novas tecnologias;
- As tecnologias baseadas em semicondutores orgânicos terão outros nichos de oportunidade e não deverão ser utilizadas na geração de energia elétrica devido aos aspectos de degradação;
- A energia fotovoltaica é modular e, por conta disso, é produzida em etapas, diluindo-se, desse modo, o investimento;
- O silício cristalino, mono e multi, dividem o mercado mundial em 90%;
- Para os próximos quinze ou vinte anos, a perspectiva girará em torno de 30 GW de geração, o que demandaria cinco vezes a quantidade de silício em produção.
- Os módulos são confiáveis e sua vida-útil é acima de vinte anos.
- A produção de células fotovoltaicas tem crescido a taxas médias de 50% ao ano e os filmes finos a 100% de crescimento anualmente.
- Existe, também, a proposta da produção mais barata de silício solar (pó de quartzo de alta pureza), suprimindo-se algumas etapas do refino químico do silício metalúrgico.

⁵⁰ O ilhamento ocorre quando uma usina geradora continua injetando energia na rede, mesmo se esta for proposital ou acidentalmente desligada. As concessionárias utilizam relés e/ou chaves protetoras para evitar que o ilhamento ocorra. (OLIVEIRA, 2002).

Barreiras Econômicas e Financeiras

- Alto tempo de retorno,
- Alto custo de capital,
- Limitado acesso ao crédito,
- Setor energético altamente controlado,
- Falta de consideração das exterioridades,
- Barreiras alfandegárias (FRAIDENRAICH et. al., 2003)

Barreiras Tecnológicas

- Falta de padronização, normatização e certificação,
- Falta de pessoal treinado/centro de treinamento,
- Falta de cultura de P&D,
- Limitações do sistema.

Barreiras Institucionais

- Falta de instituição/mecanismo para difundir informações,
- Instabilidade do ambiente macroeconômico,
- Falta de coordenação e envolvimento dos parceiros em todas as etapas,
- Insuficiência de diálogo com o usuário (FRAIDENRAICH et al., 2003).

Barreiras Comerciais

- Taxas para conexão,
- Pagamento de seguros e indenizações, exigências operacionais e atrasos na aprovação de projetos (OLIVEIRA, 2002),
- Falta de estrutura para serviços de promoção, distribuição, vendas, assistência técnica e manutenção,
- Falta de informação,
- Ausência de competição (FRAIDENRAICH et al., 2003).

Barreiras Regulatórias

- Estrutura de tarifas impostas aos geradores distribuídos,
- Proibição de funcionamento em paralelo com a rede,
- Geradores ou cargas de reserva (OLIVEIRA, 2002).

- Tarifa: Pagamento de encargos, custos de saída do sistema e de manutenção de uma capacidade de geração de segurança.
- Falta de estrutura legal/regulatória (FRAIDENRAICH et al., 2003).

CAPÍTULO III ENERGIA NUCLEAR

3.1 Estado da arte

No início do século XX, cientistas e físicos descobriram a radiação e, assim, pôde-se investigar com maior exatidão a escala do tempo e investigar a moderna astronomia através da radioatividade e da energia nuclear. Tem-se investigado também, com o apoio da ciência atômica, uma teoria universal que possa unir, entre si, a física clássica, a física subatômica e a astrofísica, as quais ainda seguem caminhos distintos na ciência. Diversas são as possíveis aplicações da radiação, entre outras a geração de energia elétrica, medicina⁵¹, agricultura e indústria (CAMARGO, 2006).

Mas, por outro lado, foi percebido também o cenário catastrófico que poderia criar-se com o uso dessa energia. A construção de bombas que foram lançadas em Hiroshima e Nagasaki é um exemplo. “Hoje, o mundo vive sob a pressão de milhares de armas nucleares, algumas com capacidade de destruição cerca de mil vezes superior à bomba lançada em Hiroshima” (CAMARGO, 2006). Segundo Goldemberg e Lucon (2008), o uso da energia nuclear para a produção de eletricidade foi um subproduto do desenvolvimento dos reatores nucleares com fins militares durante e após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945).

Contudo, o estudo das diferentes fontes de geração de energia elétrica e das vantagens e desvantagens decorrentes de seu uso reconhece os efeitos que elas provocam no meio ambiente, na sociedade e na economia. Em consequência desse reconhecimento se torna importante avaliar o crescimento do uso dessa fonte para a geração da energia elétrica. O problema da energia nuclear, segundo Goldemberg e Lucon (2008), reside nos rejeitos radioativos, na segurança e nas emissões de carbono durante todo o seu ciclo de vida, que inclui o descomissionamento de minas e reatores.

O caso da usina *Three Mile Island*, na Pensilvânia, em 1979, e o acidente⁵² em *Chernobyl*, na Ucrânia, em 1986, são alguns exemplos que devem ser levados seriamente em consideração, especialmente no que diz respeito aos cuidados que essa tecnologia requisita, a magnitude de

⁵¹ Na medicina, as aplicações da radiação são feitas em um campo genericamente denominado Radiologia, que compreende a radioterapia, a radiologia diagnóstica e a medicina nuclear (BRASIL, 2006).

⁵² Além desses acidentes, pequenos “incidentes” ocorrem rotineiramente em instalações nucleares. Na França, por exemplo, foram relatados 56 incidentes em seus reatores somente no primeiro semestre de 2000, por causas como contaminação, vazamentos, falhas de sistemas de emergência e problemas com inventários de resíduos. (Wise, apud Goldemberg e Lucon, 2008).

seus acidentes e de suas conseqüências tanto na esfera local quanto global. Além disso, todas as etapas, desde a extração e produção do combustível até o funcionamento da usina, requerem a utilização de métodos preventivos e a adoção de medidas de segurança. Alguns problemas, como, por exemplo, os impactos causados na mineração, na saúde, na segurança dos trabalhadores – tanto nas minas como nas usinas –, e na população que mora próxima desses locais, exigem um cuidado ímpar durante o ciclo dessa cadeia energética.

Deve-se também atentar para os custos reais, isto é, os gastos gerados durante o ciclo completo dessa fonte energética, para que seja possível avaliar com exatidão suas características e diagnosticar sua efetiva contribuição para o desenvolvimento do país em prol da sustentabilidade.

Um dos pontos atraentes dessa tecnologia, segundo a Eletronuclear (2008), é a geração de energia com pouca quantidade de urânio. No que diz respeito ao material empregado para produção de energia, essa fonte, em comparação com outras, utiliza uma quantidade bem menor. A proporção do material usado para gerar energia encontra-se na relação de 700 kg de óleo para 1200 kg de carvão para 10 g de urânio-235.

Para se obter o combustível é necessário extrair o urânio do meio ambiente, conferir-lhe tratamento industrial, elevando-se assim a proporção do urânio 235 para o urânio 238. No Brasil, a monazita inicialmente extraída em Caldas, Minas Gerais, abasteceu Angra I durante treze anos. Hoje o minério é extraído da mina de Caetité, no sertão da Bahia. Depois de purificado e concentrado, torna-se um sal amarelo, o *yellow cake*, o qual é encaminhado por caminhão até Salvador e transportado por navio até o Canadá, para ser transformado em gás. Em seguida, é acondicionado novamente em navio e encaminhado para a Holanda, para ser enriquecido. Ao final, retorna às Indústrias Nucleares do Brasil (INB), localizada no Rio de Janeiro, onde são produzidas as pastilhas de urânio (GREENPEACE, 2009). Segundo a INB (2009) 400 toneladas por ano são extraídas de minério nas minas de Caetité.

A Tabela 9 representa, segundo Scheer (2002), a cadeia interior de transformação da energia nuclear. Em resumo, as etapas contidas na cadeia fóssil de uma central elétrica compõem-se do combustível, que, primeiro, se transforma na câmara de combustão para obter a energia térmica. A este se seguem mais quatro passos. O primeiro deles consiste em sua transformação termodinâmica em vapor, o qual impulsiona a turbina para gerar, com a energia

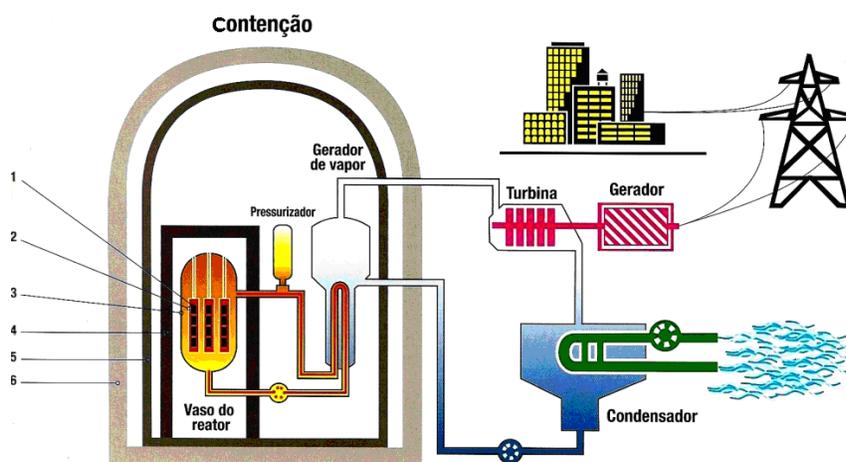
mecânica resultante, a corrente elétrica. Para isto, a instalação necessita de refrigeração. Para efeito de comparação, lembramos que, tal como foi apresentada no Capítulo II, a cadeia interior de transformação da energia solar constitui-se apenas de quatro etapas, que são, a luz solar, a célula, o inversor e, por fim, a geração de eletricidade.

Tabela 9 - Cadeia interior de transformação de energia nuclear para a produção de eletricidade

Combustíveis nucleares > Reator > Calor > Vapor > Turbina > Gerador elétrico > Eletricidade
 - Refrigeração⁵³
 - Armazenamento e Eliminação dos resíduos

Fonte: SCHEER (2002).

Na Figura 4 são apresentadas as etapas que compõem a geração de energia elétrica no reator da usina nuclear.



Fonte: ELETRONUCLEAR (2008).

Figura 4- Desenho representativo de uma usina nuclear.

1 – pastilhas de dióxido de urânio, 2 – varetas de liga metálica armazena as pastilhas, 3 – vaso do reator, 4 – blindagem radiológica, 5 – envoltório de aço especial (3 cm de espessura), 6 – envoltório de concreto (70 cm de espessura).

Especificamente em relação aos reatores utilizados pela Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA), esses são do tipo *Pressurizer Water Reactor* (PWR), reator à água pressurizada. Em Angra, o combustível do reator é composto de pastilhas de UO_2 de diâmetro

⁵³ Na maioria dos casos, usinas de geração de eletricidade precisam localizar-se junto a corpos d'água. Usinas termelétricas causam impactos nas seguintes formas: pelo uso *consuntivo*, para resfriamento das turbinas (sem reposição ao corpo d'água, devido a perdas por evaporação), e pela *poluição térmica* causada pelos efluentes devolvidos ao corpo d'água com temperaturas elevadas, o que afeta espécies que dependem de uma temperatura específica para viver, procriar e migrar. Além disso, as temperaturas altas podem viabilizar a proliferação de espécies alienígenas (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

de -1 cm e urânio enriquecido⁵⁴ a cerca de 3,2%. As pastilhas são posicionadas no interior da vareta de -3,5 m feita de uma liga de zircônio. Um conjunto de varetas forma um elemento combustível.

A geração de energia elétrica através de uma usina nuclear ocorre por meio da fissão de ^{235}U . O núcleo do átomo de ^{235}U é constituído de 92 prótons e 143 nêutrons⁵⁵. A força eletrostática entre os prótons tende a repeli-los, mas a força nuclear, mais intensa, mas de curto alcance, mantém nêutrons e prótons juntos, formando o núcleo atômico. Para liberar a energia presente no núcleo é necessário fissionar os núcleos atômicos através da reação com um nêutron, gerando calor (energia térmica). Através da fissão do núcleo de ^{235}U liberam-se também outros nêutrons que, atingindo outros núcleos, geram uma reação de fissão em cadeia.

A fissão dos átomos de urânio ocorre dentro das varetas de combustível e aquece o refrigerante, a água, que passa pelo reator a uma temperatura de 320° C. A pressão da água é mantida 157 vezes maior que a pressão atmosférica, para que essa não entre em ebulição. O gerador de vapor realiza a troca de calor entre o refrigerante do circuito primário e o do circuito secundário, que são independentes entre si. Com essa troca, a água do circuito secundário se transforma em vapor e movimentada a turbina a uma velocidade de 1.800 rpm. Depois de mover a turbina, esse vapor passa por um condensador onde é refrigerado pela água do mar, trazida por um terceiro circuito independente. A água do reator não se mistura com a dos outros circuitos.

O fator de carga, isto é, a relação entre a energia efetivamente produzida na operação e a energia que poderia ser produzida durante um ano, chega a ser de 85 %. Para cada recarga troca-se cerca de 1/3 dos elementos combustíveis do reator (ELETRONUCLEAR, 2008).

Na Tabela 10 exemplificam-se as etapas da cadeia de fornecimento da energia nuclear. Como será apresentada adiante, a cadeia de fornecimento da energia solar fotovoltaica, segundo Scheer, tem três etapas, enquanto que a da nuclear possui onze etapas. No que diz respeito à possibilidade de redução dos custos, a cadeia solar tem mais vantagem do que a nuclear.

⁵⁴ Enriquecimento: processo físico que aumenta a proporção de um isótopo no material. O urânio natural tem - 0,7% de ^{235}U e 99,3% de ^{238}U . Enriquecer urânio a 3,2% significa alterar esta proporção para 3,2% de ^{235}U e 96,8% de ^{238}U .

⁵⁵ Próton: partícula subatômica com carga elétrica positiva. Nêutron: partícula subatômica sem carga elétrica.

Tabela 10- Cadeia de fornecimento da energia nuclear

<p>Energia Nuclear >Extração >Transporte >Transformação do urânio >Transporte >Enriquecimento>Transporte> - Eliminação do urânio enriquecido</p> <p>>Central nuclear >Transporte de energia elétrica em alta tensão >Transporte de energia elétrica em media tensão > Distribuição – baixa tensão. - Armazenamento intermediário - Armazenamento final - Reprocessamento</p>

Fonte: SCHEER (2002).

Nessa cadeia em específico, será possível adicionar, ainda após o enriquecimento e o transporte, a fabricação de UO_2 , a montagem dos elementos combustíveis e, em seguida, a carga nas centrais nucleares.

Segundo a Associação Brasileira de Energia Nuclear (ABEN, 2006) as fases do ciclo do combustível podem ser resumidas da seguinte forma:

- Mineração de urânio, com a concentração e tratamento de minérios de urânio para a obtenção do concentrado industrial do urânio, o *yellow-cake*;
- Fabricação do combustível nuclear, etapas de conversão do concentrado de urânio em hexafluoreto de urânio, o enriquecimento isotópico do urânio e a fabricação dos elementos combustíveis;
- A produção de energia elétrica ou a irradiação de materiais em reatores nucleares e a estocagem temporária dos combustíveis irradiados;
- Reciclagem do combustível irradiado por meio do reprocessamento, se esta for a opção escolhida;
- O descomissionamento das instalações.

Em anexo foram apresentadas as fases do ciclo do combustível nuclear, desde a mineração e o beneficiamento até a montagem do elemento combustível.

3.2 Energia nuclear no mundo

Em 2008, os Estados Unidos foram o país que mais gerou energia por fonte nuclear, tornando-se responsável por 32% da geração total dessa energia no mundo. Em ordem decrescente vêm em seguida França (17%), Japão (9%), Alemanha (6%), Rússia (6%), Coreia do Sul (6%),

Canadá (3%), Ucrânia (3,34%) e China (1,85%). No mesmo ano o Brasil foi responsável por 0,52 % (ELETRONUCLEAR, 2009a). A Figura 5 apresenta a localização geral das usinas no mundo.



Fonte: INSC (2005-2009).

Figura 5– Localização das Usinas Nucleares no Mundo.

Em junho de 2009, segundo Filho et al., (2009), estavam em operação 438 reatores nucleares em 31 países. Desse total, 264 reatores são do tipo PWR, o que corresponde a 61% da capacidade mundial instalada para a fonte nuclear (ELETRONUCLEAR, 2009a). Essas usinas atendem 2/3 da população do Planeta e correspondem a 90% do PIB mundial. “A potência instalada em 2009 de energia elétrica através de reatores nucleares foi de 370 GW” (AIEA apud FILHO et al., 2009) Além disso, mais 45 reatores com capacidade total de cerca de 40 GW estão sendo construídos no mundo, 35 dos quais do tipo PWR.

Na América do Sul mais especificamente, além dos reatores do tipo PWR em funcionamento no Brasil, existem três usinas de reator *Pressurized Heavy Water Reactor* (PHWR) na Argentina – duas plantas em Buenos Aires, Atucha I, com 335 MWe em operação, e, em construção, Atucha II, com 692 MWe; e, em Córdoba, a planta Embalse, com 600 MWe em operação. Atualmente, alguns países estão desenvolvendo programas nucleares, como os EUA, China, Rússia e alguns países da Europa. A previsão do aumento da capacidade instalada de alguns países será apresentada a seguir em ordem decrescente:

Tabela 11- Previsão do aumento da capacidade instalada em Energia Nuclear

País	Aumento previsto para 2020/GW
EUA	50
RÚSSIA	42
CHINA	40
CORÉIA DO SUL	30

Fonte: Eletronuclear (2008).

Na Bulgária pretende-se trocar as antigas usinas por novas; na Polônia pretende-se construir sua primeira usina até 2020, e, na Austrália, maior produtor de urânio do mundo, estuda-se a construção de sua primeira usina. No Oriente Médio alguns países também manifestam interesse, entre eles, Egito e Turquia. Além desses, a Tunísia, Líbia, Marrocos, Argélia, Arábia Saudita, Emirados Árabes, Iêmen, Jordânia e Irã também estão assinando acordos de cooperação nuclear ou se estruturando para desenvolver as bases de conhecimento e preparando suas indústrias. Na Ásia, as Filipinas, Vietnam e Malásia estão reavivando seus antigos programas nucleares.

3.2.1 Caso Alemanha

Em 2007, a produção de eletricidade na Alemanha foi de 637 bilhões brutos de kWh, em torno de 6300 kWh per capita. Nesse mesmo ano, o carvão representou 55% da produção de eletricidade, o gás, 12%, e a energia eólica, 6%. A exportação de eletricidade excedeu a importação em cerca de 15 bilhões de kWh e, mesmo assim, esse país ainda é o maior importador de gás, carvão e petróleo em todo o mundo e tem poucos recursos internos como a lignite e os renováveis (World Nuclear Association, 2010). Um quarto da energia elétrica gerada na Alemanha provém de 17 reatores nucleares, dos quais 6 usinas são de reatores de água fervente (BWR) e 11 de água pressurizada (PWR). Esse número compreende 20,6% da capacidade instalada. As unidades totalizam 20.339 MW.

Em 1990, com a reunificação da Alemanha, todos os reatores do leste foram fechados e descomissionados por motivos de segurança. Após as eleições em 1998, o governo formado pelo Partido Social Democrata e pelo Partido Verde instituiu em sua política o desligamento gradual das usinas nucleares. Em 2001, assinou um acordo através do qual se comprometia a limitar a vida operacional das usinas em 32 anos, o que colocaria um limite na geração de energia da ordem de 2,623 trilhões de kWh. Através desse acordo, seria provisoriamente agendada o encerramento das atividades da última usina em 2022. Entretanto, com o novo

governo de 2009, essa meta tem permanecido em espera e a questão da vida útil das usinas ainda segue em discussão. O acordo, embora tenha limitado a vida das usinas, evitou o encerramento de qualquer instalação forçada durante a vigência do governo de 2010.

Foram apontadas diversas razões para que as usinas continuassem a fazer parte da matriz energética alemã dada sua importância para as futuras gerações. O relatório do Banco *Deutsche* advertiu que, com o desligamento das usinas, o país não alcançaria o objetivo de reduzir os níveis de dióxido de carbono emitidos na atmosfera, e ele se havia comprometido a reduzir 21% das emissões de gases de efeito estufa até 2010. Além disso, ele sofreria apagões e aumentaria drasticamente a sua dependência da importação de gás natural proveniente da Rússia. A menos, alertou esse relatório, seja realizado reajuste na data de encerramento das usinas, pois quatro reatores de grande porte que totalizam a geração de 4GW estariam encerrados no final de 2009. O Banco ainda orientou que seria necessário construir nova capacidade de geração de 42 GWe até 2022, se as usinas realmente fechassem. E, mesmo que a vida útil das usinas corresponda a 32 anos, se desejava que a vida de 17 usinas fosse estendida para 60 anos, assim como ocorreu nos EUA.

Em geral, a vida útil de instalações industriais é determinada pela durabilidade de seus componentes submetidos às condições de operação. Muitos componentes após 30 anos necessitam ser substituídos, e, nesse processo, devido o avanço tecnológico, ocorrem normalmente modernização, aumento da eficiência e produtividade e aumento da capacidade. Desse modo, algumas usinas passaram por este processo e obtiveram novas licenças de operação por novos períodos.

Segundo a pesquisa, caso a política sobre o fechamento das usinas nucleares tenha prosseguimento, assim como a conduta em relação à redução do dióxido de carbono, por volta de 2020, a Alemanha terá de importar cerca de 25.000 MW de energia elétrica. Isso colocará o país na mesma posição que a Itália possui hoje, importando de países vizinhos eletricidade, a qual se origina, principalmente, de usinas nucleares.

De 1946 a 1990 cerca de 220mil toneladas de urânio foram extraídos na Saxônia e Turíngia, com danos ambientais significativos. Grande parte foi utilizada em programas de armamento soviético e como combustível de reatores na Europa Oriental. Hoje todo o urânio utilizado na Alemanha é importado do Canadá, Rússia, Austrália e de outros países, em um total de 3.800

t/ ano de urânio. Em relação aos resíduos radioativos, os principais eventos ocorridos na Alemanha foram:

- 1963 - O Governo Federal recomendou o uso de formações geológicas de sal para a deposição de resíduos radioativos,
- 1973 - Planejamento para o repositório nacional,
- 1976 – Aprovada Lei de Energia Atômica pelo Governo Federal,
- 1994 - Reprocessamento do combustível para recuperação de parte desses resíduos e sua reciclagem,
- 1994 a 1998 - Reprocessamento e deposição direta,
- 1998 a 2009 - Reposição geológica direta de combustível irradiado e não seu reprocessamento

Os responsáveis pelo armazenamento temporário do combustível nuclear são as empresas públicas. No entanto, a política atual propõe armazenar temporariamente o resíduo no próprio reator. O Governo, por meio do Escritório Federal para Proteção contra Radiação (BFS), é responsável pela construção e operação de depósitos definitivos para os resíduos de alto nível.

Foi declarada que a localização de um Centro Nacional para a eliminação dos resíduos radioativos deveria ser em *Gorleben*, e cerca de 1,5 bilhão de euros foram gastos entre 1979 e 2000 com pesquisas. Em 2009, através do Governo foi retomada a escavação do local para a construção desse centro. Outra proposta são os reservatórios em argila. Para isso é necessário demonstrar cientificamente que os resíduos estarão estáveis no depósito⁵⁶ por um milhão de anos, para que se obtenha licença, por parte das autoridades, para efetivar a construção.

