



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Engenharia

# Análise de um Projecto de Investimento na Energia Nuclear em Portugal

Pedro Tiago Marques Flores

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia e Gestão Industrial**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor João Paulo da Silva Catalão  
Co-orientador: Prof. Doutor João Carlos de Oliveira Matias

Covilhã, Outubro de 2011



# Agradecimentos

Tenho muito que agradecer a várias pessoas pela ajuda e disponibilidade que demonstraram ao longo deste ano.

Assim, começo por agradecer aos meus orientadores, Prof. Doutor João Catalão e Prof. Doutor João Matias, por todo o auxílio e disponibilidade que demonstraram ao longo deste período, pelas críticas e sugestões relevantes feitas durante a orientação, bem como todo o conhecimento que partilharam comigo relativamente ao tema, factores fundamentais para o sucesso do trabalho realizado.

Aproveito também para agradecer ao Prof. Doutor Pedro Silva da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, por toda a paciência e tempo despendido para me explicar os procedimentos de análise económica de investimentos.

Gostaria de estender os meus agradecimentos a todos aqueles de uma forma ou de outra, foram ajudando anonimamente ao longo destes meses.

Por último uma palavra de apreço e admiração á minha família pela confiança que me inculiram ao longo dos meus anos de vida. Sei que é a vós que devo o facto de ser aquilo que sou hoje.

# Resumo

Face ao aumento do consumo anual de electricidade verificado em Portugal e ao aumento dos preços dos combustíveis fósseis, é imperativo diversificar as fontes de energia disponíveis. A energia nuclear, no que concerne ao efeito de estufa, é menos nociva para o ambiente e constitui uma solução alternativa à dependência dos combustíveis fósseis.

A energia nuclear continua a ser uma interessante área de pesquisa e estudo, não só para melhorar ainda mais a segurança, mas também para minorar a questão dos resíduos nucleares. Os reactores que actualmente estão a ser construídos possuem significativas melhorias relativamente a modelos anteriores, permitindo uma maior segurança para as populações vizinhas às centrais nucleares.

A construção de uma central nuclear apresenta uma série de riscos associados (custos de capital, custos de operação e manutenção, custos de combustível e desmantelamento), sendo necessário reduzi-los de modo a que se consiga gerir a central de modo mais eficiente, ao longo do seu ciclo de vida, visando um investimento rentável.

No sentido de informar sobre a potencial solução que esta tecnologia apresenta, esta dissertação explica em detalhe a tecnologia usada actualmente e apresenta uma inovadora avaliação económica da construção de um reactor nuclear em Portugal, considerando vários cenários plausíveis e propondo ainda duas localizações possíveis para a central.

## Palavras-chave

Energia Nuclear, Investimento, Urânio, Ciclo de Combustível, Portugal.

# Abstract

Due to the increase in annual electricity consumption occurring in Portugal and the rising price of fossil fuels, it is imperative to diversificate the energy sources available. Nuclear energy, regarding the greenhouse effect, is less harmful for the environment and represents an alternative solution to the fossil fuels dependency.

Nuclear energy remains an interesting field of research and study, not only to improve safety even further, but also to address the issue of nuclear waste. Reactors that are currently being built have substantial improvements over previous models, enabling greater security for people living near nuclear power plants.

The construction of a nuclear power plant has a number of risks associated (capital costs, operation and maintenance costs, fuel and decommissioning costs), that need to be reduced so that a more efficient management of the power plant can be achieved, throughout its life cycle, envisaging a profitable investment.

To inform about the potential solution this technology provides, this dissertation explains in detail the technology currently used and presents an innovative economic evaluation of building a nuclear reactor in Portugal, considering several plausible scenarios and proposing also two possible locations for the power plant.

# Keywords

Nuclear Energy, Investment, Uranium, Fuel Cycle, Portugal.

# Índice

Lista de Figuras .....	ix
Lista de Tabelas .....	xi
Lista de Acrónimos .....	xii
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>1</b>
1. Introdução .....	1
1.1 Objectivos .....	2
1.2 Organização da dissertação .....	2
<b>Capítulo 2 .....</b>	<b>4</b>
2. Física Nuclear .....	4
2.1 Átomo .....	4
2.2 Radioactividade .....	6
2.3 Reacções nucleares .....	11
2.3.1 Cisão nuclear .....	12
2.3.2 Fusão nuclear .....	13
<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>14</b>
3. Tecnologia nuclear .....	14
3.1 Central nuclear .....	14
3.2 Reactor nuclear .....	15
3.2.1 Evolução dos reactores nucleares .....	17
3.2.2 EPR .....	20
3.3 Combustível Nuclear .....	22
3.3.1 Urânio .....	22
3.3.2 Ciclo combustível nuclear .....	23
3.3.2.1 Extracção .....	24
3.3.2.2 Purificação e conversão .....	25
3.3.2.3 Enriquecimento .....	25
3.3.2.4 Fabrico.....	25
3.3.2.5 Utilização .....	26
3.3.3 Tipo de ciclo de combustível .....	26
3.3.3.1 Ciclo aberto de combustível Nuclear .....	26
3.3.3.2 Ciclo fechado de combustível Nuclear .....	27
3.4 Segurança .....	28
3.4.1 Escala INES .....	30

3.4.1.1 Definição dos níveis da escala .....	32
3.4.2 Resíduos Radioactivos .....	33
3.4.3 Acidentes Nucleares .....	36
3.4.3.1 Chernobyl .....	37
3.4.3.2 Fukushima .....	39
<b>Capítulo 4</b> .....	<b>41</b>
4. Implantação da Energia nuclear no Mundo .....	41
4.1 Evolução histórica .....	41
4.2 Ressurgimento .....	43
4.2.1 Causas do ressurgimento .....	44
4.2.2 A aceitação pelo público .....	45
4.3 Implantação mundial da energia nuclear .....	46
4.4 Caso finlandês .....	51
4.5. Portugal e a energia nuclear .....	54
4.5.1 História do nuclear em Portugal .....	54
4.6 Sistema eléctrico português .....	57
4.6.1 Produção de electricidade .....	57
4.6.2 Transmissão de Electricidade .....	58
4.6.3 Distribuição de Electricidade .....	58
4.6.4 Comercialização de Electricidade .....	58
4.6.5 Operação dos Mercados de Electricidade .....	59
4.6.6 Logística na Mudança de Comercializador .....	59
4.7 Caracterização da rede nacional de transporte .....	59
4.7.1 Consumo .....	59
4.7.2 Produção .....	63
4.7.3 Interligação internacional .....	68
<b>Capítulo 5</b> .....	<b>70</b>
5. Estudo económico e energético .....	70
5.1 Parâmetros de análise .....	71
5.1.1 Custos de capital .....	72
5.1.2 Custos de operação e manutenção .....	73
5.1.3 Custo com o combustível .....	73
5.1.4 Custos de desmantelamento .....	74
5.2 Oferta e procura de Urânio .....	74
5.3 Externalidades .....	77
5.4 A realidade portuguesa .....	79
5.4.1 Reservas de urânio .....	79
5.4.2 Localização .....	80

5.5 Análise Económica .....	83
5.5.1 Cenário base .....	83
5.5.2 Cenário I - Duplicação do preço do combustível .....	86
5.5.3 Cenário II - Duplicação da potência instalada .....	88
5.5.4 Cenário III - Duplicação do investimento inicial .....	89
5.5.5 Cenário IV - Aumento de 50 % nos pressupostos económicos .....	90
<b>Capítulo 6</b> .....	<b>92</b>
6. Análise SWOT.....	92
6.1 Forças.....	93
6.2 Fraquezas .....	95
6.3 Oportunidades .....	97
6.4 Ameaças .....	98
<b>Capítulo 7</b> .....	<b>102</b>
7. Considerações Finais .....	102
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	<b>104</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>108</b>

# Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> - Teoria do núcleo atómico .....	4
<b>Figura 2</b> - Curva do número de neutrões N em função do número de prótons Z.....	6
<b>Figura 3</b> - Tipos de radioactividade .....	7
<b>Figura 4</b> - Penetração da radiação .....	8
<b>Figura 5</b> - Decaimento radioactivo .....	9
<b>Figura 6</b> - Medida de radiação de fonte radioactiva.....	10
<b>Figura 7</b> - Energia libertada numa reacção nuclear em função da massa atómica .....	11
<b>Figura 8</b> - Reacção de Cisão .....	12
<b>Figura 9</b> - Reacção de fusão .....	13
<b>Figura 10</b> - Esquematização de uma central nuclear.....	15
<b>Figura 11</b> - Esquematização de um reactor tipo EPR.....	16
<b>Figura 12</b> - Evolução tecnológica dos reactores de cisão nuclear .....	17
<b>Figura 13</b> - Sistemas de Segurança do reactor EPR .....	21
<b>Figura 14</b> - Esquematização do European Pressurized Reactor .....	21
<b>Figura 15</b> - Esquematização do átomo de Urânio .....	22
<b>Figura 16</b> - Processo de cisão do Urânio .....	23
<b>Figura 17</b> - Esquematização do ciclo do combustível nuclear .....	24
<b>Figura 18</b> - Ciclo de combustível nuclear aberto .....	26
<b>Figura 19</b> - Ciclo de combustível nuclear fechado .....	27
<b>Figura 20</b> - Ciclo de combustível nuclear fechado .....	28
<b>Figura 21</b> - Esquematização das barreiras de segurança de uma central nuclear .....	30
<b>Figura 22</b> - Escala INES .....	31
<b>Figura 23</b> - Produção anual de resíduos na EU .....	33
<b>Figura 24</b> - Gestão de resíduos radioactivos .....	35
<b>Figura 25</b> - Sistema de barreiras múltiplas para armazenagem de resíduos radioactivos a grande profundidade .....	36
<b>Figura 26</b> - Central de Chernobyl após a explosão do reactor 4.....	38
<b>Figura 27</b> - Central de Fukushima após o terramoto de 11 de Março de 2011 .....	39
<b>Figura 28</b> - Reactores nucleares comerciais no Mundo .....	47
<b>Figura 29</b> - Fontes energéticas primárias usadas para a produção de electricidade no Mundo .....	47
<b>Figura 30</b> - Produção de electricidade por via nuclear e cota de mercado respectiva .....	48
<b>Figura 31</b> - Geração de electricidade a partir do nuclear em 2007.....	48
<b>Figura 32</b> - Evolução do consumo semanal de 2009 .....	60
<b>Figura 33</b> - Evolução do consumo .....	60
<b>Figura 34</b> - Pontas na rede em 2009 .....	61

<b>Figura 35</b> - Evolução do consumo de electricidade na última década.....	61
<b>Figura 36</b> - Distribuição dos consumos por sector económico .....	62
<b>Figura 37</b> - Cenários de evolução dos consumos e respectivas pontas .....	62
<b>Figura 38</b> - Potência instalada e ponta máxima anual (PRO + PRE).....	64
<b>Figura 39</b> - Energia emitida para a rede por tipo de central no biénio de 2008-2009 .....	64
<b>Figura 40</b> - Emissão de produção em regime especial .....	66
<b>Figura 41</b> - Evolução espectável do sistema electroprodutor nacional.....	67
<b>Figura 42</b> - Estrutura do abastecimento na média dos regimes, em 2020 .....	67
<b>Figura 43</b> - Movimento comercial nas interligações .....	68
<b>Figura 44</b> - Movimentos nas linhas de interligação internacional em 2009 .....	68
<b>Figura 45</b> - Cenário de referência de evolução dos consumos, evolução 2009-2013 e 2020 ...	69
<b>Figura 46</b> - Cotação do barril de Brent nos últimos 5 anos.....	70
<b>Figura 47</b> - Cash-flow de uma central nuclear ao longo da sua vida útil.....	71
<b>Figura 48</b> - Custos de uma central nuclear .....	72
<b>Figura 49</b> - Variação da cotação do urânio nos últimos 15 anos.....	77
<b>Figura 50</b> - Custos externos médios de geração de electricidade na EU em 1999 (Milhares de Euros) .....	78
<b>Figura 51</b> - Custos externos médios de geração de electricidade na EU em 2005 .....	78
<b>Figura 52</b> - Reservas nacionais de Urânio .....	80
<b>Figura 53</b> - Risco sísmico em Portugal Continental .....	81
<b>Figura 54</b> - Indicadores financeiros do projecto para o cenário base.....	86
<b>Figura 55</b> - Indicadores financeiros do projecto para o cenário I .....	87
<b>Figura 56</b> - Indicadores financeiros do projecto para o cenário II.....	88
<b>Figura 57</b> - Indicadores financeiros do projecto para o cenário IV.....	90
<b>Figura 58</b> - Matriz de análise SWOT .....	92
<b>Figura 59</b> - Matriz da análise SWOT para um Investimento na energia nuclear em Portugal. 100	

# Lista de Tabelas

Tabela 1 - Exemplo de isótopos radioactivos .....	10
Tabela 2 - Modelos dos reactores nucleares que estavam em operação em 2006 .....	18
Tabela 3 - Reactores Nucleares existentes e Urânio requerido.....	49
Tabela 4 - Previsão da potência electronuclear até 2030 .....	51
Tabela 5 - Reactores em funcionamento na Finlândia .....	53
Tabela 6 - Reactores em construção e planeados na Finlândia.....	54
Tabela 7 - Potência Instalada em 2009 .....	63
Tabela 8 - Dados gerais de produção e consumo no SEN.....	65
Tabela 9 - Custos de operação e manutenção das centrais nucleares dos EUA entre 1980 e 2003 .....	73
Tabela 10 - Custos com o combustível das centrais nucleares dos EUA entre 1980 e 2003 ....	73
Tabela 11 - Concentrações típicas de urânio .....	74
Tabela 12 - Recurso naturais conhecidos de urânio em 2009 .....	75
Tabela 13 - Custos externos na produção de electricidade na EU em 2001 (cêntimos de euro/kWh) .....	79
Tabela 14 - Características técnicas do projecto - Cenário Base.....	83
Tabela 15 - Pressupostos económicos .....	84
Tabela 16 - Indicadores financeiros do projecto para o cenário base .....	85
Tabela 17 - Custos médios de produção de produção para o cenário base .....	86
Tabela 18 - Indicadores financeiros dos projectos para o cenário I.....	87
Tabela 19 - Custos médios de produção para o cenário I .....	87
Tabela 20 - Indicadores financeiros do projecto para o cenário II .....	88
Tabela 21 - Custos médios de produção para o cenário II .....	89
Tabela 22 - Custos médios de produção para o cenário III .....	90
Tabela 23 - Indicadores financeiros do projecto para o cenário IV .....	90
Tabela 24 - Custos médios de produção para o cenário IV .....	91

# Lista de Acrónimos

A - Número de massa do núcleo  
ABWR - *Advanced Boiling Water Reactor*  
AHWR - *Advanced Heavy Water Reactor*  
AIEA - Agência Internacional de Energia Atómica  
Bq - Becquerel  
BWR - *Boiling Water Reactor*  
CAESAR - *Clean And Environmentally Safe Advance Reactor*  
CCGT - *Combined Cycle Gas Turbine*  
Ci - Curie  
CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono  
DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia  
DL - Decreto-Lei  
EBR-1 - *Experimental Breeder*  
EDF - *Électricité de France S.A.*  
EDP - Energias de Portugal, S.A.  
ENTSO-E - *European Network of Transmission System Operators for Electricity*  
EPR - *European Pressurized Reactor*  
ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos  
EU - União Europeia  
EUA - Estados Unidos da América  
EURATOM - *European Atomic Energy Community*  
FBR - *Fast Breeder Reactor*  
GFR - *Gas-cooled Fast Reactor*  
GIF - *Generation IV International Forum*  
HTGCR - *High Temperature Gas Cooled Reactor*  
INETI - Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial  
IPCC - *International Panel on Climate Change*  
ITN - Instituto Tecnológico e Nuclear  
JEN - Junta de Energia Nuclear  
LFEN - Laboratório de Física e Engenharia Nucleares  
LFR - *Lead-cooled Fast Reactor*  
MAGNOX & AGR - *Advanced Gas-Cooled Reactor*  
MIBEL - Mercado Ibérico de Electricidade  
MSR - *Molten Salt Reactor*  
N - Número de neutrões,  
OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

**OLMC** - Operador Logístico de Mudança de Comercializador  
**PBMR** - *Pebble Bed Modular Reactor*  
**PEN** - Plano Energético Nacional  
**PHWR** - *Pressurised Heavy Water Reactor*  
**PNAC** - Programa Nacional para as Alterações Climáticas  
**PRE** - Produtores em regime especial  
**PRI** - Período de Recuperação  
**PRO** - Produtores em regime ordinário  
**PWR** - *Pressurised Water Reactor*  
**RBMK** - *Reactor Bolshoy Moshchnosty Kanalny*  
**REN** - Rede Eléctrica Nacional, S.A.  
**SCWR** - *SuperCritical Water-cooled Reactor*  
**SEN** - Sistema Eléctrico Nacional  
**SFR** - *Sodium-cooled Fast Reactor*  
**tH** - Tempo meia-vida  
**TIR** - Taxa Interna de Rentabilidade  
**TVO** - Teollisuuden Voima Oy  
**U<sup>235</sup>** - Urânio-235  
**U<sup>238</sup>** - Urânio-238  
**U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>** - Óxido concentrado de Urânio  
**UF<sub>6</sub>** - Hexafluoreto de Urânio  
**UO<sub>2</sub>** - Óxido de Urânio  
**VAL** - Valor Actual Líquido  
**VHTR** - *Very High Temperature Reactor*  
**WNA** - *World Nuclear Association*  
**Z** - Número atómico do átomo

# Capítulo 1

## 1. Introdução

O sector da energia vai sofrer uma revolução como já não se assistia desde 1890-1920, quando o carvão atingiu o seu máximo histórico e emergiram o petróleo e, mais tarde, o gás natural.

Existem três razões para explicar esta mudança:

- O pico do petróleo estará próximo;
- O disparo do preço do crude desde 1999;
- A pressão da consciência ecológica.

Na Europa existem ainda duas razões de vulto adicionais, cada vez mais presentes na agenda política:

- O custo económico crescente das emissões de carbono;
- A consciência crescente do risco geopolítico inerente à dependência do fornecimento de gás natural pela Rússia e países da ex-URSS, países do Médio Oriente e pelo Magrebe (Rodrigues *et al.*, 2006).

Face ao crescente consumo de energia por parte de Portugal ao longo dos últimos anos, torna-se necessário que o país actualize o seu parque produtor de energia eléctrica, de forma a fazer frente ao crescente aumento do consumo de electricidade.

Outro factor a ter em conta é o aumento de preço dos combustíveis fósseis.

A produção de energia eléctrica a partir dos combustíveis fósseis é a maior contribuidora das emissões de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), gás de efeito de estufa, contribuindo para o aquecimento global.

A energia nuclear pode ser importante para a produção de energia eléctrica, quando o preço das emissões atingirem um valor elevado. A substituição das centrais térmicas a carvão e a fuel, por centrais a gás já é uma opção menos nefasta para o ambiente, mas pode não ser uma opção suficiente no que toca a emissões de gases com efeito de estufa.

Esta energia permitiria ao país uma diminuição da dependência energética do exterior e uma redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

## 1.1 Objectivos

O objectivo geral desta dissertação, é efectuar um estudo detalhado sobre a energia nuclear, recriando um modelo económico de modo a permitir calcular os custos associados à construção e exploração de uma central nuclear em Portugal, tal como Risto Tarjanne e Kari Luostarinen fizeram na Finlândia (Tarjanne, *et al.*, 2003).

Assim, de modo a se adquirir uma melhor compreensão da tecnologia nuclear, é necessário analisar os conceitos da física nuclear e o funcionamento das reacções nucleares, tendo sido traçados os seguintes objectivos específicos:

- Conhecer o funcionamento de uma central nuclear e analisar os últimos desenvolvimentos tecnológicos ao nível dos reactores;
- Compreender o ciclo do combustível nuclear, de modo a entender de onde provém o Urânio e analisar o que se faz com os seus resíduos no fim do ciclo de vida;
- Analisar a evolução da produção e consumo da energia nuclear no mundo, de modo a entender a escolha desta forma de energia em detrimento de outras, estudando o exemplo finlandês;
- Verificar a situação energética a nível nacional, analisando a potência instalada e consumida anualmente, bem com, as previsões até ao ano 2020.

## 1.2 Organização da dissertação

Esta dissertação encontra-se estruturada em 7 capítulos.

No capítulo 1 apresenta-se uma introdução a todo o trabalho.

No capítulo 2 elabora-se uma breve descrição da física nuclear, a estrutura do átomo e os vários tipos de decaimentos radioactivos existentes, explicando o tempo de meia vida de um isótopo e o processo de reacções nucleares.

No capítulo 3 aborda-se a tecnologia nuclear actual, dando também ênfase aos últimos desenvolvimentos tecnológicos. Apresenta-se o ciclo do combustível nuclear, analisando todas as actividades pelas quais este tem de passar até à sua disposição final. Explicam-se as principais diferenças entre o ciclo aberto e o ciclo fechado. Por fim, são analisadas as questões de segurança relacionadas não só com a central propriamente dita e os trabalhadores da central, mas também com as populações envolventes e o meio ambiente.

No capítulo 4 é elaborada a descrição da evolução da energia nuclear a nível mundial. Analisa-se a situação finlandesa e o porquê da construção de um novo reactor, e efectua-se ainda uma análise à situação energética nacional, caracterizando a rede energética nacional.

No capítulo 5 efectua-se o estudo económico do investimento na energia nuclear, analisando os vários parâmetros disponíveis. É elaborada uma inovadora análise económica detalhada da construção de uma central nuclear em Portugal, sendo analisados vários cenários.

No capítulo 6, complementa-se a avaliação económica realizada no capítulo anterior com uma análise SWOT.

Finalmente, no capítulo 7, apresentam-se as conclusões acerca do trabalho realizado e identificam-se possíveis trabalhos futuros nesta temática.

## Capítulo 2

### 2. Física Nuclear

#### 2.1 Átomo

No final do século XIX o átomo era descrito como uma pequena “bola de matéria” com carga eléctrica positiva, no interior do qual se espalhavam os electrões, fáceis de arrancar.

Mas, em 1911, o físico Ernest Rutherford propôs uma teoria nuclear para a estrutura do átomo. Esta teoria baseou-se nos resultados obtidos pelas experiências de Geiger e Marsden. Nestas experiências era incidido um feixe de partículas  $\alpha$  numa folha de ouro muito fina. Estes cientistas verificaram que a maior parte das partículas  $\alpha$  atravessavam o alvo, mas algumas eram fortemente desviadas da sua trajectória inicial. Rutherford admitiu que estas partículas eram desviadas por um campo eléctrico muito intenso, cuja origem atribuiu à existência no átomo de uma parte central de dimensão muito reduzida, o núcleo, onde se concentraria toda a carga positiva, sendo o espaço exterior ocupado pelos electrões. Esta teoria - Teoria do Núcleo Atómico (Figura 1) - ainda hoje é aceite.

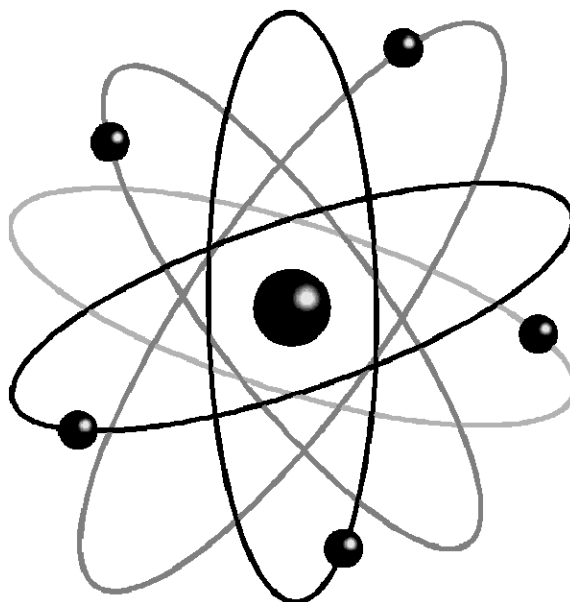


Figura 1- Teoria do núcleo atómico.

(fonte: Aguilera, 1997)

Em 1932 provou-se a existência do neutrão, uma nova partícula desprovida de carga eléctrica (Oliveira *et al.*, 2000).

O núcleo de um átomo possui apenas dois tipos de partículas, os prótons e os neutrões, que por sua vez possuem aproximadamente a mesma massa (a massa do neutrão é apenas aproximadamente 0.2% superior à do próton). O próton tem carga positiva, e o neutrão não tem carga. O número de prótons,  $Z$ , é o número atómico do átomo, que é também igual ao número de electrões no átomo. O número de neutrões,  $N$ , é aproximadamente igual a  $Z$  para núcleos leves e para núcleos mais pesados; o número de neutrões é significativamente maior que  $Z$ . O número total de nucleões<sup>1</sup> é representado pela seguinte expressão:

$$A = N + Z \quad (1)$$

sendo  $A$  o número de massa do núcleo.

Um tipo particular de núcleo é chamado de nuclídeo. Dois ou mais nuclídeos com o mesmo número atómico  $Z$  e com diferentes números de  $N$  e  $A$  são chamados de isótopos. Um nuclídeo particular é designado pelo seu símbolo atómico com o número de massa  $A$  indicado na forma de um sobrescrito à esquerda. O elemento mais leve o Hidrogénio, e possui três isótopos: o Hidrogénio comum ( $^1\text{H}$  cujo núcleo contém apenas um único próton), o deutério ( $^2\text{H}$  cujo núcleo contém um próton e um neutrão), e o Trítio ( $^3\text{H}$  cujo núcleo contém um próton e dois neutrões). Embora a massa do Deutério seja cerca de duas vezes maior do que a massa do átomo de Hidrogénio comum e a massa do Trítio seja cerca de três vezes superior, estes três átomos possuem praticamente as mesmas propriedades químicas, uma vez que cada um deles possui apenas um electrão.

Em média existem três isótopos estáveis para cada elemento, embora alguns átomos possuam apenas um isótopo estável, enquanto outros têm cinco ou seis. O isótopo mais comum do Hélio é o  $^4\text{He}$ . Este elemento é também conhecido como partícula  $\alpha$ .

No interior do núcleo os nucleões exercem uma grande força atractiva nas proximidades da sua vizinhança. Esta força é denominada de força nuclear. Esta é muito superior à força electrostática de repulsão entre prótons e é significativamente mais forte do que as forças gravitacionais entre nucleões. A força nuclear é aproximadamente a mesma entre dois neutrões, dois prótons, ou entre um neutrão e um próton. A força nuclear diminui rapidamente com a distância e é desprezível quando dois núcleos estão afastados a uma distância superior a alguns fentómetros.

---

<sup>1</sup> Em física, nucleão é um próton ou um neutrão. Os nucleões compõem o núcleo atómico.

Para núcleos leves, a estabilidade é maior quando o número de protões e neutrões é aproximadamente o mesmo ( $N \approx Z$ ). Para núcleos mais pesados, a instabilidade causada pela repulsão electrostática entre protões é minimizada quando existem mais neutrões que protões. Esta condição pode ser observada nos isótopos mais abundantes de alguns elementos:

$${}^{16}_8\text{O} \text{ onde } N = 8 \text{ e } Z = 8$$

$${}^{238}_{92}\text{U} \text{ onde } N = 146 \text{ e } Z = 92$$

A Figura 2 apresenta a curva de N em função de Z para os núcleos estáveis conhecidos. A curva aproxima-se da recta  $N = Z$  para pequenos valores de N e Z (Tipler *et al.*, 2006).

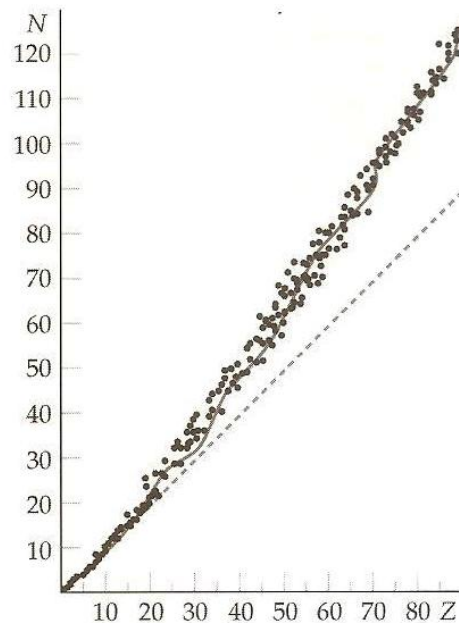


Figura 2 - Curva do número de neutrões N em função do número de protões Z.  
(fonte: Tipler *et al.*, 2006)

## 2.2 Radioactividade

Muitos núcleos são radioactivos, isto é, eles decaem para outros núcleos pela emissão de partículas como fotões, electrões, neutrões ou ainda partículas  $\alpha$ . Os termos de decaimento  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  foram utilizados antes de se descobrir que as partículas  $\alpha$  são núcleos de  ${}^4\text{He}$ ,  $\beta$  são electrões ( $\beta^-$ ) ou positrão<sup>2</sup> ( $\beta^+$ ) e  $\gamma$  são fotões (Figura 3).

<sup>2</sup> Positrão é a antipartícula do electrão, também designada de anti-eletrão.

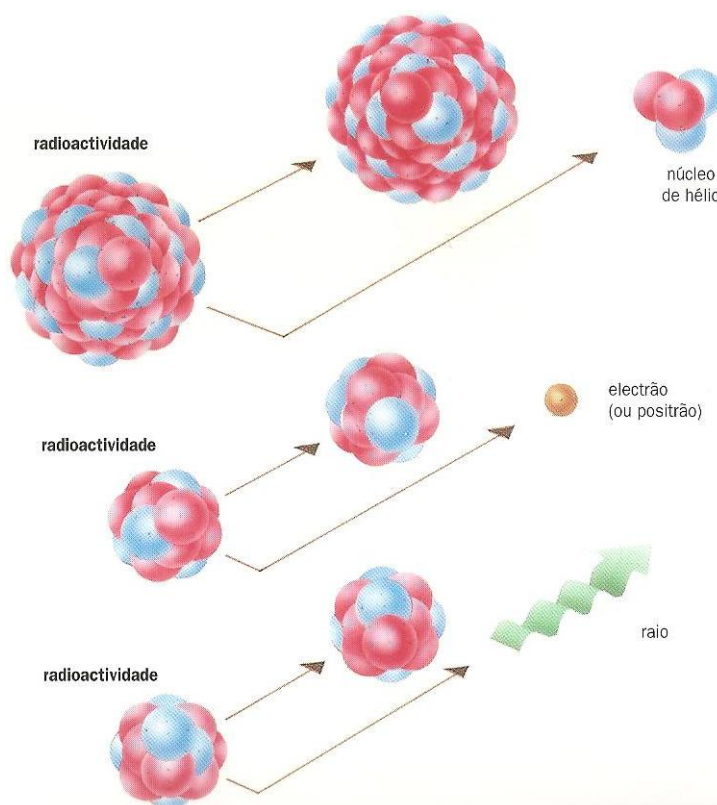


Figura 3 - Tipos de radioatividade.  
(fonte: Bourdial, 2001)

O decaimento  $\beta$  ocorre em núcleos que necessitam de uma quantidade muito grande ou muito pequena de neutrões para serem estáveis. No decaimento  $\beta$ ,  $A$  permanece constante, enquanto  $Z$  aumenta 1 (decaimento  $\beta^-$ ) ou diminui 1 (decaimento  $\beta^+$ ). O exemplo mais simples de decaimento  $\beta$  é o decaimento de um neutrão livre em um próton e um electrão.

No decaimento  $\gamma$ , um núcleo num estado excitado decai para um estado de energia mais baixo emitindo um fóton. Ao contrário dos decaimentos  $\beta$  e  $\alpha$ , nem o número de massa  $A$ , nem o número atômico  $Z$ , variam durante o decaimento. Por norma este decaimento só é observado porque se segue a um decaimento  $\alpha$  ou  $\beta$ . A vida-média deste decaimento é geralmente muito curta.

Quando um núcleo emite uma partícula  $\alpha$ ,  $N$  e  $Z$  diminuem de 2 e  $A$  de 4. Geralmente, o núcleo obtido também é radioactivo e decai por emissão  $\alpha$  ou  $\beta$ , ou ambas.

A radiação  $\alpha$  tem muita energia e é a mais perigosa dos três tipos de radiação. Contudo, uma folha de papel é suficiente para travar estes raios. A radiação  $\gamma$  consiste em fótons que têm uma frequência maior e um comprimento de onda menor que a luz, tendo menos energia que a radiação  $\alpha$  mas podendo percorrer grandes distâncias. É necessária uma parede de betão para a protecção contra raios  $\gamma$  (Figura 4) (Tipler *et al.*, 2006).

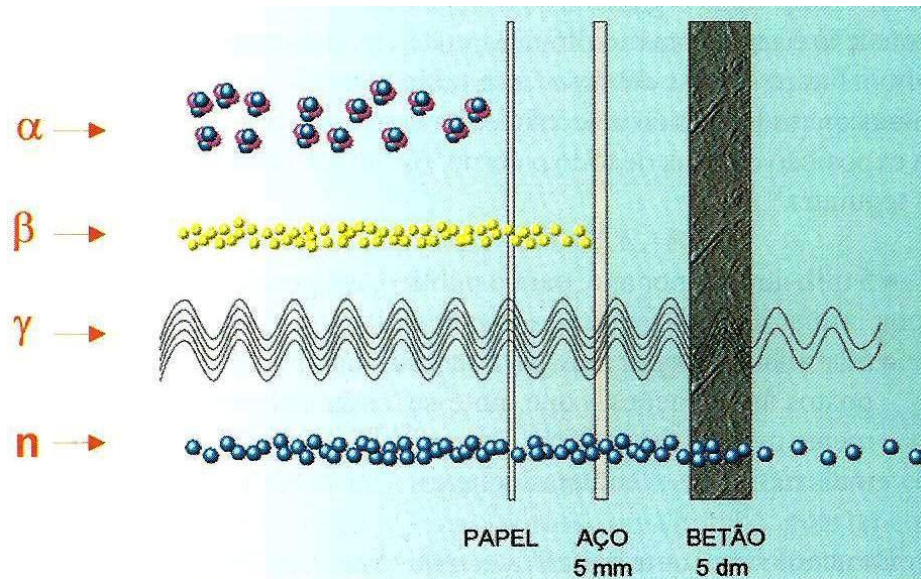
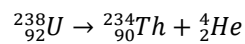


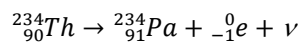
Figura 4 - Penetração da radiação.  
(fonte: Oliveira *et al.*, 2000)

O processo ocorre nos minérios do solo, nas fibras das plantas, nos tecidos animais, no ar e na água, que contêm todos traços de elementos radioactivos.