O repositório de mina de sal licenciado entre 1960 e 1970 encontra-se fechado. Existem em seu interior 126 mil tambores que ou irão ser preenchidos com concreto ou serão removidos para outro lugar. Outro repositório de sal localiza-se na Alemanha Oriental, e ele armazena resíduos de baixo e médio níveis, tendo sido licenciado em 1982 e fechado em 1988. Para ser revestido com cimento, seu custo será de 2,2 bilhões de euros.

⁵⁶ Apesar das propostas de vários países, o único depósito permanente de resíduos nucleares é a *Yucca Mountain*, nos EUA, que deverá operar entre 2010 e 2019, com capacidade para 70 mil toneladas e custará entre 100 e 200 bilhões de dólares (US\$ 1-2 bi por reator) (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

Em relação à emissão de gases de efeito estufa, a geração de energia nuclear na Alemanha evitou a emissão de cerca de 170 milhões de toneladas por ano de dióxido de carbono, em comparação com 260 milhões de toneladas/ano emitidas por outras usinas alemãs.

Além disso, a Alemanha faz parte do Acordo de Não-Proliferação Nuclear como um Estado que não detém armas nucleares. O acordo entrou em vigor em 1977. É também membro do Grupo de Fornecedores Nuclear e, em 1998, assinou protocolo adicional em relação aos seus acordos de salvaguarda com a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) e a Comunidade Europeia de Energia Atômica (Euratom).

3.3 Energia nuclear no Brasil

A Eletrobrás Termonuclear – Eletronuclear, criada em 1997 a partir da fusão da antiga Diretoria Nuclear de Furnas com a Nuclebrás Engenharia (Nuclen), é responsável pela operação das usinas nucleares de reator PWR, da CNAEA, localizadas no Município de Angra dos Reis, Rio de Janeiro. Angra I e II, juntas, representam, na matriz energética brasileira, uma participação de 2,80% da matriz energética brasileira. Angra I opera com capacidade de geração de 657 MW e Angra II, com potência instalada de 1.350 MW. Juntas, a capacidade instalada de 2.007 MW gerou 1.411,6 MW (med).

A previsão para início das atividades de Angra III, a próxima usina nuclear a contribuir para o sistema energético brasileiro, é o ano de 2013, e sua potência nominal será de 1.400 MW, sendo, portanto, capaz de gerar 10,9 milhões de MWh por ano.

O Plano Nacional de Energia 2030 – PNE-2030, considera, em seus diversos cenários, um mínimo de quatro e um máximo de oito novas usinas nucleares até 2030, além de Angra III, que já havia sido incluída no Plano Decenal (2006-2015). Pelo menos duas das novas unidades nucleares, com potência de 1.000 MW, cada, deverão ser construídas: duas na Região Nordeste e outras duas na Região Sudeste (também com 1.000 MW, cada). Segundo estudo, em 2015 o parque nuclear passará a ter 3.300 MW, com a entrada de Angra III. Já com as outras quatro usinas, a capacidade de geração de energia nuclear, em 2030, chegará a 7.300 MW. Para fazer os cálculos, o estudo considera um aumento do Produto Interno Bruto – PIB de 4,1% ao ano e um crescimento da demanda por energia em torno de 3,5% ao ano, até 2030 (ELETRONUCLEAR, 2008).

3.4 Potencial de geração de energia nuclear

3.4.1 Recursos naturais

Segundo a Associação Brasileira de Energia Nuclear a quantidade média de urânio existente na crosta terrestre é cerca de 4 gramas por tonelada de rocha, estando mais concentrada em alguns locais. Em média, os minérios de urânio contêm de 10 a 30 kg de urânio por tonelada extraída. (ABEN, 2006). As reservas para que se tornem economicamente atrativas dependem do teor presente, assim como da alternativa tecnológica utilizada para o seu aproveitamento. (GOMES et al., 2003). Ainda segundo este autor, o Cazaquistão detém as maiores reservas de urânio no mundo, seguidos da Austrália, África do Sul, EUA, Canadá e Brasil.

As reservas de urânio no Brasil seguem a classificação convencional de geologia, baseado no critério estabelecido pelo Código de Mineração Brasileiro, medidas indicadas e inferidas⁵⁷. Ao fazer a conversão para tEP, supõe-se que haja perdas da ordem de 30% na mineração e beneficiamento. As reservas geológicas brasileiras evoluíram de 9 mil e 400 toneladas, conhecidas em 1975, para a atual quantidade, e foram realizadas pesquisas geológicas em apenas 25% do território nacional (INB, 2009). O Brasil registra a sétima maior reserva geológica de urânio do mundo, com cerca de 309.000t de U₃O₈, nos Estados da Bahia, Ceará, Paraná e Minas Gerais, entre outras ocorrências. Atualmente, estima-se um potencial de reservas da ordem de 900.000 t, com a realização de novas pesquisas e avaliações. O país pode no futuro se reposicionar como segunda reserva mundial de urânio (GOMES et al., 2003).

Na Bahia, próximo dos Municípios de Caetité e Lagoa Real, localiza-se uma das mais importantes províncias uraníferas brasileiras. Estimada em 100 mil toneladas exclusivos de urânio, sem outros materiais associados. Esta quantidade é suficiente para o suprimento da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – Angra I, II e III e mais as usinas previstas pelo Plano Nacional de Energia 2030 (4000MW) durante toda a vida útil destas instalações. Com capacidade de produção de 400 toneladas/ano de concentrado de urânio, a meta da INB, para os próximos anos é a sua duplicação para 800 toneladas/ano. A vida útil da mina de Caetité está estimada em 50 anos.

⁵⁷ Reservas Medidas+ Reservas Indicadas = Razoavelmente Asseguradas (AIEA, [S.d]).
Reservas Inferidas = Reservas Adicionais (AIEA).

Segundo Alvim et al., (2007), na hipótese de ser instalado 52 GW até 2035, a geração nuclear será cerca de 350 TWh – fator de capacidade de cerca de 80% –, que a reserva total permite manter por 23 anos. Na hipótese mais provável de uma potência instalada de 10 GW e geração de 70 TWh, a reserva estimada será suficiente para 110 anos.

Com recursos abundantes, o Brasil não está diretamente vulnerável às mudanças nos preços do urânio, mas se encontra direta e indiretamente afetado por aumentos nos preços equivalentes ao esforço exigido para a separação do recurso em unidades de trabalho (SWU). (CABRERA-PALMER e ROTHWELL, 2008). Segundo os autores, a partir de um cenário comercial de urânio enriquecido em Resende, obtém-se segurança contra o aumento do preço do urânio e de seu enriquecimento. Mas, com base em estudo, foi identificado que seria insuficiente para o Brasil entrar no mercado internacional de enriquecimento de urânio somente com a indústria em Resende, pelo fato de essa unidade ter sido dimensionada apenas para atender o mercado nacional.

Entretanto, o desempenho do mercado futuro determinará se o país poderá competir no mercado do combustível nuclear, por conta de suas grandes reservas, e determinará também se os benefícios superam os custos da fase do enriquecimento de urânio do programa brasileiro. A conclusão a que chegaram os pesquisadores é que, se por um lado, se tem em Resende sucesso técnico e político, por outro lado, do ponto de vista econômico, seu sucesso é incerto (CABRERA-PALMER e ROTHWELL, 2008).

A partir de 1988, a produção de urânio no mundo teve um decréscimo segundo Gomes et al., (2003), ocasionado pelos baixos preços do minério em consequência de um mercado adverso decorrente da diminuição do ritmo de crescimento dos programas nucleares nos últimos anos em relação às previsões anteriores de formação de grandes estoques, que resultou no fechamento de algumas minas de baixo teor, exploradas na Europa Oriental.

As quase 450 usinas de energia nuclear atualmente ativas consomem cerca de 64.000 t a 70.000 t de concentrado de urânio. Com essa taxa atual de consumo, segundo Heider, as reservas atuais de urânio podem ser exploradas por cerca de 80 anos. A perspectiva é que a

produção mundial dobre até 2030, e que, em 2020, os estoques secundários⁵⁸ se esgotem, o que levará à expansão das minas existentes e à abertura de novas (HEIDER, 2009).

3.4.2 Geração de emprego e renda

Segundo a Eletronuclear (2008), Angra III criará oportunidade de 9 mil postos diretos de trabalho e 15 mil indiretos no período de maior movimentação em seu canteiro de obras. Já na fase de operação de Angra III, estima-se que serão criados cerca de 500 empregos diretos permanentes. O quadro de pessoal – diretores e empregados – da Eletronuclear, em 2008, era composto por 2.242 empregados, dos quais 700 trabalhavam na cidade do Rio de Janeiro, na sede da empresa, 1.538, nas usinas de Angra, e 4, no escritório localizado em Brasília.

Uma pesquisa desenvolvida por Kenley et al., (2009) questionou qual seria o potencial de criação de novos empregos como resultado do desenvolvimento e da operação de novas plantas nucleares nos EUA. Através de estudo realizado pelo Laboratório Nacional Idaho (INL) e pela Corporação Energética Bechtel, e patrocinado pelo Departamento de Energia dos EUA, foram identificados quais trabalhos seriam necessários para apoiar o aumento da produção de energia nuclear no país. Foi examinada a necessidade de criação de novos postos de trabalho na indústria e de um número maior de empregos diretos e indiretos.

O estudo se baseou na projeção realizada em 2004 para um aumento da demanda de energia elétrica a uma taxa de 1.8% ao ano, o que significaria mais 355.000 MW de geração de eletricidade. Com vista a esse crescimento planejou-se a inserção, na matriz energética, de 50GW de energia nuclear no sistema elétrico até 2020. Para se alcançar até essa data tal capacidade, cada usina deveria ter uma potência entre 1200 a 1500 MW, o que exigiria um montante de 33 a 41 de novas plantas nucleares. A Tabela 12 aponta para a estimativa do desenvolvimento de novas plantas por ano.

⁵⁸ Fonte secundária: urânio enriquecido.

Tabela 12- Previsão da implantação de usinas nucleares por ano

Ano	Número de usinas implantadas (1200 MW)	Número de usinas implantadas (1500 MW)
2014	1	1
2015	2	2
2016	3	2
2017	3	2
2018	4	3
2019	4	3
2020	4	4
2021	5	4
2022	5	4
2023	5	4
2024	5	4
Total	41	33

Fonte: KENLEY, et al., (2009)

Para determinação dessa estimativa foi necessário realizar-se um levantamento de potenciais fornecedores de energia nuclear nos EUA, com base na coleta de dados do Instituto Nuclear e em estudo focado nos requisitos imprescindíveis para a construção de reatores nucleares. Foi estabelecida uma linha de base que assumia que todos os equipamentos necessários deveriam ser produzidos no próprio país. O estudo, entretanto, não contabilizou a criação de postos de trabalho nas áreas de projeto de engenharia, de licenciamento, de fiscalização, de gestão de resíduos e de descontaminação e descomissionamento. Ele se ateve somente à contratação de serviços para a construção da usina. Os empregos que a investigação mostrou serem necessários foram divididos em três categorias:

- Empregos diretos: para construção da usina, manufatura dos produtos fabricados no próprio país e operação da fábrica;
- Empregos indiretos: para execução de serviços realizados durante a construção da usina, assim como para fornecimento do combustível, manutenção e execução de serviços de reparo e engenharia;
- Postos de trabalho induzidos: criação de empregos não-nucleares criados em decorrência do crescimento industrial, como supermercados, escolas e construção de residências.

Foi utilizada a ferramenta chamada IMPLAN para determinar o impacto econômico em níveis regional e nacional que será causado pela operação das plantas nucleares. No gráfico a seguir é apresentada a estimativa de empregos induzidos, indiretos e diretos, com a implantação de novas usinas nucleares.

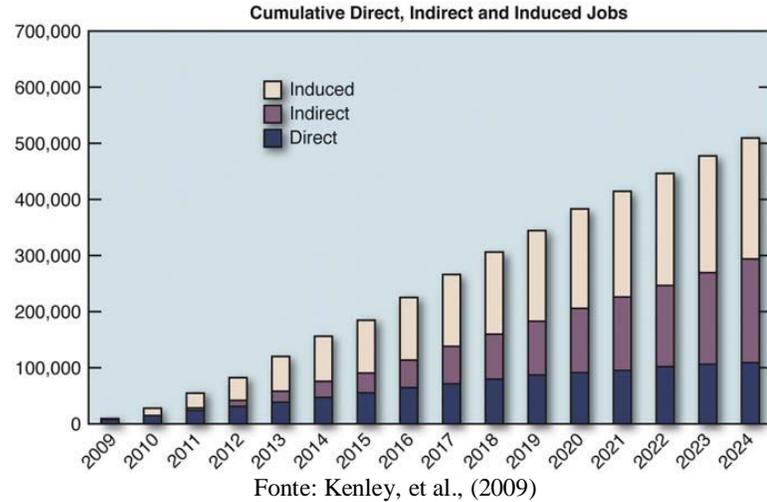


Gráfico 11– Emprego Direto, Indireto e Induzido por ano para usinas com potência de 1500 MWe

Chegou-se à estimativa de que serão criados 38mil empregos na indústria de manufatura do país. E por efeito cascata, ocorrerá a criação de 79 mil empregos para construção e operação das usinas, pois esse cenário induziria a um adicional de 250 mil postos de trabalhos indiretos. A pesquisa conclui que, para cada trabalho direto gerado, quatro novos trabalhos indiretos seriam criados, e que o impacto causado por esses últimos geraria um adicional de 242 mil empregos não-vinculados diretamente à geração da usina nuclear, contabilizando-se um total de 610 mil novos postos de trabalho adicionados ao longo dos 15 anos, na construção de 44 plantas até o ano de 2024.

3.5 Vantagens e desvantagens da energia nuclear

3.5.1 Economia e estratégia

O Brasil é um dos poucos países que dominam o ciclo de combustíveis nucleares. Isso porque existe no mundo restrição à transferência de tecnologia direta para o ciclo nuclear ou de uso militar. Segundo Alvim et al., (2007), parte das tecnologias envolvidas é de uso dual e a recusa no desenvolvimento da área nuclear implicam diretamente a atuação também do país em diversas outras áreas rentáveis no setor industrial. O desenvolvimento da tecnologia no Brasil causou impactos consideráveis na indústria e essa iniciativa foi adotada pela Marinha e realizada em parte em suas instalações, e também o foi pela Comissão Nacional de Energia Nuclear e por unidades industriais do sistema produtivo brasileiro. A manutenção da atividade impulsiona o desenvolvimento próprio de tecnologias. Esse estímulo industrial e tecnológico

do país fortalece o *cluster* ultra especializado com equipamentos, combustível, instalações e geração (FILHO et al., 2009).

Além disso, o país detém grande quantidade de reserva de urânio e utiliza combustível nacional a baixo custo. Tais condições conferem-lhe maior segurança no tocante à possível vulnerabilidade relacionada com o abastecimento e a proteção contra a volatilidade do preço do minério (ELETRONUCLEAR, 2008).

O fato de não existir unidade comercial para a etapa de conversão e de a capacidade da unidade de enriquecimento ainda se encontrar em construção nas Indústrias Nucleares Brasileiras (já em operação) fazem com que grande parte do enriquecimento de urânio seja realizada ainda no exterior (ALVIM et al., 2007). Contudo, mesmo que o projeto das próximas usinas ainda seja externo, o nível de nacionalização será crescente. Segundo a Eletronuclear (2008), através do ciclo do combustível o país pode fortalecer os seguintes setores:

- Aumentar a receita proveniente da venda de combustível nuclear, contribuindo para a economia de escala das Indústrias Nucleares do Brasil, fabricante do combustível nuclear;
- Completar a nacionalização do combustível nuclear, com a utilização do processo industrial de enriquecimento isotópico por ultracentrifugação, desenvolvido de forma pioneira pela Marinha do Brasil.

Ainda segundo a Eletronuclear (2008), o uso da tecnologia nuclear contribui também para um aumento do número de encomendas de componentes à Nuclep⁵⁹ e a fabricantes e fornecedores de bens e serviços nacionais, com a conseqüente criação de emprego e custos de geração compatíveis com as demais opções de geração.

Outros aspectos decorrentes do uso dessa tecnologia podem contribuir para os aspectos tecnológicos e industriais como:

⁵⁹ Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A (Nuclep) - Fábrica de equipamentos pesados, criada no âmbito do Acordo Nuclear Brasil-Alemanha, localizada em Itaguaí, RJ.

- Aproveitamento e a conseqüente não-dispersão do valioso capital humano, altamente especializado e formado durante a implantação do Programa Nuclear Brasileiro;
- Fortalecimento do sistema de ciência e tecnologia existente, através de programas conjuntos e consultorias específicas em universidades e centros de pesquisa, com criação de demanda para formação e qualificação profissional em programa de tecnologia multidisciplinar;
- Fortalecimento da indústria nacional como fornecedora de equipamentos de alta tecnologia, aumentando seu poder de competição no mercado internacional;
- Aumento de conhecimentos na área nuclear brasileira, permitindo futuras propostas de programa para implantação de centrais de menor porte em regiões que não disponham de potencial hidráulico competitivo (ELETRONUCLEAR, 2008).

Alguns outros aspectos que relacionam entre si os pontos energéticos e elétricos:

- Geração de aproximadamente 10 TWh/ano;
- Diversificação da matriz energética nacional e redução dos riscos de déficit de energia elétrica,
- Ampliação da capacidade de geração da Região Sudeste,
- Melhor desempenho do sistema interligado de transmissão de energia elétrica, com a redução do seu carregamento, devido ao aumento do porte do parque gerador local;
- Localização próxima dos grandes centros consumidores (cidades de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte);
- Confiabilidade no suprimento para as regiões que abrangem os Estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo.
- Desde o início colocar em operação toda a sua disponibilidade (ELETRONUCLEAR, 2008).

E, por fim, alguns aspectos regionais na área de influência da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto são os seguintes:

- Incremento na arrecadação de impostos e nas atividades econômicas regionais;

- Destinação de 2% do valor do empreendimento para melhorias em unidades de conservação ambiental, tal como determina a legislação federal do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) ;
- Desenvolvimento e melhoria da infra-estrutura local e regional, através da implementação de programas compensatórios, como melhoria em rodovias, implantação de hospital regional, treinamento e capacitação de técnicos das administrações municipais;
- Consolidação da política de implementação de parcerias regionais entre a Eletronuclear e os municípios vizinhos, nas áreas de saúde, educação, saneamento, infraestrutura, preservação ambiental, cultura e conservação do patrimônio histórico (ELETRONUCLEAR, 2008).

Uma pesquisa realizada por Yoo e Ku (2009) teve como objetivo relacionar o consumo da energia nuclear e o crescimento econômico numa amostragem que envolveu vinte países que utilizaram essa fonte de energia durante 20 anos, até 2005. Entretanto, somente seis países estavam disponíveis para efetuar a análise de causalidade. O resultado apontado pela pesquisa é que, nesses países, a relação entre o consumo de energia nuclear e o GDP⁶⁰ real não é uniforme e que existe uma causa bi-direcional entre o consumo de energia nuclear e o aumento da economia, por exemplo, na Suíça, enquanto ocorre uma causalidade uni-direcional entre esses dois fatores, mas sem efeito de *feedback*, na França, no Paquistão e Coreia do Sul. Além disso, na Argentina e na Alemanha, segundo os autores, não foi possível detectar essa relação de causalidade entre economia e energia nuclear. Em primeiro lugar, porque a economia estimulou mais o consumo de energia nuclear na França, Paquistão e na Suíça. Entre esses países, um aumento no GDP real é responsável por um aumento do consumo de energia nuclear. Especialmente na França, com o avanço de sua economia, obteve-se um aumento no consumo da energia nuclear em diversos setores. Mais de 79.1% da eletricidade que esse país consome provém da tecnologia nuclear, e é razoável, portanto, esperar que o crescimento econômico ocorra paralelamente com o aumento do consumo dessa fonte de energia. Em segundo lugar, um alto nível de consumo de energia nuclear levou a um aumento do GDP real na Suíça e na Coreia. Isso implica que uma escassez na infraestrutura para o consumo de energia nuclear pode restringir o crescimento econômico em alguns países.

⁶⁰ GDP real é utilizado como medida para o crescimento econômico (variação positiva da produção econômica).
GDP = LxHxP. Dólares por ano = (pessoas empregadas) x (horas trabalhadas por pessoa, por ano) x (produtividade em dólares por hora, por empregado).

Um aumento real de GDP requer um consumo maior da energia nuclear, embora existam muitos fatores que contribuem para o crescimento econômico, e a energia nuclear é somente a representação de uma das possíveis contribuições. E, mesmo assim, o estudo aponta para a necessidade de se estender essa pesquisa posteriormente, para que seja possível identificar a representação da fonte pesquisada no capital social, na geração de emprego, exportações, entre outros (YOO e KU, 2009).

3.5.2 Social e ambiental

Segundo a Eletronuclear (2008), o uso da energia nuclear acarreta algumas vantagens para o meio ambiente. São elas:

- A não-emissão, durante a geração de energia elétrica, de gases que contribuem para a chuva ácida (óxidos de enxofre e nitrogênio) e para o efeito estufa (CO₂, metano etc...) e de material particulado;
- Não ocorrer igualmente, durante a geração da energia elétrica, emissão de metais cancerígenos, mutagênicos e teratogênicos (arsênio, mercúrio, chumbo, cádmio etc...);
- Não serem produzidas cinzas;
- Não serem produzidos escória e gesso (rejeitos sólidos produzidos em usinas a carvão mineral);
- Por ser pequena, pode a área de construção ser instalada próxima aos centros, com água em abundância para sua refrigeração,
- A peculiaridade de extrair grande quantidade de energia de um volume pequeno de combustível.

Em comparação a uma usina termelétrica moderna que utiliza carvão pulverizado, uma usina nuclear do porte de Angra III evitaria a emissão anual para a atmosfera de cerca de 2,3 mil toneladas de material particulado, 14 mil toneladas de dióxido de enxofre, 7 mil toneladas de óxidos de nitrogênio e 10 milhões de toneladas de dióxido de carbono. Se comparada a uma usina termelétrica a gás, as emissões evitadas por uma usina nuclear do porte de Angra III totalizam aproximadamente 30 toneladas de dióxido de enxofre, 12,7 mil toneladas de óxidos de nitrogênio e 5 milhões de toneladas de dióxido de carbono (ELETRONUCLEAR, 2008).

Por outro lado, existe uma emissão indireta de gases de efeito estufa ocasionada pela produção do cimento utilizado na construção civil, pela produção do aço utilizado nas fundações e nos equipamentos mecânicos etc.

Outro impacto ambiental relevante são os resíduos produzidos através da cadeia de produção das fontes energéticas. Em relação à energia nuclear, as preocupações com os rejeitos são de ordem temporal, isto é, dizem respeito ao acondicionamento dos resíduos, com segurança e de forma adequada por milhares de anos. Essa responsabilidade é então transferida para as gerações futuras.