Muitos dos elementos pesados são radioactivos. Um exemplo é o decaimento do principal isótopo do Urânio na reacção:



A partícula  $\alpha$  libertada é simplesmente o Hélio. O novo isótopo do Tório é também radioactivo, obedecendo à transformação (Murray, 2004):



A taxa à qual uma substância radioactiva se desintegra depende da espécie isotópica, mas existe uma lei de decaimento bem definida que orienta o processo. Num dado período de tempo, por exemplo um segundo, cada núcleo de uma dada espécie isotópica tem a mesma probabilidade de decair. Se pudéssemos observar um núcleo, este poderia decair no instante seguinte, alguns dias depois ou mesmo centenas de anos depois. Este comportamento é descrito por tempo de meia-vida  $t_H$ , que é o tempo requerido para que metade dos núcleos decaia.

A taxa de decaimento não se mantém constante ao longo do tempo, mas diminui exponencialmente. Essa dependência exponencial do tempo é uma característica de todos os fenómenos radioactivos, e indica que o decaimento radioactivo é um processo estatístico.

Como cada núcleo é bem isolado dos demais através dos electrões, as variações de pressão e temperatura têm pouco efeito sobre a taxa de decaimento radioactivo ou qualquer outra propriedade nuclear (Tipler *et al.*, 2006).

Se num instante zero com  $N_0$  núcleos, após um intervalo  $t_H$ , haverá  $N_0/2$ , depois com o passar do tempo para  $2t_H$  haverá  $N_0/4$ , e assim sucessivamente. A Figura 5 apresenta o número de núcleos em função do tempo. Para qualquer instante  $t$  na curva, a taxa do número de núcleos presentes para o número inicial é dada por:

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_H}} \quad (2)$$

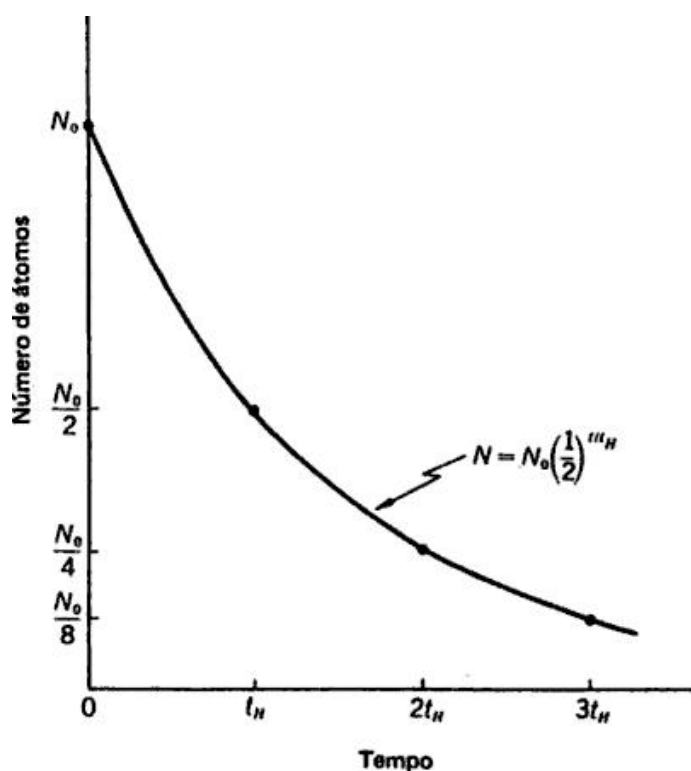


Figura 5 - Decaimento radioactivo.  
(fonte: Murray, 2004)

As meias-vidas variam de fracções mínimas de segundo a biliões de anos, com cada isótopo radioactivo tendo uma meia-vida bem definida. A Tabela 1 apresenta vários exemplos de materiais radioactivos com as suas emissões, isótopos produzidos e meias-vidas. As energias de partículas  $\beta$  emitidas só têm  $1/3$  dessa energia. Na Tabela 1 incluem-se isótopos radioactivos naturais e artificiais (radioisótopos).

Tabela 1 - Exemplo de isótopos radioactivos.  
(fonte: Murray, 2004)

Isótopo	Meia-Vida	Tipo	Radiações principais
			Energia (MeV)
Neutrão	10,6 m	$\beta$	0,782
Tritio	12,33 a	$\beta$	0,0186
Carbono 14	5730 a	$\beta$	0,155
Sódio 24	15,03 h	$\beta$	1,389; $\gamma$ 1,369 2,754
Fósforo 32	14,28 d	$\beta$	1,711
Potássio 40	1,28 x 10 <sup>9</sup> a	$\beta$	1,325
Árgon 41	1,83 h	$\beta$	1,198; $\gamma$ 1,294
Cobalto 60	5,271 a	$\beta$	0,318; $\gamma$ 1,173 1,332
Krípton 85	1,07 a	$\beta$	0,672; $\gamma$ 0,517
Estrôncio 90	28,8 a	$\beta$	0,546
Iodo 131	8,040 d	$\beta$	0,606
Xénon 135	9,10 h	$\beta$	0,905
Césio 137	30,17 a	$\alpha$	0,512
Rádio 226	1,60 x 10 <sup>3</sup> a	$\alpha$	4,78
Urânio 235	7,038 x 10 <sup>8</sup> a	$\alpha$	4,40
Urânio 238	4,468 x 10 <sup>9</sup> a	$\alpha$	4,20
Plutónio 239	2,41 x 10 <sup>4</sup> a	$\alpha$	5,16

A determinação da meia-vida de um isótopo fornece parte da sua identificação para uso benéfico ou protecção contra radiação. Como se pode ver na Figura 6, um detector conta o número de partículas que o atinge é colocado perto da fonte de radiação. Pelo número da contagem observada num pequeno intervalo de tempo determinado, a taxa é calculada, sendo proporcional às taxas de emissão de partículas ou raios da amostra, e assim, à actividade  $A$  da fonte. O processo é repetido após a passagem de um certo tempo de decaimento. Os valores resultantes de actividade são registados em papel semi-logarítmico (Murray, 2004).

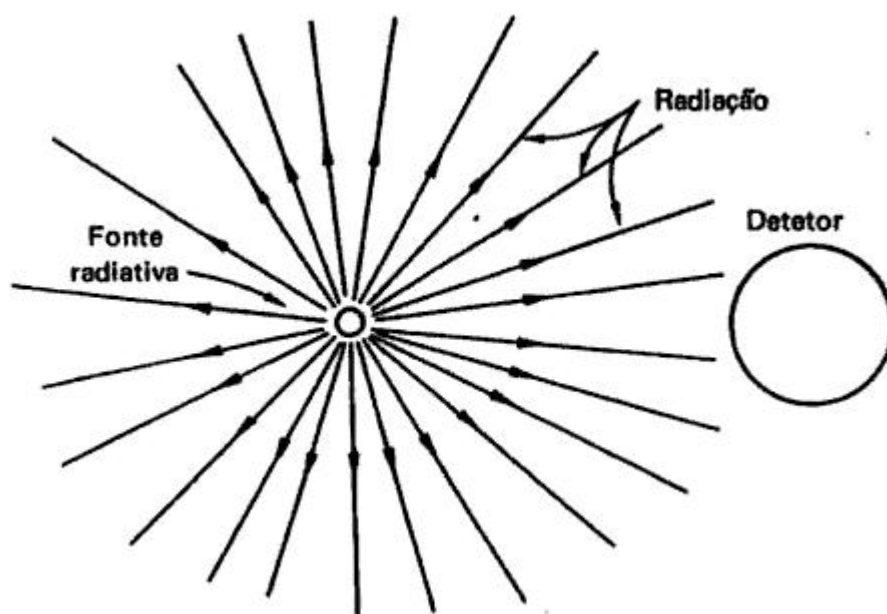


Figura 6 - Medida de radiação de fonte radioactiva.  
(fonte: Murray, 2004)

No sistema internacional de unidades, a unidade da taxa de decaimento radioactivo é o becquerel (Bq), que é definido como um decaimento por segundo: 1 Bq = 1 decaimento/s.

Uma unidade histórica aplicada a todos os tipos de radioactividade é o Curie (Ci), que é definido como: 1 Ci =  $3,7 \times 10^{10}$  decaimentos/s =  $3,7 \times 10^{10}$  Bq.

O Curie é a taxa com a qual a radiação é emitida por 1 grama de Rádio. Como essa é uma unidade muito grande, geralmente são utilizados o milicurie (mCi) ou o microcurie ( $\mu$ Ci) (Tipler *et al.*, 2006).

### 2.3 Reacções nucleares

As reacções nucleares ocorrem quando um núcleo é bombardeado por uma partícula  $\alpha$  ou por um neutrão. A reacção absorve energia (reacção endoenergética) ou liberta energia (reacção exoenergética), consoante os novos núcleos resultantes da reacção tenham maior ou menor massa do que os núcleos iniciais, isto é, se estão pior ou melhor ligados que os antigos.

A quantidade de energia por unidade de massa de um átomo depende da dimensão deste. O valor mínimo desta grandeza está contido nos átomos de média dimensão (tais como o carbono e o oxigénio). Os valores máximos estão contidos nos átomos pequenos (tais como o hidrogénio) ou muito grandes (tais como o Urânio). A análise da Figura 7 permite concluir que pode ser libertada energia (reacções nucleares exoenergéticas) partindo um átomo grande de modo a criar átomos mais pequenos (fissão ou cisão nuclear) ou combinando átomos pequenos de modo a produzir átomos maiores (fusão nuclear).

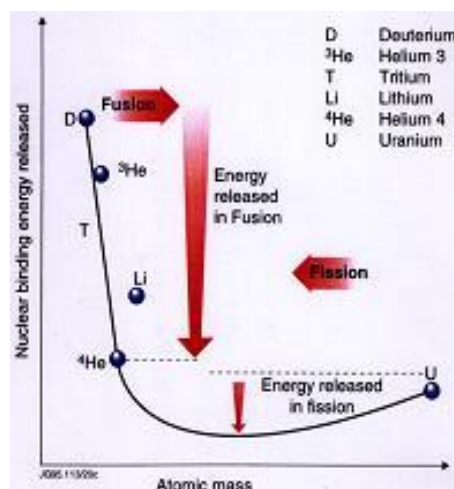


Figura 7 - Energia libertada numa reacção nuclear em função da massa atómica. (fonte: Varandas, s.d.)

Estas reacções conduzem à formação de átomos mais estáveis e à libertação de quantidades significativas de energia devido à redução da massa dos produtos das reacções em comparação com a massa dos reagentes iniciais (Varandas, s.d.).

### 2.3.1 Cisão nuclear

A Cisão nuclear consiste na desintegração de um átomo pesado e cindível, através de um conjunto, auto-sustentado, de reacções em cadeia, que produzem como produtos das reacções vários núcleos mais pequenos e alguns subprodutos como neutrões livres, raios gama e partículas alfa e beta (Figura 8).

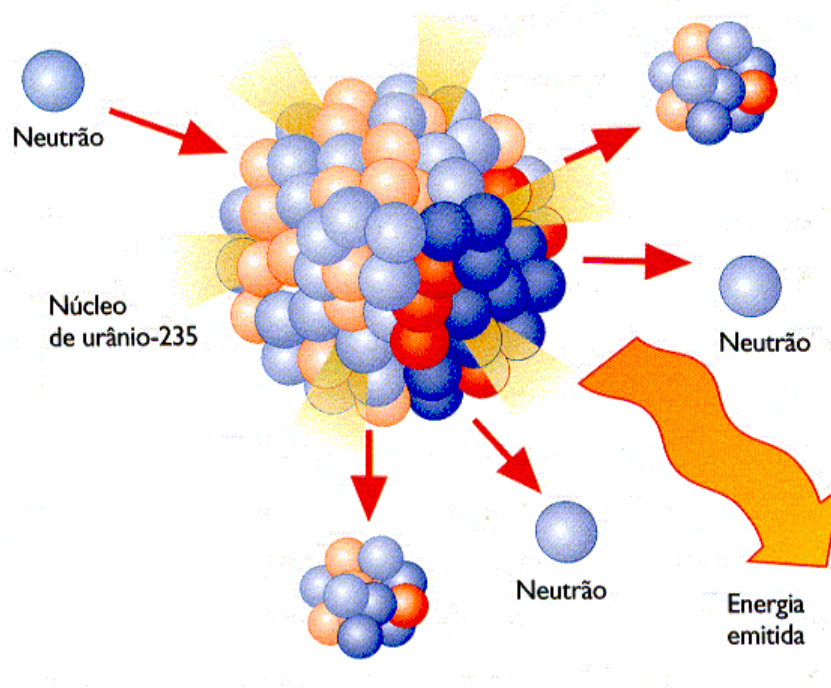


Figura 8 - Reacção de Cisão.  
(fonte: Portugal, s.d.)

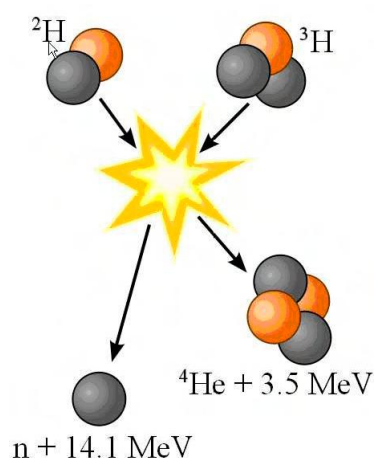
A cisão nuclear é o processo utilizado nas actuais centrais nucleares para a produção de grandes quantidades de electricidade.

As reacções de cisão ocorrem quando o núcleo pesado de um elemento cindível captura um neutrão. Os neutrões de baixa energia (lentos ou térmicos) podem causar reacções de cisão somente nos isótopos de Urânio e Plutónio com um número ímpar de neutrões ( $U^{233}$ ,  $U^{235}$  ou  $Pu^{239}$ ). A cisão de núcleos com um número par de neutrões só é possível quando o neutrão incidente possui energia maior que 1 MeV.

A primeira experiência de cisão nuclear foi realizada em 1938, em Berlim, por Otto Hahn, Lise Meitner e Fritz Stassmann. A primeira reacção em cadeia foi realizada em 1942, em Chicago, por Enrico Fermi. A geração de electricidade (100 kW) foi conseguida pela primeira vez em 1951, num reactor da classe EBR-1 em Arco, nos Estados Unidos (Varandas, s.d.).

### 2.3.2 Fusão nuclear

A fusão consiste na coalescência de dois átomos de elementos leves (Figura 9). A fusão nuclear é a fonte de energia do Universo<sup>3</sup>, que o Homem tenta reproduzir na Terra, de uma forma controlada, de modo a obter uma fonte de energia limpa, praticamente inesgotável, segura, economicamente atractiva e amiga do ambiente.



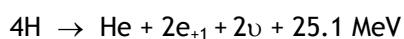
**Figura 9** - Reacção de fusão.  
(fonte: Mendes, 2009)

A fusão nuclear consiste na coalescência dos núcleos de dois átomos, com redução da massa dos produtos da reacção quando comparada com a massa dos reagentes e a consequente libertação de energia.

Uma reacção típica de fusão nuclear envolve dois átomos de hidrogénio e dois neutrões, de modo a formarem um átomo de hélio:



A fusão nuclear é o processo energético que alimenta o Sol e as outras estrelas. Uma reacção típica de fusão nas estrelas envolve quatro átomos de hidrogénio, de modo a formarem um átomo de hélio, dois positrões e dois neutrinos (Varandas, s.d.):



<sup>3</sup> A luz solar que ilumina a Terra e o calor solar que aquece o nosso Planeta são produzidos no Sol através de reacções de fusão nuclear.

## Capítulo 3

### 3. Tecnologia Nuclear

#### 3.1 Central nuclear

As centrais nucleares são instalações industriais que produzem electricidade. A produção de electricidade nestas instalações segue os mesmos princípios de uma central térmica clássica, excepto na forma como se obtém o calor. Enquanto numa central clássica a energia calorífica resulta da queima de um combustível, numa central nuclear deriva do calor que se manifesta em consequência da cisão de núcleos atómicos do combustível nuclear, presente no núcleo do reactor. Para a obtenção do calor através da cisão são necessárias três vertentes. É necessária a matéria contendo núcleos atómicos que possam ser divididos - combustível nuclear. É necessário um dispositivo que desempenhe o papel de fornalha - reactor nuclear. Finalmente, é necessário algo que inicie o processo de divisão dos átomos - fonte de neutrões.

A energia libertada na reacção de cisão nuclear consiste sobretudo em energia cinética dos fragmentos de cisão (cerca de 85%), os quais se repelem por terem cargas eléctricas iguais. Da interacção dos fragmentos de cisão com a matéria contígua, resulta a absorção praticamente instantânea da quase totalidade da sua energia cinética. Este facto provoca desigualdades de níveis energéticos no combustível nuclear, originando transferências de calor de uma zona para outras do núcleo do reactor.

Se o reactor nuclear funcionar a uma potência térmica baixa (inferior a 100 kW), a energia gerada pode ser dissipada sem necessidade de recorrer a um sistema de refrigeração forçada. Contudo, para potências superiores, é necessário remover continuamente a energia, fazendo circular um fluido de refrigeração através do combustível nuclear. A energia removida é parcialmente transferida, num permutador de calor - gerador de vapor - para a água de um segundo circuito fechado que é aquecida até à ebulição. O vapor de água sob pressão assim obtido é enviado para uma serie de turbinas com o mesmo eixo de rotação, o qual está ligado a um alternador que converte em electricidade o movimento de rotação das turbinas. Após a sua passagem pelas turbinas, o vapor do circuito secundário é condensado e a água assim obtida é reenviada para o permutador de calor. O condensador é, afinal, um permutador de calor onde o vapor proveniente das turbinas cede o calor à água de um terceiro circuito (proveniente do mar, rio ou torres de refrigeração atmosférica).

O conjunto formado pelo reactor nuclear e pelas máquinas que lhe estão associadas para gerar electricidade constitui aquilo a que se chama um grupo electroprodutor de uma central nuclear (Figura 10) (Oliveira *et al.*, 2000).



Figura 10 - Esquematização de uma central nuclear.  
(fonte: ecoficial, 2009)

A parte específica de uma central nuclear é o reactor. Este será abordado no ponto seguinte de forma mais aprofundada.

### 3.2 Reactor nuclear

O reactor nuclear é um dispositivo blindado onde ocorrem reacções controladas de cisão em cadeia, de material cindível, cujo objectivo é o aquecimento de um fluido através de energia nuclear. Logo, as partes essenciais de um reactor (Figura 11) são:

- **Combustível nuclear** - onde ocorre a reacção de cisão nuclear em cadeia. Pode ser feito à base de urânio natural (essencialmente 0.7% do isótopo 235 e 99.3% do isótopo 238), urânio ligeiramente enriquecido (produzido através de aumento artificial da concentração do isótopo 235 até cerca de 3%), plutónio 239 formado por meio de reacções nucleares que permitem transformar o urânio 238 ou urânio 233, obtido a partir do tório 232 (natural). Designa-se por núcleo do reactor a região onde tem lugar a reacção em cadeia;

- **Moderador** - água natural, água pesada ou grafite. Tem como função reduzir a energia cinética dos neutrões da cisão (com velocidades da ordem de 20.000 quilómetros por segundo), de modo a que estes possam mais facilmente provocar cisões nucleares. Os reactores nucleares que não têm moderador são denominados de reactores a neutrões rápidos. Os reactores com moderador são denominados de reactores a neutrões térmicos;
- **Reflector** - rodeia o combustível nuclear, reduzindo a fracção dos neutrões que tendem a escapar-se do reactor;
- **Barras de comando** - constituídas por substâncias muito absorventes de neutrões, que regulam o número de cisões por unidade de tempo;
- **Refrigerante** - circula no interior e em redor do núcleo do reactor e que tem a função de transferir para o exterior o calor gerado em resultado das cisões nucleares. O refrigerante pode ser água natural, água pesada, um metal líquido (sódio) ou gases (hélio ou dióxido de carbono). Na maioria dos casos, a água serve como moderador, reflector e refrigerante;
- **Edifício de contenção** - isola o combustível nuclear, de forma a evitar que as substâncias radioactivas produzidas e as radiações emitidas cheguem ao exterior.

Independentemente do tipo de reactor nuclear que se considere, é necessário incluir na sua constituição:

- **Fontes de neutrões** - introduzem no núcleo do reactor alguns milhões de neutrões por segundo, na fase que se inicia o seu funcionamento (arranque do reactor);
- **Detectores de neutrões** - permitem acompanhar o funcionamento do reactor, designadamente a evolução da respectiva potência (proporcional ao numero de cisões por unidade de tempo) (Correia *et al.*, 2009).

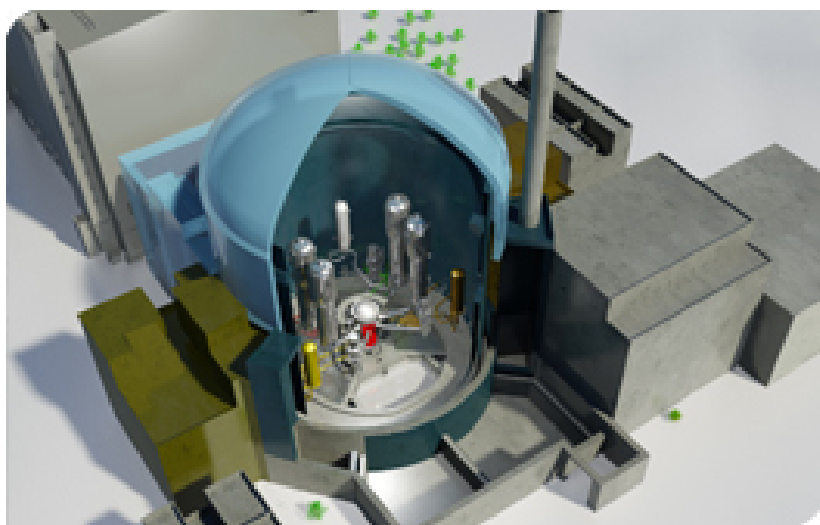


Figura 11 - Esquematização de um reactor tipo EPR.  
(fonte: Areva)

### 3.2.1 Evolução dos reactores nucleares

A indústria nuclear tem tentado resolver os problemas de segurança, procurando tornar os reactores nucleares mais seguros, mais eficientes e mais amigos do ambiente (Varandas, s.d.). Esta evolução tem sido caracterizada pelas tentativas de aumentar a competitividade das centrais nucleares, actuando em cinco aspectos fundamentais:

1. **Economia** - Diminuição dos custos de instalação e exploração;
2. **Segurança** - Diminuição da probabilidade de ocorrência de acidentes nucleares de maior ou menor gravidade;
3. **Utilização dos recursos naturais** - Extracção mais eficaz da energia produzida a partir dos materiais cindíveis;
4. **Gestão de resíduos radioactivos** - Redução dos resíduos na fonte, separação dos elementos químicos com vida longa e sua transmutação em elementos de vida mais curta;
5. **Proliferação de armas nucleares** - Redução dos respectivos riscos, em particular através da queima de plutónio no decorrer do ciclo de combustível (Correia *et al.*, 2009).

Quanto à evolução dos reactores de cisão nuclear (Figura 12), considera-se a seguinte classificação (Nunes, 2006):

- Geração I;
- Geração II;
- Geração III;
- Geração IV.

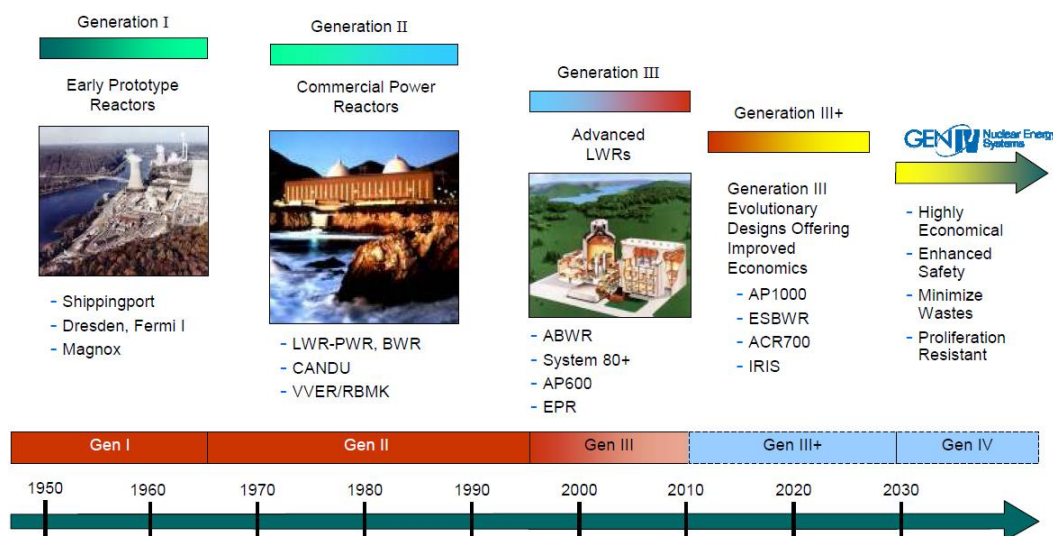


Figura 12 - Evolução tecnológica dos reactores de cisão nuclear. (fonte: Marques, 2007)

Os reactores da Geração I foram construídos até 1965 e encontram-se apenas em operação na Europa de Leste, constituindo um perigo para a Humanidade dada a sua idade avançada e as condições precárias de segurança.

Os reactores da Geração II, construídos entre 1965 e 1995, são muito mais seguros e encontram-se em funcionamento na Ásia e no mundo ocidental. A Tabela 2 apresenta dados sobre os tipos principais de reactores nucleares que estavam em operação no final de 2006.

**Tabela 2 - Modelos dos reactores nucleares que estavam em operação em 2006.**  
(fonte: Varandas, s.d.)

Tipo	Combustível	Moderador	Permutador	N <sup>a</sup>	GWe	Localização
PWR	UO <sub>2</sub> enriquecido	OH <sub>2</sub> Pressurizada	OH <sub>2</sub> Pressurizada	268	249	França, Japão, USA, Rússia
BWR	UO <sub>2</sub> enriquecido	OH <sub>2</sub> em Ebulição	OH <sub>2</sub> em Ebulição	94	85	USA, Japão, Suécia
PHWR	UO <sub>2</sub> natural	OH <sub>2</sub> Pesada	OH <sub>2</sub> Pesada	40	22	Canadá
MAGNOX & AGR	U natural UO <sub>2</sub> enriquecido	Grafite	CO <sub>2</sub>	23	12	Reino Unido
RBMK	UO <sub>2</sub> enriquecido	Grafite	OH <sub>2</sub>	12	12	Rússia
FBR	PuO <sub>2</sub> e UO <sub>2</sub>	Sódio Líquido	Não Tem	4	1	Japão, França, Rússia

Os reactores da Geração III são ainda mais seguros e eficientes, encontrando-se seis modelos diferentes em operação, construção ou desenvolvimento. Um modelo muito conhecido, o *EPR (European Pressurized Reactor)*, está a ser aplicado em três novas centrais nucleares localizadas na Finlândia (Olkiluoto), França (Flamanville) e China. Outros modelos são o *ABWR (Advanced Boiling Water Reactor)*, o *HTGCR (High Temperature Gas Cooled Reactor)*, o *PBMR (Pebble Bed Modular Reactor)*, o *AHWR (Advanced Heavy Water Reactor)* e o *CAESAR (Clean And Environmentally Safe Advanced Reactor)* (Varandas, s.d.).

Estes reactores possuem um conjunto de vantagens:

- Tempo de vida útil entre os 40 a 60 anos;
- Período anual de funcionamento acima dos 90%;
- Núcleo com ciclos de combustível entre os 12 e 24 meses;
- Exposição extremamente baixa à radiação;
- Probabilidade muitíssimo pequena de ocorrência de acidentes nucleares (abaixo de 0,000001%).

Está ainda programado um conjunto de melhoramentos ao nível da segurança e operacionalização:

- Menor susceptibilidade ao erro humano;
- Redução significativa dos efeitos que resultem de potenciais falhas no sistema;
- Simplificação dos sistemas de engenharia;
- Diminuição dos custos com a inspecção e manutenção da infra-estrutura;
- Melhoria da reacção face a um acidente e minimização das suas consequências externas (Correia *et al.*, 2009).

Os reactores da Geração IV estão a ser desenvolvidos no âmbito de uma organização internacional (*GIF - Generation IV International Forum* - criada em 2000) que integra dez países (Argentina, Brasil, Canadá, França, Japão, Coreia do Sul, África do Sul, Suíça, Reino Unido e Estados Unidos) e a EURATOM. Em 2006 a Rússia e a China foram admitidas neste Fórum (Correia *et al.*, 2009). Estão a ser estudados seis conceitos diferentes, esperando-se que a sua comercialização possa ocorrer dentro de 20 a 30 anos: o GFR (*Gas-cooled Fast Reactor*), o LFR (*Lead-cooled Fast Reactor*), o MSR (*Molten Salt Reactor*), o SCWR (*SuperCritical Water-cooled Reactor*), o SFR (*Sodium-cooled Fast Reactor*) e o VHTR (*Very High Temperature Reactor*). Estes reactores usam neutrões supra-térmicos, em vez dos neutrões térmicos que são utilizados nas três primeiras gerações (Varandas, s.d.).

Estes reactores caracterizam-se por operar a temperaturas muito superiores às das gerações anteriores. Estes terão como missão a geração de electricidade, hidrogénio e gestão de actínidos, enquanto ao nível de performance deseja-se que potenciem os seguintes parâmetros de avaliação:

- **Sustentabilidade** - O fornecimento de energia deve ser efectuado sob condições respeitadoras da sustentabilidade global, em termos de não poluição da atmosfera e gestão adequada dos resíduos tóxicos - através da redução das necessidades de armazenamento dos desperdícios de longo prazo, o que implicará um aproveitamento mais efectivo dos combustíveis utilizados;
- **Economia** - Obtenção de uma clara vantagem de custos ao longo do ciclo de vida do reactor, face às restantes fonte de energia. Também o índice de comparação relacionado com o risco financeiro e manutenção de uma central energética deve ser o mais equilibrado possível e equivalente às restantes fontes, tanto alternativas como fósseis, viabilizando a aposta de investidores na indústria atómica;
- **Segurança e Fiabilidade** - Ao nível de fiabilidade, uma central de 4ª Geração deve afirmar total superioridade perante qualquer uma das restantes concorrentes energéticas; quanto à segurança, é fulcral para o sucesso do nuclear a cabal demonstração de um baixíssimo risco de acidente com o núcleo;

- **Resistência à proliferação e protecção física** - É fundamental que seja demonstrado que uma central de 4ª geração não é de forma alguma apelativa para o roubo de material do seu interior e posterior fabrico de armas nucleares. Devem oferecer uma protecção física ainda mais efectiva contra actos de terrorismo e sabotagem.

Como foi referido anteriormente, espera-se que estes reactores estejam em comercialização até 2040, com o intuito de fomentar uma melhor gestão das necessidades energéticas de 9 mil milhões de habitantes (estimativa demográfica do planeta para os próximos 30 a 40 anos), que consumirão mais de 20 Gtep/ano, o dobro do que foi gasto em 2000.

Espera-se ainda que este tipo de reactor apresente as seguintes vantagens:

- Produção de hidrogénio, um potencial para os próximos séculos;
- Aplicação à dessalinização da água, o que a longo prazo pode ser fundamental para a viabilidade da nossa civilização;
- Redução de resíduos a tratar e armazenar, bem como a redução da sua meia-vida e toxicidade;
- Melhor utilização dos depósitos geológicos;
- Aumento do ciclo do urânio para os próximos séculos;
- Reciclagem do combustível usado, o que aumentará em larga escala a duração das reservas de urânio disponíveis;
- Conversão do material fértil em material cindível (Correia *et al.*, 2009).

### 3.2.2 EPR

A Areva NP desenvolveu um grande reactor europeu de água pressurizada (EPR) que foi confirmado, no início de 1995, como o novo projecto padrão para a França, tendo recebido a aprovação do projecto em 2004.

Um dos principais objectivos deste projecto foi o aumento da segurança, proporcionando maior competitividade económica através da melhoria dos anteriores PWRs.

O EPR consegue uma potência eléctrica de 1750 MWe brutos e uma potência térmica de 4590 MWt, sendo o descendente evolutivo do *Framatome N4* e dos reactores *Siemens Power Generation Division KONVOI*.

Possui vários sistemas de segurança activa e um colector central sob o reservatório de pressão (Figura 13). Funciona de forma flexível para acompanhar as cargas, com um consumo de combustível de 65 GW d/t, uma eficiência térmica de 37% e uma eficiência líquida de 36%.

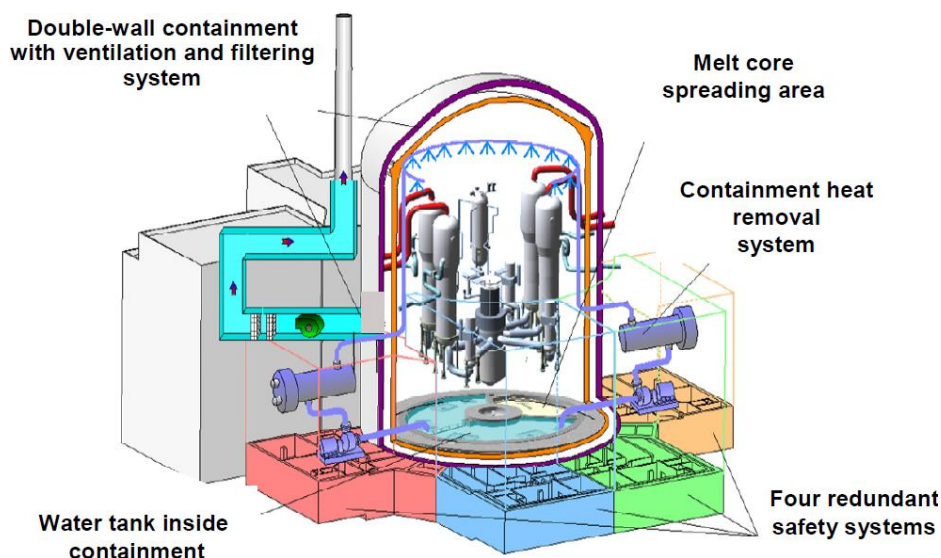


Figura 13 - Sistemas de Segurança do reator EPR.  
(fonte: Leverenz, 2006)

Consegue utilizar a carga total do núcleo MOX. A disponibilidade esperada é de 92% sobre uma vida útil de 60 anos. Tem quatro sistemas separados de segurança redundantes, em vez de uma segurança passiva.

O primeiro EPR (Figura 14) está a ser construído em Olkiluoto, na Finlândia, o segundo em Flamanville, na França e o terceiro em Penly, também na França. Existem, ainda, outras duas unidades em construção em Taishan, na China.

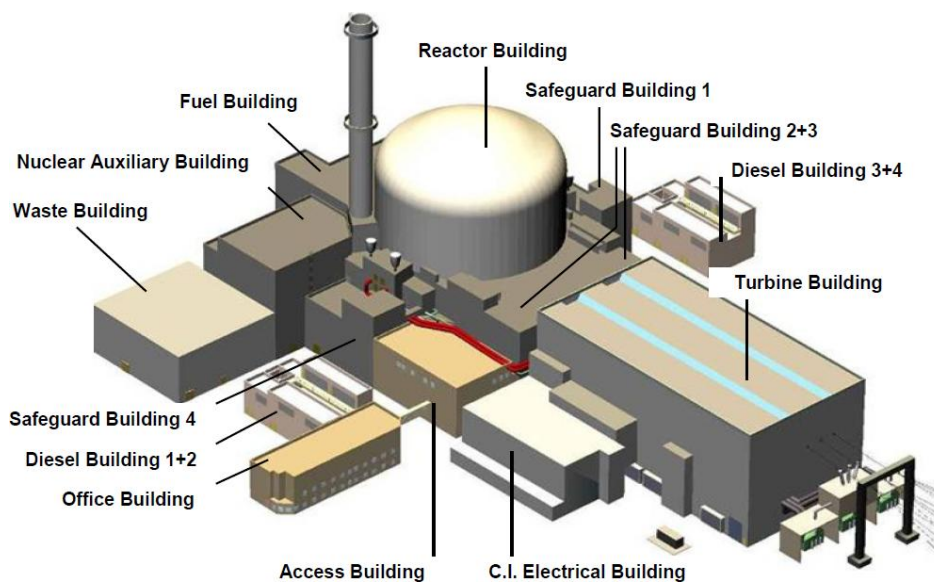


Figura 14 - Esquematização do *European Pressurized Reactor*.  
(fonte:Leverenz, 2006)

Também nos Estados Unidos da América (EUA) foi apresentado um projecto de certificação do US-EPR (com 1710 MWe bruto e cerca de 1580 MWe líquidos) em Dezembro de 2007 e, esta deverá ser concedida no início de 2012. A primeira unidade (com 80% de conteúdos dos EUA) deverá ser ligada em rede até 2020, sendo agora conhecido como o PWR Evolucionário (EPR). Grande parte dos colaboradores do projecto está a desenvolver as alterações necessárias para a produção de electricidade a 60Hz em vez dos 50 Hz constantes do projecto original ([www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)).

### 3.3 Combustível Nuclear

#### 3.3.1 Urânio

O Urânio é um metal pesado que pode ser usado como fonte de energia concentrada. É um elemento comum na crosta da Terra e é encontrado em concentrações económicas numa grande variedade de ambientes geológicos. Ao contrário dos combustíveis fósseis, para a obtenção de uma grande quantidade de energia os átomos de Urânio (Figura 15) podem sofrer cisão, havendo assim libertação de calor. Um quilo de Urânio natural produz tanto calor como 20 toneladas de carvão.

O Urânio foi descoberto em 1789 por Martin Klaproth, químico alemão, no minério chamado uraninita. O Urânio não é muito comum no sistema solar, mas devido ao seu baixo decaimento radioactivo constitui a principal fonte de calor no interior da Terra, causando convecção e deriva continental.

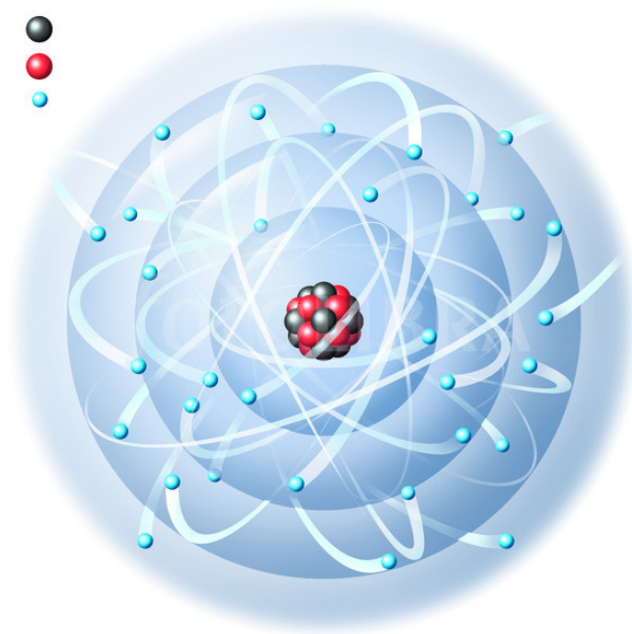


Figura 15 - Esquematização do átomo de Urânio.  
(fonte: [www.fotolibra.com](http://www.fotolibra.com))

O Urânio é o elemento mais pesado de todos os que ocorrem naturalmente. O Urânio é 18,7 vezes mais denso que a água. Tal como outros elementos, o Urânio também possui isótopos. O Urânio natural como encontrado na crosta terrestre é uma mistura basicamente de dois isótopos: o Urânio-238 ( $U^{238}$ ) e o Urânio-235 ( $U^{235}$ ). O Urânio- $^{238}$  é mais abundante na natureza que o Urânio- $^{235}$ , o qual só existe numa proporção de apenas 0,71%.

O isótopo  $U^{235}$  é importante porque em determinadas condições pode ser facilmente dividido, produzindo uma grande quantidade de energia. O  $U^{238}$  decai muito lentamente, a sua meia-vida é aproximadamente igual à idade da Terra (4500 milhões de anos). O  $U^{235}$  decai um pouco mais rápido.

Quando um átomo de  $U^{235}$  capta um neutrão em movimento, ele divide-se em dois novos átomos e liberta energia sob a forma de calor (Figura 16). Durante a cisão, dois ou três neutrões são libertados. Se estes neutrões são capturados por outros núcleos de  $U^{235}$ , vão ocorrer novas divisões, libertando ainda mais neutrões - reacção em cadeia. Quando este fenómeno ocorre repetidamente uma grande quantidade de calor é produzida a partir de uma pequena quantidade de Urânio ([www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)).

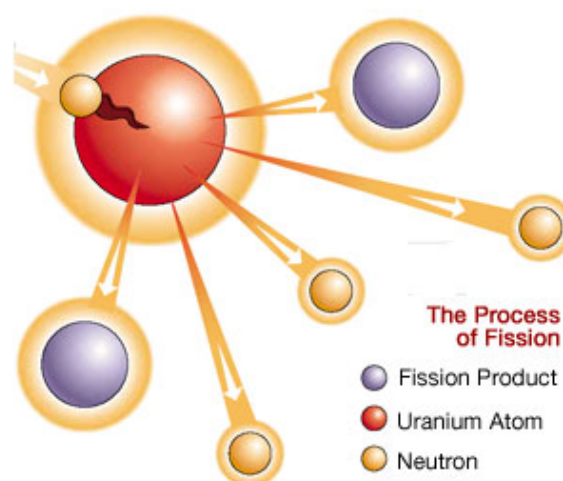


Figura 16 - Processo de cisão do Urânio.  
(fonte: [www.mei.gov.on.ca](http://www.mei.gov.on.ca))

### 3.3.2 Ciclo combustível nuclear

O ciclo do combustível nuclear representa um sistema complexo, com diferentes actividades que são combinadas para fornecer a energia nuclear para uma variedade de aplicações. A aplicação final da energia nuclear inclui: electricidade, a dessalinização de água, entre outros, e possivelmente no futuro a produção de hidrogénio. A análise do ciclo combustível nuclear foi determinante para o desenvolvimento da energia nuclear para fins pacíficos e estudos sobre sistemas de energia (Yacout *et al.*, 2005).

O ciclo do combustível nuclear descreve todas as operações relacionadas com a obtenção e preparação do combustível, o seu uso num reactor e o manuseamento do combustível usado (Figura 17).

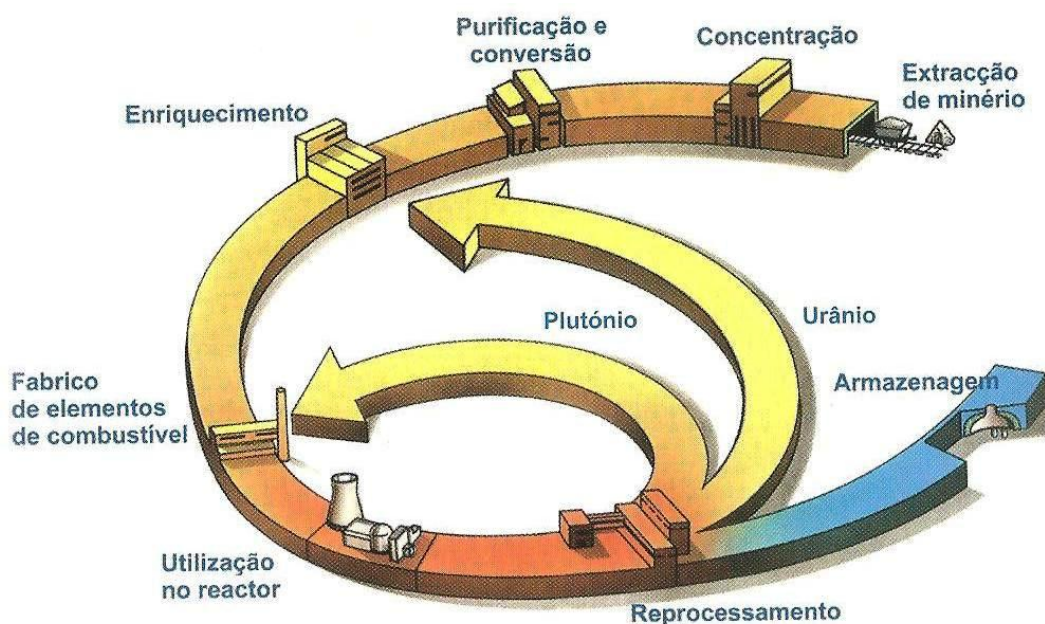


Figura 17 - Esquematisação do ciclo do combustível nuclear  
(fonte: Oliveira *et al.*, 2000)

O ciclo do combustível nuclear começa com a extracção de urânio e termina com a eliminação de resíduos nucleares. O ciclo do combustível implica as seguintes fases:

- Extracção e Tratamento Químico do Urânio;
- Purificação;
- Enriquecimento;
- Fabrico;
- Utilização.

### 3.3.2.1 Extracção

O minério é extraído das minas e de modo a produzir urânio na forma de óxido concentrado de urânio ( $U_3O_8$ ). Este material é constituído por cerca de 0,7% de  $U^{235}$ , sendo a parte restante constituída por alguns traços de  $U^{234}$  e, principalmente,  $U^{238}$ . Apenas alguns reactores, como por exemplo os CANDU e MAGNOX, podem operar com urânio natural. Para os restantes tipos de reactores a percentagem de  $U^{235}$  tem de ser incrementada até valores entre 3% e 5%, num processo designado por enriquecimento do urânio, o qual exige que este combustível esteja no estado gasoso (Varandas, s.d.).

### 3.3.2.2 Purificação e conversão

O urânio que sai das minas vai para uma fábrica de conversão onde o óxido de urânio é purificado e transformado em hexafluoreto de urânio ( $UF_6$ ), sendo um elemento que permanece no estado gasoso a temperaturas da ordem de 56 °C.

### 3.3.2.3 Enriquecimento

O  $UF_6$  é sujeito ao processo de enriquecimento, no qual cerca de 85% do urânio natural é rejeitado e armazenado. Os processos de enriquecimento, difusão e centrifugação<sup>4</sup>, estão baseados na diferença de massa entre o  $U^{235}$  e  $U^{238}$ . Embora a capacidade volumétrica de uma centrifugadora seja muito menor que a de uma difusora, o seu potencial de separação de isótopos é muito maior.

O processo de difusão consiste na passagem do gás sob pressão por um conjunto de membranas com poros microscópicos e está baseado nas diferentes velocidades médias dos dois componentes principais do  $UF_6$ . Como as moléculas mais leves passam os poros mais depressa, ao fim da passagem do gás por um número elevado de membranas (mais de 1000) é possível ter apenas gás de  $U^{235}$ , visto que, o  $U^{238}$  ficou para trás. Cada estágio de uma difusora consiste num compressor, numa membrana e num permutador de calor que remove o calor da compressão.

A centrifugação consiste na sujeição do gás de  $UF_6$  a uma rotação em muito alta velocidade (50 000 a 70 000 rotações por minuto), conduzindo à separação das moléculas de massas diferentes. A rotação a muito elevada velocidade é necessária para que seja possível separar isótopos de massas muito semelhantes ( $U^{235}$  e  $U^{238}$ ), visto que, a eficiência do processo resulta do produto da massa pelo quadrado da velocidade. Uma centrifugadora é constituída por uma sequência de cilindros, cada um com cerca de 192 metros de comprimento e 15 a 20 centímetros de diâmetro. O gás de  $U^{235}$  vai-se concentrando junto ao eixo e passando de um cilindro para o próximo por efeito da rotação do gás (Varandas, s.d.).

### 3.3.2.4 Fabrico

No próximo estágio do ciclo do urânio é finalmente produzido o combustível que vai ser utilizado num reactor. O  $UF_6$  enriquecido é convertido em óxido de urânio ( $UO_2$ ) na forma de pastilhas cilíndricas com 2 cm de comprimento (superior a 1400 °C) e 1,5 cm de diâmetro. Estas pastilhas são aquecidas a temperaturas muito elevadas de modo a formarem pastilhas cerâmicas duras, as quais são então carregadas em tubos com 4 m de comprimento, feitos em aço inox ou em ligas de zircónio, que constituem as barras de combustível.

---

<sup>4</sup> Existe uma terceira tecnologia de enriquecimento baseada na utilização de lasers, a qual ainda não está comercializada.

As barras são montadas em grupos quadrados com 30 cm de lado para formarem os conjuntos de combustível para o reactor (Varandas, s.d.).

### 3.3.2.5 Utilização

Cada tipo de reactor determina a forma e o tempo de utilização do combustível nuclear. Na generalidade dos reactores, os elementos de combustível são carregados no núcleo do reactor e aí permanecem entre 3 a 5 anos, de acordo com o plano de carga. Após um determinado período de utilização nuclear, a quantidade de  $U^{235}$  que ainda resta não é suficiente para sustentar a reacção em cadeia, tornando-se necessário recarregar o reactor (Correia *et al.*, 2009).

### 3.3.3 Tipo de ciclo de combustível

A ideia inicial era ter um ciclo fechado em que o combustível usado é reciclado para uma nova utilização. Contudo, dado que o preço do urânio é baixo e porque o processo de reciclagem conduz à formação de plutónio, um material essencial para a construção de bombas atómicas, alguns países, como por exemplo, os Estados Unidos, o Canadá e a Suécia, optaram pelo ciclo aberto em que o combustível usado é tratado imediatamente como lixo radioactivo (Varandas, s.d.).

#### 3.3.3.1 Ciclo aberto de combustível Nuclear

Este ciclo é aquele, em que o ciclo do combustível nuclear termina sob a forma de resíduos radioactivos, para os quais é necessário encontrar formas e locais de armazenagem. Este ciclo é hoje esmagadoramente dominante à escala mundial (Figura 18).

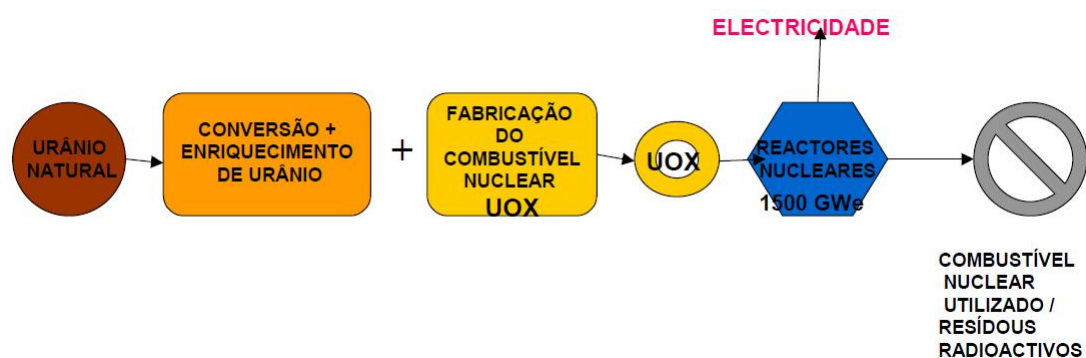


Figura 18 - Ciclo de combustível nuclear aberto.  
(fonte: Nunes *et al.*, 2005)

É um processo que evita objectivamente que se atinja uma situação de quebra de produtividade energética e dessa forma o combustível gasto é substituído periodicamente por um novo, com isótopos  $U^{235}$  suficientes para que ocorra cisão nuclear (Correia *et al.*, 2009).

O combustível já arrefecido é armazenado no local do reactor e posteriormente enviado para um local de armazenamento à superfície ou no interior da crosta terrestre.

### 3.3.3.2 Ciclo fechado de combustível Nuclear

Este ciclo é aquele em que intervêm fases de reprocessamento dos resíduos, de forma a obter novo combustível que possa ser utilizado nos reactores, reduzindo o volume de resíduos sem utilização. A Figura 19 ilustra um desses tipos de ciclo, actualmente em funcionamento, e que passa pela obtenção de plutónio a partir dos resíduos de combustível nuclear dos reactores, a sua transformação em óxido de urânio e plutónio, utilizável como combustível nuclear dos reactores que alimentam a produção de electricidade.

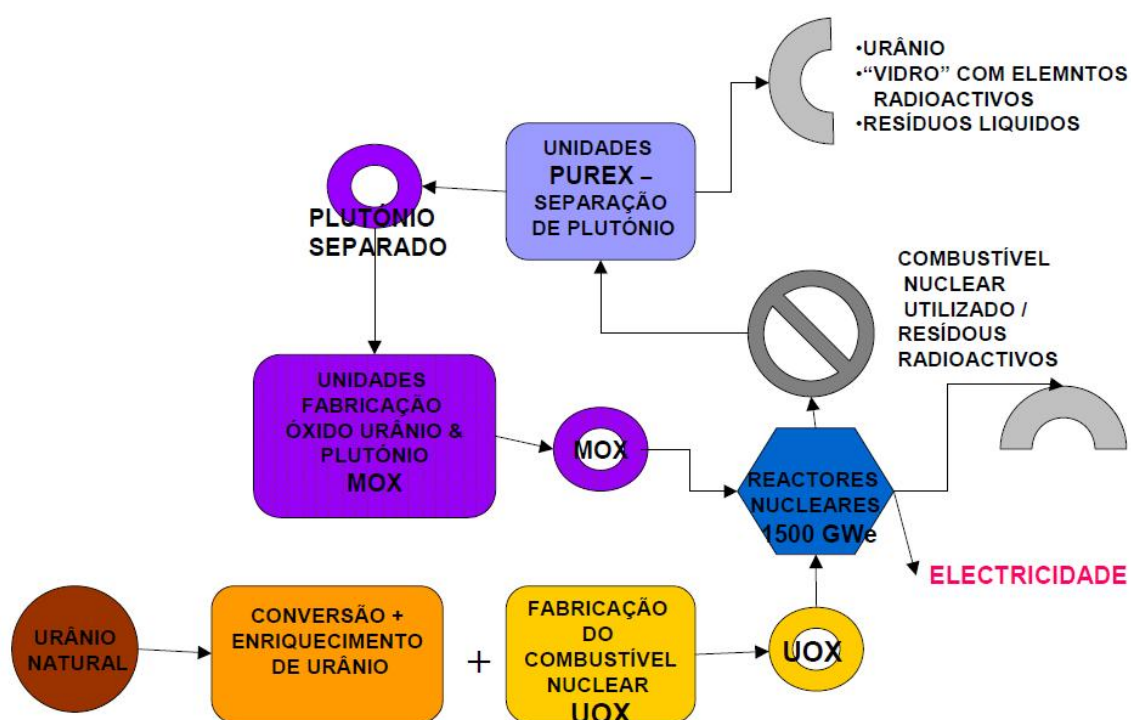


Figura 19 - Ciclo de combustível nuclear fechado.  
(fonte: Nunes *et al.*, 2005)

A Figura 20 ilustra outro tipo de ciclo fechado, que se pode perspectivar para o longo prazo, e que o estudo do MIT considera menos perigoso do ponto de vista da proliferação nuclear, por depender muito menos do plutónio (Nunes *et al.*, 2005).

O combustível arrefecido é enviado para uma instalação de reprocessamento. Aqui as barras de combustível são cortadas em pedaços e dissolvidas em ácido.

Os componentes valiosos, plutónio e urânio não gasto, são recuperados e separados através de vários processos químicos. Estes processos deixam cerca de 3% do combustível como lixo de alta-activação. Depois de solidificação, este lixo é reduzido a um pequeno volume de um material altamente radioactivo que tem de ser sujeito a disposição permanente.

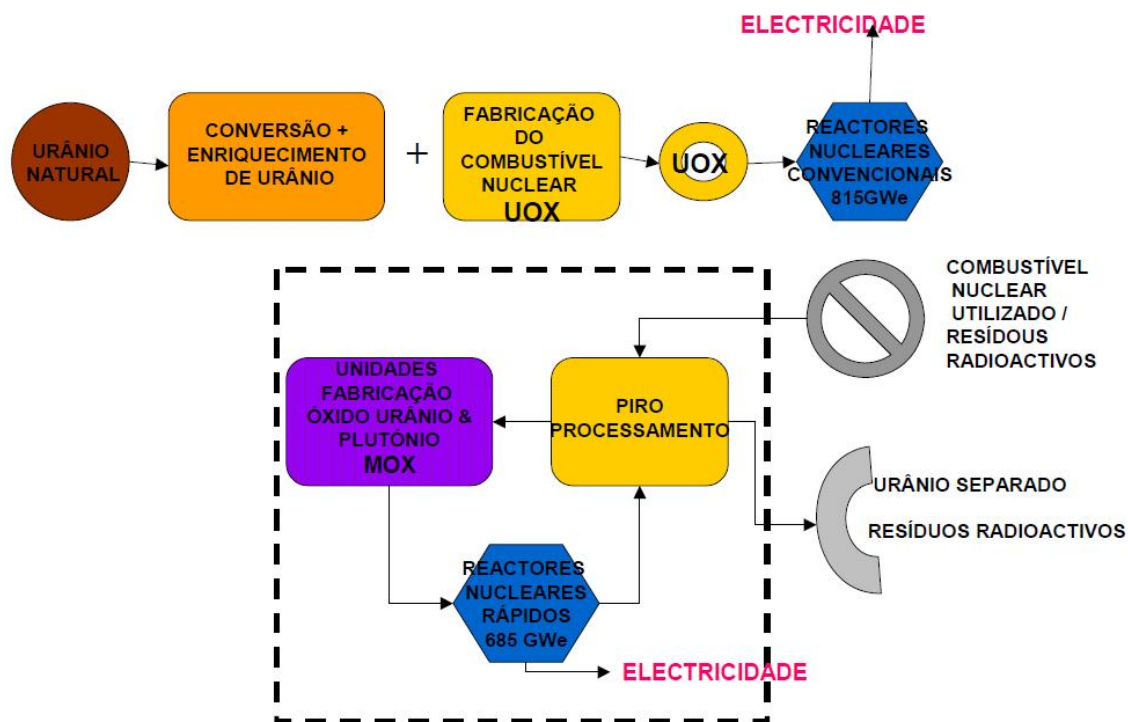


Figura 20 - Ciclo de combustível nuclear fechado.  
(fonte: Nunes *et al.*, 2005)

O reprocessamento do combustível usado tem inegáveis vantagens económicas e ambientais. Do ponto de vista económico, permite recuperar o plutónio e o  $U^{235}$  que existe no combustível usado, o qual representa cerca de 96% do combustível que inicialmente foi introduzido no reactor. Do ponto de vista ambiental, permite uma redução muito significativa da quantidade de lixo radioactivo que é preciso armazenar.

A principal desvantagem do reprocessamento está associada à possibilidade das tecnologias que lhe estão associadas poderem ser usadas para fins não pacíficos, nomeadamente o plutónio. Este inconveniente será resolvido com um modelo da Geração IV que permite efectuar o reprocessamento no interior do próprio reactor (Varandas, s.d.).

### 3.4 Segurança

A principal questão, quando se fala de segurança de uma central nuclear, é a retenção das substâncias radioactivas que são produzidas no reactor durante o seu funcionamento.

A segurança de uma central nuclear nada tem a ver com a hipotética explosão do reactor, como se fosse uma bomba, pois tal cenário é impossível. Na realidade, as condições que permitem produzir uma explosão nuclear não se podem verificar nos reactores, visto que, estes utilizam combustível com uma percentagem de materiais cindíveis muito menor e, sobretudo, são concebidos segundo princípios diferentes e funcionam de modo diferente.

Os sistemas de segurança das centrais nucleares classificam-se em três categorias:

- **Sistemas de segurança intrínseca** - tiram partido das leis da Natureza para manter a central nuclear em condições de segurança (por exemplo, circulação do líquido de refrigeração em convecção natural quando as bombas deixam de funcionar);
- **Sistemas de segurança passiva** - actuam por si próprios, de forma a manter o reactor em condições de segurança, ou fazê-lo regressar a essas condições (por exemplo, a queda das barras de comando por acção da gravidade);
- **Sistemas de segurança activa** - são postos a funcionar por acção de um sinal proveniente de um sensor, podendo ou não estar combinados com uma acção passiva.

Os sistemas de segurança intrínseca e passiva não são necessariamente superiores aos sistemas de segurança activa, o que não impede que as concepções mais recentes de reactores utilizem intensamente sistemas de segurança passiva. Além disso, nenhuma central actual utiliza apenas sistemas de segurança intrínseca e passiva para controlar acidentes nucleares. Efectivamente, a segurança de uma central é garantida por uma combinação dos três tipos de sistemas e não por uma escolha entre eles.

Quando da construção de uma central nuclear, há uma série de princípios de segurança que devem ser considerados na fase de projecto. Os mais importantes são os seguintes:

- **Redundância** - montagem de mais componentes ou subsistemas do que os que são necessários para que um sistema de segurança funcione;
- **Diversidade** - disponibilidade, para a mesma função de segurança, de dois ou mais sistemas baseados em diferentes princípios de concepção ou de funcionamento;
- **Separação física** - afastamento de componentes ou sistemas destinados a desempenhar a mesma função;
- **Avaria "segura"** - concepção de sistemas e componentes de forma a regressarem automaticamente ao estado de funcionamento mais seguro em caso de avaria ou de corte de alimentação eléctrica.

A medida preventiva fundamental contra a libertação de substâncias radioactivas produzidas no combustível, durante o funcionamento do reactor, consiste em interpor sucessivas barreiras entre essas substâncias e o ambiente exterior.

A primeira barreira é o próprio combustível nuclear: a respectiva matriz metálica ou cerâmica retêm a maioria dos produtos da cisão. A segunda barreira é a bainha estanque e resistente à corrosão que envolve o combustível nuclear. A terceira barreira é formada pelas paredes do circuito de refrigeração do reactor nuclear. Finalmente, quase todos os reactores estão encerrados em contentores resistentes à pressão e/ou em edifícios que podem ser tornados estanques automaticamente e podem ser ventilados em condições de segurança (Figura 21).

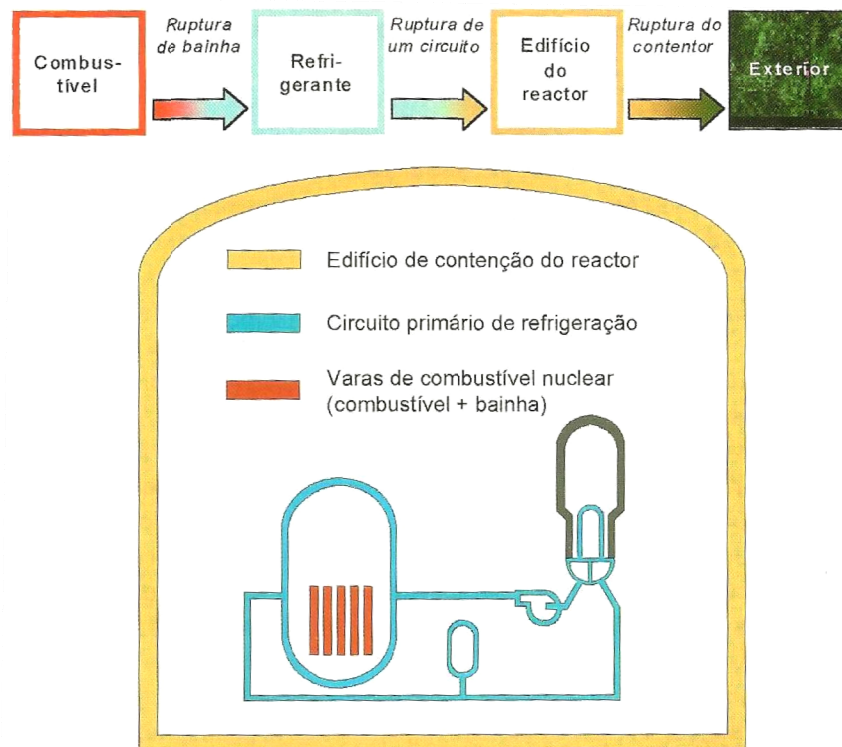


Figura 21 - Esquemática das barreiras de segurança de uma central nuclear.  
(fonte: Oliveira *et al.*, 2000)

Como em qualquer outra actividade humana, não é possível evitar totalmente a ocorrência de incidentes e de acidentes na indústria nuclear. O mais importante é não descurar a segurança (Oliveira *et al.*, 2000).

### 3.4.1 Escala INES

A Escala INES é uma escala universalmente aceite, cujo objectivo é perceber e uniformizar a importância da segurança da energia nuclear e de outros efeitos radioactivos.

Tal como as escalas de Richter ou de Celsius são importantes para perceber as informações sobre terremotos ou sobre a temperatura, a escala INES explica o significado dos acontecimentos radiológicos a partir de uma série de actividades, incluindo o uso industrial e medicinal das fontes de radiação, as operações de instalação nuclear e o transporte de material radioactivo.

Nesta escala (Figura 22), os acontecimentos são classificados em sete níveis: Níveis 1-3 são denominados de "incidentes" e Níveis 4-7 "acidentes". A escala é projectada de modo a que a gravidade de cada evento aumente cerca de dez vezes para cada aumento de um nível na escala. Eventos sem segurança/significância são chamados de "desvios" e são classificados abaixo da escala, num nível considerado 0.

Desde 1990 que a escala tem vindo a ser aplicada a acontecimentos em centrais nucleares. No entanto, o seu alargamento tem permitido a aplicabilidade a todas as instalações associadas à indústria civil nuclear.

Já em 2006 foi adaptada para atender à crescente necessidade de comunicação à população do significado de todos os acontecimentos associados ao transporte, armazenamento e utilização de substâncias radioactivas e fontes de radiação.

A AIEA tem coordenado o seu desenvolvimento em cooperação com a OCDE/NEA e com o apoio de mais de 60 Estados-Membros através dos, oficialmente designados, *INES National Officers*.