Mineração

Hoje, a mineração e o beneficiamento de urânio no Brasil estão localizados em Caetité, interior da Bahia. E são extraídos por ano 400 toneladas de urânio. O Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), vinculado ao Ministério da Ciência e Tecnologia, elaborou, em 2003, estudo sobre os níveis de urânio no aquífero da região, levando em conta ser ele a única fonte disponível de água para a população. Essa pesquisa revelou que nesse aquífero ocorreu aumento das concentrações de urânio na água subterrânea e em áreas sob influência direta da cava da mina. Foram observadas elevadas concentrações não só de urânio como também de alumínio, flúor e ferro em poços localizados fora da área de influência da mineração. Ainda de acordo com essa pesquisa, as águas precisariam ser submetidas a algum tipo de tratamento ou restrição. Chama-se atenção para o fato de não terem sido avaliadas nessa pesquisa outras fontes de poluição, como depósito de estéreis e tanques de licor e efluentes (LAMEGO SIMÕES et al., 2003).

Ainda de acordo com Lamego Simões et al., (2003), os efeitos gerados pela ingestão e/ou inalação de elementos radioativos e da exposição externa à radiação podem ser identificados como efeitos determinísticos e efeitos estocásticos⁶¹. Os efeitos da radiação são proporcionais ao aumento da dose radiológica. Entretanto, nas regiões chamadas baixas doses a relação entre o efeito e dose não é totalmente conhecida.

⁶¹ Efeitos determinísticos são considerados os efeitos previsíveis sobre a saúde. Ex. queimaduras da pele, danos da medula óssea e esterilidade. Efeitos estocásticos são considerados os aleatórios e sem previsão. Ex. câncer e doenças hereditárias. (YASSI et al., 2002).

Os valores probabilísticos que são utilizados no modelo de risco representam informações subjetivas que medem os graus de convicção do analista (KOK, 2009). Dessa forma, existem incertezas associadas a esses valores probabilísticos e parâmetros de um modelo de risco.

Isso quer dizer que se assume a hipótese da linearidade sem uma fronteira definida (*Linear Non-Threshold* – LNT) na premissa de que um aumento na dose é correspondido por um aumento no risco, sendo a manifestação do efeito algo totalmente probabilístico. Esta peculiaridade das radiações ionizantes em relação à saúde dos seres humanos difere de alguns elementos não-radioativos cujos efeitos na saúde são de característica eminentemente determinística, isto é, não haverá restrição de uso se os valores de determinados parâmetros estiverem abaixo de certos limites.

Contudo, no estudo realizado foi observado que os limites de concentração de alumínio, flúor e ferro permitidos pela legislação foram ultrapassados.

Todavia, há poços localizados na área de influência da mineração onde as concentrações naturais de radionuclídeos são importantes. Num dos poços, os valores chegaram a 8 Bq/L⁶². A ingestão da água deste poço pela população a uma taxa de 2 L/dia acarretaria um incremento do risco de doenças causadas pela radiação da ordem de 0,1 %. O urânio tem uma restrição de consumo maior, mais em decorrência de suas propriedades toxicológicas do que radiológicas. Entretanto os fundamentos da proteção radiológica nos quais se baseiam as normas nacionais orientam que nenhuma prática pode ser desenvolvida se os valores de dose para o indivíduo do público excederem os limites estabelecidos, no caso 1 mSv/a⁶³, ou a dose efetiva acumulada pelo trabalhador em 50 anos não deverá exceder 1Sv. (Secretaria de Estado da Saúde, 1994). Este limite se aplica aos impactos associados à prática propriamente dita, e é calculado como incremento sobre o nível de base (valor de *background*).

Prado (2007) realizou um estudo sobre os níveis de incorporação do radionuclídeo pelos habitantes da mesma região estudada anteriormente. A avaliação feita utilizou como bioindicadores dentes, e a comparação entre amostras de três regiões: Caetitê, Lagoa Real e

⁶² 1 Bq (Bequerel) = 1 desintegração por segundo.

Sievert (Sv) é uma medida que considera quantidade e tipo de radiação que um ser recebe. É uma unidade de dose, assim como o metro (m) é uma unidade de comprimento.

⁶³ 1 mSv/a= 1 milisievert/ano; 1 sievert = 100 rem (Roentgen Equivalent Man) = 1 Gy = 1 J/kg; Sv= Gy x F (produto entre a dose absorvida em grays e o fator de qualidade). (ABIROCHAS, 2008).

Igaporã. Segundo o autor, os resultados são bastante consistentes pelo fato de que a maior proximidade com a planta de extração e processamento de urânio (INB) resulta em maior contaminação ambiental, levando assim os habitantes de seu entorno a ingerirem relativamente mais urânio. As outras regiões correspondem às plantas de processamento das Indústrias Nucleares Brasileiras, em Lagoa Real e Igaporã.

A medição em Caetité apresentou uma incorporação média de urânio igual a 52,3 ppb ($\mu\text{g/L}$)⁶⁴, duas vezes maior do que em Lagoa Real, quase uma ordem de grandeza maior do que foi medido em Igaporã, 25 vezes maior do que na região-controle, a Represa de Guarapiranga, e ainda cerca de 100 vezes maior do que a média mundial.

As populações dessas localidades, e de Caetité em particular, segundo Prado (2007), estão sujeitas a riscos radiobiológicos. Essa circunstância pode levar a sérios problemas de saúde como a ocorrência de neoplasias⁶⁵. Os resultados alcançados quanto à ingestão diária de urânio para cada região estudada foram na ordem de:

a - 0,3 a 24 $\mu\text{g(U)}/\text{dia}$ em Caetité. Ponto médio $\approx 12,2 \mu\text{g (U)}/\text{dia}$

b - 1,0 a 11 $\mu\text{g(U)}/\text{dia}$ em Lagoa Real. Ponto médio $\approx 6 \mu\text{g (U)}/\text{dia}$

c - 0,6 a 7,5 $\mu\text{g(U)}/\text{dia}$ em Igaporã. Ponto médio $\approx 4 \mu\text{g (U)}/\text{dia}$

A partir desses limites para a ingestão de urânio, inferidos por meio do programa biocinético e utilizando os resultados obtidos para dentes (igualando-os ao esqueleto), foi calculada as concentrações de urânio em outros órgãos de interesse radiobiológico. A análise indica que, além dos efeitos radiológicos, os residentes em Caetité estão sujeitos a problemas nefrotóxicos e hepatotóxicos agudos.

O trabalho, por outro lado não indica necessariamente que a contaminação advém da atividade mineradora da usina, uma vez que o solo de toda região é rico em urânio.

Contudo, segundo Brasil (2006b), a instalação de atividades de mineração e de beneficiamento de urânio de Caetité vem apresentando problemas. Segundo o relatório do Grupo de Trabalho – Fiscalização e Segurança Nuclear, em abril de 2000 ocorreu o

⁶⁴ $\mu\text{g/L}$: microgramas/ litro (1 ppb equivale a 1 $\mu\text{g/l}$).

⁶⁵ Neoplasia é a degeneração histológica, com acentuada proliferação celular e aparecimento de formas atípicas de células. (SOARES, 2003).

vazamento de 5 mil m³ de licor de urânio, o equivalente a 5 milhões de litros, ocasionado pela ruptura das mantas. E também foi verificado que o projeto de compactação do solo abaixo das mantas foi feito em desacordo com a licença obtida. O acidente foi descoberto somente seis meses depois, devido a uma queixa trabalhista. Esse fato comprova, segundo o mesmo relatório, a ineficiência da área de fiscalização da área nuclear e a pouca importância que essa área confere ao cumprimento das normas legais que orientam o desenvolvimento dessa atividade.

Se normas de segurança existem, elas devem ser rigorosamente cumpridas, não pode ser utilizado aqui o tradicional “jeitinho” [...] Angra II e a Usina de Beneficiamento de Urânio de Caetité estão operando apenas com Autorização para Operação Inicial (AOI). Ocorre que não conseguiram atender às condições de radioproteção e segurança nuclear, estabelecidas pela legislação, para a emissão das respectivas Autorizações para Operação Permanente (AOP) (BRASIL, 2006).

Com relação à mina de urânio, tem-se mostrado que sua exploração, inequivocamente, produz um acréscimo da mortalidade respiratória por câncer, uma vez que aumenta a probabilidade de silicosis entre os mineiros. Estudos epidemiológicos demonstram evidências controversas acerca dos efeitos da radiação nas populações que residem nas proximidades das usinas nucleares. Uma maior incidência de leucemia em crianças foi identificada nos arredores de duas instalações nucleares inglesas que se dedicavam ao reprocessamento. Outro estudo, utilizando métodos similares, identificou igualmente maior incidência (14-15%) de leucemia nas crianças que viviam nas proximidades de instalações nucleares na Inglaterra e Gales. No entanto, estudos realizados com populações que habitam os arredores de seis instalações nucleares na França não revelaram acréscimo significativo na incidência de leucemia ou de outro tipo de câncer. (YASSI et al., 2002).

Uma pesquisa elaborada nos EUA teve como objetivo examinar as taxas de mortalidade por câncer de populações que residem nos arredores de 62 instalações nucleares. Não foi observado nenhum acréscimo, no entanto, a Organização Mundial da Saúde (OMS) tem argumentado que esse estudo incluía grandes áreas e populações, aspecto este que pode ter contribuído para que não se diluíssem pequenos acréscimos na mortalidade de câncer, o que levou a que permanecessem ocultos. (YASSI et al., 2002).

Existe, portanto, dupla dificuldade. A primeira diz respeito à quantificação do impacto causado na saúde humana, uma vez que alguns resultados se encontram no limiar da

observação do dano à saúde. A outra dificuldade se relaciona com os custos reais enfrentados por essa incerteza. Uma forma de analisar este problema é estabelecer uma comparação com outros fatores de risco, entre os quais a poluição e o fumo, aos quais as pessoas também estão submetidas. A comparação deixa, portanto de ser absoluta e passa a ser relativa.

Rejeitos

Os resíduos produzidos pelas várias fontes de energia, segundo ABEN (2006), podem ser classificados como tóxicos, radioativos, cinzas e aqueles resultantes do tratamento e da dessulfurização de gases. A legislação sobre a disposição dos rejeitos tem sido cada vez mais rigorosa, classificando-os como perigosos. Os rejeitos radioativos são o principal passivo ambiental produzido pelas várias atividades da área nuclear, ou seja, pelos reatores nucleares, pela indústria do ciclo do combustível nuclear e pelo uso de materiais radioativos para pesquisa, medicina e indústria convencional. Esses passivos podem também ser produzidos em decorrência de acidentes em instalações nucleares, quando pode ser liberado material radioativo e provocar a contaminação de áreas (INB, 2009).

Uma planta nuclear de 1000 MW produz 30 toneladas de combustíveis nucleares irradiados, 350 toneladas de 1011 rejeitos radioativos de nível intermediário de radiação e 450 toneladas de rejeitos radioativos de baixo nível de radiação (ABEN, 2006). Estes últimos têm tratamento e gerenciamento de baixo custo e são compactados para a diminuição do volume ocupado. Em termos de volume, os rejeitos de níveis baixo e intermediário de radiação provenientes de uma usina nuclear de 1000 MW ocupam cerca de 300 m³. Em todo o mundo este valor é de aproximadamente 200.000 m³. Para efeito de comparação, as atividades industriais nos Estados Unidos produzem aproximadamente 50.000.000 m³ de rejeitos sólidos por ano (ABEN, 2006).

Uma central nuclear semelhante à Angra III produz em um ano de operação cerca de 440 kg de rejeitos de alta atividade, dos quais 280 kg são de plutônio, 43 kg de actínídeos menores e 117 kg de produtos de fissão (ABEN, 2006).

De acordo com o nível de radioatividade que apresentam, os rejeitos gerados por uma usina nuclear são classificados em três classes: de baixa, de média e de alta atividades. São

classificados também em função da meia-vida de seus elementos radioativos, ou seja, como rejeitos de longa e de baixa duração.

- Rejeitos de baixa atividade (“*Low Level Waste – LLW*”): substâncias ligeiramente contaminadas, como papéis, plásticos, vestimentas, ferramentas e a maior parte dos gases e dos líquidos ativados ou contaminados produzidos durante a operação da usina. Com a finalidade de reduzir seus volumes, esses rejeitos são usualmente compactados antes da deposição final.
- Rejeitos de média atividade (“*Intermediate Level Waste – ILW*”) são eles: filtros, resinas, concentrados do evaporador e outros materiais que sofreram contaminação. Os rejeitos do tipo ILW são solidificados ou imobilizados em materiais inertes, tal como o concreto ou o betume.

Para a média e baixa atividades radioativas existem tecnologias seguras de gerenciamento, desde sua coleta até o armazenamento nos depósitos iniciais. Esses rejeitos são acondicionados em embalagens metálicas, testadas e qualificadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear e transferidas para o depósito inicial, localizado no próprio sítio da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto. Esse depósito é permanentemente controlado e fiscalizado por técnicos e especialistas em segurança da Eletronuclear que utilizam proteção radiológica. Existem depósitos finais licenciados para rejeitos radioativos de baixa e média atividades.

- Rejeitos de alta atividade e vida longa (“*High Level Waste – HLW*”): o combustível nuclear irradiado na usina se constitui em única fonte de material radioativo de longa duração, necessitando de resfriamento, no mínimo, por 10 anos. São mantidos em instalações de armazenamento inicial (piscinas de resfriamento de combustível usado).

O rejeito radioativo diminui sua periculosidade ao longo do tempo. Para depósitos de alta atividade, existem várias propostas de estudo em vários países, e as razões para a demora, segundo a Associação Brasileira de Energia Nuclear – ABEN (2006) são:

- Necessidade de se esperar de 20 a 40 anos para que ocorra o resfriamento dos elementos combustíveis irradiados antes de serem encaminhados para a deposição final;
- Existência de diferentes alternativas de projeto para a deposição final e a existência também de alternativas de ciclo do combustível, com reatores rápidos e reatores incineradores de rejeitos,
- A possibilidade de reciclagem dos combustíveis irradiados.

Reciclagem do combustível nuclear

O combustível ao ser reciclado é reprocessado para que o urânio se separe do plutônio. Esta operação produz um rejeito líquido altamente radioativo. Em uma usina de 1000 MW com reciclagem de combustível, o volume de rejeitos de alta atividade produzido é de cerca de 10 m³ por ano. Este rejeito pode ser vitrificado para se tornar sólido e ser armazenado por milhares de anos em formações geológicas subterrâneas apropriadas (IBN, 2009).

Atualmente, na Europa e no Japão, o plutônio é reciclado para a produção de energia. Ele é separado dos demais actnídeos e produtos de fissão, por meio da tecnologia de reprocessamento, e misturado com urânio em proporções adequadas para formar o combustível denominado óxido misto ou “MOX”, que é colocado nos reatores destes países. Os 160 kg restantes de rejeitos, formados por actínídeos e produtos de fissão, são armazenados em depósitos adequados para rejeitos radioativos (ABEN, 2006).

Os Estados Unidos não consideram esta opção desde o final da década de 70 sob o pretexto de evitar a proliferação nuclear. A fabricação de combustível MOX pode ser feita em cinco instalações no mundo, que se localizam na Bélgica, França, Alemanha e Reino Unido. Mais duas instalações se encontram em construção. A experiência nesse tipo de combustível vem sendo feita há mais de vinte anos e a primeira planta de grande escala, Melox iniciou a sua operação na França, em 1995 (ABEN, 2006).

Contudo, nas últimas décadas, a área de pesquisa de física de alta energia desenvolveu aceleradores de partículas de alta potência. Há várias propostas destes sistemas, que são denominados “*Accelerator Driven Systems – ADS*”. O uso desta tecnologia em conjunto com os reatores nucleares permitiu o desenvolvimento de sistemas capazes de incinerar os rejeitos

de alta radioatividade de forma a diminuir drasticamente o tempo necessário de armazenagem. Nestes sistemas é possível transformar grande parte dos rejeitos de alta atividade em rejeitos de média, baixa ou nenhuma atividade, por meio de reações nucleares específicas (transmutação nuclear).

Estudos mostram que um ADS praticamente eliminaria o problema dos produtos de fissão, do plutônio e dos actínidos. A previsão, para 2015, é que se encontrem em funcionamento as instalações de demonstração de ADS nos EUA, Europa e Japão; e, para 2030, é que entre em funcionamento o primeiro protótipo. O objetivo destas instalações é demonstrar ser possível que, após a incineração, serem requeridos para os rejeitos radioativos tempos de armazenagem menores que 500 anos.

3.6 Outros aspectos e barreiras

Acidentes e Armas Nucleares

Segundo a Eletronuclear (2008), o pior acidente que pode ocorrer nas usinas Angra I e Angra II é uma fusão do núcleo do reator, motivada por perda de refrigeração associada à perda das barreiras físicas de contenção. Este foi o caso da usina americana *Three Mile Island* (TMI-2).

Segundo Rosa (1985), a parada de uma bomba de circulação de água no circuito secundário acabou se tornando um gravíssimo acidente. Por esquecimento da manutenção, estavam fechados os dois caminhos alternativos em paralelo para a água. Interrompida a circulação da água no secundário, cessou a remoção do calor do circuito primário e, mesmo estando desligado o reator, a geração de calor por decaimento continuou. Para evitar uma explosão térmica, uma válvula do primário se abria (pressurizador) liberando água radioativa para fora, no prédio do reator. Esta válvula travou e não voltou a fechar, de modo que a água injetada pelo sistema de emergência saía. O operador não detectou este emperramento da válvula e desligou manualmente o sistema de água de emergência. Resultado: o nível da água no vaso do reator baixou a ponto de deixar descobertas as varetas de urânio, com o risco de que elas se fundissem.

O resultado do ponto de vista econômico, segundo Rosa, foi catastrófico para a empresa concessionária de energia elétrica, proprietária do reator. O gasto com a limpeza para eliminar a radioatividade residual chegou a ser maior do que o custo do reator. O prejuízo foi enorme e

contribuiu para desestimular as empresas privadas de energia elétrica norte-americanas a assumirem o risco da instalação de novos reatores (ROSA, 1985).

Assim como TMI-2, os reatores de Angra I e Angra II do tipo PWR utilizam água pressurizada como refrigerante e também como moderador. Para evitar esse tipo de acidente, dois sistemas principais de segurança são utilizados: um apaga o reator pela inserção de barras de cádmio e água borada no seu núcleo (SCRAM) e o outro provê a refrigeração de emergência do núcleo (ECCS) (ROSA, 1985).

Entretanto, mesmo após ser desligado o reator, cessando as fissões, continua ocorrendo geração de calor no seu interior, pelo decaimento radioativo⁶⁶ dos produtos de fissão lá existentes. Imediatamente após o desligamento, isso representa 7% da taxa de calor gerado em operação. Governada pelas meias-vidas dos produtos de fissão mais ativos, essa taxa cai a 2% após 10 minutos, 1% após duas horas e meia, 0,5% após um dia. Esse calor é suficiente para fundir o núcleo do reator se não continuar a ser refrigerado. Logo, caso ocorra um acidente de perda de refrigerante, é imprescindível que funcione o sistema de refrigeração de emergência.

Em *Chernobyl*, erros de operação provocaram aumento na potência do reator, que não pôde ser controlado adequadamente e conduziu a um rápido aumento da temperatura e à explosão do núcleo (explosão de vapor), levando a um intenso incêndio. Este acidente ocasionou a morte de 31 trabalhadores de emergência e a contaminação de grandes áreas na parte européia do que era a União Soviética. Cerca de 1 mil casos de câncer de tiróide em crianças foram detectados e milhões de pessoas estão vivendo em áreas contaminadas. Além disso, 100 mil indivíduos foram permanentemente evacuados de uma zona de exclusão de 30 km de diâmetro criada ao redor do reator (YASSI et al., 2002).

Segundo Alvim et al., (2007), os riscos de contaminação estão no ciclo de combustível, onde ocorre a manipulação direta com o material nuclear. Os acidentes mais graves nas instalações do ciclo são os de criticalidade acidental, como o ocorrido na fábrica de combustíveis em *Tokaymura*, em 1999, no Japão. Esses acidentes são mais comuns em plantas militares fabris

⁶⁶ Decaimento radioativo – processo pelo qual a atividade de um material radioativo decai com o tempo; o tempo para que a atividade se reduza à metade será chamada meia-vida radioativa. (Secretaria de Estado da Saúde, 1994).

que produzem combustível em enriquecimentos muito acima dos reatores do tipo PWR e resultam geralmente da quebra de procedimentos de segurança.

Contudo, um acidente com conseqüências graves pode ocorrer, caso haja dispersão acidental ou provocada por plutônio. Segundo Yassi et al., (2002) com a atual e complicada situação mundial, existem mais interesses sobre a dispersão acidental por armazenamentos deficientes ou acerca do manejo de acidentes que envolvam armas nucleares.

Esses dois tipos de acidente têm pouquíssima possibilidade de ocorrer no Brasil, já que o enriquecimento usado no país é relativamente baixo (4%) e nem existe o reprocessamento de combustíveis nem há planos para que isso ocorra nas próximas décadas. (ALVIM et al., 2007). Segundo a Eletronuclear (2008), o reator é construído de forma a ser impossível sua explosão. Primeiro, por conta da quantidade baixa de urânio (3,2 %), o que não permite que a reação em cadeia se processe com rapidez. Outro motivo são os materiais absorvedores de nêutrons⁶⁷, que controlam e paralisam a reação em cadeia.

Segundo Rosa (1985), as conseqüências de um acidente extremamente sério em um reator – com fusão do reator e rompimento do prédio de contenção – estão indicadas a seguir:

Tabela 13- Conseqüência do mais grave acidente em um reator PWR

Prazo	Conseqüências
Semanas	3.300 mortes, 45.000 doentes, a maioria com câncer.
30 anos	+ 45.000 casos de câncer fatais, 240.000 nódulos na tireóide, em geral não-fatais
150 anos	30.000 defeitos genéticos

Fonte: Rosa (1985).

Essas conseqüências, segundo o autor, foram obtidas no caso mais pessimista, aplicado a uma população de 10 milhões de habitantes, residindo a uma distância de até 800 km do acidente, atingida pela nuvem radioativa emanada. É importante ter conhecimento também de que a probabilidade de tal acidente ocorrer é muitíssimo pequena: 5 em 1 bilhão por reator/ano. Angra dos Reis, segundo o IBGE (2010), possui uma população de 168.664 e sua área territorial é de 800 km².

⁶⁷ Boro (ácido bórico) e cádmio (barras metálicas) (ELETRONUCLEAR, 2009).