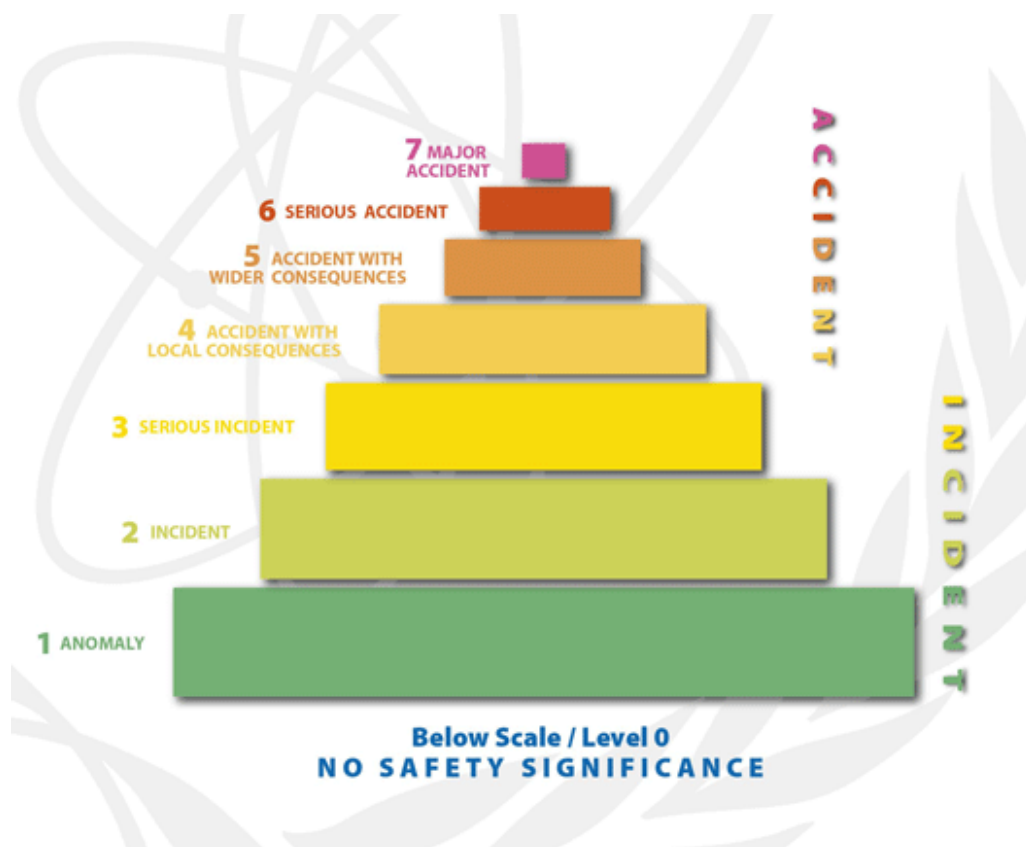


Figura 22 - Escala INES.  
(fonte: www.iaea.org)

A versão actual do manual INES foi aprovada a 01 de Julho de 2008.

Prevê-se que esta nova edição seja amplamente utilizada por todos os Estados-Membros, permitindo fornecer, em todo o mundo, uma boa perspectiva acerca da importância da segurança da energia nuclear e dos efeitos da radiação ([www.iaea.org](http://www.iaea.org)).

### **3.4.1.1 Definição dos níveis da escala**

**Nível 0 (não classificado)** - Um evento sem significância ao nível de segurança.

**Nível 1** - Uma anomalia para além do regime de funcionamento autorizado. Exemplo: Socatri (França), Julho de 2008 - derrame de 6000 litros de água para o meio ambiente contendo 75 kg de Urânio.

**Nível 2** - Um incidente sem impacto fora do local; um derrame ou contaminação significativa que possam ter acontecido localmente; Sobreexposição de um trabalhador; Incidentes com falhas significativas nas medidas de segurança. Exemplo: Forsmark (Suécia) - falha do gerador de reserva.

**Nível 3** - Um pequeno impacto fora do local, exposição pública a níveis abaixo dos limites estabelecidos; Vários derrames ou contaminações no local; graves efeitos de saúde em um ou mais trabalhadores. Exemplo: Paks (Hungria), 2003 - Danos nas barras de combustível durante a limpeza do tanque.

**Nível 4** - Pequeno impacto externo resultando numa exposição pública a níveis dentro dos limites estabelecidos; Danos significativos num reactor ou exposição fatal dum trabalhador. Exemplo: Tokaimura (Japão), 1999 - Morte de dois trabalhadores expostos a radiação.

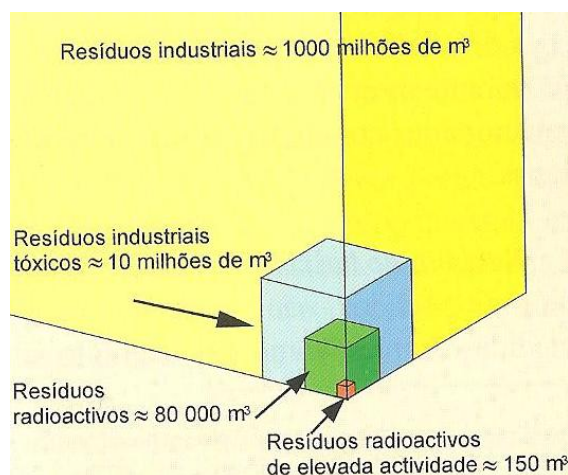
**Nível 5** - Danos severos num reactor; Derrame possível de provocar a implementação parcial das medidas de segurança programadas. Exemplo: Three Mile Island (Estados Unidos), 1979 - Fusão parcial do núcleo.

**Nível 6** - Derrame possível de provocar a implementação total das medidas de segurança programadas; Exemplo: Kyshtym (Ex União Soviética), 1957 - Falha do sistema de arrefecimento.

**Nível 7** - Um largo impacto exterior com largos efeitos de saúde e ambientais. Exemplo: Até Março deste ano, o desastre de Chernobyl foi o único acidente a atingir o nível 7, com uma taxa de morte de 56 pessoas e uma estimativa de 600 mil pessoas expostas a radiação. A 11 de Março de 2011, o terramoto no Japão provocou varias explosões nos reactores da central de Fukushima. Este acidente atingiu também o nível 7 ([www.iaea.org](http://www.iaea.org)).

### 3.4.2 Resíduos Radioactivos

Na União Europeia (EU), são produzidos mais de 2000 milhões de toneladas de resíduos sólidos e líquidos por ano. Esta massa de resíduos, cuja produção aumenta 2% a 3% por ano, coloca problemas graves de poluição, em particular quando os contaminantes tóxicos não se decompõem (Figura 23).



**Figura 23** - Produção anual de resíduos na EU.  
(fonte: Oliveira *et al.*, 2000)

As centrais termoeléctricas que queimam combustíveis fósseis, por exemplo a carvão, produzem milhões de toneladas de resíduos gasosos e cerca de 15 milhões de toneladas de cinzas (volume de um paralelepípedo com 1 quilometro quadrado de base e 15 metros de altura).

Os resíduos radioactivos são resíduos cuja gestão exige um sistema especial de controlo, isto é, um sistema que envolve em especial o registo dos resíduos produzidos e o licenciamento das instalações onde se trabalha com materiais radioactivos.

A sua classificação é de acordo com:

- Concentração dos radionuclídeos presentes nos resíduos;
- Intervalo de tempo durante os quais permanecem radioactivos.

Assim, existem quatro categorias de resíduos:

- **Resíduo de baixa actividade** - resíduo que contém baixas concentrações de radionuclídeos, não exigindo uma protecção especial (adopção de medidas simples). Este tipo de resíduo é produzido em instalações nucleares (minas de urânio, fabricas de combustível e centrais nucleares);

- **Resíduo de média actividade** - resíduo que contém concentrações mais elevadas de radionuclídeos, requerendo o uso de protecção durante as operações envolvidas na sua manipulação. Este tipo de resíduo é produzido em centrais nucleares e em instalações de reprocessamento;
- **Resíduos alfa** - resíduo radioactivo de baixa ou média actividade que contém emissores de partículas  $\alpha$ , frequentemente com períodos de semi-desintegração longos. É fácil a protecção contra os efeitos destas partículas, mas estes resíduos são potencialmente perigosos pelo facto destas partículas terem uma elevada ionização. Estes resíduos provêm de laboratórios de investigação científica, instalações de reprocessamento e fábricas de combustível nuclear;
- **Resíduos de alta actividade** - estes resíduos contêm as mais elevadas concentrações de radionuclídeos. A intensidade da radiação emitida é tão elevada que o resíduo aquece e assim permanece durante algumas centenas de anos, até a maior parte da radioactividade decair. Este tipo de resíduo requer arrefecimento apropriado e protecção pesada (barreiras) de grande dimensões e/ou construídas com materiais de elevada densidade e dispositivos de manipulação à distancia. Os resíduos de alta actividade são produzidos essencialmente nas fábricas de reprocessamento do combustível irradiado. O combustível ainda não reprocessado é considerado como resíduo de alta actividade.

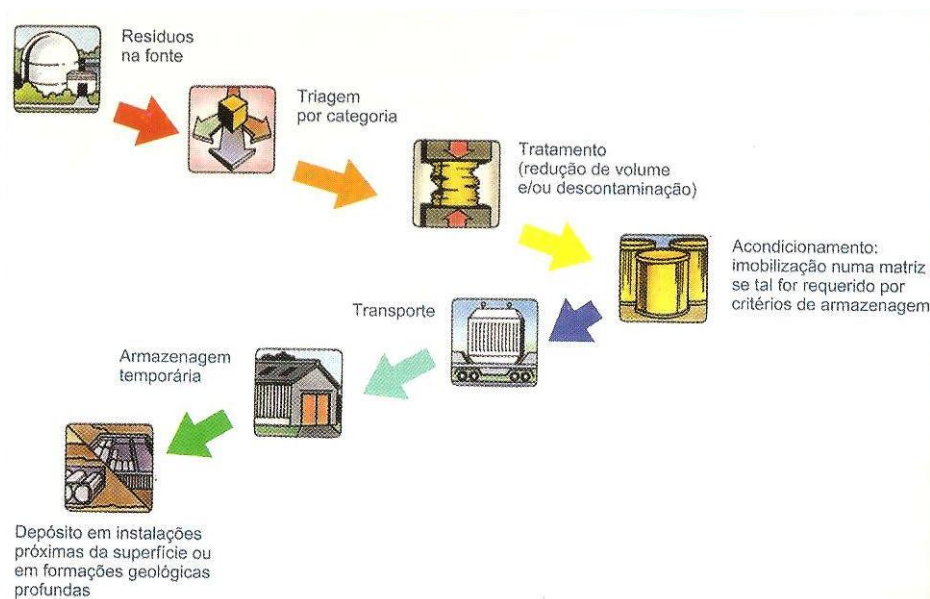
Os resíduos de baixa ou média actividade podem ser de vida curta ou de vida longa, sendo que os de alta actividade possuem vida longa. Existem centenas de tipos de radionuclídeos, com períodos de semi-desintegração que podem ir desde fracções de segundo até milhões de anos. Ao longo do tempo um resíduo de alta actividade transforma-se em resíduo de média actividade e, mais tarde, de baixa actividade. Assim, é necessário distinguir resíduos radioactivos e resíduos químicos tóxicos (alguns permanecem tóxicos para sempre).

O principal objectivo da gestão de resíduos radioactivos consiste em proteger as gerações actuais e futuras contra os efeitos de exposições inaceitáveis a radiações provenientes de materiais radioactivos produzidos pelo Homem.

A sequência típica de operações de gestão de resíduos é a seguinte (Figura 24):

- Recolha de resíduos;
- Separação por categorias;
- Tratamento (redução de volume, incineração dos resíduos sólidos, evaporação e precipitação química de resíduos líquidos);

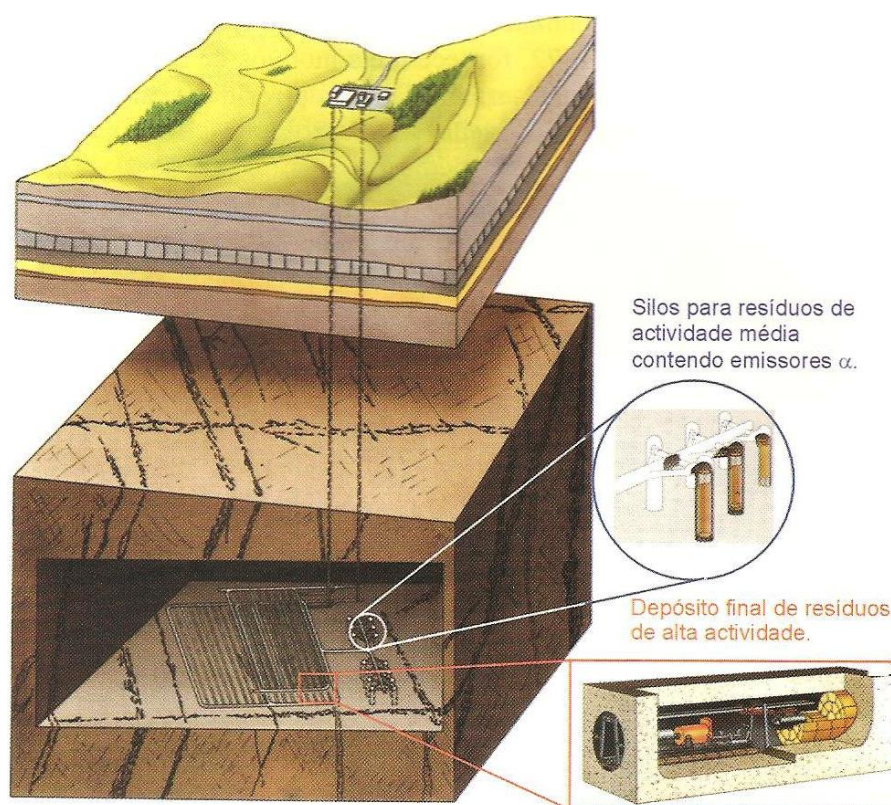
- Imobilização dos resíduos tratados numa matriz - cimentos, betumes ou polímeros no caso de resíduos de baixa e média actividade, e vidro para resíduos de alta actividade, que são solidificados em contentores com robustez mecânica adequada, grande resistênciã ao fogo, baixa solubilidade e bom comportamento a longo prazo;
- Transporte para instalações de armazenagem temporária ou para depósitos;
- Armazenagem temporária nos locais de produção ou em instalações centralizadas;
- Depósito em instalações próximas da superfície da Terra ou em formações geológicas profundas.



**Figura 24** - Gestão de resíduos radioactivos.  
(fonte: Oliveira *et al.*, 2000)

Os resíduos de alta actividade são os que continuam a despertar mais atenção na opinião pública. Uma central nuclear de 1000 MWe do tipo PWR origina aproximadamente 30 toneladas de combustível irradiado por ano. Este é depois submetido a processos de separação, concentração e solidificação em instalações de reprocessamento, ficando com um volume reduzido de 3 metros cúbicos. Estima-se que o programa nuclear francês terá produzido, até ao final do século XX, resíduos sólidos de alta actividade cujo volume não é superior ao de uma piscina olímpica.

Os resíduos depois de vitrificados são encerrados em contentores de aço inoxidável concebidos para resistir à corrosão. Durante os primeiros 30 a 50 anos estes contentores são armazenados em piscinas, ou em câmaras devidamente ventiladas, nas instalações de reprocessamento. Após esse intervalo de tempo a libertação de calor diminuirá a ponto de permitir que os contentores sejam transferidos para cavidades efectuadas em formações rochosas, centenas de metros abaixo da superfície do solo (Figura 25), sendo então suficiente o arrefecimento natural.



**Figura 25** - Sistema de barreiras múltiplas para armazenagem de resíduos radioactivos a grande profundidade.  
(fonte: Oliveira *et al.*, 2000)

Para o acondicionamento a longo prazo, os contentores de aço devem ter uma protecção suplementar contra a corrosão resultante de uma eventual penetração de água subterrânea nas cavidades rochosas. Esta protecção é conseguida com 10 centímetros de chumbo, revestido exteriormente por 6 milímetros de titânio. A dissolução do titânio em água salina, à temperatura ambiente, é da ordem de 0,0013 milímetros ano. Assim, esta camada poderá durar cerca de 4000 anos.

As formações geológicas a utilizar na armazenagem de resíduos de alta actividade devem ter uma elevada estabilidade. Por exemplo, as formações onde se situam minas de sal-gema são extremamente estáveis (Oliveira *et al.*, 2000).

### 3.4.3 Acidentes Nucleares

Até ao passado mês de Março, os acidentes mais graves envolvendo instalações civis (reactores nucleares) foram o acidente de Three Mile Island nos Estados Unidos, em 1979, e o acidente de Chernobyl na Ucrânia, em 1986, respectivamente nível 5 e nível 7 na Escala Internacional de Ocorrências Nucleares.

No caso de Three Mile Island foram libertados para a atmosfera cerca de 370 PBq de gases nobres (em particular  $^{133}\text{Xe}$ ) e cerca de 550 GBq de  $^{131}\text{I}$  (UNSCEAR, 1993). No caso de Chernobyl, o carácter explosivo e o elevado caudal calórico associado levaram a que uma importante fracção das partículas radioactivas produzidas alcançasse a estratosfera, sendo transportadas a longas distâncias. De acordo com a UNSCEAR, foram emitidos para a atmosfera 630 PBq de  $^{131}\text{I}$ , 70 PBq de  $^{137}\text{Cs}$  e 35 PBq de  $^{134}\text{Cs}$ . Estima-se, ainda, que cerca de 34% do  $^{131}\text{I}$  e 56% do  $^{137}\text{Cs}$  tenham sido transportados e depositados além fronteiras. Para além destes, outros radionuclídeos originados em Chernobyl ( $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{132}\text{Te}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{134}\text{I}$ ,  $^{136}\text{Cs}$  e  $^{140}\text{La}$ ) foram detectados em diferentes países (Reis, 2007).

### 3.4.3.1 Chernobyl

A central de Chernobyl, situada a 130 km a norte de Kiev na Ucrânia, e cerca de 20 km ao sul da fronteira com a Bielorrússia, era constituída por quatro reactores nucleares RBMK. Os reactores 1 e 2 foram construídos entre 1970 e 1977, enquanto as unidades 3 e 4 foram concluídas em 1983. Encontravam-se ainda em construção outros dois reactores. A sudeste da central foi construído um lago artificial de cerca de 22 quilómetros quadrados, utilizado para fornecer água de arrefecimento aos reactores ([www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)). Era a maior central nuclear do mundo, e por isso as autoridades comunistas deram-lhe o nome de Vladimir Lenine, fundador da União Soviética. "A maior das centrais nucleares passou a produzir energia para a construção do comunismo", anunciou a televisão soviética no dia da sua inauguração (expresso, 2009).

A central de Chernobyl (Figura 26) foi construída com falta de sistemas de segurança porque no bloco de leste, devido à falta de recursos, houve necessidade de desenvolver centrais de baixo custo e elevado rendimento. Assim, foram construídas centrais i) moderadas a grafite (o que permite usar um combustível mais pobre), ii) nas quais o circuito primário acciona directamente a turbina (que diminui o custo e aumenta o rendimento), iii) que não têm esfera de retenção nem domo (o reactor era construído num fosso) e iv) e em que não havia monitorização de segurança que permitisse resolver eventuais problemas.

No dia 25 de Abril de 1986 os operadores decidiram que no dia seguinte iriam testar o que aconteceria ao reactor se um acidente cortasse os cabos de alta tensão do reactor. Esta operação causa um aquecimento do sistema que fazia disparar os sistemas de alarme e baixar os controladores do núcleo. Para evitar isso, antes de ir embora, alguém desligou o sistema de alarme e de auto-controlo. Motivado pela falta de manutenção, a turbina tinha uma fuga de água. Por não haver circuito secundário, a pressão da água dentro do núcleo começou a baixar (e a temperatura a subir).

Como os operadores de turno não sabiam que os sistemas de alarme estavam desligados, pensaram que havia necessidade de aumentar a actividade do reactor sem se darem conta que, por estarem a aumentar de temperatura, teriam que fazer exactamente o contrário.

À 1h00 do dia 26 de Abril, a pressão do reactor baixou bruscamente e só então é que os operadores deram conta que o núcleo estava sem água e a uma temperatura perigosamente alta. Nessa altura, como as barras de controlo do reactor (que absorvem os neutrões) tinham sido erradamente subidas, o núcleo estava em estado super-crítico. Às 1h23m o aço do núcleo fundiu (rasgou) o que causou a expansão da água que restava no núcleo (cujas temperatura era superior a 1500°C). Houve ainda uma explosão não explicada que, provavelmente, se deveu ao hidrogénio formado. Na explosão partiram-se cerca de 15% dos tubos de zircónio, o que causou a libertação de parte do combustível. Como a central não tinha esfera de retenção, entrou ar no reactor que incendiou a grafite. As correntes de fumo que se geraram fizeram com que parte do combustível livre fosse arrastado para a atmosfera (cerca de 5 toneladas).

Motivado pela queima da grafite e por terem sido despejadas 5000 toneladas de areia sobre o reactor, passados 9 dias o reactor “apagou-se”.

Este acidente nunca poderia ter acontecido se a central fosse moderada a água. Mesmo sendo a central moderada a grafite, nunca teria acontecido se o fosso tivesse volume suficiente para não ficar sem cobertura ou ter esfera de retenção (Cosme, 2006).



**Figura 26** - Central de Chernobyl após a explosão do reactor 4.  
(fonte: [www.dissident-media.org](http://www.dissident-media.org))

### 3.4.3.2 Fukushima

O Japão sofreu a 11 de Março de 2011, um terramoto com uma magnitude de 9.0 na escala de Richter, provocando um tsunami de grandes dimensões (ondas de 14 metros). O epicentro situou-se a 130 km da cidade de Sendai, em Miyagi.

Quando da ocorrência do sismo onze reactores de quatro centrais nucleares na região estavam em operação e todos foram desligados automaticamente. As centrais encerradas foram Fukushima Daiichi 1, 2, 3, Fukushima Daini 1, 2, 3, 4, Onagawa 1, 2, 3 e Tohoku de Tokai, com o total de 9.377 MWe líquido. Os reactores de Fukushima Daiichi 06/04 não estavam em funcionamento no momento do sismo, mas foram afectados, totalizando 2.587 MWe líquidos (unidades 4-6).

O sismo causou uma avaria no sistema de refrigeração na central de Fukushima Daiichi (Figura 27) e um corte de electricidade impediu a recuperação deste sistema, permitindo que os bastões de combustível continuassem a aquecer, aumentando a pressão interna no reactor. A empresa japonesa Tokyo Electrical Power Co, que gere as instalações, tentou reduzir alguma desta pressão libertando vapor radioactivo. Mas não foi o suficiente para impedir a explosão que destruiu o tecto do edifício do reactor principal.



Figura 27 - Central de Fukushima após o terramoto de 11 de Março de 2011.  
(fonte: [www.infiniteunknown.net](http://www.infiniteunknown.net))

A primeira falha técnica ocorreu no mesmo dia do terramoto, com a avaria no sistema de refrigeração de dois reactores e quatro geradores de emergência. Como resultado destes incidentes, verificou-se uma fusão parcial dos núcleos dos reactores 1, 2 e 3, explosões de hidrogénio que destruíram o revestimento superior dos edifícios que albergam os reactores 1, 3 e 4, explosão essa que danificou o revestimento do reactor 2, tendo ocorrido diversos incêndios no reactor 4. As barras de combustível irradiado armazenado em piscinas dos reactores 1-4 começaram a sobreaquecer quando os níveis das piscinas desceram.

O receio de fuga de radiação levou as autoridades a evacuar um raio de 20 km ao redor da central, estendendo-se em seguida esse raio para 30 km, e depois para 40 km ([www.world-nuclear-news.org](http://www.world-nuclear-news.org)).

A 11 de Abril o nível de gravidade do incidente foi elevado para o nível 7 (máximo da escala INES), para as unidades 1, 2 e 3, o mesmo nível do acidente de Chernobyl.

# Capítulo 4

## 4. Implantação da Energia nuclear no Mundo

### 4.1 Evolução histórica

A tecnologia nuclear utiliza a energia libertada pela divisão dos átomos de certos elementos. Esta tecnologia foi desenvolvida nos anos 40 do século passado, durante a Segunda Guerra Mundial. Inicialmente a investigação centrou-se na produção de armamento militar.

Com o desenvolvimento das armas nucleares nos EUA e na União Soviética e com a aquisição, por parte do Ocidente, de novas tecnologias, os cientistas perceberam que a enorme quantidade de energia que se libertava no processo poderia ser aproveitada, tanto para uso directo, como para uso indirecto (gerar electricidade).

Também ficou claro que esta nova forma de energia permitiria o desenvolvimento de fontes de energia de longa duração com diversas aplicações, como por exemplo, o transporte, especialmente em submarinos.

O primeiro reactor nuclear construído para produzir electricidade (embora em pequena escala) foi o *Experimental Breeder* (EBR-1), no Idaho, EUA, inaugurado em Dezembro de 1951.

Em 1953, o presidente *Eisenhower* propôs o programa *Atoms for Peace* que reorientou a pesquisa para a geração de electricidade e definiu o rumo para o desenvolvimento da energia nuclear civil nos EUA.

Na União Soviética estava em curso o aperfeiçoamento de vários modelos de reactores nucleares existentes, o desenvolvimento de outros novos e o aperfeiçoamento de toda a tecnologia nuclear. Com esse objectivo, foi criado em Maio de 1946 na cidade de Obninsk, a 100 quilómetros a sudoeste de Moscovo, o Instituto de Física e Engenharia da Energia (FEI).

O principal avanço dos EUA deu-se quando o almirante Hyman Rickover desenvolveu o reactor de água pressurizada (PWR) para utilização naval (particularmente em submarinos). O protótipo do reactor naval, *Mark1*, iniciou-se em Março de 1953, no Idaho, e o primeiro submarino nuclear, o *USS Nautilus*, foi lançado em 1954. Em 1959, tanto os EUA como a URSS lançaram os seus primeiros navios de superfície de propulsão nuclear.

Nos EUA, a *Westinghouse* projectou o primeiro PWR totalmente comercial de 250 MWe (Yankee Rowe), que entrou em funcionamento em 1960 e operou até 1992.

Enquanto isso, o reactor de água ebuliente (BWR) foi desenvolvido pelo Laboratório Nacional Argonne, mas o primeiro (Dresden-1 de 250 MWe), concebido pela General Electric, foi iniciado mais cedo, em 1960. Um protótipo BWR (Vallecitos), funcionou de 1957-1963. Até ao final da década de 1960 os objectivos eram de mais de 1.000 MWe para os reactores PWR e BWR.

Em 1964 as duas primeiras centrais nucleares soviéticas foram encomendadas. Uma central com um reactor BWR com 100 MW de potência começou a operar em Beloyarsk (Urais). Em Novovoronezh (região do Volga) um novo projecto - um pequeno reactor (210 MW) de água pressurizada (PWR) conhecido como VVER (*veda-Reaktor energetichesky vodyanoi* - água de refrigeração do reactor de energia) foi construído.

Em todo o mundo, com poucas excepções, outros países optaram por projectos de água leve para os seus programas nucleares, de modo que hoje 60% da capacidade mundial é PWR e 21% BWR ([www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)).

No decorrer da segunda metade dos anos 60 assistiu-se a uma crescente euforia na utilização da energia nuclear para fins civis. Apostando num aumento progressivo da potência dos reactores nucleares, foi posto em prática um conjunto de programas de construção de novos empreendimentos. Entre os países interessados encontravam-se, para além dos EUA e a URSS, Reino Unido, França, Alemanha Federal, Suécia, Canadá, Japão, Espanha ou Bélgica.

No início da década de 1970 intensificou-se a contestação à utilização do nuclear, não só para fins bélicos, mas também para fins pacíficos. Um conjunto de encargos financeiros desencorajou as grandes companhias eléctricas norte-americanas a aprovarem novos investimentos. Outros factores deste desinteresse foram:

- O pacote de medidas de segurança aplicáveis às unidades a edificar, implica um acréscimo de custos, tornando-a menos competitiva relativamente às tecnologias baseadas nos combustíveis fósseis;
- Novos requisitos em matéria de impactes ambientais, que resultaram em profundas alterações do planeamento das diferentes fases de projecto e construção de reactores;
- A inflação que se fez sentir na época que provocou um aumento dos preços dos equipamentos, serviços e materiais necessários para edificação de complexos nucleares;
- Obstáculos de natureza política, a que se juntou a crescente contestação social a esta forma de energia;
- Os prazos muito alargados para a conclusão dos processos de licenciamento, construção e entrada em funcionamento.

A crise energética de 1973 originou um período de subida do preço do petróleo, bem como a escassez junto das economias de mercado, fortemente dependentes dos hidrocarbonetos. O preço dos combustíveis fósseis sempre foi o adversário do nuclear. Assim, uma série de países encararam esta energia como alternativa. Países com poucas fontes energéticas (França, Coreia do Sul, Japão e Taiwan) lançaram novos programas nucleares economicamente competitivos.

Contudo, a segurança era continuamente questionada, aumentando os protestos anti-nuclear, reflexo do acidente ocorrido em 1979 na central nuclear de *Three Mile Island*. Vários países já tinham decidido pelo encerramento das suas centrais. Os anos 80 foram um período de grande contestação do nuclear por parte da opinião pública ocidental, com consequências devastadoras para os programas nucleares de vários países. A médio prazo assistiu-se à estagnação no investimento em energia nuclear, devido ao consumo de electricidade e à redução dos preços dos combustíveis fósseis. Mas, foi em 26 de Abril de 1986 que ocorreu o acontecimento mais dramático de sempre do nuclear, com a explosão do reactor 4 da central de Chernobyl (URSS) (Correia *et al.*, 2009).

A partir do final dos anos 1970, e até cerca de 2002, a indústria de energia nuclear sofreu algum declínio e estagnação. Poucos novos reactores foram encomendados, embora a capacidade tenha aumentado quase um terço e a produção cerca de 60%, devido ao melhoramento de factores como a capacidade de carga. A participação da energia nuclear na electricidade mundial, a partir de meados dos anos 1980, era relativamente constante entre 16-17%.

Já no final da década de 90 foi encomendado, no Japão, o primeiro dos reactores nucleares de terceira geração, o Kashiwazaki-Kariwa 6, um ABWR de 1.350 MWe. Este foi o primeiro sinal de recuperação da energia nuclear ([www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)).

## 4.2 Ressurgimento

Desde 2001, muito se tem discutido acerca de uma possível recuperação - “*renascimento*” - iminente, demonstrando o declínio experimentado pela indústria nuclear.

No entanto, apesar de esta ser a realidade no mundo ocidental, a capacidade nuclear nunca parou de evoluir, tanto na Europa Oriental, como na Ásia. Efectivamente, globalmente a percentagem de electricidade proveniente da energia nuclear manteve-se estável ou experimentou, apenas, um ligeiro decréscimo entre os 15 e os 16% devido ao aumento da produção dos reactores nucleares para, deste modo, responder ao crescimento do consumo global de electricidade.

A energia nuclear está de volta à agenda política de muitos países, com projectos para a construção de novos reactores, semelhantes ou até mesmo superiores aos dos primeiros anos da energia nuclear. Este “*renascimento*” demonstra uma renovação no apoio à energia nuclear no Ocidente, o qual tinha sido diminuído com os acidentes em *Three Mile Island* e *Chernobyl*, com as sucessivas derrapagens nos custos de construção de diversas centrais nucleares em 1970 e 1980 e, ainda, com anos de gás natural a baixo custo.

#### 4.2.1 Causas do ressurgimento

A primeira geração de centrais nucleares foi justificada pela necessidade de diminuição da poluição urbana causada por indústrias de energia movidas a carvão. A energia nuclear também foi vista como uma fonte bastante acessível de electricidade de base, o que reduziu a dependência das importações de combustíveis fósseis ([www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)).

As quatro razões essenciais que explicam o retorno do nuclear na Europa e no mundo são: razões económicas, geopolíticas, tecnológicas e ambientais.

A primeira razão é económica, que tem a ver com os altos preços do petróleo e a convicção de que findou um ciclo de energia barata. O aumento dos preços do petróleo potencia a competitividade de outras formas de energia e abre múltiplas perspectivas em termos do futuro das energias de substituição (Rodrigues *et al.*, 2006). As reduções de emissões de carbono são estimuladas através de diversas formas de incentivos governamentais e processos de comércio de emissões. O crescimento da população mundial e o desenvolvimento industrial levarão a uma duplicação do consumo de electricidade até 2030. Também a crescente escassez de água doce, a construção de veículos eléctricos (que irão aumentar a necessidade de energia durante a noite) e a produção de hidrogénio a longo prazo para fins de transporte, provocarão um aumento das necessidades de energia eléctrica ([www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)).

A segunda razão é de índole geopolítica, a convicção de que o modelo energético actual está dependente do abastecimento de petróleo a partir de países onde reina a instabilidade veio colocar a questão sobre a segurança energética. A excessiva dependência de realidades geopolíticas instáveis e, que no caso de alguns países produtores, poderem utilizar de novo o petróleo como arma política, exige uma abordagem inteligente por parte da Europa, para que não fique refém de regimes que não são fiáveis. O declínio da produção no Alasca e Mar do Norte só veio incrementar o problema. A Europa importa hoje 50% da energia consumida, mas as previsões é que aumente para 75% daqui a vinte anos.

A terceira razão é de índole tecnológica, pois os reactores nucleares mais recentes são mais seguros e mais eficientes do que no passado. Os reactores da geração III e III+ que hoje dominam o mercado dão mais garantias em termos de segurança com as modificações tecnológicas introduzidas, que implicam também uma utilização mais eficiente do combustível nuclear.

A quarta razão é de índole ambiental, uma maior consciência dos perigos e efeitos do aquecimento global e a mudança climática levaram os políticos, a comunicação social e a população em geral a concordarem que a utilização de combustíveis fósseis deve ser reduzida e substituída pela fontes de energia de baixa emissão ([www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)). Trata-se de uma energia limpa, não produz emissões de CO<sub>2</sub>. Este facto é importante quando se fala da contribuição dos gases com efeito de estufa, gerados pela utilização dos combustíveis fósseis, para o aquecimento do Planeta e mudanças das condições climatéricas (Rodrigues *et al.*, 2006).