Fonte: Google Earth (2010)

Figura 6– Localização de Angra I, II e III

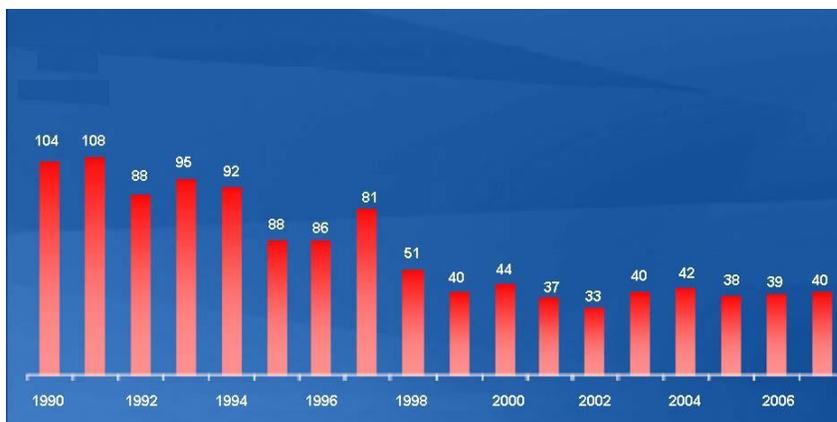
Segundo Goldemberg (2008), existem três riscos associados ao uso da energia nuclear: físicos, econômicos e estratégicos. Os físicos incluem a produção de combustível nuclear, o uso desses em reatores e a armazenagem dos rejeitos. Isso porque o enriquecimento do urânio torna-o capaz de explodir numa explosão nuclear⁶⁸ e, de fato, a radioatividade, como se sabe por meio de experiências reais, dura milhares de anos gerando conseqüências cuja solução está além do poder do homem. Ainda segundo Goldemberg, apesar de já existirem no mundo 70 mil toneladas guardadas em depósitos provisórios, não se conseguiu ainda definir um reservatório adequado onde esses rejeitos possam ser armazenados.

Os riscos econômicos tratam da questão dos custos. O alto custo da segurança torna a eletricidade mais cara. Atrasos na construção do reator e interrupção da usina – este último ocorre, com maior freqüência, por conta da segurança – implicam o aumento do custo devido aos juros.

Riscos estratégicos como, por exemplo, a possibilidade de utilizar produtos do ciclo nuclear, como o urânio enriquecido ou formados pelos reatores (plutônio), para produção de armas nucleares. Segundo o autor, outras formas de energia também apresentam riscos, mas não

⁶⁸ O enriquecimento de urânio a nível superior a 90% permite que seja utilizado em artefatos nucleares. (bombas atômicas). (Informação fornecida por João Moreira, Universidade Federal do ABC, 2010).

com a magnitude daqueles apresentados pela energia nuclear. “Os riscos não são somente para o país que a utiliza, mas para o mundo” (GOLDEMBERG, 2008).



Fonte: NEI, apud Adamantiades e Kessides, 2009.

Gráfico 12- Dias de interrupção para o reabastecimento das usinas nucleares nos EUA.

Em relação ao risco econômico, alguns aprimoramentos a respeito já têm sido realizados durante os últimos anos. Um deles foi a redução no tempo da interrupção das usinas para o abastecimento do combustível nuclear, conforme pode ser observado no Gráfico 12. Com o apoio de fornecedores e pesquisas, foi realizado um esforço para aumentar o período entre reabastecimentos e encurtar o período de interrupção das usinas. De acordo com o gráfico, nos anos 80 e início dos anos 90, a duração média de interrupção eram de quase 3 meses; já em 2007 era um pouco mais de um mês, tendo já sido possível realizar em algumas plantas o reabastecimento entre 15 e 20 dias. Esse tipo de aprimoramento faz com que as usinas se tornem mais produtivas e aumentem suas receitas anuais (Adamantiades e Kessides, 2009).

O Tratado de Não-Proliferação Nuclear adotado em 1967, do qual o Brasil participa, tinha o objetivo de restringir e reduzir a posse de armas nucleares as cinco potências nucleares da época: Estados Unidos, União Soviética, Inglaterra, França e China. As políticas tornaram enormemente restritivo o desenvolvimento ou a importação da tecnologia relacionada ao ciclo do combustível (ALVIM et al., 2007). Mesmo assim, segundo Goldemberg (2008), na prática, a Índia, o Paquistão e Israel adquiriram armas nucleares, criando sérios problemas no cenário internacional. O Iraque tentou produzir armas nucleares – e essa foi uma das causas das guerras do Oriente Médio – como também África do Sul, Líbia, Irã e Coreia do Norte. Os esforços das nações que detêm a tecnologia e da Agência Internacional de Energia Atômica para limitar severamente o acesso ao ciclo do combustível completo do urânio, com o objetivo

de evitar a proliferação nuclear por todo o mundo, não conseguem impedir o mercado negro de armamentos e os sistemas de detecção de substâncias radioativas ainda são ineficientes (GOLDEMBERG e LUCON, 2008). Segundo Schwartz (2004), a coordenação que existe entre quase todos os níveis da autoridade pública é insuficiente, e não somente onde ocorreu algum acidente nuclear, mas também em países vizinhos afetados.

Além disso, grandes potências abandonaram a política de desarmamento e retomaram projetos antigos como "Guerra nas Estrelas" (ALVIM et al., 2007). Uma nova doutrina nos Estados Unidos prevê a utilização de armamentos nucleares específicos contra países não nuclearmente armados. E, ainda segundo Alvim, essa nova doutrina em paralelo com a utilização da força contra o Iraque enfraquece argumentos sobre a inutilidade prática de novos países buscarem acesso aos armamentos nucleares.

Até o Brasil e a Argentina desenvolveram atividades nessa direção durante o período militar, só desistindo delas através de um acordo firmado, em 1992, que criou uma área desnuclearizada na América Latina e uma agência brasileira-argentina para fiscalizar sua observância⁶⁹ (GOLDEMBERG, 2008). Esta agência criada em 1991 pelos governos do Brasil e da Argentina – a Agência Brasileira - Argentina de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares – é um organismo responsável para verificar se os materiais nucleares existentes em ambos os países estão sendo utilizados para fins exclusivamente pacíficos. Contudo, a tecnologia de enriquecimento de urânio – uma tecnologia que o Brasil detém – pode ser utilizada tanto para fins pacíficos como militares (CAMARGO, 2006).

Ainda segundo o autor, o poder que as armas nucleares possuem conduziu a um impasse que dominou a última metade do século XX. Ambos os lados, EUA e União Soviética, dominavam tal poder que qualquer intenção e ameaça em usar armas nucleares levaria a uma destruição mútua. O clima de terror que se instalou garantia que nenhum lado usaria essas armas, uma base aterrorizante para a paz, porém, para muitos, muito efetiva. Desde a queda da União Soviética, existia pouca perspectiva imediata de guerra nuclear total, porém, a proliferação de armas nucleares em outros países trouxe o grave risco de que as armas pudessem ser usadas em conflitos regionais (CAMARGO, 2006). Por ano, somente a Coreia produz cerca de 6,6 kg de plutônio de alto teor (GOLDEMBERG e LUCON, 2008). E, ainda

⁶⁹ ABACC – Agência Brasil-Argentina de Contabilidade e Controle.

segundo os autores, é necessário somente 1g de plutônio para contaminar dez milhões de pessoas.

Segurança e Medidas Preventivas

As barreiras físicas que, presentes na usina, constituem um sistema passivo de segurança são a vareta de combustível, o vaso de pressão do reator, a contenção ou edifício do reator, em forma de tubo (Angra I) e esférico (Angra II), onde são armazenados o gerador de vapor e o vaso de pressão. Para a operação do reator, sistemas de segurança são projetados para atuar. E, mesmo que não possa explodir como uma bomba atômica, uma usina nuclear é passível de acidente (ELETRONUCLEAR, 2008).

As medidas para conter possíveis acidentes são classificadas em um escala de oito níveis, inseridas no Evento Não-Usual (ENU), e foram planejadas conforme a escala Internacional de Eventos Nucleares (INES). Os eventos diagnosticados inclusos, na ordem crescente de importância, são:

- Anomalia 1: falha de equipamento, erro humano ou procedimentos inadequados;
- Incidente 2: incidente com falha importante dos dispositivos de segurança, mas nos quais subsiste defesa em profundidade suficiente para fazer frente a falhas adicionais; evento resultante de uma dose recebida por um trabalhador acima da dose-limite anual estabelecida ou um evento que implique a presença de quantidades significativas de radioatividade em áreas da instalação nas quais tal fato não seria justificável, exigindo medidas corretivas;
- Incidente sério 3: liberação externa acima dos limites autorizados (ordem de décimos de milisieverts); eventos na área da instalação implicando doses que causem efeitos agudos à saúde (liberação de alguns milhares de terabequerels de atividade em uma contenção secundária); incidentes nos sistemas de segurança;
- Acidente sem risco importante fora da instalação 4: liberação externa de radioatividade (alguns milisieverts); fusão parcial do núcleo de um reator de potência; irradiação em um ou mais trabalhadores que implique uma superexposição com alta probabilidade de morte precoce;

- Acidente com risco fora da área da instalação 5: liberação externa de materiais radioativos; danos graves a uma grande parte do núcleo de um reator de potência; acidente crítico importante ou incêndio ou explosão que libere grande quantidade de radioatividade dentro da instalação;
- Acidente sério 6: liberação externa de materiais radioativos;
- Acidente grave 7: liberação externa de uma fração importante de material radioativo; mistura de produtos de fissão radioativos de vidas curta e longa, causando efeitos tardios para a saúde da população de uma região ou de mais de um país e conseqüências a longo prazo para o meio ambiente.

Segundo a Eletronuclear (2008), existe bastante evidência sobre os efeitos de doses elevadas de radiação sobre o ser humano. Estas evidências são observadas em experiências de laboratório; nos efeitos colaterais de tratamento de doenças que exigem a irradiação de pacientes; na incidência de câncer no pulmão de trabalhadores de minas de urânio com ventilação inadequada para o gás radônio; e, por fim, nos sobreviventes das bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki. A conclusão que se chega é que o recebimento de doses acima de 4 Sv (sievert)⁶³ pode ser fatal.

Os isótopos radioativos, produzidos no combustível durante o funcionamento do reator, incluem alguns elementos de meia-vida muito longa, cujos efeitos nocivos nos seres vivos se estendem por gerações, conforme é apresentado na Tabela 14:

Tabela 14 Meias-vidas de alguns isótopos em anos/dias

Césio 137	30 anos	Radônio	3.8 dias
Estrôncio	28 anos	Iodo 131	8.5 dias
Plutônio 238	86 anos	Tritio	12.5 anos
Plutônio 240	6.500 anos	Urânio 238	4.5 bilhões de anos
Plutônio 239	24.000 anos		
Plutônio 242	279.000 anos		

Fonte: Rosa (1985); Yassi et al., (2002)

A radiação emitida pode destruir as células dos organismos ou induzir câncer ou defeitos genéticos, alterando as características das células, quando as doses recebidas são excessivamente altas. Contudo, baixas doses, da ordem de grandeza da radioatividade normalmente existente no meio ambiente, não provocam danos maiores (ROSA, 1985).

Por outro lado, a questão do efeito biológico causado por baixos níveis de dose é mais complexa. A razão principal é que, nestes casos, há vários fatores competindo para causar danos no corpo humano. A radiação pode causar câncer. Entretanto, vários tipos de alimento, drogas e produtos químicos também podem causar câncer, tornando-se assim muito difícil saber qual destes vetores é exatamente o responsável. Em termos estatísticos, a contribuição destes vetores gera incertezas muito grandes que impossibilitam identificar, com maior precisão, o efeito no corpo humano de doses baixas de radiação. Dada à existência de um nível de radiação no meio ambiente, em torno de 0,2 mSv, e ao fato de a humanidade ter sobrevivido até hoje, conclui-se ser muito provável que exista um valor-limite de dose de radiação abaixo do qual não haja dano permanente no corpo humano, devido à habilidade do corpo de se recuperar e se curar. Entretanto, pode-se argumentar cientificamente que qualquer nível de dose de radiação é danoso ao corpo humano.

Segundo Kok (2009), nos últimos anos, grande quantidade de dados demográficos mostrou que baixas doses de radiação não são apenas inofensivas, mas, na verdade, benéficas para a saúde, incluindo uma menor incidência de câncer e maior tempo de vida. A explicação, de acordo com o mesmo autor, é que a radiação estimula o sistema imunológico, tornando o organismo menos suscetível a vírus e a bactérias. E ainda aponta para o seguinte aspecto: se as agências reguladoras reconhecessem esse efeito, tornar-se-iam menores os custos do descomissionamento. Além disso, ainda segundo o autor, se o público reconhecesse que baixas doses não são prejudiciais, mas provavelmente benéficas, o medo irracional da radiação que prevalece na atualidade desapareceria, reduzindo-se também os custos legais e de planejamento e os atrasos na construção (KOK, 2009).

Mesmo assim, os rejeitos de alta atividade bem como os combustíveis irradiados representam um risco potencial de longo prazo e necessitam ser adequadamente isolados por milhares de anos para proteger o homem e o meio ambiente dos efeitos nocivos da radiação nuclear. Segundo ABEN (2006), é necessária uma falha no confinamento para que haja uma exposição do público a radiação. O projeto considera o conceito de barreiras múltiplas para minimizar o escape da radioatividade, capacidade de monitoramento e a possibilidade de acesso ao rejeito em qualquer tempo para promover reparos na embalagem ou nos sistemas.

Se, em caso de acidente, for verificado algum dano nos sistemas e nas barreiras de segurança do reator, existe o risco de ser liberada uma nuvem radioativa que se espalha no meio

ambiente. E, caso haja um acidente nuclear, grande quantidade de iodo radioativo está presente na nuvem radioativa, o qual, quando inalado ou ingerido, concentra-se na tireóide (BRASIL, 2006). Além disso, quem corre o risco de ser alcançado por uma nuvem radioativa está sujeito a três ameaças principais: iodo-131, estrôncio – 90 e o céσιο-137. O iodo-131 vai diretamente para a tireóide, provocando hipotireoidismo, necrose ou câncer, conforme o nível da contaminação. Para tanto, é necessário ingerir iodo não-radioativo, antes ou durante a passagem da nuvem radioativa, deixando a tireóide saturada de iodo para impedir a absorção do iodo radioativo (BRASIL, 2006).

Em Angra dos Reis, um plano de emergência foi elaborado para orientar a população que mora nas proximidades da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto e periodicamente são realizados exercícios que simulam situações de emergência. O plano de prevenção prevê que as medidas sejam implementadas antes que ocorra qualquer liberação de material radioativo para o meio ambiente. A Comissão Nacional de Energia Nuclear é responsável pelo licenciamento de instalações nucleares no Brasil e pela aprovação do plano de emergência. Este consiste em um sistema de som capaz de transmitir alertas e informações numa área de 15 km em torno da central nuclear. São distribuídos nas residências anualmente 40 mil calendários com instruções sobre situações de emergência e, mensalmente, o sistema de som nas localidades próximas das usinas é acionado (ELETRONUCLEAR, 2008). Contudo, em conformidade com o que anteriormente foi exposto por Rosa, as conseqüências de um acidente, no caso mais pessimista, acarretaria conseqüências na população residente em área distante até 800 km do local do acidente.

De acordo com os modelos da *Nuclear Regulatory Commission* (NRC apud Brasil, 2006b), em caso de acidentes nucleares graves, são os seguintes os princípios que orientam o processo de evacuação da população:

- Todas as pessoas dentro de um raio específico ao redor da instalação nuclear são evacuadas (raio de - 3km),
- Pessoas que vivem na trajetória estimada da nuvem radioativa, em função da direção do vento, e em setores vizinhos são evacuadas imediatamente até uma distância de 16 km,
- A direção do vento é continuamente monitorada com o objetivo de se prever a necessidade de evacuar-se imediatamente a população de outros setores.

Contudo, segundo Brasil (2006b), em 1994, por decisão da CNEN, o raio de exclusão foi reduzido para 5 km, com a argumentação de que testes mostraram que o nível de radiação não justificaria a retirada das pessoas. Além disso, de acordo com a gravidade dos acidentes, os níveis se classificam entre 1 e 9, representando o último o acidente mais grave. Mais ainda: o Plano de Emergência para Angra dos Reis é baseado em um acidente de nível 4 ou 5, isto é, não é baseado no pior acidente que se supõe possa acontecer (COPPE apud BRASIL, 2006b).

Se o planejamento da evacuação é realizado com bases equivocadas existe aí a grande chance de que não funcione[...]É sintomático que, cerca de 20 anos após o início das operações da usina nuclear de Angra I, ainda existam dúvidas na população referentes a questões básicas de um programa de emergência. Não se sabe, por exemplo, onde a população ficará abrigada, se as instalações estarão adequadas para receber a população, qual a previsão de apoio médico e de saúde para a população evacuada [...] (BRASIL, 2006b).

O primeiro ponto também apresentado pelo relatório do GT se refere ao estado em que se encontra a Estrada Rio - Santos, que passa ao lado das usinas nucleares. O segundo ponto é que, apesar de a Usina em Angra ser considerada de “primeiro mundo”, não se pode esquecer que seu funcionamento é feito por seres humanos, e que, até hoje, não foram desenvolvidos equipamentos que sejam totalmente imunes a erros humanos (BRASIL, 2006b).

Segundo Brasil (2006b), a pouca importância conferida à radioproteção e à segurança nuclear pode custar muito caro mais tarde, pois pode produzir conseqüências perigosas. Além disso, a negligência com a segurança apontada pelo relatório do grupo de trabalho pode estar associada à tentativa de “vender” uma atividade como economicamente viável, pois não inclui o “gasto” necessário para a segurança.

Usina Santo Amaro (USAM)

Segundo Brasil (2006b), a Usina Santo Amaro (USAM) foi a primeira instalação nuclear brasileira a ser descomissionada e que deixou um legado de contaminação crônica em seus trabalhadores. As informações que o grupo de trabalho possui a esse respeito foram obtidas através de informes históricos sobre a administração dessa usina que se localizava no Município de São Paulo.

Na década de 40, foi criada a Orquima Indústrias Químicas, localizada no bairro do Brooklin, em uma área de 20 mil m². No final da década de 50, a Orquima foi adquirida pela Companhia Nacional de Energia Nuclear e passou a se chamar Administração da Produção de Monazita (APM)⁷⁰. Foi criado posteriormente o braço industrial da CNEN, chamada Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (CBTN). E, em 1975, a CBTN passou a se chamar NUCLEBRÁS e a área da monazita passou a ser gerida pela subsidiária Nuclebrás Monazita (NUCLEMON). Logo, a NUCLEBRÁS passou a se chamar Indústrias Nucleares do Brasil (INB) e a instalação de beneficiamento da Monazita em São Paulo foi nomeada de Usina Santo Amaro (USAM) (BRASIL, 2006).

O objetivo principal dessa instalação era obter terras raras e material nuclear, a Torta II, que, antes do início das operações da mina de Poços de Caldas, era a única fonte de urânio do país (BRASIL, 2006). A areia monazítica era extraída da área de Buena, no Município de Campos/RJ, próximo da divisa com o Estado do Espírito Santo, onde a INB tem uma instalação industrial para extração e tratamento físico do material. Após a separação física,⁷¹ a monazita era encaminhada para São Paulo. Na USAM sofria um tratamento químico para obtenção de cloreto de terras raras, gerando um subproduto com alta concentração de tório e urânio, conhecida como Torta II. Segundo o relatório do grupo de trabalho, 20 mil toneladas deste material estão armazenadas em Itu-SP e em Poços de Calda -MG.

Entretanto, segundo reportagem do jornal “O Estado de São Paulo” Itamar Franco, então Governador do Estado de Minas Gerais, proibiu, no final dos anos 90, o armazenamento de rejeitos radioativos de outros Estados em território mineiro. E a areia com minerais pesados que recobria o terreno era proveniente da USAM. O material contaminado na Usina Interlagos (USIN) e na USAM, e identificado pela CNEN, continha misturas de sulfatos de bários e rádio, sulfeto de chumbo, baritina moída, hidróxido de tório contendo urânio e torta de fosfato trissódico. (REINA, 2010).

Contudo uma Comissão Parlamentar de Inquérito – CIP que foi instalada para apurar os responsáveis pela exposição à radiação sofrida pela população de São Paulo, principalmente

⁷⁰ A APM, segundo reportagem da revista “Caros Amigos”, edição de 2010, publicou que a usina se localizava na Rua Princesa Isabel, nº 3, no bairro do Brooklin, em São Paulo. Disponível em: <http://carosamigos.terra.com.br/index_site.php?pag=revista&id=139&iditens=520> Acesso em junho 2010.

⁷¹ Por peneiração é retirada a ilmenita, rutilo e a zirconita, minerais utilizados na indústria de tintas, pigmentos, soldas e refratários (BRASIL, 2006).

os trabalhadores e vizinhos das instalações da NUCLEMON Mineró - Química Ltda., chegou às seguintes conclusões:

- A área da USIN apresentava contaminação radioativa no solo, (área localizada na figura entre a Avenida Interlagos e a Miguel Yunes)



Fonte: Google Earth (2010).

Figura 7- Usina Interlagos.

- A NUCLEMON, por ter descumprido as normas referentes ao controle das áreas e à liberação de material radioativo para o meio ambiente, foi considerada responsável pelos riscos de exposição à radiação e de contaminação nos depósitos da Avenida Interlagos,
- A CNEN foi responsável pelos riscos, por não ter tomado medidas cabíveis de fiscalização e de sanção contra a NUCLEMON,
- O armazenamento de rejeitos nucleares na Usina Santo Amaro (USAM) configurava-se risco para os trabalhadores e para a população vizinha,
- A NUCLEMON depositou lixo químico (Torta de Fosfato Trisódico – Torta FTS) ao longo de vários anos no lixão de Perus – Aterro Bandeirantes. A quantidade total era desconhecida e configurou-se em risco para os trabalhadores e para a população vizinha do aterro,

- As condições de radioproteção da NUCLEMON permaneciam absolutamente ineficientes, gerando exposição à radiação desnecessária aos trabalhadores,
- Deve ser garantido tratamento médico adequado aos trabalhadores contaminados, com a garantia de sua remuneração (BRASIL, 2006b).

Em 1992, em decorrência de problemas de viabilidade econômica, as atividades da USAM foram encerradas e os trabalhadores, demitidos (500 trabalhadores segundo registros de 1975) (BRASIL, 2006b). Era necessária a retirada de grande quantidade de solo contaminado, até uma profundidade de 2 metros, em algumas áreas da instalação. Entretanto, a empresa optou por realizar um aterro.

A CNEN emitiu documento declarando o terreno liberado para uso irrestrito. O terreno que era da USAM foi vendido por 10 milhões de dólares para a construtora Ímpar, que, no momento, constrói vários prédios residenciais sob o nome de “Condomínio Grands Jardins de France” (BRASIL, 2006).

O mesmo documento da CNEN aponta para a existência de 325 m³ de rejeitos radioativos na USIN, 1.154 toneladas de rejeitos radioativos estocados em bombonas plásticas, desde 1998. O objetivo da INB é limpar e liberar o terreno de 54 mil m² em Interlagos, para uso irrestrito, o que permitirá uma nova utilização para qualquer tipo de atividade, inclusive habitacional. (REINA, 2010).

CAPITULO IV O MITO

4.1 Custo e preço da energia solar fotovoltaica

O dilema mais intrigante, quando se trata da energia solar fotovoltaica, é a atribuição do alto custo que essa fonte representa e, por conta disso, a inexistência de subsídios e uma baixa demanda por essa energia. O inverso também, por conta da falta de subsídios e baixa demanda, exerce influência no preço da tecnologia. E esse ciclo vicioso de justificativas concretizou uma afirmação negativa durante anos em relação à energia solar. Dessa maneira, o mercado traduz o alto custo da tecnologia e abre a seguinte dificuldade: “a tecnologia solar não tem mercado por ser cara e ainda é cara por não ter mercado” (OLIVEIRA, 2002).