À medida que a indústria nuclear se afasta dos pequenos programas nacionais para os regimes de cooperação global, a produção em série de novas centrais irão diminuir os custos de construção e aumentar a competitividade da energia nuclear.

A maioria dos reactores actuais é construída em menos de cinco anos (desde a primeira pedra até ao primeiro Watt de energia). No entanto, são necessários vários anos de aprovações preliminares antes da construção, pelo que o projecto pode demorar até quatro anos e a pré-fabricação modular do reactor até três anos.

Importa salientar que, na década de 80, foi iniciada a construção de 218 reactores nucleares, a uma média de um a cada 17 dias. Estes incluíram 47 nos EUA, 42 na França e 18 no Japão. A potência média foi de 923,5 MW. Mas, com a China e a Índia, cada vez mais habituados à energia nuclear e uma procura mundial de energia duas vezes superior à registada em 1980, em 2015 uma estimativa realista pode ser o equivalente a uma unidade de 1.000 MWe em todo o mundo a cada 5 dias ([www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)).

#### **4.2.2 A aceitação pelo público**

Durante os primeiros anos de energia nuclear houve uma tendência crescente entre o público de respeitar as decisões das autoridades no licenciamento de centrais nucleares. No entanto, essa situação alterou-se devido a um conjunto de razões.

Nenhum reavivamento da energia nuclear é possível sem a aceitação das comunidades que vivem próximas às instalações, do público em geral e dos políticos que elegem.

O desastre de Chernobyl marcou o ponto mais baixo do apoio público para a energia nuclear. No entanto, esta tragédia ressaltou a razão para os elevados padrões de design e construção necessários no Ocidente.

Chernobyl nunca poderia ter sido licenciado fora da União Soviética. Os fracos conhecimentos dos engenheiros que construíram a central, aliados ao isolamento provocado pela Guerra Fria, exacerbou o problema, demonstrando a inexistência de uma verdadeira cultura de segurança. A cooperação global na experiência operacional de partilha e as boas práticas na cultura de segurança resultantes do acidente revelaram-se um benefício em todo o mundo. O registo de segurança da indústria nuclear nos últimos 25 anos é incomparável e ajudou a restaurar a confiança pública na energia nuclear.

Outro factor de reafirmação pública, após o acidente de Chernobyl, foi o efeito muito menor na saúde pública do que o antecipado. Na época, muitos cientistas previram que dezenas de milhares de pessoas morreriam em resultado da dispersão do material radioactivo. Na verdade, segundo o relatório da ONU Fórum Chernobyl, em meados de 2005, menos de 60 mortes foram atribuídas directamente à radiação do desastre e muitas mortes por cancro permanecem incertas.

Uma das principais críticas à energia nuclear é a alegada falta de estratégia e disposição para os seus resíduos de longa duração. Argumenta-se que as comunidades locais não estariam dispostas a “receber” um aterro para esses resíduos. No entanto, na Suécia e na Finlândia a experiência tem demonstrado que, com a devida consulta e compensações, principalmente na forma de perspectivas de emprego a longo prazo, as comunidades estão completamente preparadas para aceitar. Com efeito, duas comunidades na Suécia chegaram mesmo a competir pela sua selecção como local do depósito ([www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)).

### **4.3 Implantação mundial da energia nuclear**

Os 443 reactores nucleares (Figura 28 e Tabela 3) em funcionamento em 2009, com uma potência total de 377 Gwe, produziram 2560 mil milhões de kWh (25608 TWh), 14% do total de electricidade produzida mundialmente (Figura 29).

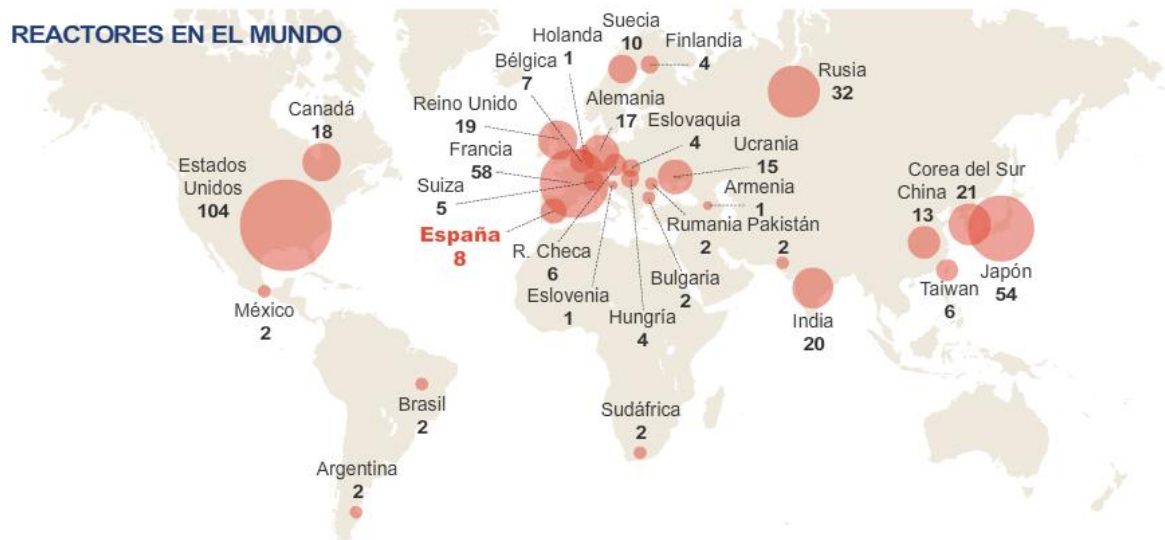


Figura 28 - Reactores nucleares comerciais no Mundo.  
(fonte: Elpais, 2011)

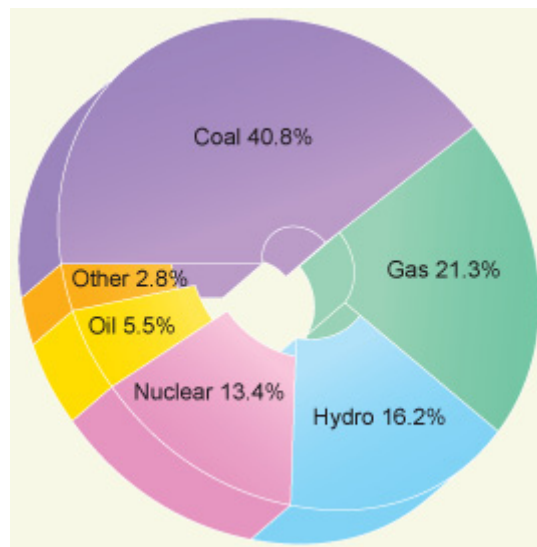


Figura 29 - Fontes energéticas primárias usadas para a produção de electricidade no Mundo.  
(fonte: www.world-nuclear.org)

Na Figura 30 é apresentada a evolução entre 1971 e 2009 da electricidade produzida por via nuclear e da respectiva quota da produção total. Verifica-se que a quota de produção de electricidade a partir da cisão nuclear era de 15% em 2009, valor que se tem mantido particularmente inalterado desde 1988. Verifica-se que desde 1971 a 1988 a quota cresceu desde os 2% para aproximadamente 17%.

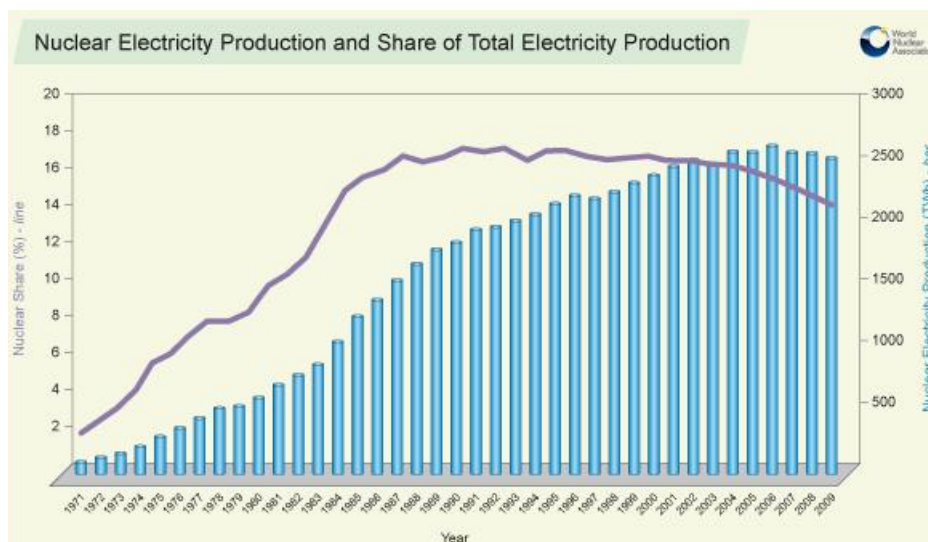


Figura 30 - Produção de electricidade por via nuclear e cota de mercado respectiva. (fonte: www.world-nuclear.org)

Muitos países construíram reactores de pesquisa, para fornecer uma fonte de feixes de neutrões para a pesquisa científica e para a produção de isótopos médicos e industriais. Actualmente, apenas oito países são conhecidos por terem capacidade de armas nucleares. Em contrapartida, 56 países operam reactores de investigação civil e 30 países possuem 443 reactores nucleares comerciais com uma capacidade instalada de mais de 375.085 MW (Figuras 30 e 31).

Mais 62 novos reactores nucleares estão em construção, o equivalente a 16% da capacidade existente, enquanto mais de 158 estão em planeamento, o que corresponde a 45% da capacidade actual.

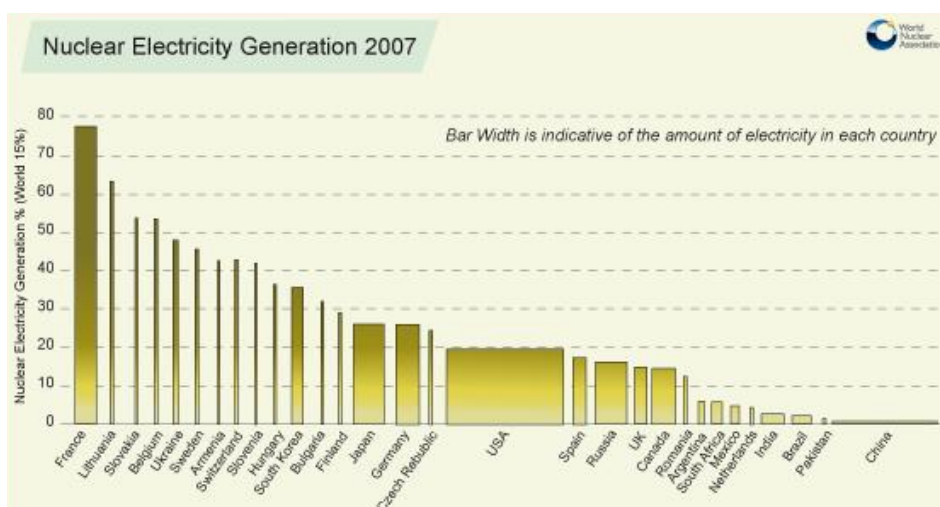


Figura 31 - Geração de electricidade a partir do nuclear em 2007. (fonte: www.world-nuclear.org)

Dezasseis países dependem da energia nuclear em pelo menos um quarto da sua electricidade consumida. Na França cerca de três quartos de electricidade consumida é produzida em centrais nucleares. Na Bélgica, Bulgária, Republica Checa, Hungria, Eslováquia, Coreia do Sul, Suécia, Suíça, Eslovénia e Ucrânia a energia nuclear representa um terço ou mais. Japão, Alemanha e Finlândia obtêm um quarto de electricidade a partir da energia nuclear. Nos Estados Unidos da América representa cerca de um quinto (Figura 31).

**Tabela 3 - Reactores Nucleares existentes e Urânio requerido.**  
(fonte: www.world-nuclear.org)

País	Electricidade produzida 2009		Reactores operacionais		Reactores em construção		Reactores planeados		Reactores Propostos		Urânio Requerido
	Biliões kWh	% e	Nº	MWe net	Nº	Mwe gross	Nº	Mwe gross	Nº	Mwe gross	Ton
África do Sul	11.6	4.8	2	1800	0	0	0	0	6	9600	321
Alemanha	128	26.1	17	20339	0	0	0	0	0	0	3453
Argentina	7.6	7.0	2	935	1	745	2	773	1	740	208
Arménia	2.3	45	1	376	0	0	1	1060			56
Bangladesh	0	0	0	0	0	0	2	2000	0	0	0
Bélgica	45	51.7	7	5943	0	0	0	0	0	0	1052
Bielorrússia	0	0	0	0	0	0	2	2000	2	2000	0
Brasil	12.2	3.0	2	1901	1	1405	0	0	4	4000	311
Bulgária	14.2	35.9	2	1906	0	0	2	1900	0	0	275
Canada	85.3	14.8	18	12679	2	1500	3	3300	3	3800	1884
Cazaquistão	0	0	0	0	0	0	2	600	2	600	0
Chile	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4400	0
China	65.7	1.9	13	10234	27	29790	50	57830	110	108000	4402
Coreia do Norte	0	0	0	0	0	0	0	0	1	950	0
Coreia do Sul	141	34.8	21	18716	5	5800	6	8400	0	0	3586
Egipto	0	0	0	0	0	0	1	1000	1	1000	0
EUA	0	0	0	0	0	0	4	5600	10	14400	0
Eslováquia	13.1	53.5	4	1816	2	880	0	0	1	1200	267
Eslovénia	5.5	37.9	1	696	0	0	0	0	1	1000	145
Espanha	50.6	17.5	8	7448	0	0	0	0	0	0	1458
EUA	799	20.2	104	101229	1	1218	9	11662	23	34000	19427
Finlândia	22.6	32.9	4	2721	1	1700	0	0	2	3000	468
França	392	75.2	58	63130	1	1720	1	1720	1	1100	9221
Holanda	4.0	3.7	1	485	0	0	0	0	1	1000	107
Hungria	14.3	43	4	1880	0	0	0	0	2	2200	295
Índia	14.8	2.2	20	4385	5	3900	18	15700	40	49000	1053
Indonésia	0	0	0	0	0	0	2	2000	4	4000	0
Irão	0	0	0	0	1	1000	2	2000	1	300	150
Israel	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1200	0
Itália	0	0	0	0	0	0	0	0	10	17000	0
Japão	263	28.9	51	44642	2	2756	12	16532	3	4000	8195
Jordânia	0	0	0	0	0	0	1	1000			0
Lituânia	10.0	76.2	0	0	0	0	0	0	1	1700	0
Malásia	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1200	0
México	10.1	4.8	2	1600	0	0	0	0	2	2000	247
Paquistão	2.6	2.7	2	400	1	300	2	600	2	2000	68
Polónia	0	0	0	0	0	0	6	6000	0	0	0
Reino Unido	62.9	17.9	19	10962	0	0	4	6680	9	12000	2235
Republica Checa	25.7	33.8	6	3722	0	0	2	2400	1	1200	680
Roménia	10.8	20.6	2	1310	0	0	2	1310	1	655	175
Rússia	153	17.8	32	23084	10	8960	14	16000	30	28000	3757
Suécia	50.0	34.7	10	9399	0	0	0	0	0	0	1537
Suíça	26.3	39.5	5	3252	0	0	0	0	3	4000	557
Tailândia	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5000	0
Turquia	0	0	0	0	0	0	4	4800	4	5600	0
Ucrânia	77.9	48.6	15	13168	0	0	2	1900	20	27000	2037
Vietname	0	0	0	0	0	0	2	2000	12	13000	0
<b>Mundo</b>	<b>2560</b>	<b>13.8</b>	<b>439</b>	<b>375,085</b>	<b>62</b>	<b>64,374</b>	<b>158</b>	<b>176,767</b>	<b>326</b>	<b>370,995</b>	<b>68,971</b>

Constata-se que a Ásia é a região mais atraída pelo nuclear, o que resulta nos avultados investimentos em dezenas de reactores já em construção ou planeados para o curto/médio prazo (Correia *et al.*, 2009). O Japão e Coreia do Sul têm planos para 14 e 11 novos reactores nucleares respectivamente. Ambos os países também estão envolvidos em intensas pesquisas sobre conceitos de futuros reactores ([www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)).

Além do Japão e da Coreia do Sul as economias emergentes, como a Indiana e a Chinesa, precisam de encontrar fontes de energia que satisfaçam as suas crescentes necessidades. Assim, estes países prevêem aumentar a contribuição do nuclear para a geração de electricidade.

A China já é o segundo maior consumidor energético mundial, necessitando por isso de alternativas para a poluente indústria do carvão, base do seu desenvolvimento energético, dispendo de planos bastante arrojados na área do nuclear. Além dos 13 reactores existentes, prevê acrescentar a curto prazo 27 novos (já em construção), tendo ainda mais 50 planeados e 110 propostos (Correia *et al.*, 2009). O Governo pretende, assim, aumentar a capacidade de geração nuclear para 70-80 GWe e possivelmente mais até 2020. O objectivo da Índia é a construção de 20-30 novos reactores até 2020, como parte de sua política energética.

Também a Europa de Leste tem vários projectos em desenvolvimento ou planeados para construção, como é o caso da Bulgária, Eslovénia, Eslováquia e Roménia. A Polónia, a Estónia e a Letónia, estão a considerar desenvolver programas nucleares em conjunto ([www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)).

Mais a ocidente, a França e a Finlândia são os grandes arautos da energia nuclear. O Governo Finlandês iniciou a construção de um quinto reactor (terceiro em Olkiluoto), com entrada em funcionamento em 2012. A França tem também previsto para 2012 o arranque de um novo reactor em Flamanville. Itália decidiu reactivar o seu programa nuclear, e já investiu em reactores na Eslováquia e na França. O Reino Unido aprovou a substituição dos antigos reactores nucleares por novas construções nucleares.

Também no Médio Oriente há projectos para a construção de centrais nucleares, mais concretamente no Egipto, Turquia, Jordânia e Arábia Saudita.

Segundo a WNA, prevê-se uma potência instalada de 446 GWe em 2020, para uma década mais tarde atingir os 524 GWe. Contudo, esta organização prevê também duas alternativas ao cenário de referência, segundo as quais a potência instalada de energia nuclear poderá ter um amplitude dos 367 GWe até aos 518 GWe em 2020, para os valores se situarem entre os 281 GWe e 740 GWe (Tabela 4). Este leque de valores depende muito da política ocidental face ao nuclear.

Se países com a Holanda, Bélgica, Espanha ou Alemanha não alterarem a política de desinvestimento na construção e evolução das centrais que possuem, é provável que se assista a uma quebra na potência instalada. Mas, se estes estados apostarem no fomento do nuclear, sentir-se-á repercussão nos valores de referência.

**Tabela 4** - Previsão da potência nuclear até 2030.  
(fonte: WNA, [www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org))

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
<b>Referência</b>	367	381	410	446	488	524
<b>Pior Cenário</b>	367	372	372	367	317	281
<b>Melhor Cenário</b>	367	389	447	518	613	740

O desenvolvimento técnico e a engenharia moderna permitem que, actualmente, estruturas delineadas para suportar um tempo de vida não superior a 40 anos possam atingir mais algumas décadas em pleno funcionamento. Só nos EUA, cerca de 50 reactores viram as suas licenças de exploração renovadas, podendo operar até 6 décadas após a sua inauguração.

A renovação de componentes dos reactores nucleares é vantajosa tanto a um nível económico, bem como na aceitação social desta forma de energia. Pois a renovação de licenças evita as polémicas referentes à construção ou substituição de unidades existentes.

Muitos países estão a aumentar a capacidade energética do seu parque nuclear através do aumento de potência das centrais. A Suíça aumentou a potência instalada dos seus 5 reactores em 12.3%, enquanto a Espanha espera aumentar mais de 11% à sua capacidade actual. A Finlândia adicionou 29% à potência inicial dos reactores nucleares Olkiluoto 1 e 2 (Correia *et al.*, 2009).

#### 4.4 Caso finlandês

Nesta secção será analisada a situação energética finlandesa e o porquê da escolha da construção de uma nova central nuclear. Optou-se pela situação finlandesa devido a várias características em comum com o nosso país. A Finlândia, como Portugal, aumentou o seu consumo de energia ao longo das últimas décadas. Esta situação provocou uma elevada dependência energética do exterior aumentando as importações de petróleo, carvão, gás natural e electricidade. Como se prevê que o consumo mantenha esta tendência, na próxima década, a dependência energética do exterior registará um agravamento.

A UE rectificou o Protocolo de Quioto em 2002, comprometendo-se a diminuir as suas emissões gasosas que contribuem para o efeito estufa. O objectivo é em 2012 atingir o nível de 1990.

Para eliminar as emissões gasosas provocadas pelas centrais a carvão, estas teriam de ser substituídas por centrais a gás ou centrais nucleares, bastante mais eficientes em termos ambientais.

Assim, a Finlândia optou pela construção de um novo reactor de modo a combater as emissões gasosas e a dependência energética exterior. Os estudos económicos que conduziram à decisão dos políticos finlandeses demonstram que esta forma de geração de electricidade é a mais barata de todas.

A Finlândia produz cerca de 82 biliões de kWh por ano, mas também apresenta um consumo de electricidade *per capita* muito elevado - 16000 kWh/ano. Deste consumo a maior parte (27,8%) provém do nuclear e 15,5% das hidroeléctricas. No entanto, existe ainda uma parcela considerável que é importada (15,3%) ou gerada a partir de combustíveis fósseis importados (principalmente carvão e algum gás). O gás é importado da Rússia e o carvão provém não só da Rússia, mas também da Polónia. De toda a electricidade importada, 14% tem origem na Rússia. O país faz parte do mercado eléctrico nórdico desregulado, que enfrenta escassez, especialmente em anos secos, quando a geração hidroeléctrica é limitada.

Na Finlândia existem quatro reactores nucleares (Tabela 5) e estão entre os mais eficientes (superior a 85%) do mundo. Trata-se de dois BWR fornecidos pela empresa sueca Asea Atomb e operados pela Teollisuuden Voima Oy (TVO); e dois do tipo VVER que são operados pela Fortum Corporationd.

Os reactores finlandeses são notáveis na medida em que já sofreram um aumento de capacidade desde que entraram em funcionamento. Os reactores Olkiluoto 1 e 2 da TVO iniciaram a produção em 1978-80 com 658 MWe líquidos. Trinta anos mais tarde foram aumentados para 860 MWe líquidos cada (30% mais) e o seu tempo de vida foi prolongado para 60 anos, estando sujeitos a avaliação da segurança a cada década. A TVO propõe agora o aumento progressivo para 1000 MW cada.

No que diz respeito aos reactores VVER-440 da Fortum Loviisa, a capacidade sofreu um aumento de 445 MWe líquidos para 488 MWe líquidos em 1977-80. Estes têm uma esperança de vida operacional de 50 anos, apesar de originalmente terem sido projectados para 30. Estão sujeitos a avaliação da segurança em 2015 e 2023. Em 2008, a Areva iniciou um projecto de renovação de seis anos para instalar sistemas modernos digitais de instrumentação e controlo na central.

**Tabela 5 - Reactores em funcionamento na Finlândia.**  
(fonte: www.world-nuclear.org)

	Tipo	MWe líquida	Inauguração	Encerramento
Loviisa 1	VVER-440	488	1977	2027
Loviisa 2	VVER-440	488	1980	2030
Olkiluoto 1	BWR	885	1978	2039
Olkiluoto 2	BWR	860	1980	2042
<b>Total</b>		<b>2721</b>		

Na sequência de um pedido efectuado em Novembro de 2000 pela TVO, o Parlamento da Finlândia votou em Maio de 2002 a aprovação para a construção de um quinto reactor nuclear, para entrar em funcionamento em 2009. A votação foi considerada muito significativa, tendo sido a primeira decisão de construir uma nova central nuclear na Europa Ocidental em mais de uma década. Uma proposta semelhante tinha sido rejeitada em 1993, mas o clima político em toda a Europa, desde então, tornou-se mais favorável à energia nuclear.

O pressuposto da TVO para a construção de um novo reactor baseou-se principalmente em critérios económicos (menor custo de kWh, menor sensibilidade a aumentos dos preços do combustível), mas verificaram-se os benefícios de uma poupança considerável de energia, de segurança e emissões. O apoio do governo para a proposta foi baseado, principalmente, na política climática, enquanto os seus detractores apoiavam um aumento maciço no uso de gás natural (importado da Rússia) para produção de electricidade.

O local do novo reactor foi decidido, em Outubro de 2003, e será na central de Olkiluoto no sudoeste do país, a qual já conta com dois reactores nucleares a operar. Após a apresentação das propostas a TVO anunciou a construção do reactor EPR com 1600 MWe. A Siemens foi contratada para fornecer as turbinas e os geradores. A TVO assinou um contrato de 3.2 biliões de euros com a Areva e a Siemens para a construção do novo reactor.

A construção iniciou-se em Maio de 2005, mas ocorreram atrasos, particularmente sobre a secção do reactor. O carregamento de combustível é esperado no final de 2012, com a entrada em funcionamento em 2013. A derrapagem do custo é considerável.

Em Março de 2007, a TVO e Fortum iniciaram estudos de impacto ambiental para novas unidades nucleares em Olkiluoto e Loviisa respectivamente. Esta é a primeira fase de licenciamento de uma nova central nuclear. Ele é seguido por uma decisão de princípio (pelo Parlamento), seguida de uma licença de construção e, por fim, uma licença de exploração.

Em 2008 a TVO decide construir um PWR ou BWR de 1000-1800 MWe em Olkiluoto, tendo sido concedida a licença em Maio de 2010. A TVO está a considerar a escolha do reactor entre o EPR (1650 MWe), o ABWR (1650 MWe), o ESBWR (1650 MWe), o APWR (1650 MWe) e o APR-1400 (1450 MWe).

Em Junho de 2007, um novo consórcio de empresas industriais e de energia anunciou planos para estabelecer uma empresa comum - Fennovoima Oyi - e, assim, construir uma nova central nuclear na Finlândia. Em Janeiro de 2009 a Fennovoima apresentou o seu pedido ao governo para uma decisão de princípio, a qual foi concedida em Maio de 2010. A empresa apresentou três alternativas para a localização. Ainda em 2009 retirou a hipótese de Loviisa e a escolha recaí agora em dois locais do Norte do país (Pyhäjoki e Simo). A escolha da localização está marcada para meados de 2011 (Tabela 6). O Ministério do Ambiente aprovou planos de ordenamento para ambas localizações. A central proposta terá uma potência entre os 1250-1700 MWe. O reactor a utilizar será o EPR ou ABWR. A decisão final deverá ser tomada em 2012.

**Tabela 6** - Reactores em construção e planeados na Finlândia.  
(fonte: www.world-nuclear.org)

	Tipo	MWe líquida	Início da Construção	Inauguração
<b>Olkiluoto 3</b>	EPR	1600	Maio 2005	2013
<b>Olkiluoto 4</b>	EPR, ABWR, ESBWR, APWR ou APR-400	1450-1650	2012	-
<b>Pyhajoki ou Simo</b>	EPR, ABWR	1250-1650	2014	2020
<b>Total</b>		4300-4900		

O programa de gestão de resíduos nucleares da Finlândia foi iniciado em 1983, logo após a entrada em funcionamento dos quatro reactores. A Lei da Energia Nuclear de 1987 tinha a eliminação final como uma opção e a constituição de um fundo de gestão dos resíduos nucleares no âmbito do Ministério do Comércio e Indústria. A alteração da lei, em 1994, estipula que os resíduos devem ser manuseados inteiramente no país. O desmantelamento do reactor é da responsabilidade das empresas de energia.

Em Janeiro de 2010, uma pesquisa encomendada pelas Indústrias de Energia Finlandesas (Energiateollisuus) mostrou que 48% dos finlandeses tinham uma visão positiva da energia nuclear, e apenas 17% tinham uma visão negativa. A diferença entre os dois foi a maior desde que começaram estes estudos, 28 anos antes. Verificou-se ainda que 30% dos jovens com idades entre 15-24 são a favor da energia nuclear, a maior percentagem de sempre.

## 4.5 Portugal e a energia nuclear

### 4.5.1 História do nuclear em Portugal

Em 1945, Portugal era o terceiro maior produtor de concentrado de Óxido de Urânio do mundo Ocidental. Esta produção era assegurada pela Companhia Portuguesa de Radium Lda., criada em 1929, quando todas as concessões de minérios de Rádio foram adquiridas por um grupo luso-britânico ao Banco Burnay, de Lisboa.

Entre 1939 e 1950, os concentrados de Óxido de Urânio foram exportados para a Inglaterra e para os EUA. Contudo, durante este período, os laboratórios portugueses não puderam ter acesso a qualquer porção de minério de urânio.

Em 1948, o Instituto para a Alta Cultura propõe ao Ministério da Educação Nacional a criação de uma *“comissão de físicos e de geólogos para estudar o aproveitamento do Urânio e fazer uma estimativa da nossa riqueza”*. Esta comissão não será criada por *“uma certa posição internacional”*.

Em 1949, os sócios da Companhia Portuguesa de Radium, Lda., adquirem a totalidade do capital da empresa. Em 11 de Julho desse mesmo ano, é celebrado o acordo Luso-britânico sobre a exportação de minérios de urânio. A produção de concentrados de óxido de urânio, na remodelada e ampliada oficina de tratamento químico da Urgeiriça, tem início em Dezembro de 1951, sendo os concentrados quase integralmente exportados para os EUA, a partir de Fevereiro de 1952.

A 27 de Outubro de 1951, o Ministério da Educação Nacional, comunica ao Presidente do Conselho que *“tenciona propor a inscrição no Orçamento Geral de Estado (OGE) uma verba para a aquisição de bibliografia e organização de uma comissão encarregada de orientar os estudos da energia nuclear, assim como o envio de dois bolseiros para o estrangeiro (Inglaterra e França). A comissão dirá depois o que convirá fazer”*. Em Novembro de 1951, por despacho do Presidente do Conselho, manda inscrever no OGE de 1952 *“uma verba destinada aos estudos com a energia atómica”* (Oliveira, 2002).

Em 29 de Março de 1954, é criada a Junta de Energia Nuclear (JEN). Esta inicia imediatamente um programa de prospecção de urânio no território continental e, a seguir em Angola e Moçambique. Em simultâneo intensifica-se a preparação de pessoal em diversas áreas e o apoio à criação de centros de aplicações de radioisótopos em engenharia civil, agronomia e medicina. O segundo grande passo da JEN consiste na montagem do Laboratório de Física e Engenharia Nucleares (LFEN), cuja criação foi aprovada pelo Presidente do Conselho a 30 de Dezembro de 1955 e inaugurado em 27 de Abril de 1961. As suas finalidades eram os estudos dos nossos minérios e a especialização de pessoal no manejo de reactores nucleares. Pretendia-se, ainda, que o LNEF constituísse um centro de ensino e investigação ao serviço dos nossos estabelecimentos de ensino superior e da indústria.

No período compreendido entre 1955 e 1982, são divulgados diversos estudos para uma hipotética instalação de uma central nuclear em Portugal (CPIN 1962, ETP 1969, CPE 1972).

Em 1982, o Plano Energético Nacional (PEN) admite a entrada em funcionamento, em 1995, de uma primeira central nuclear de 950 MWe, no contexto de lançamento de um programa nuclear que, na hipótese de menor crescimento da economia, teria uma dimensão da ordem de 4000 a 6000 MWe de potência instalada até 2010. Este plano não chega a ser aprovado pelo governo mas é submetido a debate público.

O abandono da opção nuclear é anunciado em 1986 pelo secretário de Estado do Ambiente do X Governo, em declaração pública que passa a constituir uma decisão governamental ao ser ratificada pelo primeiro-ministro. Neste governo o ministro da Indústria e do Comércio e o secretário de estado da Indústria e Energia defendiam que a alternativa do nuclear deveria continuar em estudo.

Em 1993, o XII Governo Constitucional extinguiu o Gabinete de Protecção e Segurança Nuclear, enquadrando as actividades do Departamento de Protecção e Segurança Radiológica do Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI) na Direcção-Geral do Ambiente. Equacionou, ainda, o desmantelamento ou extinção do Instituto de Ciências e Engenharia Nuclear do INETI, mas acabou por transformá-lo no Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN) em 1994.

O XIII Governo Constitucional definiu uma política energética que pressupôs o aproveitamento das energias renováveis, em especial a energia hídrica, o aprovisionamento, transporte, distribuição e utilização do gás natural, produção, distribuição e preços da energia eléctrica, e a utilização racional da energia. Esta política está a ser seguida pelos restantes governos até aos dias de hoje, com maiores ou menores alterações. No final desta legislatura o Governo emitiu o Despacho Conjunto nº 531/99, onde é redefinido o enquadramento orgânico de actuação internacional de Portugal no domínio do nuclear. A Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG) passa a cingir-se ao acompanhamento da evolução do preço do combustível nuclear e com os programas nucleares de outros Estados, abandonando as funções de exercício de direitos e cumprimento de deveres deste sector no panorama internacional. O ITN tem uma actuação quase inexpressiva na investigação e desenvolvimento de áreas relacionadas com a produção de electricidade por via nuclear.

Em 2005 é apresentada uma proposta de construção de uma central nuclear em Portugal, por um grupo de promotores, encabeçado por Patrick Monteiro de Barros, com 1600 MWe de potência instalada e reactor EPR. Após um período de expectativa quanto a um possível debate e discussão, o marasmo voltou a ser total. Este marasmo resulta também da posição do actual Governo Constitucional não tomar partido sobre a energia nuclear em Portugal (Correia *et al.*, 2009).