“Em nossa era altamente tecnologizada predomina ainda uma consciência pré-tecnológica ante a energia solar” (SCHEER, 2002). Entretanto, ainda de acordo com o mesmo autor, a conversão da luz solar em energia elétrica pode realizar-se qualquer que sejam as condições geográficas e com o custo de distribuição mais baixo de todas as formas de produção de eletricidade (SCHEER, 2002).

Mas, segundo GTES (2008), a tecnologia fotovoltaica vem-se tornando competitiva e ganhando uma dimensão mais consistente. Além dos custos estarem decrescendo, o que se deve à avaliação de outras formas de geração, tem-se tornado mais real, atribuindo à sua conta final seus impactos ambientais.

Em contrapartida, o Centro de Gestão e Estudos Energéticos explica que os sistemas interligados à rede são uma tecnologia emergente e cara. Através do estudo realizado por esse centro, o país não teria necessidade de se apropriar dessa tecnologia no sistema elétrico brasileiro. A população, como foi apresentada no estudo, não pagaria os subsídios da conexão à rede e os sistemas autônomos seriam, portanto, o caminho mais econômico (CGEE, 2008).

Mas estudo realizado por Salamoni (2008) teve o objetivo de quebrar o paradigma de que a energia fotovoltaica seja uma fonte cara e inviável para os países em desenvolvimento e viável somente para a aplicação em sistemas isolados. Será possível num futuro próximo a

participação de edifícios fotovoltaicos conectados à rede através de um mecanismo de incentivo⁷² eficaz e claro.

Apesar de ser aleatório seu recurso primário, a energia solar fotovoltaica não se desvaloriza por conta desse fator. Com novos sistemas de armazenamento, essa barreira fica diminuída. A autora apresenta também uma comparação entre a Alemanha (país pioneiro para mecanismos de incentivo às energias renováveis) e o Brasil. Em relação à média anual de radiação solar, a Alemanha recebe aproximadamente 40% menos radiação solar do que a região mais ensolarada do Brasil. E mesmo assim nesse país criou-se um mercado promissor para as pessoas que apostam nessa modalidade energética. Além disso, mesmo possuindo o Brasil uma população significativamente maior, a Alemanha apresenta aproximadamente o dobro do consumo energético (SALAMONI, 2008).

Sendo assim, o custo do investimento no Brasil seria menor para obter-se o mesmo benefício que a Alemanha obtém com a energia gerada e apresentando maior impacto no suprimento da demanda. No Brasil, segundo Salamoni, a população apta a pagar pela energia fotovoltaica por meio de um sistema de preços semelhante ao aplicado na Alemanha estaria em torno de 30,3 milhões (consumidores residenciais de classe média) dentre os 48,3 milhões de consumidores residenciais⁷³.

Outro ponto levantado diz respeito à paridade tarifária, ou seja, ao momento em que a energia convencional e a energia fotovoltaica atingirem o mesmo preço para o consumidor final. A previsão, ainda segundo esta autora, é que isso ocorra entre os anos de 2015 e 2020, sem a necessidade de subsídios. Nessa mesma linha, segundo Zilles (2009), foi apresentada uma evolução no custo da geração. Para tanto, foi estipulado que a tarifa de energia das distribuidoras deverá subir 6% ao ano, enquanto a vinda das placas solares deverá baixar 5% por ano, o que tornaria os preços equivalentes ao fim do período. Em média, segundo estudo realizado por Benedito (2009), o custo atual de geração por meio do sistema fotovoltaico

⁷² QUAGLIA, Renato. **Incentivo à Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos: Cenários para o setor elétrico brasileiro**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia na Universidade Federal do ABC. Santo André. 2010.

OLIVEIRA, Sérgio H. F. **Geração distribuída de eletricidade: inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no Estado de São Paulo**, Tese de Doutorado. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, PIPGE, Universidade de São Paulo, 2002.

⁷³ Segundo o IBGE (2009), a projeção da população - hipótese recomendada, para 2010 – será da ordem de 193.252.604 e, em 2050, o número será de 215.287.463.

conectado à rede é 2,1 vezes maior que a tarifa residencial para o consumidor final brasileiro. Nas regiões Sul e Sudeste do país, a paridade tarifária poderá ocorrer entre 7 e 11 anos (BENEDITO, 2009).

Enquanto isso o preço da energia permite competir com o preço da convencional somente em determinadas áreas com picos de demanda diurnos e, em alguns casos, de suprimento em áreas isoladas (SALAMONI, 2008). Existe a possibilidade de se utilizar a energia gerada pelos sistemas para suprir os picos de demanda, o que é geralmente caro para as concessionárias, principalmente nas áreas urbanas de regiões quentes e ensolaradas e onde o uso de aparelhos de ar condicionado é maior durante o dia (REIS e SILVEIRA, 2001). Além disso, segundo Scheer, o uso das energias alternativas através de um aproveitamento misto das diferentes possibilidades teria uma representação significativa na produção de eletricidade.

Inseridos no custo estão presentes o valor do investimento do sistema, o custo da energia produzida (operacional), a elaboração do material, a eficiência da conversão, o tempo de retorno energético, a superfície necessária para a geração de energia e o potencial de geração de emprego (Fraidenraich et al.,2003) Além disso, tem-se o custo de descomissionamento e na manutenção de uma capacidade de geração de segurança.

Segundo Scheer, o tamanho da cadeia de fornecimento da energia é o fator que possibilita a redução dos custos. E, quanto mais curta for essa cadeia, maior é a chance de se atingir esse objetivo. No caso da energia solar, a cadeia apresenta somente três etapas. Com o uso da energia solar tem-se uma vantagem econômica na construção, manutenção e no funcionamento das redes elétricas. Os sistemas autônomos são econômicos quando se comparam os custos da eletrificação convencional e as longas linhas de transmissão de energia elétrica.

Tabela 15- Cadeia de fornecimento da energia solar fotovoltaica

Energia fotovoltaica	>	Instalação fotovoltaica	>	Distribuição Consumo final autônomo
----------------------	---	-------------------------	---	--

Fonte: SCHEER (2002).

Entretanto, Scheer não contabiliza na cadeia de fornecimento da energia solar as seguintes etapas: extração do recurso mineral; transporte; reciclagem do módulo e a transformação do

silício. Mas de certa forma a cadeia de fornecimento da energia solar continua sendo menor que a cadeia da energia nuclear Tabela 10- Cadeia de fornecimento da energia nuclear.

Ainda segundo o autor, a justificativa sobre o alto custo da tecnologia reside em sua fabricação. Isso porque, para se produzir uma célula fotovoltaica, é necessário um alto consumo energético. Os módulos de silício mono e policristalino possuem custo de produção elevado, como consequência do altíssimo grau de pureza exigido para o silício e das elevadas perdas desses materiais durante o processo de corte.

Entretanto, segundo Fraidenraich et al., (2003), o retorno energético, que é a relação entre a energia consumida (conteúdo energético) na fabricação dos sistemas e a energia total produzida durante a vida útil do sistema, pode vir a ser reduzido para menos de 2 anos em sistemas interligados à rede, e, para 6 anos, em sistemas autônomos. Hoje, para o silício monocristalino, observa-se um tempo de retorno da ordem de 7 anos para sistemas interligados à rede e de 11 anos para sistemas autônomos. Mas a melhora no processo de produção de silício, no aproveitamento do material e na eficiência da conversão da radiação solar em energia elétrica irá permitir essa otimização.

Já o preço⁷⁴, segundo Zilles e Oliveira [S.d], é calculado pela combinação do investimento inicial para construção, isto é, o custo de capital com os gastos subsequentes: operação, manutenção e combustível. Nesse caso, o custo do combustível é zero. Segundo os autores, foi observado que o fator de capacidade⁷⁵ influencia o custo do kWh gerado. Esse parâmetro, entretanto, é de 15 e 25%, por conta da aleatoriedade do recurso primário. Segundo Zilles (2009), o preço hoje é de R\$ 800 MWh contra um valor de R\$ 350 cobrado na rede.

No período 1975-1990, o custo do módulo fotovoltaico caiu mais de 80%. Inicialmente o custo era de US\$ 300 Wp e atingiu o valor de US\$ 4,5 Wp. Na década de 90 os preços mantiveram-se estáveis com uma queda não superior a US\$ 1/Wp. E, no final do ano 2000, o custo do módulo estava em torno de US\$ 3,75 Wp. Foi observado também que os preços não diminuíram de acordo com o aumento da produção mundial de módulos. (FRAIDENRAICH et al., 2003).

⁷⁴ Custo da produção/energia gerada.

⁷⁵ Real capacidade de um sistema proporcionar energia em função da energia que esse sistema seria capaz de gerar se operasse na sua potência nominal durante todo o período (ZILLES, OLIVEIRA, [S.d])

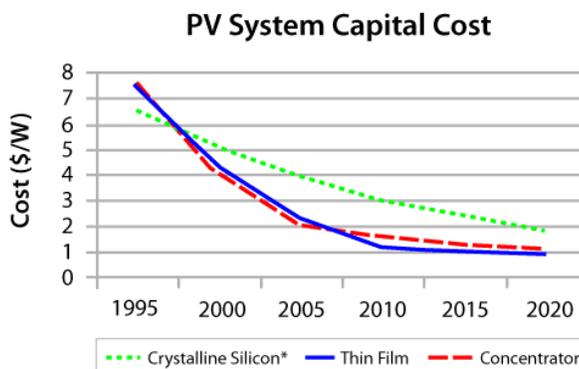
Segundo Dewulf e Langenhove (2006), a perspectiva é de redução de preço para 1 US\$/Wp, e de eficiência de 25%. Segundo os autores, essa meta só será alcançada por volta de 2030. No quadro seguinte são apresentados os materiais utilizados para a fabricação dos módulos fotovoltaicos e seus respectivos custos e preços no período entre 2000 e 2010.

Tabela 16 Preços de módulos fotovoltaicos e previsão de custos e preços futuros

Material	Preços em 1997	Custo e preço para o ano 2000	Custo e preço para o ano 2010
Silício monocristalino	3,90 – 4,25	1,50/2,50	1,20/2,00
Silício policristalino	3,90 – 4,25	1,50/2,50	1,20/2,00
Fitas	3,90 – 4,25	1,50/2,50	1,20/2,00
Concentrador	6,00	1,50/2,50	0,50/1,33
Silício amorfo	2,50 – 4,50	1,20/2,00	0,75/1,25
Disseleneto de cobre e índio (CIS)	-	1,20/2,00	0,75/1,25
Telureto de cádmio	-	1,20/2,00	0,75/1,25
Filme de silício sobre substrato de baixo custo	-	1,20/2,00	0,75/1,25

Fonte: Maycock, apud Fraidenraich et al., 2003.

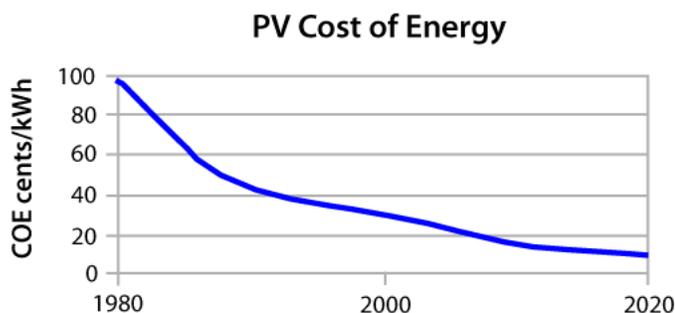
Nos gráficos seguintes são apresentadas as estimativas futuras sobre o custo do capital do sistema fotovoltaico e o custo da eletricidade gerada pela energia solar fotovoltaica segundo o Departamento de Energia dos EUA.



Fonte: U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2007).

Gráfico 13- Custo do sistema fotovoltaico

De acordo com o Departamento dos EUA, o custo do capital do sistema fotovoltaico será em 2020 de 1\$/W para a tecnologia de filme fino e o módulo com concentrador e de 2\$/W para o módulo de silício cristalino.



Fonte: U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2007).

Gráfico 14– Custo da energia fotovoltaica

E a previsão do custo da eletricidade gerada pela energia solar fotovoltaica será, em 2020, de 10 cents/kWh gerado. Em resumo, o gráfico abaixo apresenta a diminuição do custo do módulo fotovoltaico no período entre 1975 e 2030.

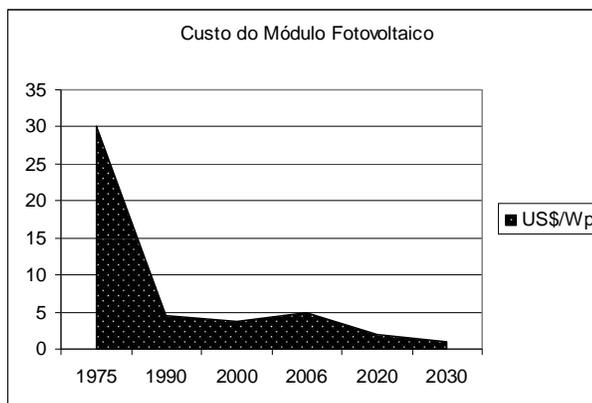


Gráfico 15– Diminuição do custo do módulo fotovoltaico entre o período 1975 – 2030

Além dessa redução no preço dos módulos fotovoltaicos, vários são os aspectos que trazem à tona suas particularidades positivas, como a geração, em princípio inesgotável e uma fonte garantida e com rendimentos variáveis, podendo ser implementada sem limitações locais (SCHEER, 2002).

Existem propostas em desenvolvimento para que o sistema fotovoltaico tenha uma redução ainda mais significativa em seu custo de instalação. Uma das alternativas é a substituição de materiais de revestimento e recobrimento do painel fotovoltaico. Segundo Lorenzo (2006), sucessões de pequenas inovações, entre outras de eficiência e estruturas mais leves,

aperfeiçoarão gradualmente a tecnologia atual e reduzirão, por fim, seu custo (energético e econômico) talvez em até 65% em relação ao atual.

Inovações tecnológicas, pesquisas e incentivos têm trazido à tona novas formas de obtenção de energia elétrica através de sistemas solares fotovoltaicos. Um dos estudos pesquisados teve como objetivo obter altas eficiências de conversão fotovoltaica a baixo custo. Segundo Moehlecke (2005), a conclusão do estudo realizado foi de que as células solares podem ser processadas com produtos químicos e gases de baixo custo, desde que mecanismos de extração e neutralização de impurezas estejam presentes no processo, neste caso, realizado pela difusão de alumínio. Esta permite a fabricação de células de elevada eficiência com silício monocristalino e, inclusive, a melhora na qualidade deste no processamento, indicando que silício de menor qualidade pode ser utilizado. Novos processos de baixo custo começaram a ser estudados e os primeiros resultados indicam a viabilidade dos mesmos.

Como alternativa de baixo custo para a produção de células tem-se o silício amorfo, material este que requer uma quantidade muito menor por watt e permite a formação de células com grande área em processo automatizado. Por outro lado, a eficiência gira em torno de 9% e a vida útil, por volta de 10 anos, enquanto que a eficiência do mono ou policristalino é de 15% e a vida útil de 20 anos (CRAVEIRO, 2005).

Outra abordagem apresentada por Oliveira (2002) em seu trabalho detém-se no cenário real de alguns países, como a Alemanha e a Espanha, que investiram no desenvolvimento das aplicações da energia solar fotovoltaica. Os casos reais do uso da energia solar fotovoltaica permitem atentar que o questionamento sobre o uso ou não dessa tecnologia é amplo e complexo e não podem ser atribuídos somente aos custos de geração apresentados em comparação a outras opções convencionais presentes.

A primeira dificuldade apontada pelo autor é a de que o kWh não pode ser considerado um produto de mercado, pois não é um bem substituível e tampouco diferenciável, isto porque toda a população tem direito ao consumo de energia elétrica. Desse modo, o custo não poderia ser influenciado pelas variações das curvas de demanda e oferta ou explicado por modelos exclusivamente macroeconômicos. Como exemplo, atenta-se para a dificuldade em se valorar o meio ambiente. Para Oliveira (2002), o custo da geração elétrica costuma ser o parâmetro mais utilizado na decisão por uma fonte. E, desse modo, as fontes que possuem benefícios

não-mensuráveis sob o ponto de vista financeiro são deixadas de lado e se colocam em vantagem as fontes que geram danos e que não são financeiramente quantificados. Contudo, hoje está em pauta questões aquém daquelas que dizem respeito somente a alternativas convencionais capazes de gerar eletricidade de forma intensiva.

A questão, portanto, tem característica interdisciplinar, pois a forma como se dão as escolhas pelas fontes energéticas devem fornecer discussão de aspectos políticos (embargos, mudanças nas políticas de exportação), econômicos (aumento nos custos dos combustíveis), sociológicos e técnicos (escassez do recurso), além da questão ambiental. (OLIVEIRA, 2002).

Outro ponto apresentado por Scheer diz respeito ao imperativo da globalização, que desaparece sob essa forma de transformação de energia. Isso porque as energias renováveis são impossíveis de serem patenteadas. Para exploração do sol ou do vento não podem, portanto, ser vendidas as correspondentes licenças e exploração.

Outro caminho questionado por Lorenzo (2006) se relaciona com a forma como a tecnologia solar fotovoltaica poderia ser inserida no mercado mundial. A tecnologia fotovoltaica deve produzir, na realidade, a energia que se espera dela, podendo ser utilizada com credibilidade, e não somente como busca por uma forma de energia que ofereça somente resultados rentáveis. A quem decide apostar na compra dessa tecnologia, e, para que isso ocorra, ela deve estar associada à confiança.

Essa credibilidade associada à confiança é, segundo o autor, condição *sine qua non* para que a posse do sistema fotovoltaico gere prestígio social e atraia investimentos para essa área. Isso porque muitas são as coisas compradas por prestígio. Por exemplo, os automóveis. O fato de a maioria das pessoas estar motivada a comprar carros mais caros é simplesmente pelo prestígio de associar a imagem dos comerciais de televisão ao objeto que os faça se promover socialmente.

Os anúncios, em vez de informar sobre as características técnicas dos veículos, insistem em trazer com êxito felicidade, sucesso, aventuras, romances etc. (LORENZO, 2006).

Você vira assunto nos salões de cabeleireiro, nas reuniões de pais e mestres e em qualquer aglomeração onde tenha alguém que o conheça. Um prestígio que nenhum dinheiro paga. É o mundo perfeito em uma só embalagem: status, fama e poder (ANACLETO, 2009).

O automóvel é um bem de consumo durável bastante valorizado pela comodidade que proporciona e também como símbolo de status (BÔA NOVA, 1985).

Lorenzo levanta a questão sobre a ferramenta da publicidade e do marketing como formas da sociedade se apropriar dessa tecnologia. Quando um produto ou uma tecnologia faz sentido para uma pessoa, trazendo-lhe saúde, entretenimento, ou mesmo status, ela paga o preço que for, independentemente de quanto ele seja. O preço fica em segundo plano ao serem apresentados, pelo capital, os motivos que incentivam as pessoas a adquirir determinado produto no mercado.

Através de ampla estratégia, na qual se destacam a propaganda e os mecanismos de crédito, os padrões norte-americanos de consumo são propostos a outras camadas sociais e, muitas vezes, são parcialmente adotadas pelas próprias classes subalternas (BÔA NOVA, 1985).

4.2 Custo e preço da energia nuclear

A energia nuclear adicionou, nos anos entre 1990 e 1999, 3.2 bilhões de watts por ano (taxa de crescimento de 1% ao ano), enquanto que 17% corresponderam ao crescimento da energia solar fotovoltaica e 24%, da energia eólica. (LOVINS, 2005). Uma vantagem em relação à energia nuclear, segundo alguns pesquisadores, é o custo da geração de energia em comparação com as demais opções de geração de energia elétrica.

Nos EUA, segundo a Eletronuclear (2009), as centrais em operação já apresentam o custo de geração mais reduzido do mercado. Muitos avanços experimentados, como, por exemplo, ganhos de desempenho nas centrais com a extensão de sua vida útil, e o desenvolvimento de reatores mais eficientes, seguros e baratos, auxiliaram esse desenvolvimento.

Entretanto, filha da indústria militar, principalmente nos EUA, a indústria nuclear contou com subsídios diretos e indiretos, no desenvolvimento da tecnologia, que mascararam por muito tempo os custos reais. O reator PWR utilizado no Brasil, por exemplo, foi desenvolvido para submarinos, em uma versão mais compactado que a utilizada em usinas (ROSA, 1985).

Os principais custos, segundo Goldemberg e Lucon (2008), são compostos pelo enriquecimento do urânio, o reprocessamento, o armazenamento do lixo atômico e, sobretudo, os riscos dessa fonte energética.

Segundo Lovins (2005), a energia nuclear somente pode tornar-se barata através de subsídios para as altas taxas de carbono emitidos na atmosfera, podendo competir com o carvão ou o gás natural em ciclo combinado nas estações de energia. E, mesmo assim, ainda segundo o autor, não existe perspectiva de crescimento para a energia nuclear no mercado futuro. Isso porque as plantas nucleares são muito caras para serem construídas. A eletricidade, a partir de novos reatores (*new light-water*), custará duas vezes mais do que os parques eólicos, e cinco a dez vezes mais do que a distribuição de cogeração a gás, e de três a trinta vezes mais no que diz respeito à eficiência na utilização final. Uma dessas três formas, segundo o autor, pode tirar a energia nuclear do mercado. Uma pesquisa realizada em 2010 por Blackburn e Cunningham⁷⁶ apresentou uma comparação entre os custos das tecnologias solar e nuclear na Carolina do Norte, e, além de demonstrar que não existe projeção para o declínio de custos da geração de energia elétrica através da fonte nuclear, a tecnologia solar fotovoltaica, em contrapartida, apresenta expectativa em se tornar competitiva na próxima década sem o uso necessário de subsídios.

Sob o aspecto econômico, existe grande incerteza a respeito da evolução futura dos custos das usinas e de seus combustíveis (BÔA NOVA, 1985). A segurança exigida por uma usina, os atrasos na construção do reator e as interrupções dessa com maior frequência implicam o aumento do custo.

Segundo a Eletronuclear (2008), para as próximas usinas nucleares construídas no Brasil, de 1 GW de potência, se prevê um gasto de R\$ 6 bilhões por usina construída. Angra III, entretanto, despendeu maiores gastos por conta da paralisação de sua construção durante os últimos 21 anos. Essa interrupção gerou um gasto de US\$ 20 milhões ao ano para a estocagem e preservação dos equipamentos, seguros e inspeções periódicas.

⁷⁶ BLACKBURN, John O.; CUNNINGHAM, Sam. **Solar and Nuclear Costs – The Historic Crossover**. Solar Energy is Now the Better Buy. NC WARN, 2010.

Até hoje já foram adquiridos US\$ 750 milhões por equipamentos (base de preços de janeiro de 1999). E, para a conclusão do empreendimento, segundo a Eletronuclear (2009b), são estimados investimentos adicionais da ordem de EUR 2,5 bilhões (cerca de R\$ 7,3 bilhões), sendo 70% desses gastos a serem efetuados no Brasil. Desse valor, R\$ 1,4 bilhões de reais serão investidos em equipamentos, R\$ 1 bilhão, na construção civil, R\$ 1,2 bilhões, nos serviços de montagem e eletromecânica e R\$ 1,8 bilhões, em novos editais e serviços. (ABEN, 2009). Entre o período de 2010 e 2012 serão investidos mais R\$ 4 bilhões. Para compensar o impacto socioambiental, o Município receberá R\$ 150,4 milhões e R\$ 317 milhões serão convertidos em projetos e ações a serem executados no período entre 2009 e 2014. Na Tabela 17 são apresentados os custos adicionais para a conclusão de Angra III, segundo a Eletronuclear.

Tabela 17– Investimentos adicionais para o término da Usina Nuclear Angra III

Investimentos adicionais- Angra III	R\$ 7,3 bilhões
Equipamentos	1,4 bilhões
Construção civil	1,0 bilhão
Serviços de montagem e eletromecânica	1,2 bilhões
Novos editais e serviços	1,8 bilhões
Entre 2010 e 2012	4,0 bilhões
Impacto socioambiental	150,4 milhões
Projetos e ações (2009 e 2014)	317,0 milhões
Manutenção do parque de obras e equipamentos	99,0 milhões
Manutenção das instalações e no canteiro de obras	5,3 milhões

Fonte: ABEN (2009); Eletronuclear (2009b)

Contudo, segundo pesquisa realizada pela Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo (FUSP) em dezembro de 2008, contabilizou-se que o orçamento necessário para a conclusão da Usina Nuclear Angra III seria da ordem de R\$ 8,56 bilhões (1USD = R\$ 2,3).

Tabela 18- Orçamento para a conclusão da Usina Nuclear Angra III

ITEM	10 ³ x R\$
Licenciamento Nuclear e Ambiental	208 100
Engenharia Nacional e Estrangeira	959 700
Suprimentos Nacionais e Importados	3 196 300
Construção Civil e Complementos	1 330 500
Montagem Eletromecânica e Comissionamento	1 350 400
Outras Despesas	852 930
Primeira Carga de Combustível	657 300
TOTAL	8 555 230

Fonte: Angra III (2009)(Estudo FUSP, atualizado para Dez-2008).

Em relação ao financiamento da usina nuclear de Angra III, parte foi realizado por bancos estrangeiros (30%) através do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

(BNDES), e o restante com recursos próprios da Eletrobrás e financiamentos captados. E cerca de EUR 770 milhões deverão vir de empréstimos de bancos europeus para bens e serviços, segundo a Eletronuclear (2009). O custo da energia elétrica produzida por Angra III será da ordem de R\$ 140,00/ MWh. Até 4 de dezembro de 2008, o custo da energia gerada estava em torno de R\$ 120,35 MWh conforme a Resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) nº 570, de 04/12/2007.

As usinas foram contratadas a um custo fixo, que considera a operação com 50% da capacidade. Todos os custos de construção, operação, manutenção, combustível nuclear, financiamento, seguro e fundo de descomissionamento serão pagos com a energia produzida. E, segundo a Eletronuclear, não existe qualquer tipo de subsídio.

Mesmo assim, a inserção da tecnologia nuclear no Brasil e seu custo em 1975 não foram discutidos. Isso porque, segundo Rosa (1985), apesar de ter tido seu custo de investimento orçado em cerca de 400 dólares/kWh, à época do Acordo Nuclear Brasil-Alemanha, a energia nuclear já havia ultrapassado os 3.000 dólares/kWh, com base na central de Angra dos Reis.

Estes números podem sofrer uma contestação baseada no fato de esta central ser atípica devido ao atraso da obra, onerando os custos pelos juros do capital imobilizado, e, também, em decorrência de problemas técnicos que enfrentou (fundações, por exemplo). Entretanto, foi estimado e indicado posteriormente que Angra II ultrapassaria bastante os 3.000 dólares/kWh. No custo da energia são computados, além da amortização do investimento, os gastos com operação, manutenção e combustível. Na Tabela 19 são apontados por Rosa (1985) os erros de avaliação quando se fez o Acordo Nuclear Brasil-Alemanha, em 1975.

Tabela 19- Erros de avaliação quando se fez o Acordo Nuclear (1975)

Principais Erros	Avaliação do Governo na época do Acordo	Avaliação de 1985 com base em dados do Governo
Previsão da potência elétrica instalada no ano 2000	175 milhões kW	115 milhões kW ***
Potencial Hidrelétrico Brasileiro	118 milhões kW	213 milhões kW **
Potencial do Carvão Nacional para Termoelétricas	Pouco importante	60 milhões kW pelo menos**
Custo de investimento dos reatores nucleares	400 US\$/kW	3000 US\$/kW *
Transmissão de energia elétrica a longa distância	Inviável	Viável
Enriquecimento do urânio no Brasil com a tecnologia alemã de jato centrífugo	Viável	Ainda não comprovado
Número de reatores KWU e sua potência no ano 1990	8 reatores 10 milhões kW	1 reator 1,3 milhão kW

Fonte: Rosa (1985)

*** Plano 2000 da Eletrobrás

** Balanço Energético Nacional

* Declarações oficiais, em especial do então ministro Mário Simonsen

Ainda segundo o autor, a confiabilidade dos dispositivos de segurança dos reatores, a metodologia e os dados usados nos cálculos probabilísticos foram criticados em profundidade em publicações de inegável seriedade e competência. Por exemplo, não é possível garantir que determinados dispositivos cruciais funcionem em caso de acidente. É discutível também, segundo o autor, a interpretação do significado da baixa probabilidade de ocorrência de acidente, tendo em vista os dados estatísticos disponíveis, o papel das falhas humanas, a aceitação social, a percepção subjetiva do risco, entre outros.

Além desses aspectos, segundo Goldemberg e Lucon (2008), ao contrário de outras tecnologias e previsões otimistas, a energia nuclear não tem demonstrado seguir um processo de curva de aprendizagem⁶, na qual custos decrescem com os ganhos de escala. Apesar dos incentivos que essa tecnologia obtém, a curva internalizou as externalidades constatadas. E mais: segundo Bôa Nova (1985), não se pode esperar que uma sociedade marcada por esse tipo de opção energética evoluirá no sentido de abrir maiores espaços para a liberdade dos cidadãos ou para a participação popular; pelo contrário, segundo o autor, a perspectiva que se desenha é, em última análise, a de um Estado policial.

Um estudo preliminar realizado por Sovacool (2008) teve como objetivo principal calcular os custos absolutos de acidentes com fontes de energia em termos de morte e danos à propriedade entre os anos de 1997 e 2007.

A segunda maior fonte de vítimas mortal foi, segundo o autor, a energia nuclear, enquanto a hidroeletricidade, em primeiro lugar, se mostrou responsável por 94% das fatalidades relatadas. E, mesmo a hidroeletricidade apresentando maior índice de fatalidades, as usinas nucleares, conforme se observa no gráfico a seguir, estão em primeiro lugar em termos de custo econômico, sendo responsáveis por 41% de todos os danos. Petróleo e hidroeletricidade vêm em seguida, em torno de 25% cada, seguido do gás natural, com cerca de 9%, e do carvão, aproximadamente com 2%.

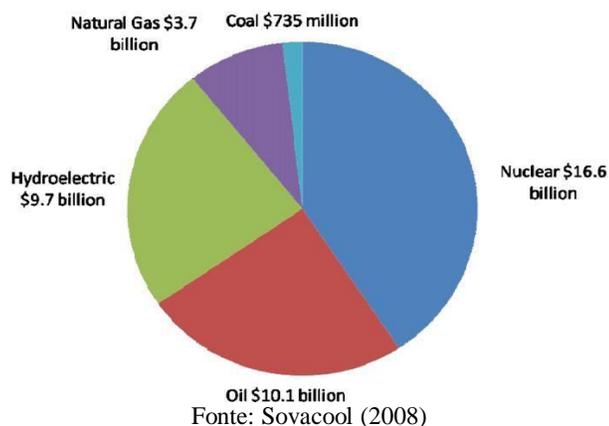


Gráfico 16– Acidente com fontes de energia – danos por recurso, 1907 – 2007

Descomissionamento

Segundo a Associação Brasileira de Energia Nuclear – ABEN (2006), a tarifa das usinas nucleoeletricas já apresenta provisionamento para a formação de um fundo com vista ao descomissionamento no final de sua vida útil. A licença inicial de operação de uma usina nuclear tem normalmente a duração de 30 anos. No final deste prazo, uma nova licença com vigência de 20 anos pode ser expedida, desde que demonstre condições adequadas de operação. Várias usinas no mundo, inclusive nos EUA, já obtiveram essas licenças.

A fase pós-operacional exige a adoção de um conjunto de medidas de segurança para retirar de serviço uma instalação nuclear. Esse conjunto de atividades inclui a implementação de medidas nas dependências, no terreno, nos edifícios e equipamentos, reduzindo-se a radioatividade residual a níveis que permitam destinar o local para uso restrito ou irrestrito. Para se ter uma idéia, o valor estimado atualmente do custo do descomissionamento da Usina Angra I é equivalente a US\$ 232 milhões, e o valor futuro do passivo a ser constituído,

corrigido para o fim da vida econômica depreciável da usina, em dezembro de 2024, é de US\$ 307 milhões.

Já o valor presente estimado do custo de descomissionamento da Usina Angra II em reais é equivalente a US\$ 281 milhões, e o valor futuro do passivo a ser constituído, corrigido para o fim da vida econômica depreciável da usina, em agosto de 2040, é de US\$ 426 milhões (ELETRONUCLEAR, 2008). Os materiais da usina constituirão rejeitos de baixa e média atividades e deverão ser estocados por um prazo de 30 a 40 anos.

4.3 Modelos de desenvolvimento e tecnologias

O modelo atual de desenvolvimento implicou, até então, o aumento da disparidade social e a ocorrência de desastres ecológicos. Em conjunto com essa estrutura, tem-se o aumento exacerbado de recursos naturais e o crescimento exponencial da população. A ferramenta utilizada para medir esse desenvolvimento, o PIB, é criticada por alguns autores como medida insuficiente, e apresenta a produção de bens e serviços durante um determinado período, não conseguindo demonstrar, em sua totalidade, os aspectos sociais e ambientais e valores como o exercício da liberdade necessária para a qualidade da vida humana.

Entretanto, um conjunto de aspectos como política, cultura, ideologia, natureza e sociedade participam desse cenário e devem ser avaliados em conjunto. Uma alternativa foi a criação do IDH, que propõe medir o desempenho geral de um país, no que diz respeito a três aspectos: longevidade, conhecimento e nível de vida. Essa ferramenta cobre múltiplas dimensões da vida econômica e social de uma população e é uma alternativa encontrada como medida do desenvolvimento.

Além disso, a busca por uma fonte de energia que contenha o aumento da demanda energética e o crescimento econômico não somente é insuficiente como desnecessária segundo alguns autores. Muitos já discutem e argumentam que o desenvolvimento pode ocorrer através do uso eficiente de formas renováveis de energia, sem níveis de pressão tão grandes sobre o meio ambiente. Diversos autores apontam que o crescimento econômico pode ocorrer sem que resulte somente do aumento na oferta de energia. Isso porque, mesmo existindo aumento da intensidade energética, em alguns países isso não ocorreu simultaneamente com o aumento do crescimento do PIB.

Mesmo assim, uma das barreiras para a transformação dos modelos de desenvolvimento é colocar em xeque a necessidade de diminuir o consumo e abdicar de vários fatores de satisfação material, o que vai contra a lógica capitalista, voltada para o consumo e para o desperdício.

Entretanto, ao conferir prioridade ao aumento da oferta, a política energética atende às necessidades do grande capital (BÔA NOVA, 1985). Fica, então, clara a aposta pela energia nuclear, mesmo que seja tão cara quanto à energia solar – ou ainda mais do que essa –, tendo-se em vista a dificuldade de quantificar o meio ambiente e a magnitude não-mensurável de um acidente nuclear. A dificuldade, segundo Sovacool (2008), consiste em reconhecer que a energia renovável não é econômica, mas social e política. O desafio é convencer os políticos para colocar as necessidades da sociedade acima da indústria. O real problema, segundo o autor, não é desenvolver melhores tecnologias, mas convencer os contribuintes e reguladores.

Como exemplo têm-se os Programas Nuclear e Itaipu⁷⁷, que se traduziram em manobras geopolíticas destinadas a promover a afirmação do Brasil Potência no contexto sul-americano, ao preço de 40 bilhões de dólares. Esse modelo de desenvolvimento, que, a tanto custo, se procura manter, se caracteriza por reproduzir e acentuar as desigualdades sociais. “Afinal a quem serve essa política energética que é decidida autocraticamente, levada adiante com enorme dispêndio de recursos públicos e justificada em nome do bem-estar da coletividade?” (BÔA NOVA, 1985).

A tecnologia, portanto, deve ser utilizada em prol do sistema socioeconômico e ambiental. Todas as dimensões tratadas em conjunto refletem um novo modelo de desenvolvimento. E o desejo é fundamentar o desenvolvimento sustentável para que seja possível implementá-lo na prática.

Para tanto, a transformação apontada por Santos (2001) conta com uma mudança nas ações e por quem as toma. O Estado, que hoje é mobilizado através do poder de compra das classes e condicionado pelas corporações, deve crescer na medida em que internaliza no sistema

⁷⁷ O custo de Itaipu, inicialmente orçado em US\$ 2,5 bilhões, veio passando por sucessivas reavaliações ao longo dos anos; em 1982, já havia sido ultrapassada a casa dos US\$ 15 bilhões (BÔA NOVA, 1985).

democrático uma visão real de conjunto, redistribuição de poderes, o uso da técnica e a informação a favor de um novo modelo de desenvolvimento.

O ponto crucial está em ampliar a participação da população na tomada de decisões que lhe dizem respeito, o que implica o acesso à informação, o debate aberto das alternativas, a livre manifestação das preferências e o poder de fazer valer as escolhas da maioria. Na ordem capitalista a tomada de decisão é ditada pelo critério do lucro privado (BÔA NOVA, 1985).

Mas o discurso oficial, na tentativa de justificar os investimentos que a sociedade inteira paga sem ter tomado parte das decisões, utiliza a necessidade de toda a população como argumento (BÔA NOVA, 1985).

Algumas diretrizes já apontadas e que fundamentam esse novo modelo são: uso de recursos renováveis, reciclagem, distribuição justa dos recursos, flexibilidade na escolha das tecnologias, gerenciamento eficaz, definição de novos conceitos de eficiência, estimativa dos custos e benefícios sociais e ambientais das atividades humanas sustentadas.

O Plano Nacional de Energia (BRASIL, 2008), como foi apresentado, aponta alguns desses aspectos. Observa-se, portanto, uma intenção de mudança, mesmo que ainda teórica, na estrutura do planejamento energético.

Com base na experiência alemã, que complementa a possibilidade real no uso da tecnologia fotovoltaica, foi possível comprovar em alguns pontos recorrentes a inserção dessa fonte. Esses pontos incluem: proteção climática com a redução da emissão de gases de efeito estufa e poluentes; sustentabilidade; segurança energética e menor dependência de combustíveis fósseis; proteção do aumento de gastos associados à importação de energia; reciclagem; aumento da competitividade industrial e geração de emprego; oportunidade para os países em desenvolvimento de acesso à energia e erradicação da pobreza.

Mesmo assim, o desenvolvimento sustentável faz parte de um contexto utópico. A crença de que um dia toda a população mundial teria acesso à energia, educação, saneamento, entre outros, ao mesmo tempo que se reduziriam os impactos ambientais e teria lugar um crescimento econômico, se fez reforçada simbolicamente por se tratar de uma história desejada e muito bem-contada. Entretanto, para se tornar de fato precursora de uma mudança

efetiva, o comportamento e as relações indicam ser um dos alicerces fundamentais a serem transformados.

E mesmo que adviesse do interesse do capital, pôde ser observado que as fontes renováveis, inclusive a tecnologia solar fotovoltaica através do modelo alemão, incentivam a economia em grande escala, fortalecendo-se, também, o modelo de desenvolvimento socioeconômico atual. E o objetivo no lucro também é fortemente uma atribuição gerada por essa fonte.

4.4. Vantagens e desvantagens das tecnologias

Ambas as tecnologias estudadas podem ser consideradas estratégicas, pois apresentam diversos pontos em potencial que podem contribuir para a matriz energética brasileira.

Entretanto, a dificuldade de contabilizar os aspectos qualitativos dificulta o estudo e o aprofundamento necessários para um planejamento energético sustentável. Como já foi dito anteriormente, na dimensão microeconômica não se refletem os impactos significativos que a geração de eletricidade pelo meio convencional causa no meio ambiente, ao contrário da eletricidade gerada por fontes renováveis.

Essa pesquisa constitui uma tentativa de representar essa dificuldade através da pontuação de um ponto positivo e negativo para as vantagens e desvantagens inerentes a ambas as tecnologias. Essa comparação pode ser observada nas próximas tabelas.

Enquanto a tecnologia solar e a nuclear são consideradas mais limpas, por não emitirem gases de efeito estufa na atmosfera⁷⁸, apresentam diferentes modalidades de rejeitos no final de sua vida útil, e esse peso não é atribuído no momento da tomada de decisão. No final da vida útil do sistema fotovoltaico, o vidro pode ser reutilizado, o material semicondutor reaproveitado e o módulo, reciclado e a parte restante disposta em aterro. Por sua vez, os resíduos radioativos gerados em uma usina nuclear também podem ser reciclados, reprocessados e incinerados através de técnicas como as expostas anteriormente, cuja finalidade visa diminuir seu tempo

⁷⁸ A comparação realizada com base nas referências bibliográficas demonstrou, de um modo geral, que a fonte nuclear emite indiretamente menos gases de efeito estufa do que a fonte solar. Mesmo assim, incentiva-se um estudo mais aprofundado da análise do ciclo de vida das duas fontes, através de um cenário brasileiro detentor de uma indústria de módulos e equipamentos eletrônicos, e a continuação do enriquecimento do urânio no exterior, visto que ainda não existe previsão para que se cumpram todas as etapas do combustível nuclear no próprio país.

de armazenamento. Entretanto, cabe lembrar que a magnitude do problema é muito mais complexa dada à possibilidade de proliferação de armas nucleares ou mesmo de ocorrência de um acidente em uma usina nuclear, como a fusão do reator. Por outro lado, deve atentar-se também para os danos que a tecnologia fotovoltaica pode causar na saúde, como traumas por acidentes durante a fabricação e exposição a produtos químicos tóxicos.

Outro ponto a ser considerado é que a extração dos minérios na mina de urânio pode produzir um acréscimo de mortalidade por câncer na via respiratória, da mesma maneira que a extração do silício aumenta a probabilidade de silicose.

Portanto, as desvantagens que também deveriam ser quantificadas, não o são, e, embora deva existir procedimentos de segurança em relação ao ciclo das duas tecnologias, os acidentes que a fonte nuclear pode acarretar, anomalias entre os níveis 1 a 7, por mais raras que sejam tais situações – devem ser levados em consideração no momento em que é feita uma escolha. A pergunta que se faz, portanto, é qual o risco com o qual a sociedade deseja pagar o preço em prol do desenvolvimento.

Tabela 20– Comparação entre as vantagens e desvantagens da energia solar fotovoltaica e da energia nuclear – Meio Ambiente e Sociedade

VANTAGENS	SCORE	SOLAR	SOLAR & NUCLEAR	NUCLEAR	SCORE
	1		Geração limpa		1
	1	Silenciosa		Rejeitos de alta atividade: alternativas para deposição final do ciclo do combustível (reatores rápidos e incineradores de rejeitos)	1
	1	Renovável			
	1	Sustentável (rentável energeticamente)			
	1				
REJEITOS	1	Reutilização do vidro		Possibilidade de reciclagem dos combustíveis irradiados	1
	1	Reaproveitamento do material semi-condutor			
	1	Reciclagem do módulo			
DESVANTAGENS	-1		Mineração		-1
	-1	Tecnologia intensiva em energia		Refrigeração da usina	-1
	-1	60 – 150 gCO ₂ /kWh gerado		10-100 gCO ₂ /kWh gerado	-1
	-1	Parte restante: aterro		Descomissionamento da usina	-1
REJEITOS	-1	Periculosidade por tipo de material e módulo/substâncias pesadas, intoxicação aguda ou crônica de metais pesados, do arsênico, fosfina e outros agentes.		Tempo de vida alto do rejeito	-1
	-1		Acidentes possíveis: Anomalia 1 a 7 e fusão do reator	-1	

Na Tabela 21, mostrada a seguir, foram apresentados os principais aspectos econômicos e estratégicos de ambas as tecnologias. Foi realizada uma tentativa também de contabilizar a quantidade de vantagens e desvantagens através da atribuição de um ponto positivo ou negativo respectivamente a cada uma delas; mas, de novo, como pode ser observado, levando-se em conta o aspecto socioeconômico do país, cada uma terá uma medida diferente. Embora a tecnologia solar gere mais empregos do que a nuclear, essa quantidade de empregos a mais precisa ser avaliada economicamente. Por outro lado, a tecnologia nuclear apresenta pontos estratégicos, como, por exemplo, o domínio do ciclo do combustível nuclear e a disponibilidade de materiais em prol da medicina, agricultura, entre outros.

Tabela 21– Comparação entre as vantagens e desvantagens da energia solar fotovoltaica e da energia nuclear – Economia e Estratégia

VANTAGENS	SCORE	SOLAR	SOLAR & NUCLEAR	NUCLEAR	SCORE
	1		Reservas de Silício e Urânio		1
	1	Geração de empregos 12 a 14 h-h/GW/ano		Geração de empregos 3 a 4 h-h/GW/ano	1
	1	Retorno financeiro e energia imediatas		Enriquecimento do urânio	1
	1	Sistema autônomo			
	1	Poupança em infraestrutura		Custos de geração compatíveis com as demais opções de energia	1
	1	Curto prazo de instalação			
	1	Modular			
	1	Descentralização		Materiais radioativos para pesquisa, medicina e indústria	1
				Domínio do ciclo de combustíveis nucleares	1
	1		Venda de silício e combustível nuclear		1
	1		Estímulo ao desenvolvimento industrial e tecnológico do país		1
DESvantagens	-1	Não é rentável economicamente		Alto custo da segurança	-1
	-1	Alto tempo de retorno		Atrasos na construção e interrupções	-1
	-1	Alto custo do módulo		Armas nucleares	-1
	-1	Setor energético controlado			
	-1	Falta de consideração das exterioridades			
	-1	Barreiras alfandegárias			
	-1	Aleatoriedade do recurso primário			
	-1	Falta de subsídios			
	-1	Falta mão-de-obra qualificada			

Os impactos ambientais não são incluídos no custo e no preço tanto do produtor como do consumidor, como já foi apontado anteriormente. Neste trabalho, a atenção maior foi apresentar alguns dos principais impactos que ambas as fontes causam, e também enfatizar a baixa emissão de gás de efeito estufa indiretamente emitida por ambas e demonstrar, através da literatura os pontos que devem ser mais bem trabalhados.

No anexo III e IV foi apresentada uma análise preliminar do ciclo de vida de ambas as tecnologias estudadas, desde a extração do recurso até a geração de energia elétrica e a reciclagem no final da vida útil de ambas.