## 4.6 Sistema eléctrico português

Na sequência da implementação da Lei Base de Electricidade, os sectores vinculado e não vinculado do Sistema Eléctrico Nacional (SEN) foram substituídos por um sistema de mercado único; as actividades de produção e comercialização de electricidade e a gestão dos mercados de electricidade organizados estão agora inteiramente abertas à concorrência, sujeitas à obtenção de licenças e aprovações necessárias. Contudo, as componentes de transporte e distribuição na indústria de electricidade continuam a ser desenvolvidas através de concessões públicas atribuídas.

De acordo com a Lei Base da Electricidade, o SEN divide-se em seis grandes áreas:

- Produção;
- Transmissão;
- Distribuição;
- Comercialização;
- Operação do mercado eléctrico;
- Operações logísticas facilitadoras da transferência entre comercializadores pelos consumidores.

Salvo algumas excepções, cada uma destas áreas é operada independentemente, quer do ponto de vista legal, quer do ponto de vista organizacional ou decisório.

As actividades do sector eléctrico devem ser desenvolvidas de acordo com princípios de racionalidade e eficiência na utilização de recursos ao longo de toda a cadeia de valor (desde a produção até ao consumo final de electricidade) e de acordo com os princípios de concorrência e sustentabilidade ambiental, com o objectivo de aumentar a concorrência e eficiência no SEN, sem prejuízo das obrigações de serviço público ([www.edp.pt](http://www.edp.pt)).

### 4.6.1 Produção de electricidade

A produção de electricidade está sujeita a licenciamento e é desenvolvida num contexto de concorrência. A produção de electricidade divide-se em dois regimes: regime ordinário e regime especial. O regime especial corresponde à produção de electricidade a partir de fontes endógenas e renováveis (excepto grandes centrais hidroeléctricas). A produção em regime especial está sujeita a diferentes requisitos de licenciamento e beneficia de tarifas especiais. O comercializador de último recurso, actualmente a Energias de Portugal, S.A. (EDP), está obrigado a comprar a energia produzida sob o regime especial Português. O regime ordinário abrange todas as outras fontes, incluindo as grandes centrais hidroeléctricas ([www.edp.pt](http://www.edp.pt)).

#### **4.6.2 Transmissão de Electricidade**

A actividade de transmissão de electricidade é desenvolvida através da rede nacional de transporte, ao abrigo de uma concessão exclusiva atribuída pelo Estado Português. Actualmente, a concessão exclusiva da transmissão de electricidade está concedida à Rede Eléctrica Nacional, S.A. (REN), de acordo com o artigo n.º 69 do DL 29/2006, e no seguimento da atribuição de concessão à REN constante do artigo n.º 64 do DL 182/95, de 27 de Julho.

No âmbito dessa concessão, a REN é responsável pelo planeamento, implementação e operação da rede nacional de transmissão, da infra-estrutura associada e de todas as interconexões e outras facilidades necessárias à operação da rede nacional de transporte. A concessão também prevê que a REN coordene as infra-estruturas do SEN para garantir a operação integrada e eficiente do sistema, a continuidade e segurança do abastecimento de electricidade ([www.edp.pt](http://www.edp.pt)).

#### **4.6.3 Distribuição de Electricidade**

A distribuição de electricidade no âmbito da Nova Lei Base de Electricidade consiste na rede de média e alta tensão, e ainda as redes de distribuição de baixa tensão.

A rede nacional de distribuição é operada através de uma concessão exclusiva atribuída pelo Estado Português. Esta concessão exclusiva do direito de operar a rede nacional de distribuição está atribuída à subsidiária do grupo EDP, EDP Distribuição, conforme o artigo n.º 70 do DL 29/2006, em resultado da conversão da licença detida pela EDP Distribuição ao abrigo da Antiga Lei Base de Electricidade. Os termos da concessão estão estabelecidos nos DL 172/2006.

As redes de distribuição de baixa tensão continuam a ser operadas ao abrigo de acordos de concessão firmados mediante concurso público lançado pelos municípios. Os acordos de concessão existentes deverão ser mantidos ou aditados, visando cumprir os requisitos do novo regime, conforme definido no DL 172/2006 ([www.edp.pt](http://www.edp.pt)).

#### **4.6.4 Comercialização de Electricidade**

A comercialização de electricidade encontra-se inteiramente aberta à concorrência. Os comercializadores podem comprar e vender electricidade livremente e têm o direito de aceder às redes de transporte e de distribuição mediante o pagamento de tarifas de acesso estabelecidas pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE). Os consumidores podem escolher o seu comercializador e trocar de comercializador sem quaisquer encargos adicionais.

Deverá ser constituída uma nova entidade, cuja actividade será regulada pela ERSE, para supervisionar as operações logísticas de mudança de comercializador. Os comercializadores estão sujeitos a certas obrigações de serviço público no que respeita à qualidade e ao abastecimento contínuo de electricidade e, também, a fornecer acesso à informação em termos simples e compreensíveis ([www.ren.pt](http://www.ren.pt)).

#### **4.6.5 Operação dos Mercados de Electricidade**

A operação dos mercados de electricidade organizados está sujeita a uma autorização conjunta do Ministro das Finanças e do Ministro responsável pelo sector de energia. A entidade gestora dos mercados organizados está igualmente sujeita a autorização do Ministro responsável pelo sector de energia e, quando requerido por lei, pelo Ministro das Finanças.

Os mercados de electricidade organizados em Portugal deverão ser integrados em outros mercados de electricidade organizados estabelecidos entre Portugal e qualquer Estado membro da EU. Os produtores de electricidade a operar em regime ordinário e os comercializadores, entre outros, podem tornar-se membros desse mercado. Desde 1 de Julho de 2007 o Mercado Ibérico de Electricidade (MIBEL) está totalmente operacional, com transacções diárias tanto em Portugal como em Espanha, incluindo o mercado a prazo, já em funcionamento desde Julho de 2006 ([www.edp.pt](http://www.edp.pt)).

#### **4.6.6 Logística na Mudança de Comercializador**

Em condições de Mercado, os consumidores são livres de escolher o seu fornecedor/comercializador de electricidade, estando isentos de qualquer custo quando mudem de fornecedor. No sentido de gerir o processo de mudança de comercializador, o qual implicará a gestão de leitura de electricidade e de contador, será criada uma entidade, o Operador Logístico de Mudança de Comercializador (“OLMC”). Esta entidade deverá ser independente das restantes entidades do SEN, tanto do ponto de vista legal, organizacional como decisório ([www.edp.pt](http://www.edp.pt)).

### **4.7 Caracterização da rede nacional de transporte**

#### **4.7.1 Consumo**

Em 2009 o consumo total abastecido pela rede pública registou o valor de 49,9 TWh, dos quais 82% respeitantes aos clientes com tarifa regulada e os restantes 18% aos aderentes ao mercado liberalizado. Este valor traduz o agregado da produção líquida injectada na rede pública pelos centros produtores, produtores em regime ordinário (PRO), produtores em regime especial (PRE) e do saldo das trocas internacionais, subtraído do consumo para a bombagem hidroeléctrica (REN, 2010).

A Figura 32 representa a evolução semanal do abastecimento do consumo por tipo de fonte primária de energia utilizada ao longo de 2009.

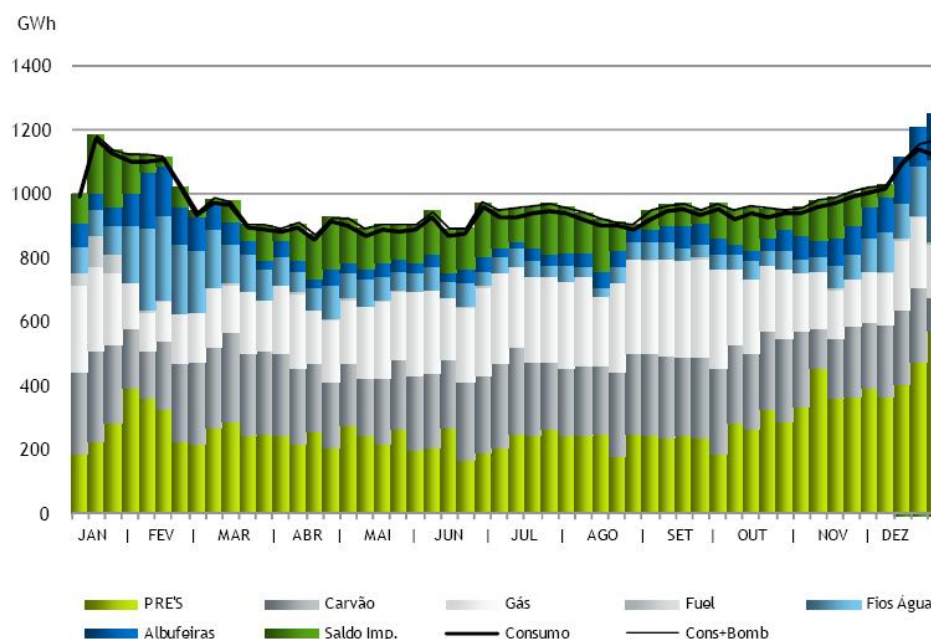


Figura 32 - Evolução do consumo semanal de 2009.  
(fonte: REN, 2010)

O consumo de energia eléctrica em 2009 relativamente a 2008 reduziu-se 1,4% (Figura 33), evolução contrária à verificada em 2008 que tinha tido um aumento de 1,1% face ao valor de 2007. Considerando a correcção do efeito da temperatura e do número de dias úteis o decréscimo do consumo situa-se em 1,8%, enquanto no ano anterior foi registado um aumento de 1,2% (REN, 2010).

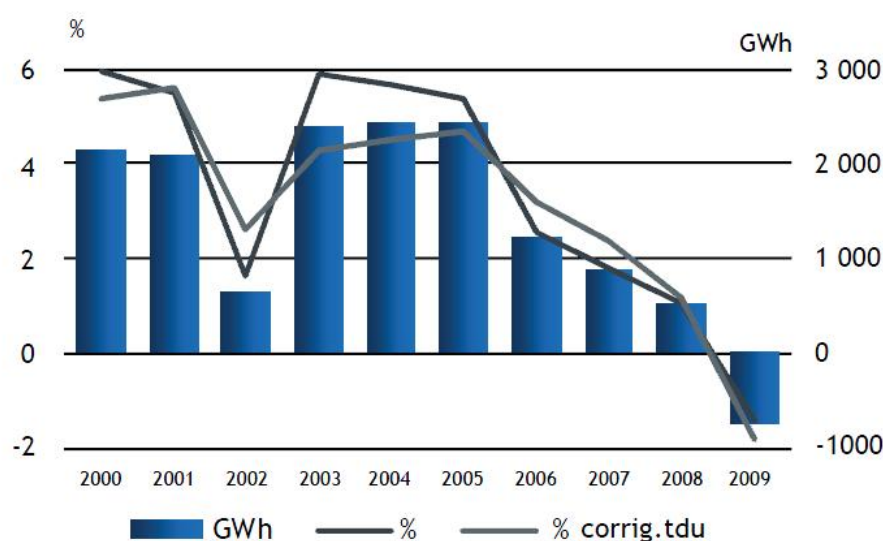


Figura 33 - Evolução do consumo.  
(fonte: REN, 2010)

No ano 2009, a potência máxima solicitada à rede pública foi de 9217 MW, no dia 12 de Janeiro às 19:45h, correspondendo a um aumento de 244 MW em relação ao máximo de 2008, que havia sido de 8793 MW, ou seja um acréscimo de 2,7%. O valor máximo de consumo diário, que teve lugar no dia 9 de Janeiro, foi de 178 GWh. A Figura 34 apresenta o valor máximo de ponta ocorrido em cada mês do ano (REN, 2010).

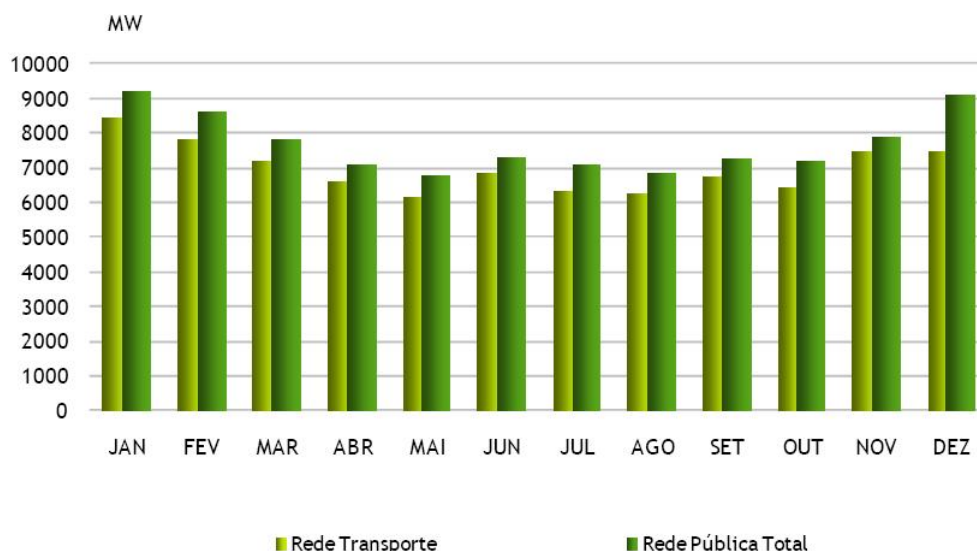


Figura 34 - Pontas na rede em 2009.  
(fonte: REN, 2010)

Na Figura 35 mostra a evolução do consumo de electricidade ao longo da última década.

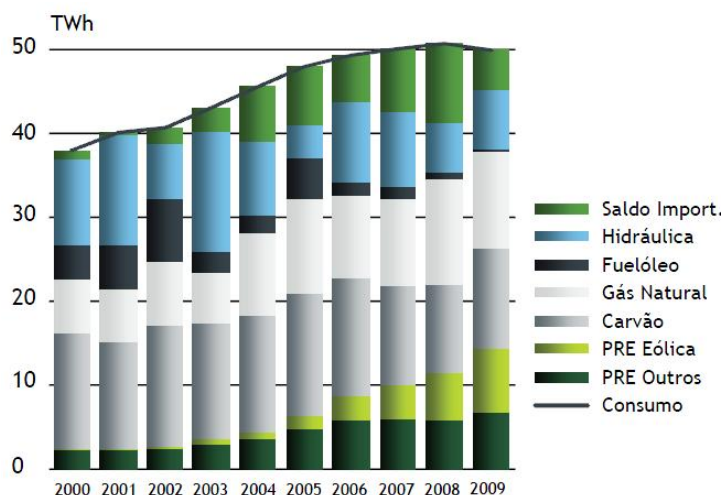
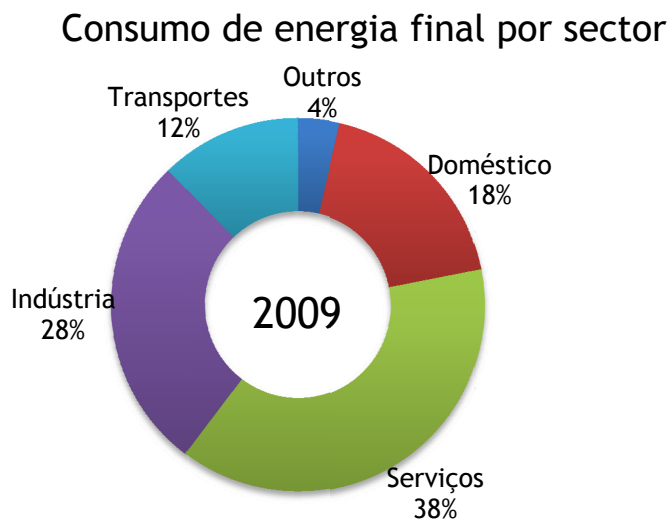


Figura 35 - Evolução do consumo de electricidade na última década.  
(fonte: REN, 2010)

Embora ainda com um peso bastante significativo, os combustíveis de origem fóssil mais poluentes como é o caso do carvão e do fuelóleo têm vindo a sofrer um decréscimo na sua utilização para gerar electricidade.

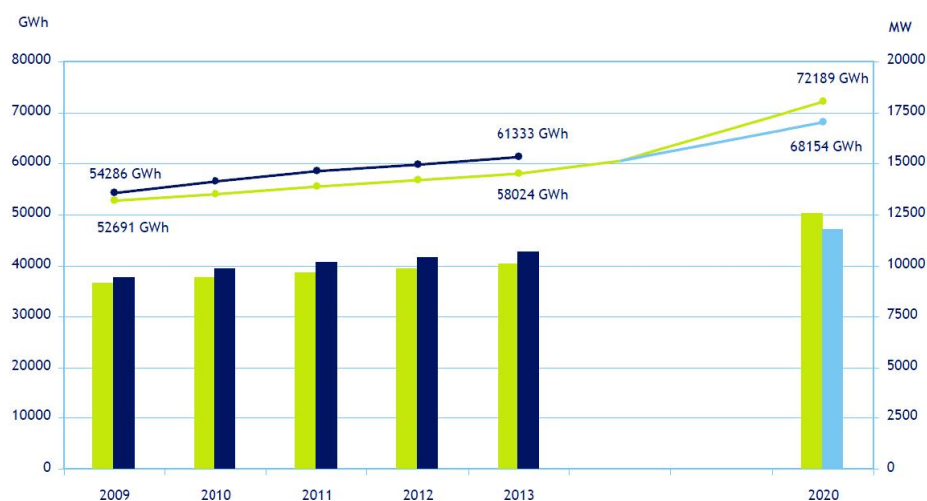
Isto acontece pela substituição da utilização deste tipo de centrais em detrimento de outras fontes de energia menos poluentes, como é o caso da energia eólica e de outras fontes de energia renováveis. As importações de energia têm vindo a ter um peso cada vez maior na energia eléctrica consumida actualmente.

A Figura 36 apresenta a distribuição dos consumos por sector económico.



**Figura 36** - Distribuição dos consumos por sector económico.  
(fonte: dgeg, 2010)

Em 2009, o peso do consumo (Figura 37) dos principais sectores de actividade económica relativamente ao consumo final de energia foi de 27,5% na Indústria, 38,4% nos Transportes, 18,3% no sector Doméstico, 12,2% nos Serviços e 3,6% nos outros sectores (onde se inclui a Agricultura, Pescas, Construção e Obras Públicas). Constata-se, assim, uma forte incidência dos sectores de Indústria e Transportes no consumo de energia final.



**Figura 37** - Cenários de evolução dos consumos e respectivas pontas.  
(fonte: REN, 2010)

De acordo com o cenário de referência, Portugal irá ter em 2020 um consumo de 72 189 GWh (Figura 37), o que significa um aumento de 43% em relação ao consumo que se verificou em 2008. Embora o crescimento seja bastante acentuado, este facto não deve ser preocupante pois a potência instalada vai aumentar significativamente ao longo destes anos. Segundo os dados da REN a potência de ponta que se irá verificar nesse ano é de 12,5 GW. Actualmente Portugal já tem disponível essa potência.

#### 4.7.2 Produção

No final de 2009 (Tabela 7) a potência instalada nas centrais PRO era de 11268 MW, valor superior ao de 2008 em 870 MW, resultante da entrada em serviço da central de ciclo combinado de Lares (REN, 2010).

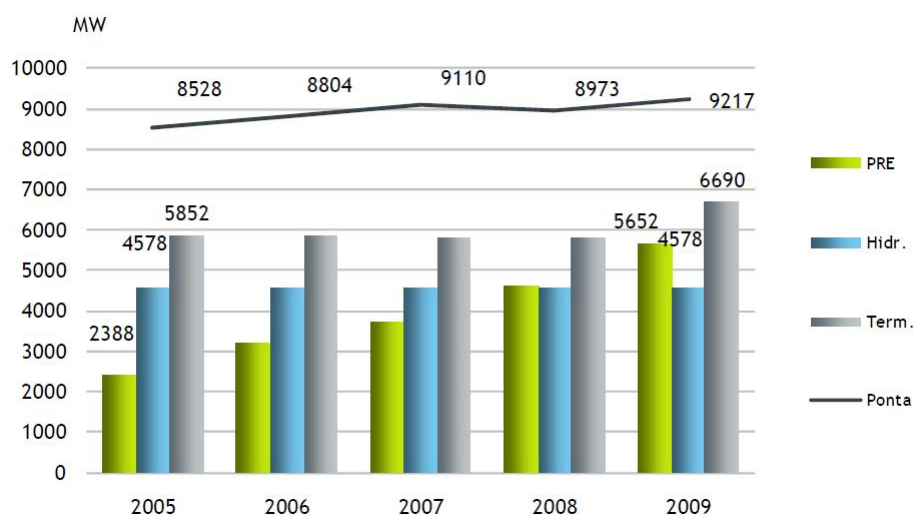
Verifica-se que dos 16738 MW de potência instalada, 10048 MW (ou seja 60%) são de fontes produtoras portuguesas, ou seja, que não contribuem para a dependência externa em termos de energia. Este facto não é tão positivo como parece, pois esta potência instalada advém de fontes produtoras de origem hídrica e de fontes de energia renováveis, ou seja fontes muito dependentes das variações climatéricas e o seu tempo de utilização anual não é muito elevado quando comparado com as centrais termoeléctricas ou nucleares.

**Tabela 7 - Potência Instalada em 2009.**  
(fonte: REN, 2010)

	2009	2008
<b>Potência Instalada PRO (MW)</b>	16738	14924
<b>Centrais Hidroeléctricas</b>	4578	4578
<b>Centrais térmicas</b>	6690	5820
Carvão	1776	1776
Fuel	1476	1476
Fuel/Gás natural	236	236
Gasóleo	165	165
Gás natural	3036	2166
<b>Potência PRE</b>	5470	4526
Hidráulica	405	385
Térmica	1631	1424
Eólica	3357	2662
Fotovoltaica	75	53
Energia das ondas	2	2

Pelo que, grande parte da energia gerada vem das centrais térmicas, pois muito embora tenham menos potência instalada têm uma utilização anual bastante mais eficaz. A produção eólica tem vindo a crescer (26%, do ano 2008 para 2009). Trata-se da fonte energética com o maior crescimento em Portugal.

A Figura 38 apresenta uma comparação, desde o ano 2005, entre a potência instalada e a ponta máxima anual (REN, 2010).

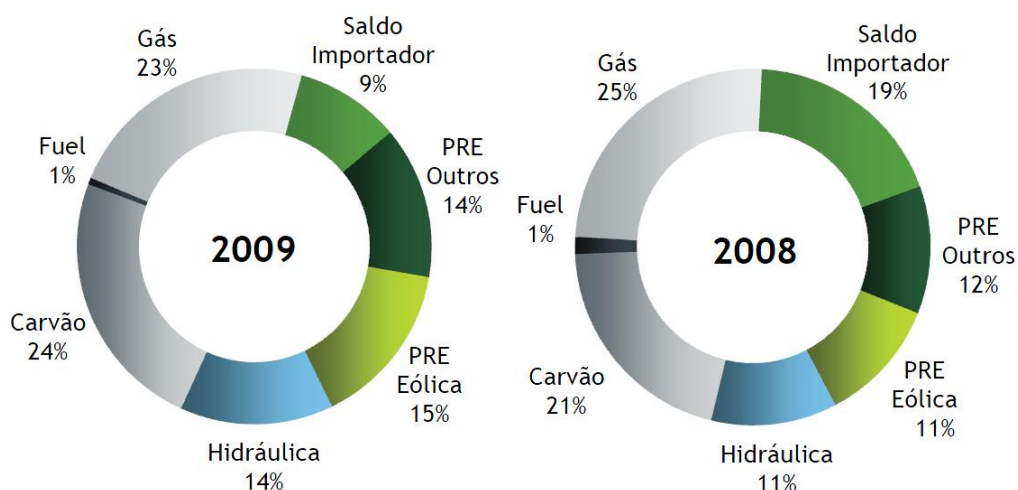


**Figura 38** - Potência instalada e ponta máxima anual (PRO + PRE).  
(fonte: REN, 2010)

O aumento da potência ao longo dos últimos anos é apenas devido ao aumento dos produtores em regime especial, pois a potência instalada das centrais hidroeléctricas e das centrais termoeléctricas tem-se mantido constante (apenas um ligeiro aumento no ano 2009 nas centrais termoeléctricas).

A potência instalada tem sido sempre suficiente para satisfazer o consumo em termos de potência de ponta.

A Figura 39 e a Tabela 8 mostram a desagregação pelas diferentes naturezas de produção dos 49,9 TWh de consumo total verificados em 2009 e os 50,6 TWh em 2008 (REN, 2010).



**Figura 39** - Energia emitida para a rede por tipo de central no biénio de 2008-2009.  
(fonte: REN, 2010)

Em 2009, a produção hídrica PRO entregue à rede pública foi de cerca de 7,9 TWh, montante significativamente superior ao verificado no ano anterior (+23%) e a que corresponde a um índice de hidraulicidade anual de 0,77. Esta fonte de energia primária teve um contributo de 15,8% para a satisfação do consumo, cabendo à produção térmica PRO uma participação de 47,5% (23,7 TWh) (REN, 2010).

**Tabela 8 - Dados gerais de produção e consumo no SEN.**  
(fonte: REN, 2010)

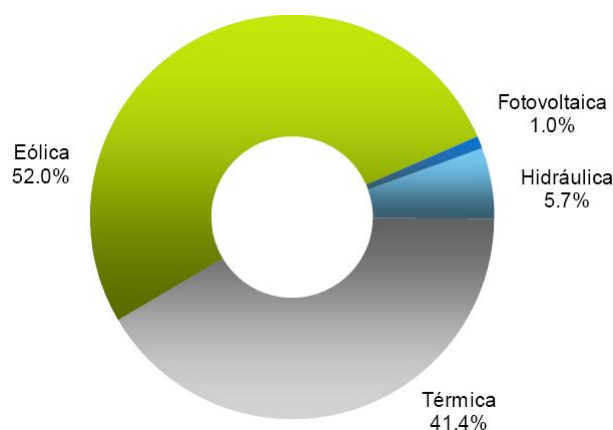
Consumo referido à produção líquida	2009 (GWh)	2008 (GWh)	Varição (%)
<b>Produção em Regime Ordinário</b>	31600	30238	5
Hidráulica	7892	6441	23
Térmica	23708	23797	0
Carvão	11942	10423	15
Fuel/Gasóleo	303	801	-62
Gás natural	11463	12573	-9
<b>Produção em Regime especial</b>	14417	11565	25
Hidráulica	823	660	25
Térmica	5963	5177	15
Eólica	7492	5695	32
Fotovoltaica	139	33	316
Ondas	-	0	-
<b>Saldo Importador</b>	4777	9431	-49
Importação	5616	9479	-41
Exportação	827	40	>
<b>Bombagem hidroeléctrica</b>	929	639	45
<b>Consumo Total</b>	49865	50595	-1,4

É possível verificar que a maioria da energia eléctrica tem origem em combustíveis fósseis (47%). Este é um facto preocupante, pois o país está extremamente dependente de importações de combustíveis para fazer frente ao consumo que apresenta.

O saldo de trocas com a rede eléctrica espanhola foi de 4,8 TWh, com um sinal importador, valor que corresponde a 9,6% do consumo total. A energia de circulação atingiu os 2 TWh.

A produção em regime especial, com 14,4 TWh, teve um contributo de 28,9% para a satisfação do consumo. Deste número cerca de 53% provém de eólica, que aumentou de 5,7 TWh em 2008 para os 7,5 TWh em 2009, sendo o restante de origem térmica (cogeração e térmica renovável), hídrica e fotovoltaica (Figura 40).

A evolução expectável do sistema electroprodutor em regime ordinário, no período 2009-2013 e até 2020, resulta das datas previstas para o descomissionamento das centrais existentes, do estado de desenvolvimento dos projectos de construção dos 8 novos grupos CCGT “*Combined Cycle Gas Turbine 400*” que se encontram licenciados e da informação mais recente sobre as intenções de investimento pelos produtores. Nesta evolução é de salientar a desclassificação faseada da central do Carregado entre 31 de Julho de 2009 e 31 de Maio de 2012, e a desclassificação dos grupos 3 e 4 da central de Tunes em Dezembro de 2010 (REN, 2010).



**Figura 40** - Emissão de produção em regime especial  
(fonte: REN, 2010)

Admite-se que, a partir de 2015, poderá ser instalada uma central de demonstração a carvão com captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> e que, em 2020, terminado o período experimental, deverá contribuir para a segurança de abastecimento dos consumos (REN, 2010).

O cenário de evolução da Produção em Regime Especial (PRE) traduz a melhor estimativa que, no momento, se pode fazer do crescimento da PRE. Na sua elaboração foi tida em conta a evolução verificada em 2007 e as metas, definidas para cada componente, na RCM n.º1/2008 que aprova as novas metas para políticas e medidas dos sectores da oferta de energia e dos transportes do Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) 2006. No longo prazo (2020) este cenário baseia-se na melhor informação disponível sobre os potenciais de aproveitamento dos recursos renováveis e de evolução tecnológica, obtida a partir dos estudos que têm vindo a ser desenvolvidos para esse efeito (REN, 2010).

A evolução do parque hidroeléctrico no curto/médio prazo teve em conta a informação disponibilizada pelos produtores no que respeita aos reforços de potência dos aproveitamentos existentes, num total de cerca de 1500 MW, dos quais mais de 1080 MW são reversíveis, e aos novos aproveitamentos em fase de implementação, Baixo Sabor (168 MW reversíveis) e Ribeiradio (70 MW) (REN, 2010).

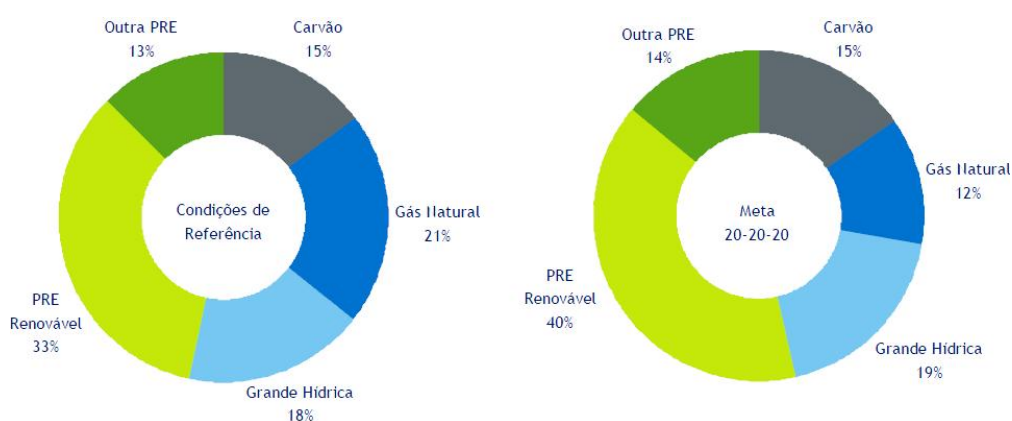
Até 2020 admitiu-se a concretização do Programa Nacional de Barragens de Elevado Potencial Hidroeléctrico, que contempla um conjunto de 10 novos aproveitamentos, totalizando cerca de 1100 MW de potência, dos quais 810 MW em equipamento reversível, e representando uma produção em ano hidrológico médio de cerca de 1630 GWh (REN, 2010).

A potência total instalada vai ter um crescimento gradual, atingindo pouco menos de 27 GW em 2020 (Figura 41), o que comparando com dados de 2008 representa quase duplicar a potência instalada actualmente. Em 2020, grande parte da produção electricidade com base no carvão irá acabar, com o objectivo de se conseguir energia através de fontes mais limpas.



**Figura 41 - Evolução esperada do sistema electroprodutor nacional (fonte: REN, 2010)**

A repartição da potência por fonte vai ter algumas mudanças significativas. A mais evidente é o crescimento do peso energia com origem em produção em regime especial, pois esta será responsável por quase 50% de toda a produção do país (Figura 42). Isto apresenta uma série de vantagens, ao ser uma energia de produção nacional e com origens em fontes limpas e logo não vai emitir CO<sub>2</sub> para atmosfera. Contudo, o consumo feito em Portugal vai estar intimamente dependente da existência ou não de condições atmosféricas para que este tipo de energia possa ser produzido e obrigar a que outras fontes de energia esteja prontas a serem accionadas, caso as fontes de origem renovável não estejam disponíveis. A existência de uma grande componente hídrica funciona como um resguardo necessário nestes casos, pois é uma fonte de energia que rapidamente esta pronta a produzir electricidade. O facto de o país estar ligado a outros através da rede de transmissão eléctrica permite colmatar quaisquer perdas de potência momentâneas que possam acontecer.



**Figura 42 - Estrutura do abastecimento na média dos regimes, em 2020. (fonte: REN, 2010)**

### 4.7.3 Interligação internacional

A capacidade de interligação internacional assume uma importância muito especial no sentido de permitir trocas internacionais, quer de carácter comercial, quer para socorro mútuo, entre as redes de Portugal e do resto da rede da ENTSO-E (*European Network of Transmission System Operators for Electricity*), em particular a de Espanha. Essa capacidade está sujeita a significativas flutuações no tempo, quer em função da variabilidade dos perfis de consumo e de geração das duas redes ibéricas, quer como consequência das indisponibilidades programadas ou fortuitas dos seus elementos. O movimento comercial nas interligações está representando na Figura 43 para os anos compreendidos entre 2005 e 2009 (REN, 2010).