Os principais pontos que apresentam potencial de desenvolvimento em relação ao fluxograma da energia nuclear são: desenvolvimento completo do combustível em território nacional, diminuindo-se, no futuro, a emissão de gases de efeito estufa com o transporte entre Rio-Canadá-Holanda-Rio. Têm-se também menores paradas na construção e abastecimento do reator através de pesquisa e desenvolvimento. Além disso, o reprocessamento dos resíduos é uma alternativa que tem sido efetivada por diversos países no mundo. Alguns outros pontos que já foram discutidos no trabalho dizem respeito à segurança e à possibilidade de aumento do tempo da vida útil dos reatores.

Em relação à fonte solar, alguns pontos que apresentam potencial desenvolvimento para a tecnologia são a redução do processo Siemens para a produção do SIGS, por não ser necessário o grau de pureza que se consegue chegar até o SIGE; as técnicas de produção da célula fotovoltaica; o desenvolvimento de indústrias locais para a fabricação dos módulos e outros equipamentos.

Em relação à literatura pesquisada, a maior parte dos autores concluiu que a tecnologia nuclear emite menos dióxido de carbono do que a tecnologia solar fotovoltaica. Os valores médios para a fonte nuclear apontaram os seguintes números: 52, 70 e 66 gCO₂-eq/kWh; enquanto a fonte solar emite, em média, 110, 90 e 32 gCO₂-eq/kWh. Somente um dos artigos apresentou a fonte solar com menor emissão indireta de gases em sua cadeia. E mais: segundo Fraidenraich et al., (2003), no futuro, caso haja redução no consumo de energia durante a produção de células através do uso de silício grau solar, os sistemas fotovoltaicos poderão emitir em média 30g/kWh.

Finalmente, é importante e primordial a elaboração de estudos com cenários no Brasil, de modo a tornar possível identificar essa diferença de valores e sua representação para o país, lembrando-se que será necessário que o Estado de São Paulo reduza 20% das emissões de dióxido de carbono relativas a 2005, em 2020.

4.5 Potencial de geração da energia solar fotovoltaica e da energia nuclear

Como foi apresentado, o Brasil é um dos países detentores de maiores reservas mundiais de quartzo economicamente aproveitável, pois se acredita que existem em seu território 73 milhões de toneladas desse minério. Um dos estudos apresentados faz referência a um cenário hipotético com uma indústria nacional e demonstra que há possibilidade tanto de atender à inserção inicial de 50 MW/ano como de suprir as demandas internacionais sem comprometer suas reservas.

Além disso, a instalação de uma indústria de componentes eletrônicos pode levar o país a uma posição ímpar, como diagnosticou Fraidenraich (2003). Portanto, o recurso natural não é um fator impeditivo para a inserção desta tecnologia na matriz nacional.

A previsão é estimulante para inserção de uma indústria fotovoltaica no país por conta do ritmo atual de crescimento da energia solar. Lembrando-se também que o volume de negócios previsto para a energia fotovoltaica, em 2020, será entre 100-200 bilhões de euros/ano.

Em relação ao urânio, o Brasil também é um dos maiores detentores desse recurso natural, com 309.000 t de U_3O_8 . Estima-se um potencial de reservas da ordem de 900.000 t. Entretanto, para o país participar do mercado internacional de enriquecimento de urânio, foi identificado ser insuficiente a indústria localizada em Resende, que atende o mercado nacional. O sucesso econômico ainda é incerto no que concerne aos benefícios e custos da fase do enriquecimento de urânio no programa brasileiro. Entretanto, a perspectiva é que a produção mundial de urânio dobre até 2030. E a previsão, para 2020, é de esgotamento dos estoques secundários, o que incentiva a expansão das minas existentes e a abertura de novas.

Em relação à geração de empregos, por ambas as tecnologias, a solar tem despertado curiosidade visto o montante de empregos gerados na Alemanha nos últimos anos. Do total de 280 mil empregos gerados até 2008, a solar contribuiu com 74.400 empregos. Em

contrapartida, existem autores, como, por exemplo, Hillebrand, que apontam um efeito positivo nos primeiros anos com a inserção da tecnologia solar, enquanto o maior custo prevalecerá posteriormente.

Contudo, na maior parte da literatura encontrada o saldo foi positivo. Wei constatou que medidas agressivas de eficiência energética, com 30% de meta em 2030, podem gerar 4 milhões de empregos em tempo integral, enquanto um aumento de 25% da energia nuclear e de 10% da produção global, em 2030, podem render um adicional de 500.000 empregos/ano. E mais: dentre as tecnologias renováveis, a solar fotovoltaica criou mais empregos por unidade de eletricidade gerada, de acordo com esse estudo. O diagnóstico final foi que todas as formas de energia renovável e fontes de baixo carbono geram mais empregos que o setor energético de combustíveis fósseis por unidade de energia entregue.

No que tange à energia nuclear, Angra III criará oportunidade de 9.000 postos diretos de trabalho e de 15.000 empregos indiretos no período de maior movimentação no canteiro de obras da usina. Já na fase de operação de Angra III, a Eletronuclear estima que serão criados cerca de 500 empregos diretos permanentes.

Outro estudo diagnosticou que nos EUA, para os próximos 15 anos, serão criados, através da inserção de 44 novas usinas no país, 38.000 empregos na indústria de manufatura do país, 79.000 empregos na construção e operação das usinas e um adicional de 250.000 postos de trabalhos indiretos. O impacto desses empregos indiretos criaria um adicional de 242.000 empregos induzidos, gerando-se um total de 610.000 novos postos de trabalho adicionados.

A geração de empregos é um tema importante para a tomada de decisão por uma tecnologia, e deve ser levada em consideração em vista da necessidade do país. Além disso, para cada emprego gerado existe a contribuição para a arrecadação de impostos e outros que incentivam o desenvolvimento do país e a economia. No mais, o interesse na geração de empregos deve ser fator de estímulo para o desenvolvimento, na mesma proporção do interesse pela oferta de energia gerada por uma fonte.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em princípio, as fontes que marcaram o início da Revolução Industrial apresentavam algumas barreiras, como, por exemplo, a lenha, pelo seu baixo poder calorífico, e, posteriormente, pelo seu alto custo, por conta de sua escassez; o carvão, por se tratar de uma fonte que despendia maior gasto com mão-de-obra; a energia hidráulica, que não era estratégica por localizar-se distante do centro industrial; e, por último, o petróleo, que exige sofisticados e caros equipamentos para sua extração.

Até a crise do petróleo nos anos de 1970, o atual sistema energético mundial desenvolveu-se sem preocupações sérias com a otimização de estratégias que baixassem os custos dos combustíveis fósseis. Hoje este aspecto já não constitui um problema, e, por conta disso, a expansão do sistema energético nos países em desenvolvimento tem que suprir a demanda ao menor custo possível⁷⁹. Mesmo assim, durante a história, o setor de energia elétrica tem-se centrado na geração da eletricidade abundante e barata com a assistência dos reguladores e dos políticos que subsidiam todas as formas de energia para proteger os consumidores dos custos reais da extração, geração, distribuição e uso. E os aspectos ambientais e sociais, que fazem parte do sistema atual, não participam desses custos⁸⁰.

Ainda que o custo e o preço das fontes energéticas sejam influenciados pelos avanços tecnológicos que promovem aumento na eficiência da conversão energética melhorias nos métodos de produção industriais⁸¹, o investimento necessário não é o fator delimitante para a escolha de uma tecnologia, mas o estímulo para se alcançar a meta final: o lucro⁸².

E se nem na lógica puramente capitalista o custo é fator primordial, mas sim o lucro, uma investigação sobre este pode ser firmada com a inserção da fonte solar, questão a ser aprofundada. Pôde ser observado neste trabalho que ambas as tecnologias apresentam pontos estratégicos para o país. Contudo, as diferenças entre suas vantagens e desvantagens atestam que o papel dessas tecnologias nos modelos de desenvolvimento são diferentes, assim como suas contribuições nas esferas ambiental, econômica e social.

⁷⁹ Goldemberg e Lucon (2008)

⁸⁰ Sovacool (2008).

⁸¹ Goldemberg e Lucon (2008)

⁸² Boa Nova (1985)

É possível observar-se uma decisão míope no planejamento energético. Isso porque sempre se buscou uma tecnologia com alto fator de capacidade e que apresentasse baixo custo. Em um primeiro momento, tem-se que, mesmo com a inserção de tecnologias intensas energeticamente, não se conseguiu atender a toda população. E, mesmo que a procura seja por grandes quantidades de energia, a tecnologia solar fotovoltaica também pode contribuir na matriz energética, aumentando a potência instalada de sua central ou a quantidade de módulos descentralizados, em conjunto com medidas de eficiência energética.

Em um segundo momento, o custo inicial da energia nuclear para o país não foi e continua não sendo um obstáculo para sua escolha. Além disso, com a inserção das externalidades em um futuro próximo, será mais óbvio enxergar que, a longo prazo, as fontes renováveis estão ficando cada vez mais baratas, visto que a economia, assim como a sociedade, será influenciada pelos impactos causados no meio ambiente. Isso porque, mesmo que a tecnologia seja a ferramenta para o gerenciamento desse crescimento intenso por energia (economia neoclássica), o meio ambiente apresenta uma finitude de recursos naturais e de certa resistência aos impactos, que não conhecemos ao certo (economia ecológica).

O Ministério de Minas e Energia aponta para a necessidade de demonstrar-se os ganhos do desenvolvimento econômico com os custos ambientais associados à implantação de projetos e ao consumo de energia, constituindo-se um grande desafio, portanto, escolher fontes apropriadas para a expansão da oferta. E, para tanto, existem diferentes fontes para gerar energia e elas são substituíveis quando se reavaliam o modelo de desenvolvimento e a possibilidade de investimento em eficiência energética e conservação de energia.

A atenção voltada para uma única fonte de energia que possa atender o crescimento econômico tem aumentado a desigualdade social e os impactos ambientais. A decisão, portanto, não deve ser por uma tecnologia mais barata ou cara, mas, sim, por uma fonte que possa contribuir de forma estratégica e eficiente e em prol da sociedade, da economia e da preservação do meio ambiente. A proposta, portanto, é avaliar aspectos como geração de emprego e medidas que preservem o meio ambiente e, desse modo, escolher uma fonte que incentive o desenvolvimento sustentável do país. No mais, qual o preço do modelo de desenvolvimento atual?

Além disso, as fontes renováveis também podem ser inseridas no próprio modelo atual de desenvolvimento, pois incentivam, tanto quanto as outras fontes, o mercado financeiro, industrial e social, como pôde ser observado na Alemanha. Em relação às potencialidades, ambas as fontes apresentam recursos naturais suficientes para a inserção dessas tecnologias na matriz energética, e a solar, em especial, se apresenta com enorme potencial para a geração de empregos. A recomendação que se faz é que ocorra um aprofundamento da análise do ciclo de vida de ambas as tecnologias, visto que o cenário é crítico no tocante às emissões de gases de efeito estufa.

Outro ponto a ser considerado se relaciona com os grupos de interesse. Isso porque as motivações são diferentes para cada ator e, dentre eles, alguns são os que participam na tomada da decisão final. Alguns são governos locais, corporações, comunidade, organizações não-governamentais, universidades, agências reguladoras, entre outros. Dessa forma, é importante a comunicação entre os interessados e os investidores.

Para atender as questões sócioambientais inseridas na ótica do desenvolvimento sustentável quando da escolha de uma tecnologia, o Ministério de Minas e Energia apresentou no Plano Nacional duas questões inéditas: a primeira em relação à abordagem energética ampla, e a segunda, à participação da sociedade desde a fase de concepção do planejamento através da realização de seminários públicos.

A previsão é o efetivo crescimento da participação das renováveis e da energia nuclear nas matrizes energéticas. Contudo, a tecnologia nuclear ainda é imprevisível, de acordo com algumas objeções realizadas, como, por exemplo, os rejeitos radioativos gerados e a possibilidade da proliferação de armas nucleares.

Finalmente, neste estudo foi possível identificar que o alto custo da energia solar fotovoltaica está inserido em um contexto que pode ser desmistificado. Primeiro, porque existem perspectivas positivas para a inserção dessa tecnologia no país, sob alguns aspectos, principalmente paridade tarifária, cenários internacionais, estratégia nacional e incentivo a subsídios.

Em segundo lugar, o incentivo pela tecnologia solar fotovoltaica, além de ser de interesse econômico, também o é nas esferas social e ambiental. Desse modo, se a energia nuclear pode

participar da matriz energética, a tecnologia solar fotovoltaica também deveria, vistos o desenvolvimento e o cenário de crescimento que essa fonte tem apresentado durante os últimos anos.

Algumas questões que delimitam a escolha por uma tecnologia não devem ser somente a atribuição de seu preço ou a quantidade de energia entregue à rede, mas, sim – porque mais importante –, a realização de um dimensionamento a longo prazo que consiga atender todas as esferas, quais sejam, econômica, ambiental e social, além dos aspectos que não são mensuráveis que se encontram inseridos, e que são de extrema importância para um novo modelo de desenvolvimento, no que diz respeito: aos resíduos produzidos e à forma de gerenciá-los; a sua dimensão e quem os atinge; à geração de empregos; aos recursos naturais, à pesquisa e ao desenvolvimento, entre tanto outros.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Qual a maior contribuição para a economia: geração de energia elétrica ou geração de emprego.
- Acidentes de pequeno porte: energia nuclear e solar fotovoltaica.
- Análise do Ciclo de Vida de ambas as tecnologias – cenário brasileiro.
- Barreira cultural: energia solar fotovoltaica e nuclear.
- Percepção da população na França: como foi a mudança de pensamento decorrente do uso da energia nuclear.
- Avaliação de Riscos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABACC, Agência Brasileira – **Argentina: contabilidade e controle de materiais nucleares.** Disponível em http://www.abacc.org/port/publicacoes_discursos/publicacoes_relatanuais.htm Acesso em: maio 2010.

ABEN – Associação Brasileira de Energia Nuclear, Comitê de Rejeitos Radioativos e Meio Ambiente. **Situação atual dos rejeitos radioativos no Brasil e no Mundo.** MOREIRA, João M.L. (coord). 2006.

_____. Brasil Nuclear. **Angra III movimentará indústria nacional.** Ano 15, nº 35. Setembro 2009.

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Radioatividade e suas unidades de medida: conceitos básicos.** Informe 19/2008. Disponível em: http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/6170/Radioatividade2.pdf Acesso em: junho 2010.

ADAMANTIADES, A.; KESSIDES, I. **Nuclear power for sustainable development: Current status and future prospects.** Energy Policy, 37 (2009) 5149-5166. 2009.

AIEA - **Agência Internacional de Energia Atômica.** Disponível em: <http://www.iaea.org/> Acesso em: 2010.

AKOUN, André. **Dicionário de antropologia. Do homem primitivo às sociedades actuais.** Lisboa, Verbo. 1972.

ALVIM, Carlo, F; et al., **Energia nuclear em um cenário de trinta anos.** Estudos Avançados, vol. 21, nº 59, São Paulo, jan./abril, 2007.

ANACLETO, João. Cooper? Não. Corrida. **Carro Online.** Out. 2009. Disponível em: <http://carroonline.terra.com.br/index.asp?codc=4195> Acesso em: fev. 2010.

ANDRADE, Daniel C. **Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica.** Leituras de Economia Política. Campinas. (14): 1-31. ago./dez. 2008.

ARGONZ, Raquel. **Purificação de rejeitos de lascas de quartzo das indústrias de silício.** Tese de doutorado apresentada à comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 2001.

BARBOSA, Marília I. M.; PORPHÍRIO, Ney H. **Caracterização tecnológica de lascas de quartzo.** Série Tecnologia Mineral 69. Rio de Janeiro, CNPq/ CETEM, 1995.

BEESP – **Balço Energético do Estado de São Paulo. Ano Base 2009.** Secretaria de Saneamento e Energia. São Paulo, 2009.

BEN – **Balço Energético Nacional. Ano base 2006. Relatório Final.** Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, EPE, 2007.

_____. **Ano base 2008. Relatório Final.** Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, EPE, 2009.

BENEDITO, Ricardo da Silva. **Caracterização da Geração Distribuída de Eletricidade por meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa Interunidades (EP/FEA/IEE/IF) de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2009.

BERMANN, Célio. **Energia no Brasil: para quê? para quem?** Crise e Alternativas para um país sustentável. São Paulo, Editora Livraria da Física: FASE. 2001.

BIROU, A. **Dicionário das ciências sociais.** Publicações Dom Quixote. Lisboa, 1982.

BM&F. Bolsa de Mercadorias e Futuros. **Perguntas frequentes sobre o mercado de carbono.** 2º Edição. [S.d]. Disponível em: <www.bmf.com.br> Acesso em agosto 2008.

BMU. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. **Renewable energy sources in figures. National and international development.** Junho, 2009. Disponível em: <<http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/5996/3860/>> Acesso em novembro 2009.

BÔA NOVA, Antonio Carlos. **Energia e classes sociais no Brasil.** São Paulo: Loyola, 1985.

BRASIL. **Anuário Mineral Brasileiro 2006. Parte III. Estatística por Substâncias.** Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, 2006

BRASIL. **Constituição Federal – Coletânea de legislação de direito ambiental.** Organização por Odete Medauar. 3º ed. São Paulo, Revista dos Tribunais, 2004.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Matriz energética nacional 2030.** Empresa de Pesquisa Energética (col.). Brasília: MME. EPE, 2007.

_____. **Plano Nacional de Energia 2030.** Empresa de Pesquisa Energética (col.). Brasília: MME. EPE, 2008.

_____. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Plano decenal de expansão de energia: 2007/2016.** Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME; EPE, 2008. v 1.

_____. **Plano decenal de expansão de energia: 2008/2017.** Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2009. vol.1.

BRASIL. Relatório do Grupo de Trabalho. **Fiscalização e Segurança Nuclear.** Câmara dos Deputados. Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável Biblioteca Digital Câmara. Brasília, 2006b. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br>> Acesso em: agosto 2010.

CABRERA-PALMER, Belkis; ROTHWELL, Geoffrey. **Whay is Brazil enriching uranium?** Energy Policy; 36. 2008.

CAMARGO, Guilherme. **O Fogo dos deuses. Uma história da energia nuclear: Pandora 600 a.C.- 1970.** Rio de Janeiro: Contraponto, 2006.

CASTRO GIL, M. et. al. **Energia solar fotovoltaica.** Monografias Técnicas de Energias Renovables. España: PROGENSA, 2000.

CAVALCANTI, Clóvis. **Meio ambiente, Celso Furtado e o desenvolvimento como falácia.** Ambiente e Sociedade. Vol .5 n°2, Campinas: 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2003000200005> Acesso em: maio 2010.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Estudo prospectivo para energia fotovoltaica. Relatório de abertura do Estudo.** Potencial produtivo brasileiro e macro dimensões estratégicas em energia fotovoltaica – uma primeira abordagem do Estudo. Brasília, DF. 2008.

_____. **Semicondutores orgânicos.** Estudo do CGEE propõe estratégia para o País ter lugar no mercado mundial de mostradores, sensores e células fotovoltaicas. Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/noticias/viewBoletim.php?in_news=654&boletim=7> Acesso em: julho 2010.

COLTRO, Leda. (org.) **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão. Avaliação do ciclo de vida.** Campinas: CETEA/ITAL. 2007. Disponível em: <http://www.cetea.ital.org.br/figs/ACV_como_Instrumento_de_Gestao-CETEA.pdf> Acesso em: junho 2010.

_____. **Análise de custo do ciclo de vida (ACCV): metodologia e aplicação em Eficiência Energética.** Campinas: CETEA/ITAL. 2007b. Disponível em: <http://www.cetea.ital.org.br/figs/ACV_como_Instrumento_de_Gestao-CETEA.pdf> Acesso em: junho 2010.

CRAVEIRO, Paulo M. A.; **Energia solar para a produção de eletricidade.** In: SOUZA, Hamilton M. de; SILVA, Patrícia de C. da S.; DUTRA, Ricardo M. (org.). Coletânea de Artigos. Energias Solar e Eólica. Volume 2. Rio de Janeiro: CRESESB – CEPEL. 2005.

DALY, Herman E. **Crescimento sustentável? Não, Obrigado.** Pontos de vista. Ambiente & Sociedade – Vol. VII n°. 2. jul/dez. 2004.

DEWULF, Jo. LANGENHOVE, Herman V. (editors) **Renewables-based technology, sustainability assessment,** Research Group ENVOC, Ghent University, Belgium. Wiley: 2006.

DINIZ FILHO, Lourival C. **Quartzo (Cristal).** 2007. DNPM/RN.

DOTI, Marcelo Micke. **Sociedade, natureza e energia. Condições estruturais e superestruturais de produção no capitalismo tardio.** São Paulo. Editora Blucher, 2008.

DUPAS, Gilberto. **O Mito do progresso.** Scielo Brasil. Novos Estudos – CEBRAP. n° 77 São Paulo. Março 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010133002007000100005&script=sci_arttext&tlng=en> Acesso em março 2010.

EARTH SUMMIT. **Un conference on environment and development (1992).** 1997. Disponível em: <<http://www.un.org/geninfo/bp/enviro.html>> Acesso em: julho, 2010.

EIA – **Energy Information Administration.** International Energy Outlook 2010. Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/highlights.html> Acesso em: maio, 2010.

ELETRONUCLEAR. **Guia de pronta resposta. 2008.** Disponível em: <http://www.eletronuclear.gov.br/perguntas_respostas/GUIA_2008> Acesso em: dez., 2009.

_____. **Guia eletronuclear de pronta resposta. 2009.** Disponível em: <http://www.eletronuclear.gov.br/perguntas_respostas/GUIA_2009> Acesso em: fev., 2010.

_____. **Panorama da energia nuclear no mundo.** 2009a. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/pdf/panorama.pdf>> Acesso em: fev., 2010.

_____. **Angra III.** Contratação dos Serviços de Engenharia de Projeto, Montagem Eletromecânica e Gerenciamento da Implantação e Apoio Técnico. Audiência Pública. Rio de Janeiro. 2009b. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/downloads/noticias/753/168.pdf>> Acesso em: dez., 2009.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Cana-de-açúcar confirmada como segunda fonte primária de energia no Brasil.** Informativo BEN. Resultado final 2008. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/Estudos_13/Informativo%20BEN%20-%20Resultado%20final%202008.pdf> Acesso em: fev. 2010

FAVARETO, Arilson. **Paradigmas do desenvolvimento rural em questão.** São Paulo: Iglu: FAPESP, 2007.

FERREIRA, Aurélio B. de H. **Minidicionário Aurélio.** 2° edição. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1988.

FILHO, Zieli D.T.; CASTRO, Nivelde J. de; FERNANDEZ, Paulo C. **Brasil: matriz energética de baixo carbono e o papel da geração termonuclear.** GESEL, UFRJ – Instituto de Economia. Rio de Janeiro, 2009.

FORONUCLEAR. **Foro de la industria nuclear española. El recorrido de la energia.** Disponível em: <http://www.foronuclear.org/recorrido_energia/index.html> Acesso em: set. 2009.

FRAIDENRAICH, N., et. al. **Energia solar fotovoltaica**. In: Maurício Tiomno Tolmasquim. (Org.). Fontes Renováveis de Energia no Brasil. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda., 2003.