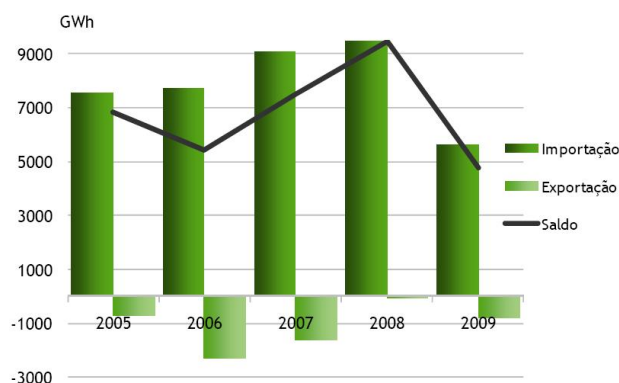


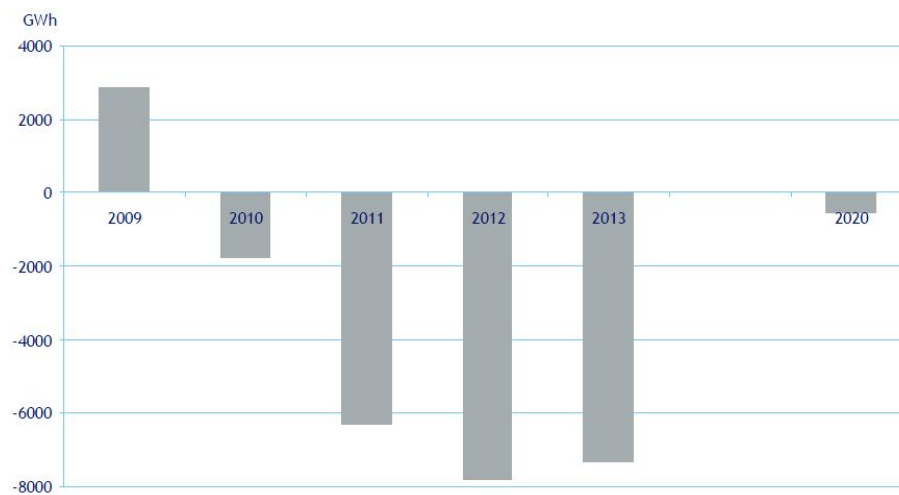
Figura 43 - Movimento comercial nas interligações. (fonte: REN, 2010)

Os movimentos físicos nas linhas de interligação e ligações transfronteiriças no ano de 2009 são apresentados na Figura 44. Este movimento registou um decréscimo de 49% em 2009, tendo sido registado o valor mais baixo desde 2003 (REN, 2010).



Figura 44 - Movimentos nas linhas de interligação internacional em 2009. (fonte: REN, 2010)

A folga conjuntural de capacidade de base conduz, em 2012, a um potencial de exportação de cerca de 8 TWh. Com a nova capacidade térmica prevista para depois de 2010, no cenário de referência (Figura 45) de evolução dos consumos o sistema português poderá passar de importador a exportador.

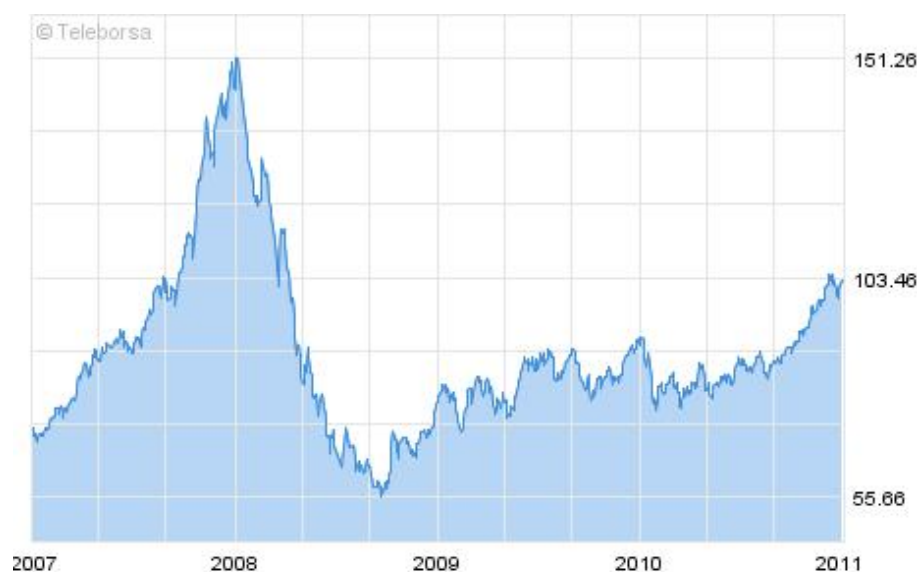


**Figura 45** - Cenário de referência de evolução dos consumos, evolução 2009-2013 e 2020.  
(fonte: REN, 2010)

## Capítulo 5

### 5. Estudo económico e energético

A energia nuclear é uma alternativa estratégica à excessiva dependência mundial dos combustíveis fósseis, permitindo atenuar a vulnerabilidade do sistema económico no que respeita à instabilidade das cotações internacionais de crude (Figura 46). Contudo, importa avaliar se o nuclear realmente se assume como competitivo para a produção de electricidade em larga escala. Sob o ponto de vista económico, os riscos de um projecto nuclear são superiores aos de outros projectos energéticos ou industriais. Estes riscos estão relacionados com o elevado investimento inicial, questões de índole tecnológica, determinadas intervenções políticas, regulações e moratórias. A estes factores, acrescem experiências negativas no passado, em que os custos finais atingiram valores muito superiores aos inicialmente previstos.



**Figura 46** - Cotação do barril de Brent nos últimos 5 anos.  
(fonte: [www.londonstockexchange.com](http://www.londonstockexchange.com))

Os aspectos económicos referentes à construção e operação de uma central nuclear poderão ser geridos de modo a definir concretamente quais os riscos em causa e a responsabilidade de cada um dos intervenientes no processo.

Na análise económica deste tipo de empreendimentos é usual contemplar duas categorias de custos:

- **Custos fixos** - independentes do aproveitamento da central nuclear, os custos fixos referem-se à construção das instalações. Trata-se de custos elevados, o esforço financeiro a fazer determina que, por vezes, a rentabilidade destes investimentos dependa de factores exógenos à produção energética (valores das taxas de juro ou o tempo de construção);
- **Custos variáveis** - custos de operação e manutenção relacionados com o combustível utilizado nos reactores. Definem-se como variáveis, pois dependem dos gastos com a mão-de-obra, instalações e meios técnicos, preço do urânio natural, etc.

O financiamento necessário para a construção de um central nuclear é um aspecto crítico na caracterização económica desta indústria. Tendencialmente, a ponderação do seu papel será mais fácil se for comprovado criteriosamente que se trata de um investimento de menor risco. Muitos países simplificaram as questões burocráticas e a concessão de licenças decorrentes do processo de construção das centrais, consequência da comprovada segurança à escala global que esta indústria demonstra (Correia *et al.*, 2009).

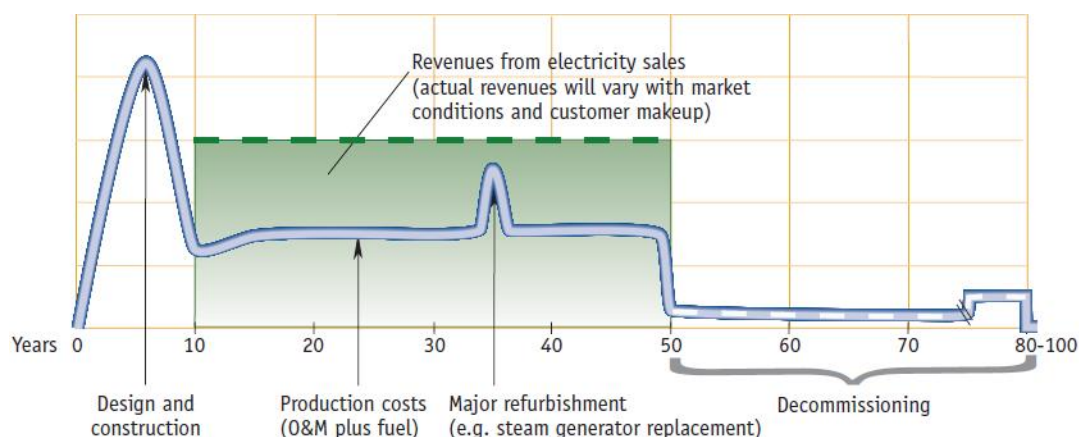


Figura 47 - Cash-flow de uma central nuclear ao longo da sua vida útil.  
(fonte: Harvey, s.d.)

## 5.1 Parâmetros de análise

Os parâmetros em que se baseia a análise da viabilidade económica da indústria nuclear são quatro:

- Custos de capital;
- Custos de operação e manutenção;
- Custos com o combustível;
- Custos de desmantelamento (Figura 48).

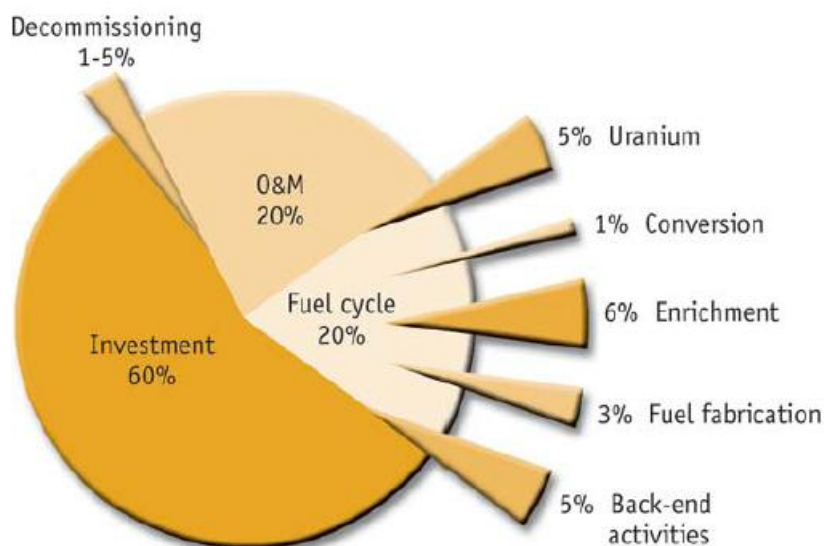


Figura 48 - Custos de uma central nuclear.  
(fonte: Harvey, s.d.)

### 5.1.1 Custos de capital

Os custos de capital das centrais nucleares dependem de vários factores, tais como: o tamanho da central, localização, melhoria do projecto, estandardização das centrais e melhoria de desempenho. Na França, por exemplo, o programa nuclear baseia-se na estandardização das centrais nucleares (Harvey, s.d.).

O capital a investir na construção de reactores nucleares representa entre 45 a 70% do custo total. Este valor advém das exigências de segurança, do tipo e potência da central, localização (junto ao mar, rio, refrigeração por intermédio de uma barragem, incidência sísmica), do seu desempenho e estandardização dos vários reactores do país.

O intervalo de tempo que decorre entre o início da construção e o início de exploração tem igualmente um importante papel no apuramento dos capitais necessários para a conclusão do empreendimento. Actualmente estima-se em cerca de 60 meses o tempo necessário para a construção de uma central nuclear. Se o tempo de construção diminuir de 5 para 4 anos, os custos de capital irão sofrer uma redução. O tempo de vida útil das centrais é também uma vantagem, pois um aumento de 40 para 60 anos de exploração permite que a amortização do investimento seja efectuada em prestações mais suaves.

Espera-se que com a evolução tecnológica, haja redução dos valores de capital a investir (Correia *et al.*, 2009).

### 5.1.2 Custos de operação e manutenção

Estes custos têm sofrido uma redução desde o início da década de 1990, permitindo obter um maior rendimento das centrais (Tabela 9). Os maiores ou menores gastos em operação e manutenção são influenciados pelos regulamentos, desempenho técnico do reactor, exigências de segurança e custos de pessoal. Também os custos de seguros são definidos como custos de operação.

Um exemplo da diminuição destes custos é o caso francês. Os custos dos reactores de 1300 MWe diminuíram entre 20% a 30% relativamente aos reactores de 900 MWe, o que se reflectiu nos baixos custos praticados pela Électricité de France S.A. (EDF) entre 1981 e 2002, que nunca ultrapassaram os 2,2 cêntimos de euro/kWh. Estes custos representam entre 15% a 40% do valor total do kWh gerado por uma central nuclear.

**Tabela 9** - Custos de operação e manutenção das centrais nucleares dos EUA entre 1980 e 2003.  
(fonte: [www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org))

	1981	1985	1990	1995	2000	2003
Custos de operação e manutenção	1,41	1,93	2,07	1,73	1,37	1,28

### 5.1.3 Custos com o combustível

Os custos com combustível incluem todos os custos relacionados com o ciclo do combustível, custos de extracção, purificação, enriquecimento, fabrico e reprocessamento.

Estes custos têm sofrido uma redução nos últimos anos (Tabela 10). A melhoria de técnicas, crescente comercialização de centrais nucleares mais competitivas e rentáveis, utilização do combustível em ciclo fechado, permitiram ganhos de eficiência e uma redução ainda mais acentuada dos custos.

A actual tendência do mercado é para a redução do valor do urânio, depois de um período de alta. Como os gastos com o combustível não representam mais que 5% a 10% dos custos totais por kWh, um eventual aumento do valor de mercado do urânio não trará grandes repercussões para o preço da electricidade ao consumidor (Correia *et al.*, 2009).

**Tabela 10** - Custos com o combustível das centrais nucleares dos EUA entre 1980 e 2003.  
(fonte: [www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org))

	1981	1985	1990	1995	2000	2003
Custos com o combustível	1,06	1,28	1,01	0,69	0,52	0,44

### 5.1.4 Custos de desmantelamento

Estes custos são cobertos por um fundo que é alimentado por uma percentagem dos lucros correspondentes à produção. Estes custos são da responsabilidade da respectiva empresa concessionária.

O tempo de vida útil de uma central varia entre os 40 e os 60 anos, após o qual as instalações devem ser encerradas e colocadas numa situação que não coloque em perigo o meio ambiente. O desmantelamento não fica concluído em menos de uma década, tendo como custos estimados entre 30% e os 60% do valor despendido para a sua construção. Estes valores dependem do tipo de reactor utilizado na central. Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), em 2003, os custos de desmantelamento de uma central eram os seguintes: \$200-500 por kWh para os PWR, \$300-550 por kWh para os BWR, \$270-430 por kWh para os CANDU; os AGR e Magnox implicam um maior investimento na sua desactivação, devido à enorme quantidade de material radioactivo envolvido nesta tarefa, podendo atingir os \$2600 por kWh.

Os custos de desmantelamento de uma central nuclear são uma pequena fracção dos custos totais de produção eléctrica. Um reactor da Areva, cujo custo de construção inicial está estimado nos 2,8 mil milhões de euros, se por hipótese extrema os custos de desmantelamento fossem de 6 mil milhões de euros e atendendo que o tempo de vida da central seria de 60 anos, o custo de desmantelamento seria na ordem de 100 milhões de euros por ano (Correia *et al.*, 2009).

### 5.2 Oferta e procura de Urânio

O Urânio é um elemento que aparece com muita frequência na crosta terrestre e nos oceanos (Tabela 11).

**Tabela 11 - Concentrações típicas de urânio**  
(fonte: Varandas s.d.)

Fonte	Concentração (em partes por milhão)
Minério de Alta Concentração	20000
Minério de Baixa Concentração	1000
Granito	4
Rochas Sedimentares	2
Água do Mar	0,003

Mas se todo o planeta possui urânio, já as jazidas economicamente viáveis são exploradas por apenas cerca de duas dezenas de Estados (Tabela 12).

Tabela 12 - Recurso naturais conhecidos de urânio em 2009.  
(fonte: www.world-nuclear.org)

País	Toneladas de U	Percentagem do mundo
Austrália	1673000	31%
Cazaquistão	651000	12%
Canadá	485000	9%
Rússia	480000	9%
África do Sul	295000	5%
Namíbia	284000	5%
Brasil	279000	5%
Níger	272000	5%
EUA	207000	4%
China	171000	3%
Jordânia	112000	2%
Uzbequistão	111000	2%
Ucrânia	105000	2%
Índia	80000	1,5%
Mongólia	49000	1%
Outros	150000	3%
<b>Total mundial</b>	<b>5404000</b>	

O *Uranium 2007 - Resources, Production and Demand*, considerado como um dos relatórios referência para o sector da oferta e procura de urânio natural, anuncia que em 2006 a produção primária de urânio satisfaz cerca de 60% das necessidades dos reactores nucleares de todo o mundo, isto é 39603 toneladas. Os restantes 40% foram supridos a partir de fontes secundárias de urânio, como os stocks militares que já não têm utilização prática, o reprocessamento através do ciclo fechado de combustível e o enriquecimento de urânio empobrecido.

A Europa Ocidental é uma região pobre em urânio, produzindo apenas 47 toneladas das 18060 toneladas consumidas pelos seus reactores (0,2% das necessidades). Mais uma vez, a inexistência de recursos naturais consistentes exige a importação de matéria-prima. Contudo, a indústria nuclear europeia suporta o seu negócio através de variáveis económicas e geopolíticas. O urânio é um combustível cujo preço ao consumidor é bem menos instável, ao não influenciar mais que 5% a 10% do preço final da electricidade produzida por este meio. Os países fornecedores da União Europeia são países politicamente estáveis e seus aliados, estratégicos e culturais.

Estima-se que, por volta de 2030, face a um previsível crescimento das necessidades uraníferas e ao aumento da procura desta matéria-prima, as necessidades mundiais de urânio natural variem entres as 93775 e 121955 toneladas.

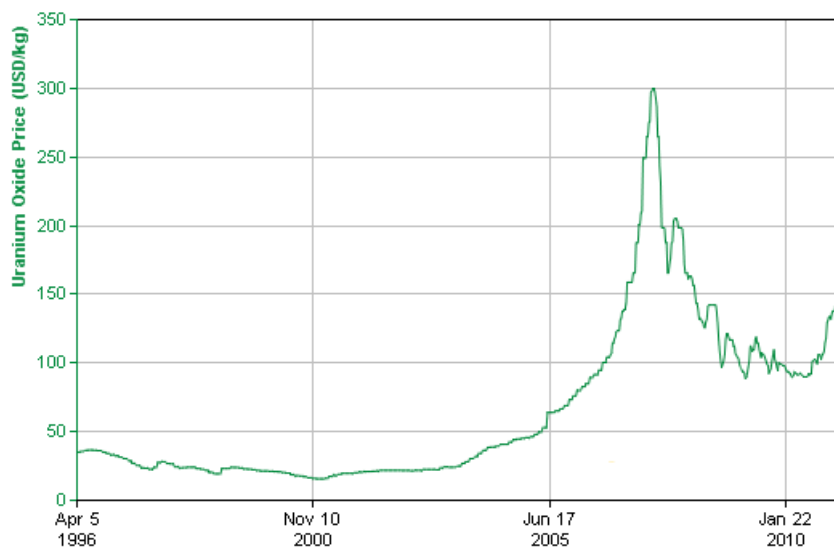
Países como a Austrália, Cazaquistão, Níger, Namíbia e Uzbequistão não consomem urânio, pelo que toda a sua produção serve exclusivamente para exportações. É imperioso reforçar a produção primária de urânio, pois estima-se que a partir de 2020 as fontes secundárias sofram uma redução na sua importância. De acordo com diversos estudos internacionais, estima-se que os arsenais nucleares de todo mundo possuam 600 mil toneladas de urânio.

Após 2020, com a menor capacidade produtiva por via secundária, é expectável que o volume de recursos de urânio primário seja capaz de suprir essa diminuição, mesmo em cenários de menor eficiência do ciclo de combustível do urânio e sem qualquer necessidade de recorrer ao tório. Este factor terá também consequências no aumento do preço do urânio nos mercados internacionais e da pressão sobre o sector mineiro para o fornecimento do metal.

A AIEA estima que existam ainda 16 milhões de toneladas de urânio por descobrir, o que estende significativamente o período de aproveitamento e utilização das reservas desta fonte de combustível, sem aplicar quaisquer técnicas de reciclagem. Segundo o Internacional Panel on Climate Change (IPCC), os recursos de urânio já identificados e com um consumo idêntico ao de 2004, os reactores terão matéria-prima para o seu funcionamento durante 85 anos. Se somar todos os recursos convencionais, o urânio durará mais 270 anos. Com o aproveitamento dos fosfatos, poderá funcionar mais 670 anos. Mas, através da operacionalização dos reactores a neutrões rápidos, as reservas de urânio natural estender-se-ão por milhares de anos, nunca menos de 2600 anos e podendo mesmo chegar aos 160 mil anos para os reactores regeneradores rápidos.

O valor do urânio está naturalmente dependente das flutuações do mercado, o qual é deveras sensível a quaisquer questões económicas, geopolíticas ou sociológicas. A indústria nuclear, por suscitar forte contestação em certos meios sociais, um cenário de crise estrutural tem como consequência a despolarização do preço do urânio. A queda que se sente desde Julho de 2007 comprova que o negócio não é independente de factores exógenos. As questões estratégicas podem não ser primordiais para negociar a matéria-prima, mas os acidentes naturais, pressão social, investimentos privados e avanços técnicos são directrizes a considerar, podendo implicar o aumento ou a baixa do preço do urânio. O mercado preza a credibilidade e a segurança das centrais nucleares. Estes parâmetros são fundamentais para o aumento do investimento na construção de mais reactores e na prospecção e exploração de matéria-prima, com a consequente subida do seu valor.

Pela análise de Figura 49, verifica-se a existência de um período de inquestionável quebra no preço do urânio, após vários anos de crescimento acentuado. Entre 2004 e 2007 assistiu-se a um período de euforia. A crescente preocupação com as alterações climáticas no planeta e a necessidade de encontrar alternativas aos hidrocarbonetos resultaram num maior interesse pela energia nuclear. Estes anos de fulgor do preço do urânio contrariam a tendência depressiva do mercado desde o desastre de Chernobyl, atingindo o pico negativo em meados da década de 1990. A queda verificada desde 2007 deve-se ao fim da bolha especulativa que catapultou o urânio para valores demasiados elevados. Além disso, há um maior aproveitamento do urânio proveniente do armamento nuclear desmantelado, pressupondo um menor interesse na matéria-prima negociada pelos mercados.



**Figura 49** - Variação da cotação do urânio nos últimos 15 anos.  
(fonte: [www.infomine.com](http://www.infomine.com))

O incremento verificado nesta década deve-se à conclusão de um conjunto de projectos, provocando um aumento da procura da matéria-prima.

O combustível nuclear é aplicado com cada vez maior rentabilidade e durante um período de tempo superior nos reactores das novas gerações. Espera-se que a crescente produtividade das centrais de terceira geração, para valores superiores a 90%, permita uma menor necessidade de produção uranífera, o que ajudará a equilibrar o seu valor e evitar uma escalada dos preços. Também a aplicação do MOX influenciará o mercado, implicando uma redução das necessidades de urânio natural. Existe ainda em stock cerca de 250 mil toneladas de combustível irradiado, pelo que o seu reprocessamento lançaria no mercado algumas centenas de toneladas de plutónio (uma tonelada de plutónio elimina a necessidade de 120 toneladas de urânio natural) (Correia *et al.*, 2009).

### 5.3 Externalidades

Os custos relacionados com a geração de electricidade a partir do carvão, gás ou nuclear variam consideravelmente de acordo com a localização da central. O carvão é economicamente mais atractivo na China, Austrália e nos EUA, pois são países com reservas abundantes e acessíveis deste combustível fóssil, e para além disso não efectuem pagamento de qualquer taxa referente à emissão de CO<sub>2</sub>.

A energia nuclear pode ser também competitiva, se comparada com os combustíveis fósseis, mesmo apesar de necessitar de maior capital inicial para a construção das centrais, mesmo quando considerados os custos de desmantelamento das infra-estruturas, bem como o tratamento dos resíduos.

Se os custos sociais, ambientais e de saúde do aproveitamentos dos combustíveis fósseis forem contabilizados, o nuclear torna-se incomparavelmente mais competitivo. Estes custos são denominados de externalidades.

A Comissão Europeia criou um projecto de investigação (ExternE) com o objectivo de quantificar os custos externos associados a cada uma das tecnologias de energia usadas pelos Estados-Membros da EU (Figura 50).

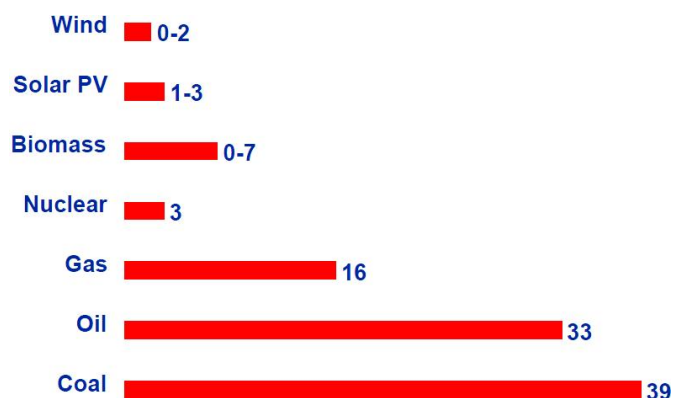


Figura 50 - Custos externos médios de geração de electricidade na EU em 1999 (Milhares de Euros).  
(fonte: Dujardin, 2007)

O IPCC também desenvolveu estudos para esta temática, obtendo valores próximos do projecto ExternE (Figura 51). Neste estudo, a energia nuclear tem custos externos residuais, ao nível das renováveis, enquanto os combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), são fortemente penalizados pelas emissões de CO<sub>2</sub>.

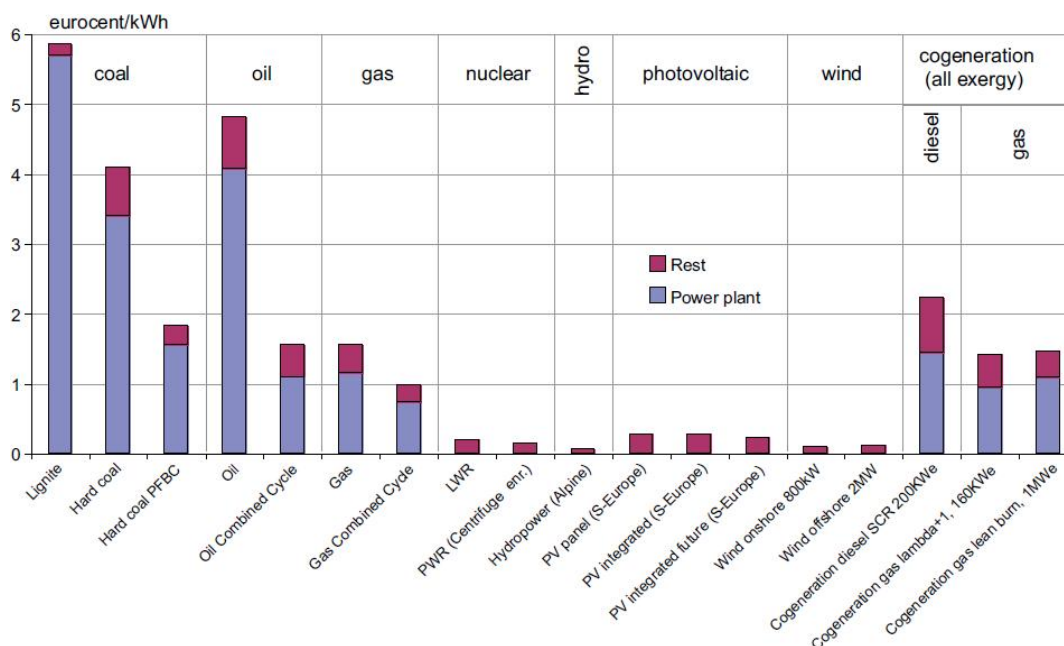


Figura 51 - Custos externos médios de geração de electricidade na EU em 2005.  
(fonte: Sims et al., s.d.)

O Tabela 13 refere os custos externos de produção de electricidade em todos os países da EU (15 em 2001), o qual confirma as vantagens do nuclear em relação a quase todas as restantes formas de energia.

Tabela 13 - Custos externos na produção de electricidade na EU em 2001 (cêntimos de euro/kWh).  
(fonte: Correia *et al.*, 2009)

País	Carvão	Turfa	Fuel	Gás	Nuclear	Biomassa	Hidro	Fotovoltaica	Eólica
Alemanha	3-6		5-8	1-2	0,2	3		0,6	0,05
Áustria				1-3		2-3	0,1		
Bélgica	4-15			1-2	0,5				
Dinamarca	4-7			2-3		1			0,1
Espanha	5-8			1-2		3-5			0,2
Finlândia	2-4	2-5				1			
França	7-10		8-11	2-4	0,3	1	1		
Grécia	5-8		3-5	1		0-0,8	1		0,25
Holanda	3-4			1-2	0,7	0,5			
Irlanda	6-8	3-4							
Itália			3-6	2-3			0,3		
Luxemburgo				1-2		0,2	0,2		0-0,25
Portugal	4-7			1-2		1-2	0,03		
Reino Unido	4-7		3-5	1-2	0,25	1			0,15
Suécia	2-4					0,3	0-0,7		

Os valores das externalidades variam de país para país em consequência das tecnologias utilizadas para a produção de electricidade e das especificidades demográficas de cada estado. Os custos externos são quantificáveis, mas não são realmente incluídos no custo final da produção e distribuição de electricidade. Se estes custos fossem pagos, o preço do kWh produzido a partir do petróleo e do carvão poderia mesmo duplicar, enquanto a partir do gás natural haveria um aumento de cerca de 30%. Segundo especialistas nesta matéria, os custos externos de electricidade representam entre 1 a 2% do PIB da Europa Comunitária (Correia *et al.*, 2009).

## 5.4 A realidade portuguesa

### 5.4.1 Reservas de urânio

A Figura 52 indica a disposição geográfica dos principais depósitos nacionais de urânio conhecidos, pois a prospecção deste minério ainda não cobre todo o território. A produção histórica deste metal foi de 3715 toneladas, mas ainda existem 6800 toneladas da matéria-prima em reserva, com maior incidência no Alto Alentejo, onde a quantidade é acima dos 50% do total nacional.

A região apresenta as melhores condições de exploração e atractividade financeira, até porque os vários depósitos que integram o jazigo de Niza encontram-se próximos geograficamente, para além de ser um local que se considera possuir maior potencial para novas descobertas de depósitos e ampliação dos já existentes.

O total de produção do país foi fornecida pela região centro (Beiras), mas possui ainda cerca de 2350 toneladas de urânio no subsolo, isto é, 35% das reservas nacionais. Estes depósitos têm um senão, encontram-se dispersos e os mais ricos já foram explorados. A outra desvantagem desta região é que a exploração tem de ser feita por via subterrânea.

A região de Trás-os-Montes possui cerca de 800 toneladas (15% do total nacional). Neste caso, o volume de negócio é limitado, com a exploração a depender da viabilidade económica da construção de uma unidade de tratamento de minérios.

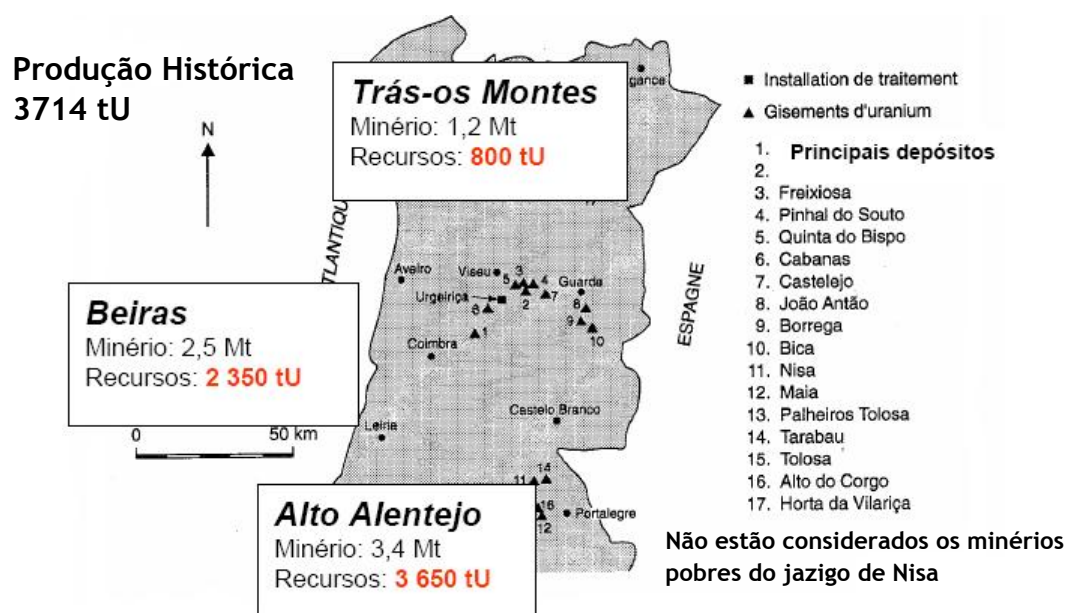


Figura 52 - Reservas nacionais de Urânio.  
(fonte: Costa, 2007)

#### 5.4.2 Localização

Um dos principais tópicos para a implantação de centrais nucleares é a sua localização. Existe uma série de aspectos a ter em conta antes da decisão final pelo melhor sítio para tal empreitada. Os principais factores a ter em conta são:

- **Segurança** - Protecção do homem e do meio ambiente contra radiações eventualmente emitidas durante o seu funcionamento normal, ou em caso de acidente ou após o seu encerramento;

- **Ambiente** - Modificação do caudal dos cursos de água; alteração da paisagem; influência sobre a fauna e flora; influência no clima; poluição química;
- **Sócio-económico** - Planos de ordenamento do território; articulação com outras actividades; impacto da construção nas comunidades vizinhas;
- **Económico** - Escolha de alternativas de localização, em função da rede eléctrica de transporte e dos centros de consumo de electricidade, assim como os custos associados à implantação.