FTHENAKIS, Vasilis M.; KIN, Hyung C. **Greenhouse-gas emissions from solar electric and nuclear power: A life cycle study**. Energy Policy 35(2007) 2549-2557. 2006

GEORGESCU-Roegen, Nicholas. **Energia e mitos econômicos**. Economia - Ensaios, Uberlândia, 19(2): 7-51, jul. 2005.

GOLDEMBERG, José. **Física e políticas públicas**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 10, n° 27, 1996. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40141996000200006&script=sci_arttext> Acesso em: 20 jan. 2010.

_____. **Os riscos da energia nuclear**, Com Ciência, SBPC - Labjor, Risco, n°. 104, 2008. Disponível em <<http://www.comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=41&id=493>> Acesso em: maio, 2010.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo, Edusp, 2008.

GOMES, Aramis J. P.; CRUZ, Paulo R.; BORGES, L. P. **Recursos minerais energéticos: carvão e urânio**. Capítulo XI. Geologia Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. CPRM, Brasília, 2003. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/capXI_a.pdf> Acesso em: maio 2010.

GOOD COMPANY. **Life-cycle environmental performance of silicon solar panels. Making sustainability work**. August 2008. Disponível em: <http://www.goodcompany.com/> Acesso em: junho, 2010.

GOOGLE EARTH. 2010. Disponível em: < <http://maps.google.com.br/>> Acesso em: 2010.

GREENPEACE. **Nuclear**. 2009 Disponível em:<<http://www.greenpeace.org/brasil/documentos/nuclear>> Acesso em: maio 2010.

GTES – Grupo de Trabalho de Energia Solar, **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**, Rio de Janeiro, CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica CRESEB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 1999 – 2008.

HAES, Helias A. Udo de; HEIJUNGS, Reinout. **Life-cycle assessment for energy analysis and management**. Institute of Environmental Sciences, Leiden University. Applied Energy 84 (2007) 817-827.

HARRISON, Paul; PEARCE, Fred. **AAAS Atlas of population and environment**. American Association for the Advancement of Science and the University of California Press. Victoria Dompka Markham: 2001. Disponível em: <<http://www.ourplanet.com/aaas/pages/contents01.html>> Acesso em: out. 2009.

HEIDER, Mathias. **Economia mineral do Brasil**. Mineração de Energia. Urânio. DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. 2009. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=1461>> Acesso em: ago 2010.

HERBST, Dianna. Renewable Energy Focus. **Solar mapping: demystifying solar potencial**. July, 2009. Disponível em: <<http://www.renewableenergyfocus.com/view/3221/solar-mapping-demystifying-solar-potential/>> Acesso em: set., 2009.

HILLEBRAND, Bernhard; BUTTERMANN, Hans Georg.; BEHRINGER, Jean Marc.; BLEUEL, Michaela. **The expansion of renewable energies and employment effects in Germany**. Energy Policy, 34 (2006) 3484-3494, 2005.

HOFFMANN, Winfried. **PV solar electricity industry: Market growth and perspective**. Solar Energy Materials & Solar Cells. Energy Policy. Germany, 2006.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em: junho, 2010.

_____. **País evolui mais nos indicadores econômicos e sociais do que nos ambientais**. 2008a. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1156&id_pagina=1> Acesso em: 20 jan., 2010.

_____. **Projeção da População do Brasil**. IBGE: população brasileira envelhece em ritmo acelerado. Comunicação Social 27 de Nov. 2008b. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_impresao.php?id_noticia=1272> Acesso em: maio, 2010.

INB – **Indústrias Nucleares do Brasil – 2009**. Disponível em: <<http://www.inb.gov.br/inb/WebForms/default.aspx>> Acesso em: maio, 2010.

INSC – **International nuclear safety center. Operated by argonne national laboratory for the US departament of energy**. Disponível em <<http://www.insc.anl.gov/pwrmaps/>> Acesso em: maio 2010.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for national greenhouse gas inventories**, v.2. Energy. 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>> Acesso em: 26 junho, 2009.

_____. **Mudança do clima 2007: Mitigação da mudança do clima**. Sumário para os Formuladores de Políticas do Grupo III. OMM. PNUMA. 2007. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0024/24520.pdf> Acesso em: julho, 2010.

_____. **Summary for policymakers of the synthesis report of the IPCC fourth assessment report. Draft copy 16**. Nov. 2007a. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0021/21811.pdf> Acesso em: julho, 2010.

KENLEY, C.R., et al., **Job creation due to nuclear power resurgence in the United States**. Energy Policy 37 (2009) 4894-4900. 2009.

KOK, Kenneth D (editor). **Nuclear engineering handbook**. CRC Press. USA. 2009

LAMEGO SIMÕES F°, F.F., et al., CETEM – Centro de Tecnologia Mineral - Ministério da Ciência e Tecnologia. **Impactos da mineração e sustentabilidade no semi-árido. Estudo de Caso: unidade de concentração de urânio – URA (Caetité, BA)**, In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003, Curitiba, Porto Alegre: ABRH, 2003. Rio de Janeiro: dez., 2003.

LARSEN, Kari. **End-of-life PV: then what?** – Recycling solar PV panels. August, 2009. Renewable Energy focus.com. Disponível em: <<http://www.renewableenergyfocus.com/view/3005/endoflife-pv-then-what-recycling-solar-pv-panels/>> Acesso em: set., 2009.

LAWSON, Sandra; DRAGUSANU, Raluca. **Building the world: mapping infrastructure demand. GS Global economics paper**. n°166, 2008. Disponível em: <<http://www2.goldmansachs.com/ideas/brics/building-the-world.pdf> > Acesso em: outubro, 2008.

LAWSON, Sandra; HEACOCK, David R.; STUPNYTSKA, Anna. **Why the BRICs Dream Won't Be Green. BRICs Monthly**. GS Global Economics Paper. n° 06/06, 2006. Disponível em: <<http://www2.goldmansachs.com/ideas/environment-and-energy/goldman-sachs/brics-green.pdf>> Acesso em: outubro, 2009.

_____. **Why the BRICs Dream Should Be Green. BRICs Monthly**. GS Global Economics Paper. n° 07/02, 2007. Disponível em: <<http://www2.goldmansachs.com/ideas/environment-and-energy/goldman-sachs/brics-should-be-green.pdf>> Acesso em: out. 2009.

LEHR, Ulrike.; NITSCH, Joachim.; KRATZAT, Marlene.; LUTZ, Christian.; EDLER, Dietmar. **Renewable energy and employment in Germany**. Energy Policy, 36 (2008)108-117, 2007.

LENZEN, Manfred. **Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: a review**. ISA, Centre for Integrated Sustainability Analysis, The University of Sydney. Energy Conversion and Management, 49 (2008) 2178-2199. 2008.

LORENZO, Eduardo. **Electricidad Solar Fotovoltaica. Sobre el papel de la energia en la historia**. Volumen 1. España: Progenza, 2006.

LOVINS, Amory B.; DATTA, E. Kyle.; BUSTNES, Odd-Even.; KOOMEY, Jonathan G.; GLASGOW, Nathan J. **Winning the Oil Endgame**. Innovation for Profits, Jobs, and Security. Rocky Mountain Institute. Colorado, USA: 2005.

MARCZEWSKI, Breitner; GONZALEZ, Mariana P.; OLIVEIRA, Sérgio H. F. **Reservas de Quartzo no Brasil. Planejamento e Indústria Fotovoltaica**. UFABC - Universidade Federal do ABC. Santo André, SP. 2010.

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia. **Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. Informações Gerais e Valores Preliminares.** 2009.

MOEHLECKE, Adriano et al., **Processamento de células solares de silício com materiais de baixo custo.** In: SOUZA, Hamilton M. de; SILVA, Patrícia de C. da S.; DUTRA, Ricardo M. (org.). Coletânea de Artigos. Energias Solar e Eólica. Volume 2. Rio de Janeiro: CRESESB – CEPEL. 2005.

MORANTE, Federico. **Demanda de energia elétrica e desenvolvimento socioeconômico: o caso das comunidades rurais eletrificadas com sistemas fotovoltaicos.** Tese apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. 2004.

MORI, Vânia; SANTOS, Ronaldo L C. dos; SOBRAL, Luiz G. S. **Metalurgia do silício: processos de obtenção e impactos ambientais.** 2007. Série Tecnologia Ambiental. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 2007.

MORIN, Edgar. **Por uma globalização plural.** Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural. NEAD. 2002. Disponível em: <http://www.nead.org.br/boletim/boletim.php?boletim=130¬icia=114> Acesso em: junho 2010.

NEVES, Carlos A. R.; SILVA, Luciano, R. da. **Universo da mineração brasileira. 2007.** DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. MME. Brasília/ DF, 2007.

OLIVEIRA, Sérgio H. F. **Geração distribuída de eletricidade: inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no Estado de São Paulo,** Tese de Doutorado. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, PIPGE, Universidade de São Paulo, 2002.

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Desenvolvimento Humano e IDH.** [S.d]. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/idh/>> Acesso em: Nov. 2009.

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. [S.d] Disponível em: <http://www.onu-brasil.org.br/agencias_pnuma.php> Acesso em junho 2010.

PRADO, Geórgia R. **Estudo de contaminação ambiental por urânio no município de Caetité-Ba, utilizando dentes humanos como bioindicadores.** Ilhéus: UESC, 2007. PRODEMA - Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Universidade Estadual de Santa Cruz, 2007.

REINA, Eduardo. "Parte do lixo contaminado da Nuclemon foi para aterro em Perus". In: **O Estado de São Paulo.** Disponível em: <<http://blogs.estadao.com.br/eduardo-reina/2010/04/23/lixo-contaminado-da-nuclemon-foi-para-aterro-em-perus/#comments>> Acesso em: junho, 2010.

REIS, Lineu Bélico dos; SILVEIRA, Semida. (org.) **Energia elétrica para o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

RODRIGUES, Maria J. A **Integração arquitectónica de Energia Solar Fotovoltaica**. Companhia de Arquitectura e Design. Instituto Superior Técnico. 2005. Disponível em: <http://www.ikaza.com.pt/presentationlayer/artigo_01.aspx?id=14&CANAL_ORDEM=0402> Acesso em: out. 2009.

ROSA, Luiz Pinguelli. **A Política Nuclear e o Caminho das Armas Atômicas**. Brasil: os anos de autoritarismo. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1985.

RUTHER, Ricardo. **Sistema Solar Fotovoltaico Integrado à Arquitetura de Edificação Urbana e Interligado à Rede Elétrica Pública**. In: SOUZA, Hamilton. M. de., SILVA, Patrícia de C., DUTRA, Ricardo M. **Coletânea de Artigos- Energias Solar e Eólica**, vol.1. Rio de Janeiro: CRESESB, CEPEL. 2003.

SACHS, Ignacy. **O paradigma do futuro**. Envolverde para Carta Verde. Economia Interativa. 2009. Entrevista concedida a Denise Ribeiro. Disponível em: <<http://www.economiainterativa.com.br/Materia.aspx?p=5&m=669>> Acesso em junho, 2010.

SALAMONI, Isabel, T. **O paradigma do alto custo da energia fotovoltaica no Brasil e a paridade tarifária**. Monografia apresentada ao Eco_Lógicas: Concurso Catarinense de Monografias sobre Energias Renováveis e Eficiência Energética, promovido pelo Instituto IDEAL, Florianópolis: 2008.

SANDRONI, Paulo. **Dicionário de economia do Século XXI**. 3° ed. Rio de Janeiro: Record, 2007.

SANTOS, Milton. **Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal**. 5ª edição. Rio de Janeiro: Record, 2001.

SÃO PAULO (Estado). Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo. **Lei n° 13.987, 9 de novembro de 2009, que institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas**. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei%20n.13.798,%20de%2009.11.2009.htm>> Acesso em junho, 2010.

SCHEER, Hermann. **Economia solar global. Estratégias para a modernidade ecológica**. Rio de Janeiro, CRESESB-CEPEL: 2002.

SCHWARTZ, Julia. **Emergency preparedness and response: compensating victims of a nuclear accident**. Journal of Hazardous Materials. Legal Affairs Section, Nuclear Energy Agency, Organization for Economic Co-operation and Development. May 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>> Acesso em: dez. 2009.

Secretaria de Estado da Saúde. Coordenação dos Institutos de Pesquisa. Centro de Vigilância Sanitária. SUS – Sistema Único de Saúde. Gabinete do Secretário. **Resolução SS-625**, de 14-12-94. Publicado no D.O.E; seção I, São Paulo, 1994.

SEN, Amartya. **Desenvolvimento como liberdade**. 7ª edição. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.

SENA, Lucia Bastos Ribeiro de. **Curso de Instrumentos jurídicos, econômicos e institucionais para o gerenciamento de recursos hídricos. Módulo 14 – Instrumentos econômicos e gerenciamento de recursos hídricos**. Especialização por tutoria à distância - ABEAS/UFPB/DEAg. 1999.

SICHE, Raúl; AGOSTINHO, Feni; ORTEGA, Enrique; ROMEIRO, Ademar. **Índices versus Indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países**. Ambiente & Sociedade. Campinas v.X, n.2. 2007. Disponível em: <http://www.pb.utfpr.edu.br/ppgdr/editais/indices_versus_indicadores_precisoas_conceituais_na_discussao_da_sustentabilidade_de_paises.pdf> Acesso em: junho 2010.

“Silício Valorizado. CETEC e CEMIG trabalham para produzir silício grau solar e células fotovoltaicas no Estado”. In: **“Minas faz ciência”**. n°. 25. Maio 2006. Disponível em: <<http://revista.fapemig.br/materia.php?id=343>> Acesso em: abril 2010.

SILVA, Gil Anderi. **Panorama da avaliação do ciclo de vida (ACV) no Brasil: conceito, princípios, perspectivas e dificuldades de aplicação nas empresas, capacitação**. Seminário Avaliação do Ciclo de Vida de Produto e Ecodesign. GP2 – Grupo de Prevenção da Poluição. Departamento de Engenharia Química. Escola Politécnica Universidade de São Paulo. 2006, FIESP.

SOARES, José L.; **Dicionário etimológico e circunstanciado de biologia**. Scipione. São Paulo. 1993.

Solar Power International. California, San Francisco. 2009. Disponível em: <<http://www.solarpowerinternational.com/conference/video/>> Acesso em: nov. 2009.

SOVACOOOL, Benjamin K. **The costs of failure: a preliminary assessment of major energy accidents, 1907-2007**. Energy Policy 36 (2008) 1802-1820. 2008.

_____. **Renewable Energy: Economically Sound, Politically Difficult**. The Electricity Journal. (1040-6190) 2008.

SPIEGEL, R. J.; GREENBERG, D. L.; KERN, E. C. **Demonstration of the Environmental and Demand-Side Management Benefits of Grid-Connected Photovoltaic Power Systems**. Solar Energy. v.62(5): 345-358, 1998.

United Nations – UN Documents. **Report of the world commission on environment and development: our common future**. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>> Acesso em: julho 2010.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Costs of solar power from photovoltaics**. 2007. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/tribalenergy/guide/costs_solar_photovoltaics.html> Acesso em: set. 2009.

_____. Energy Efficiency & Renewable Energy. **2008 Renewable energy data book**. July 2009. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/maps_data/pdfs/eere_databook.pdf> Acesso em: set. 2009.

VARELLA, Fabiana K.O.M; CAVALIERO, Carla K. N.; SILVA, Ennio P. da. **A survey of the current photovoltaic equipment industry in Brazil**. Renewable Energy 34 (2009).

VEIGA, José Eli. **Desenvolvimento Sustentável o desafio do século XXI**. Garamond. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Indicadores de sustentabilidade**. Estudos Avançados 24 (68). 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v24n68/06.pdf> > Acesso em junho 2010.

VERBRUGGEN, Aviel; et al.,. **Renewable energy costs, potentials, barriers: Conceptual issues**. Energy Policy. 2009.

WEI, Max; PATADIA, Shana; KAMMEN, Daniel M. **Putting renewables and energy efficiency to work: how many jobs can the clean energy industry generate in the US?** Energy Policy 38 (2010) 919-931. 2009.

WEINTRAUB, E. Roy. **Economia Neoclássica**. The Concise Encyclopedia of Economics. Online Edition, 2002. Disponível em: <www.econlib.org/LIBRAR/CCE.html> Acesso em: julho 2010.

World Nuclear Association. **Nuclear Power in Germany**. Jan. 2010. Disponível em: <<http://www.world-nuclear.org/info/inf43.html>> Acesso em: fev. 2010.

WWF. Brasil. **Pegada Ecológica**. O que é isso? Disponível em: <http://www.wwf.org.br/wwf_brasil/pegada_ecologica/pegada_ecologica_global/> Acesso em: julho 2010.

YASSI, Annalee; KJELLSTROM, Tord; KOK, Theo de; GUIDOTTI, Tee L. **Salud Ambiental Básica**. Serie Textos Básicos para la formación ambiental. Programa de Las Naciones Unidas para El Medio Ambiente–PNUMA, Oficina Regional para América Latina y El Caribe. Organización Mundial de La Salud–OMS. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología–INHEN, Ministério de Salud Pública de Cuba. 2002.

YOO, Seung-Hoon; KU, Se-Ju. **Causal relationship between nuclear energy consumption and economic growth: a multi-country analysis**. Energy Policy 37 (2009) 1905-1913. 2009.

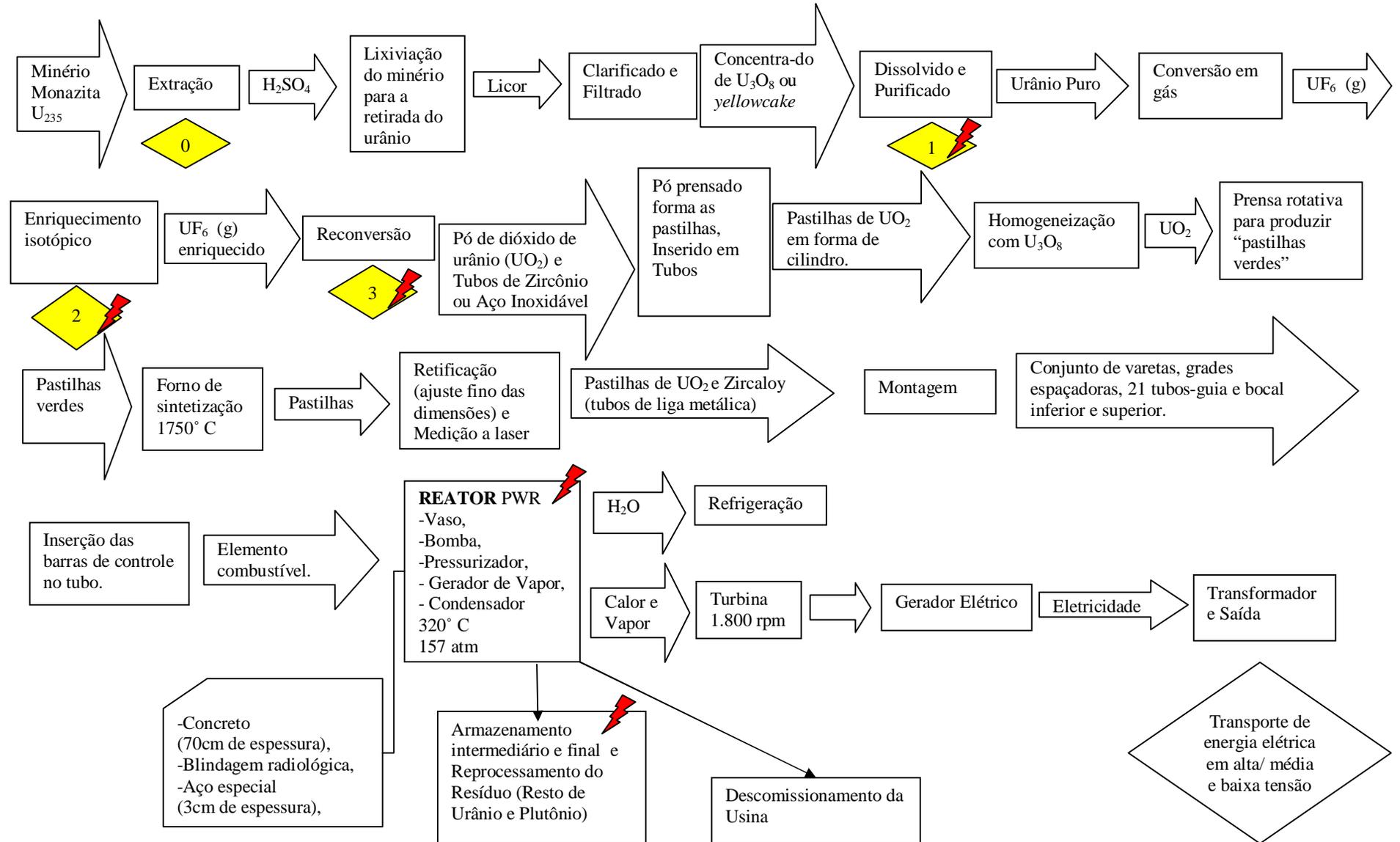
ZILLES, Roberto. Energia solar pode ser economicamente viável no país em até cinco anos. São Paulo, 27 de out. de 2009. **Jornal da Energia**. Disponível em <http://www.jornaldaenergia.com.br/ler_noticia.php?id_noticia=1838> Acesso em: maio 2010.

ZILLES, Roberto; OLIVEIRA, Sérgio H. F. de; **O preço do Wp e o custo do kWh fornecido por sistemas interligados à rede elétrica**. Instituto de Eletrotécnica e Energia. USP. Universidade de São Paulo. [S.d]

TRABALHOS PUBLICADOS DURANTE O MESTRADO

GUERRA, Sinclair; GONZALEZ, Mariana. *Novas Trajetórias Energéticas*. Universidad de Málaga. Eumed.net. 2009. Disponível em: <<http://www.eumed.net/libros/2009d/610/>> Acesso em: junho 2010.

MARCZEWSKI, Breitner; GONZALEZ, Mariana P.; OLIVEIRA, Sérgio H. F. *Reservas de Quartzos no Brasil*. Planejamento e Indústria Fotovoltaica. UFABC - Universidade Federal do ABC. 2010.

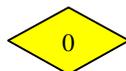
ANEXO I - FLUXOGRAMA DA ENERGIA NUCLEAR - Pressurizer Water Reactor (PWR)


LEGENDA

1 milha náutica = 1,852 km.

CAMECO (Saskatoon, Canadá)

URENCO (Nederland, Amsterdam)



Caetité/BA



Caetité/BA → **655 km rodoviário** → Salvador/BA → **14.112, 24 km marítimo** → Vancouver/Canadá → **1.682 km rodoviário** → Saskatoon/ Canadá.



Saskatoon/ Canadá → **1682 km rodoviário** → Vancouver/Canadá → **16.462,428 km marítimo** → Nederland, Amsterdam



Nederland, Amsterdam → **9.761,892 km marítimo** → Rio de Janeiro/RJ → **164 km rodoviário** → Resende/RJ.



Principais pontos encontrados que apresentam potencial de desenvolvimento.

ANEXO II - FLUXOGRAMA DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