Ao decidir-se pela construção de vários reactores num mesmo parque nuclear, deve-se ter atenção o local do empreendimento. Apesar dos custos de transporte de energia que implica a concentração dos reactores numa única localização, os ganhos compensam esse factor. As duas grandes vantagens são:

- Criação de postos de trabalho permanentes numa região deprimida social e economicamente;
- Um único complexo industrial traz amplas vantagens de segurança, com os custos a serem totalmente aplicados numa única localização.

Os impactos externos são também de grande importância, pois importa reduzir o impacto da eventualidade de ocorrência de acidentes.

Portugal é um país sem grandes problemas sísmicos de grande complexidade. Ainda assim estão identificadas as regiões mais propensas a sismos (Figura 53).



Figura 53 - Risco sísmico em Portugal Continental.  
(fonte: www.prociiv.pt)

A zona A (risco elevado), representa as localizações com maiores intensidades sísmicas (Alentejo e Algarve). A zona B abrange as zonas a sul do rio Mondego, tem uma sismicidade baixa, mas com alguma intensidade. As zonas C e D apresentam um baixo risco sísmico.

Portugal, face aos restantes países europeus, é considerado uma região cuja actividade sísmica é menor.

Nos anos 70, considerava-se mais adequado construir uma central nuclear junto à costa, de forma a ser refrigerada com água do mar. Esta posição actualmente não tem grande aceitação. Hoje em dia dá-se preferência à construção junto dos grandes rios.

A rede de transporte de electricidade está interligada com a rede espanhola em vários pontos. Estas ligações melhoram a segurança e a estabilidade da rede e do fornecimento de energia eléctrica a todo o território nacional. No Douro Internacional estão a construir uma linha de muito alta tensão de 400kV. Esta linha terá a capacidade de transportar electricidade comprada ao nosso país por consumidores espanhóis. Na região do Tejo Internacional existe também uma linha com estas características.

A proximidade da central destas linhas eléctricas tem motivações economicistas, visto que, evita que se construam grandes ramais capazes de suportar a carga energética produzida por uma central nuclear.

Analisando o que foi descrito anteriormente, Portugal apresenta duas localizações possíveis. Uma junto ao Douro (Trás-os-Montes e Beira Alta) e a outra junto ao Tejo (Beira Baixa e Alto Alentejo). Estas regiões possuem um risco sísmico muito baixo e rios com um elevado caudal para o arrefecimento do reactor.

Estas localizações facilitarão o transporte de electricidade para todo o país, pelas linhas de alta e muito alta tensão existentes nestas regiões. Trata-se também de regiões relativamente próximas dos grandes centros urbanos nacionais (Grande Porto e Grande Lisboa).

É nestas regiões que se encontram os principais depósitos de urânio do país.

Outro factor a favor destas localizações é a interioridade, e a necessidade de fortes investimentos para o seu desenvolvimento socioeconómico.

A região do Guadiana apresenta alguns inconvenientes, como por exemplo, o facto do rio possuir um baixo caudal e desta região apresentar um risco sísmico superior.

## 5.5 Análise Económica

Nesta sub-secção realizar-se-á uma avaliação económica do projecto, que possa eventualmente promover a decisão de construir uma central nuclear em Portugal. Assim, serão aplicados os métodos de avaliação de projectos, com os números obtidos em estudos realizados anteriormente (Tarjanne *et al.*, 2003) de forma a fundamentar adequadamente o estudo realizado.

Estipulou-se um modelo constituído por um cenário base, que é descrito de seguida, e a partir do qual se simulam várias análises de sensibilidade por alteração de diversos parâmetros (duplicação do preço do combustível, duplicação da potência instalada, duplicação do investimento inicial, e aumento de 50% dos pressuposto económicos).

### 5.5.1 Cenário base

Considera-se que a central a construir tem uma potência de 1600 MW, necessitando de um investimento de 1900 €/kW. Considera-se ainda que o combustível inicial já está incluído no investimento. Todas as despesas com o tratamento de resíduos e desmantelamento da central estão incluídos nos custos variáveis de operação e manutenção através de pagamentos iniciais. Os restantes parâmetros de análise encontram-se descritos na Tabela 14.

Tabela 14 - Características técnicas do projecto - Cenário Base.

Características Técnicas	Valor
Potência (MW)	1600
Investimento por kW (€/kW)	1900
Custo do combustível (€)	2,70
Custo de operação e manutenção fixo (% do investimento inicial)	1,50
Custo de operação e manutenção variável (€/MW)	3,63
Disponibilidade (%)	92
Vida económica (anos)	40
Produção Anual (MW)	12894400
Produção Total (MW)	515776000

O factor de disponibilidade (relação entre a energia que uma central fornece num ano e a energia que a central forneceria se estivesse a funcionar a plena carga) será de 92%, cerca de 8059 horas.

A vida económica de uma central corresponde ao tempo durante o qual o investimento terá de ser pago. Este tempo é inferior ao tempo de vida de funcionamento (cerca de 60 anos).

Como se trata de um investimento bastante elevado para o País, neste estudo o investimento considerará a incorporação de capitais públicos e capitais privados, na proporção de 50% para cada uma das partes.

Relativamente aos parâmetros económicos, a taxa de juro de financiamento do investimento utilizada é de 5%. A remuneração devida dos accionistas (custo do capital próprio) é de 8%. Com estas duas taxas obtém-se o custo médio ponderado (Tabela 15).

O preço de venda utilizado, 50 € por MW, é baseado num estudo do *Financial Times* para o custo de produção da energia eléctrica derivada do nuclear.

**Tabela 15** - Pressupostos económicos.

Pressupostos económicos	Valor
Taxa de juro	5 %
Custo do capital próprio	8 %
Custo médio ponderado	6,5 %

A avaliação do projecto de investimento assenta no exame das receitas geradas no período de tempo estipulado e comparadas com as despesas de investimento efectuadas que lhes deram origem. Os critérios para a avaliação da rentabilidade baseiam-se no cash-flow. Estes critérios são:

- Valor actual líquido (VAL);
- Taxa interna de rentabilidade (TIR);
- Período de recuperação (PRI).

O VAL assenta na comparação dos cash-flows gerados por um projecto, com o capital investido. Diz-se que um projecto de investimento é rentável quando o seu VAL é positivo (Barros, 2008).

$$VAL = \sum_{p=1}^n \frac{Rp}{(1+i)^p} - I \quad (3)$$

onde:

R<sub>p</sub> - cash-flow de exploração

I - despesa de investimento

V<sub>p</sub> - valor actual

i - taxa de actualização ou de desconto

A TIR é a taxa para a qual o VAL é zero. Pode-se dizer que a TIR é a taxa mais elevada a que o investidor pode contrair um empréstimo para financiar um investimento sem perder dinheiro, ou a taxa máxima que o investidor deve pagar para não perder dinheiro (Barros, 2008).

$$TIR = i_1 + \left[ (i_2 - i_1) \cdot \frac{VAL_1}{|VAL_1 + VAL_2|} \right] \quad \text{ou} \quad \sum_t \frac{CFE}{(1+i)^p} - I = 0 \quad (4)$$

onde:

$i_1$  - Taxa para a qual o VAL é negativo

$i_2$  - Taxa para a qual o VAL é positivo

VAL<sub>1</sub> - Valor actual líquido positivo

VAL<sub>2</sub> - Valor actual líquido negativo

CEF - Cash-flow de exploração

O Período de Recuperação considera a duração da vida do projecto e determina o prazo durante o qual os capitais investidos são recuperados:

$$PR = \frac{I}{\frac{R}{N}} \quad (5)$$

onde:

I - Valor do investimento

R - Somatório dos cash-flows de exploração

N - Número de anos do projecto de investimento em estudo

A avaliação económica do projecto de investimento foi elaborada a partir dos fluxos financeiros ao longo da sua vida económica. De modo a simplificar os cálculos, o investimento foi efectuado na totalidade no ano 0 e não se considerou valor residual.

Após a aplicação dos critérios de avaliação financeira (apresentados no Anexo 1), obtiveram-se os seguintes resultados na Tabela 16 e Figura 54.

**Tabela 16** - Indicadores financeiros do projecto para o cenário base.

Indicadores Financeiros	Valor
VAL	3390456359,04 €
TIR	14,68 %
PRI	10 anos

Verifica-se que se trata de um projecto económico-financeiramente viável, dado que apresenta um VAL com um valor positivo, gerando cash-flows de exploração que depois de actualizados e somados, permitem cobrir a despesa do investimento inicial, satisfazendo a rentabilidade exigida pelo investidor e ainda gerar um excedente financeiro.

O projecto apresenta também um valor de TIR bastante superior à taxa de avaliação (6,5%).

O PRI é, neste projecto, um critério decisivo à sua aceitação uma vez que estamos perante um investimento bastante elevado. É determinante, portanto, que o projecto garanta a recuperação do investimento no menor espaço de tempo. Este projecto permite recuperar o investimento ao fim de 10 anos, respondendo perfeitamente às expectativas dos investidores.

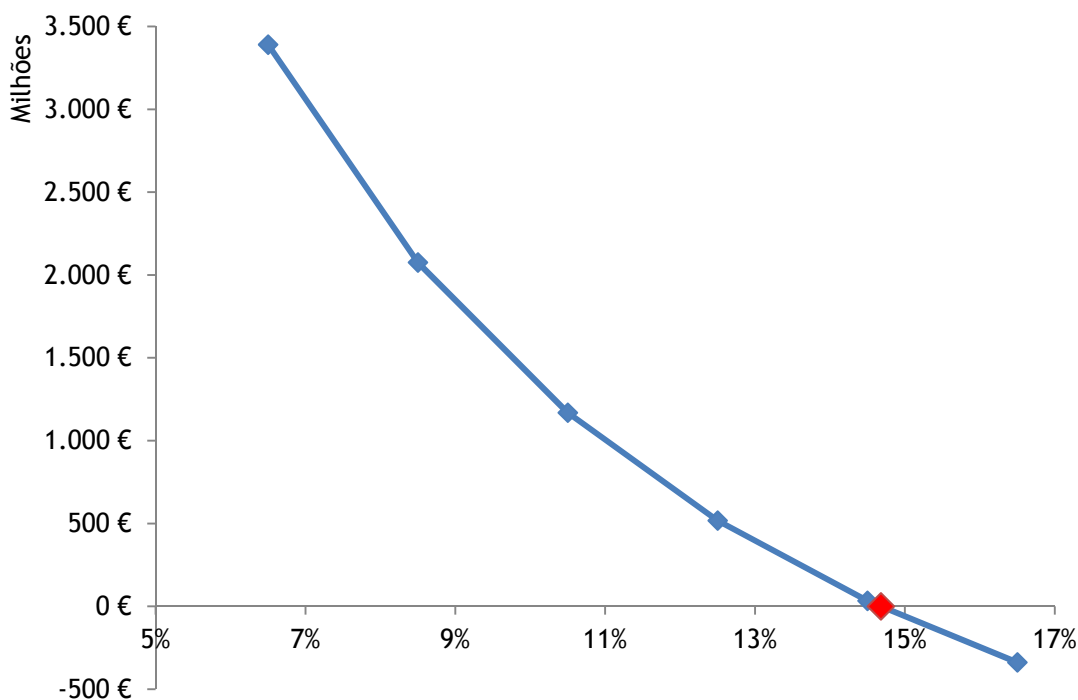


Figura 54 - Indicadores financeiros do projecto para o cenário base.

Para se obter o custo médio de produção de energia, divide-se o total das parcelas dos custos anuais pelo total de energia produzida, como se apresenta na Tabela 17.

Tabela 17 - Custos médios de produção para o cenário base.

	€/MW	%
Custos de Investimento	10,79	52,24
Custos combustível	2,70	13,07
Custos Operação e Manutenção	7,17	34,69
<b>Total</b>	<b>20,66</b>	<b>100</b>

O valor obtido para o custo total de produção é totalmente coberto pelo custo de venda do mercado.

### 5.5.2 Cenário I - Duplicação do preço do combustível

Neste cenário todos os pressupostos se mantêm, apenas se duplicou o valor do combustível, que passa a ser de 5,40 €.

Após a aplicação dos critérios de avaliação financeira (anexo 2), obtiveram-se os seguintes resultados (Tabela 18 e Figura 55).

Tabela 18 - Indicadores financeiros do projecto para o cenário I.

Indicadores Financeiros	Valor
VAL	2897981538,62 €
TIR	13,26 %
PRI	11 anos

Conforme se verifica no Tabela 18, estes valores são ligeiramente mais desfavoráveis do que no cenário base. Contudo, continua a apresentar um VAL positivo, uma TIR (13,26%) que satisfaz a rentabilidade exigida e um PRI de apenas mais um ano que no cenário base.

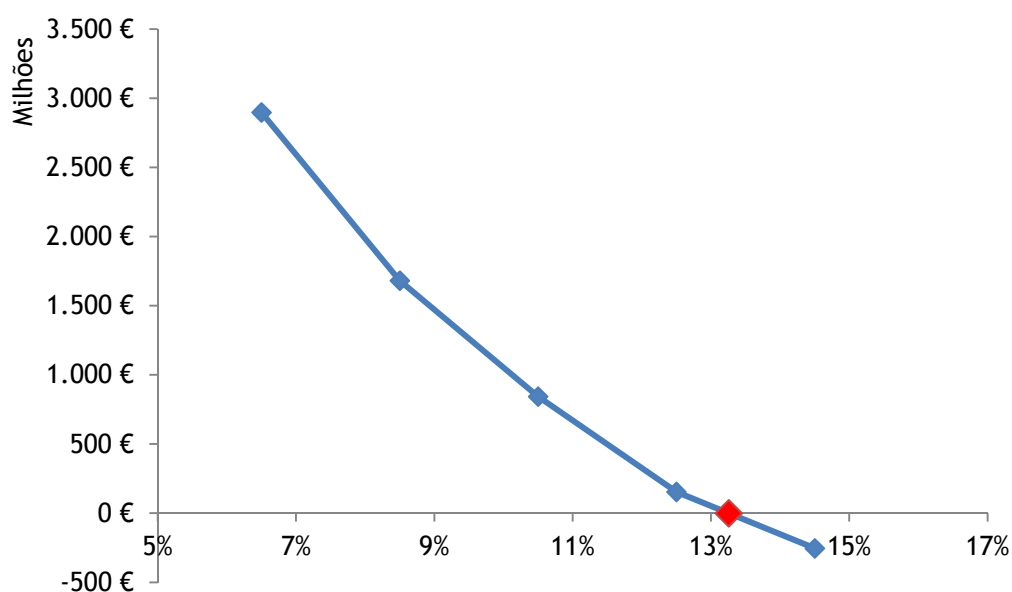


Figura 55 - Indicadores financeiros do projecto para o cenário I.

Na Tabela 19 é apresentado o custo médio de produção deste cenário.

Tabela 19 - Custos médio de produção para o cenário I.

	€/MW	%
Custos de Investimento	10,79	46,20
Custos combustível	5,40	23,12
Custos Operação e Manutenção	7,17	30,68
Total	23,36	100

Neste cenário, o “peso” do combustível sobre o preço final aumenta de 13,07 % para 23,12 %. Contudo, o custo de produção apenas aumenta ligeiramente, cerca de 2,70 €, o que representa um acréscimo ao preço final de 13%.

As flutuações provocadas pelo aumento do combustível nuclear provocam um baixo impacto no preço final da electricidade produzida. Em oposição, um aumento do preço dos combustíveis fósseis provocaria um aumento superior do preço da energia.

Novamente, o custo de produção (23,36€) é coberto pelo custo de venda estipulado para este estudo (50,00€).

### 5.5.3 Cenário II - Duplicação da potência instalada

Neste cenário duplica-se a potência instalada, que passa a ser de 3200 MW e, consequentemente, o custo do combustível (construção de dois reactores).

Após a aplicação dos critérios de avaliação financeiros (anexo 3), obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 20 e Figura 56.

Tabela 20 - Indicadores financeiros do projecto para o cenário II.

Indicadores Financeiros	Valor
VAL	6440999102,38 €
TIR	14,29 %
PRI	10 anos

Conforme se verifica na Tabela 20, este cenário apresenta uns valores muito semelhantes aos do cenário base. Trata-se de um projecto económico-financeiramente viável, dado que apresenta um VAL positivo. Este é muito superior ao do cenário base, devido ao facto da produção energética ser também superior. A rentabilidade exigida pelo investidor é largamente ultrapassada (14,29%). O PRI é o mesmo que no cenário base.

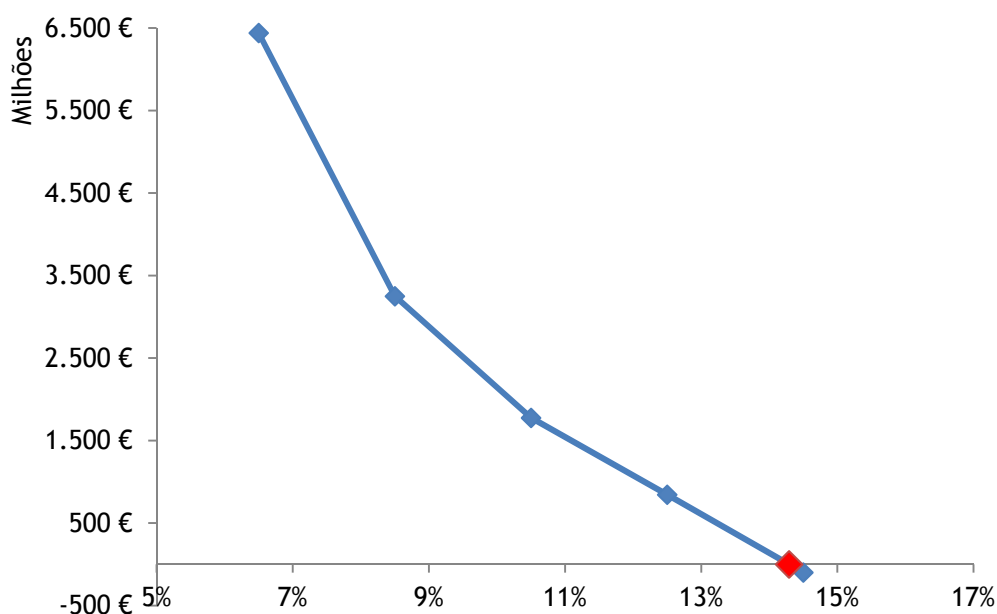


Figura 56 - Indicadores financeiros do projecto para o cenário II.

Os custos médios de produção para este cenário são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Custos nivelados para o cenário II.

	€/MW	%
Custos de Investimento	10,79	49,99
Custos combustível	5,40	25,01
Custos Operação e Manutenção	5,40	25,00
Total	21,59	100

Verifica-se que esta situação apresenta um ligeiro aumento do custo da energia, relativamente ao cenário base. Contudo, verifica-se novamente que o custo de produção é coberto pelo custo de venda.

Este cenário pode ser efectuado faseadamente. Numa primeira fase, constrói-se um reactor e, numa segunda fase, aquando do início do funcionamento da central, constrói-se o segundo reactor com as mesmas características. Esta proposta tornaria possível responder ao aumento médio anual do consumo de energia do País.

A opção de construir os dois reactores num mesmo local é benéfica, uma vez que promove o desenvolvimento económico da região, havendo trabalho de construção durante, pelo menos, 12 anos (tempo médio de construção de um reactor 6 anos). Igualmente, haverá um menor custo com a segurança e com a gestão de resíduos. Poder-se-á, também, criar um *cluster* industrial de energia. Como foi mencionado anteriormente no ponto 8.4.2, estes factores poderiam ser bem-vindos pelas populações locais.

#### 5.5.4 Cenário III - Duplicação do investimento inicial

Neste cenário, duplica-se o valor de investimento inicial que passa a ser de 3800 €/kW, mantendo todos os outros parâmetros constantes. Verifica-se de que não se trata de um projecto económico-financeiramente viável, dado que apresenta um VAL negativo (VAL = -1184411507,05 €), gerando cash-flows de exploração que depois de actualizados e somados não permitem cobrir o investimento inicial. O investidor não obtém a rentabilidade pretendida (anexo 4).

Se neste cenário aumentássemos o preço de venda para 75,00 €, o projecto de investimento seria então viável (VAL = 3375540533,90 € e PRI = 15 anos). Contudo, as condições económicas são mais desfavoráveis comparativamente ao cenário base (anexo 5).

Neste caso, o risco de investimento é elevado e dependente do preço de venda, não sendo aconselhada esta escolha, embora o custo total de produção (34,99 €) seja coberto pelo preço de venda (Tabela 22).

Tabela 22 - Custos médios de produção para o cenário III.

	€/MW	%
Custos de Investimento	21,59	61,69
Custos combustível	2,70	7,72
Custos Operação e Manutenção	10,70	30,59
Total	34,99	100

### 5.5.5 Cenário IV - Aumento de 50 % nos pressupostos económicos

Neste cenário, aumentam-se as taxas de juro aplicadas ao projecto em 50,00 %. Assim, a taxa de juro passa a ser de 7,50 %, a taxa de capital próprio de 12% e um custo médio ponderado de 9,75 %.

No Tabela 23 e Figura 57 são apresentados os valores dos critérios de avaliação financeiros (anexo 6).

Tabela 23 - Indicadores financeiros do projecto para o cenário IV.

Indicadores Financeiros	Valor
VAL	1098812240,54 €
TIR	13,4 %
PRI	15 anos

De acordo com a Tabela 23, estes valores são mais desfavoráveis do que no cenário base. Contudo, continua a ser um projecto económico-financeiramente viável, pois apresenta um VAL positivo, embora seja um valor bastante inferior ao cenário base. Ainda assim, é satisfeita a rentabilidade exigida pelo investidor e gera um excedente financeiro.

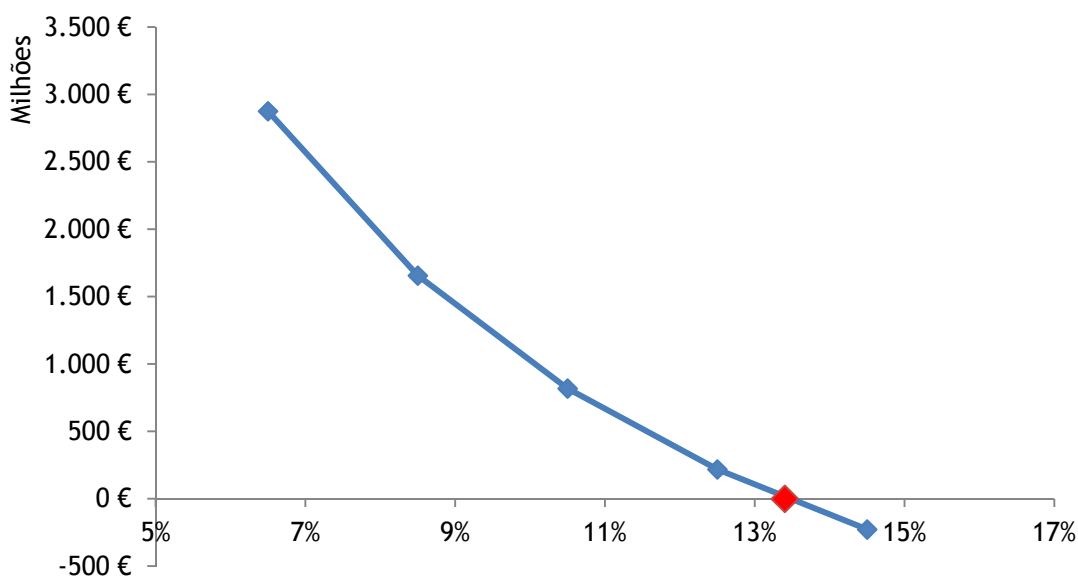


Figura 57 - Indicadores financeiros do projecto para o cenário IV.

O projecto apresenta também um valor de TIR superior à taxa de avaliação (9,75%).

O PRI ocorre neste cenário ao fim de 15 anos, respondendo às expectativas dos investidores.

Os custos médios de produção para este cenário são apresentados na Tabela 24.

**Tabela 24 - Custos médios nivelados para o cenário IV.**

	€/MW	%
Custos de Investimento	15,77	61,52
Custos combustível	2,70	10,53
Custos Operação e Manutenção	7,17	27,95
<b>Total</b>	<b>25,64</b>	<b>100</b>

Verifica-se que esta situação apresenta um aumento do custo da energia, relativamente ao cenário base. Uma vez mais, o custo de produção é coberto pelo custo de venda.

## Capítulo 6

### 6. Análise SWOT

A ferramenta adoptada para assegurar o alinhamento da organização com o seu meio envolvente é a conhecida matriz de análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*) (Figura 58).

		Factores ambientais	
		Positivos	Negativos
Análise Ambiental	Interna	Pontos Fortes ( <i>Strengths</i> )	Pontos Fracos ( <i>Weaknesses</i> )
	Externa	Oportunidades ( <i>Opportunities</i> )	Ameaças ( <i>Threats</i> )

Figura 58 - Matriz de análise SWOT.  
(fonte: Santos, 2008)

Na essência, constitui um instrumento de análise estratégica que relaciona os pontos fortes e fracos de uma organização, com as oportunidades e ameaças provenientes do seu meio envolvente. É uma ferramenta analítica de apoio à análise e reflexão estratégica que permite, através da comparação entre o ambiente interno da organização e o seu meio envolvente contextual e transaccional, aferir do seu grau de alinhamento em relação a estes e, simultaneamente, evidenciar as causas de eventuais desajustamentos (Santos, 2008).

Trata-se de uma matriz biaxial, com os factores ambientais (em abcissa) e o tipo de análise ambiental efectuada (em ordenada). A sua construção pressupõe:

1. Análise interna, com inventariação dos principais pontos fortes e pontos fracos da organização;
2. Análise externa, com inventariação das principais oportunidades e ameaças oriundas do seu meio envolvente geral e transaccional;
3. A inscrição desses factores nas células respectivas da matriz considerando, por um lado, a sua bondade (em particular, se os factores são positivos ou negativos, o que condiciona a sua inscrição, respectivamente, na primeira ou na segunda coluna da Tabela) e, por outro lado, a sua natureza (designadamente se são factores internos ou externos à organização, o que determina a sua inscrição, respectivamente, na primeira ou segunda linha da matriz).

Sendo o tema desta dissertação bastante sensível a nível económico e social, torna-se necessário realizar uma análise SWOT de modo a alinhar a central nuclear com o meio envolvente. Esta análise (Figura 59) foi efectuada para Portugal com base em recolha bibliográfica e análise de artigos científicos recentemente publicados.

## 6.1 Forças

### 1. Produção de electricidade sem emissão de CO<sub>2</sub>.

*“Energia nuclear compara favoravelmente com a maioria das renováveis com apenas a hidro a ter menos emissões GHG no seu ciclo de vida. O funcionamento das centrais nucleares a nível mundial dão um contributo significativo para a mitigação das emissões de GHG - as centrais nucleares, actualmente poupam 10% do total das emissões de CO<sub>2</sub> a nível mundial.”*

(Adamantiades *et al.*, 2009)

*“Existe um consenso relativo de que as centrais nucleares podem servir para evitar gases que provocam o efeito estufa ao suplantarem a produção de energia de fontes fósseis. É também de consenso geral nos EUA e na maioria dos outros países com programa nucleares, que a energia nuclear terá de desempenhar um contínuo e futuramente um maior papel no controlo dos danos potenciais das mudanças climáticas.”*

(Besmann, 2010)

*“(…) porque a energia nuclear é limpa de emissões de gases de efeito de estufa. Além disso, também ajudará a aliviar a pressão do tráfego na China.”*

(Zhou *et al.*, 2009)

*“(…) partindo de 30% do total de produção de energia para 40% até 2030, porque a energia nuclear é vista como sendo indispensável para os esforços do Japão em reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>”*

(Valentine *et al.*, 2010)

### 2. A energia nuclear permite a redução da dependência dos combustíveis fósseis.

*“Considerando o custo crescente do petróleo e gás natural e a enorme pressão ambiental resultante do consumo de carvão, a energia nuclear é uma opção inevitável e estratégica para a China. As centrais nucleares podem produzir grandes quantidades de energia e consumir pouco combustível”*

(Zhou *et al.*, 2009)

*“O desejo global de diversificar as fontes de combustível, reduz a dependência da importação de combustíveis fósseis e desenvolver a imunidade a falhas de energia.”*

(Adamantiades *et al.*, 2009)

*“O programa Nuclear do Japão é o resultado das aspirações para uma maior segurança energética nacional. O programa nuclear acelerou na década de 1970, quando os embargos de petróleo de 1973 e 1974 convenceram muitos da elite política que a energia nuclear era necessária para amortecer a economia japonesa de choques energéticos.”*

(Valentine *et al.*, 2010)

*“Interrupções de abastecimento, instabilidade geopolítica e o aumento dos preços de energia nos últimos 2 a 3 anos, convenceram os governos mundiais que a segurança energética é uma questão que deve ser levada muito a sério de forma que as políticas foram reescritas.”*

(Greenhalgh *et al.*, 2009)

3. Maior estabilidade e segurança no fornecimento de energia aos estados consumidores.  
A aposta no nuclear permitirá a estabilização dos preços dos combustíveis fósseis.

*“É desejado a redução dos custos voláteis dos combustíveis, dado o baixo preço dos kW produzidos pelo nuclear e a baixa dependência do preço do urânio”*

(Adamantiades *et al.*, 2009)

4. Baixo custo na produção de electricidade.

*“No Japão durante décadas, a expansão do programa de energia nuclear tem sido vista como uma necessidade estratégica para melhorar a segurança energética doméstica nacional e garantindo baixos custos energéticos.”*

(Valentine *et al.*, 2010)

*“(…) as centrais nucleares são muito mais imunes à volatilidade dos preços dos combustíveis das bombas de gasolina. A duplicação do preço do urânio implicaria apenas um aumento de 5/6% do total do custo (…)”*

(Adamantiades *et al.*, 2009)

5. Elevados índices de segurança.

*“Em circunstâncias normais, a radiação causada por centrais nucleares estão limitadas ao intervalo normal da radiação natural e não produzem nenhum efeito negativo na saúde humana. Enquanto algumas investigações mostram que a produção de energia nuclear tem poucos riscos (…)”*

(Zhou *et al.*, 2009)

*“A presença de um mix diversificado de tecnologias num sistema eléctrico com um alto nível de disparidade tecnológica é uma boa maneira de se proteger contra falhas numa ou noutra tecnologia. Portanto se o nuclear substituir a capacidade existente, a ameaça de uma falha à segurança seria menor do que se a estratégia “substituir e expandir” fosse seguida”*

(Watson *et al.*, 2010)

## 6. Baixos riscos geopolíticos.

*“Interrupções de abastecimento, instabilidade geopolítica e o aumento dos preços de energia nos últimos 2 a 3 anos, convenceram os governos mundiais que a segurança energética é uma questão que deve ser levada muito a sério de forma que as políticas foram reescritas.”*

(Greenhalgah *et al.*, 2009)

*“Para muitos países, uma grande percentagem do combustível necessário para as suas economias pode estar no mar (ou em gasodutos que atravessam regiões politicamente instáveis), que a qualquer momento, pode apresentar problemas com todas as vulnerabilidades que isso implica.”*

(Adamantiades *et al.*, 2009)

## 7. Necessidade de pouco combustível.

*“As centrais nucleares podem produzir enormes quantidades de energia consumindo pouco combustível. Por exemplo, uma central de combustíveis fósseis de 1000 MW consome 2 milhões de tce de carvão, enquanto uma central nuclear de capacidade igual consome 190 toneladas de urânio.”*

(Zhou *et al.*, 2009)

## 6.2 Fraquezas

### 1. Custos de desmantelamento

*“O fundo da British Energy, que não cobre a primeira fase de desmantelamento, necessita de contribuições mínimas de 20 milhões por ano o que equivale a um custo de apenas 0,03 p/kWh.”*

(Steve Thomas, 2005)

*“(…) não há consenso geral como o “dinheiro” para o desmantelamento deve ser arranjado (…)”*

(Greenhalgah *et al.*, 2009)

## 2. Investimento Inicial

*“O custo da produção de energia a carvão na China, é agora relativamente baixo, enquanto a energia nuclear exige um investimento inicial alto e um longo período de construção. Como será assegurada a competitividade da energia nuclear no mercado?”*

(Zhou et al., 2009)

*“Assim, a energia nuclear é ainda economicamente inviável, mas precisamos de avançar com ela.”*

(Greenhalgh et al., 2009)

## 3. Gestão de resíduos

*“A eliminação dos resíduos nucleares tem sido um dos problemas mais resistentes enfrentados pela indústria nuclear - um impedimento decisivo para a sua expansão. (...) O combustível irradiado e os resíduos de alto nível são, de longe, os problemas mais graves e por isso dominarem o debate.”*

(Adamantiades et al., 2009)

*“O principal obstáculo à expansão de produção de energia nuclear num país densamente povoado é a eliminação dos resíduos. Consequentemente, o Japão iniciou um programa para fortalecer a duração do combustível nuclear. A construção está em andamento em Rokkasho-mura na primeira central de reprocessamento de urânio do Japão e a primeira central de fabricação de combustível MOX, estarão concluídas em 2010 e 2012 respectivamente”*

(Valentine et al., 2010)

*“Enquanto isso, nos países desenvolvidos da Europa e América com o encerramento de algumas centrais nucleares e outras instalações nucleares, o trabalho de eliminação dos resíduos tem de estar nas suas agendas, o que será uma preocupação para o público e terá elevados custos.*

*“A China, devido à pequena escala de produção de electricidade nuclear tem apenas uma pequena quantidade de resíduos nucleares, mas já foi lançado no país a pesquisa relacionada com os resíduos. No entanto com o aumento da potência nuclear instalada nos próximos anos, os resíduos nucleares vão aumentar drasticamente, assim sendo, definir medidas para lidar com os resíduos será um desafio que a China terá de enfrentar.”*

(Zhou et al., 2009)

*“(...) mesmo depois de 50 anos de esforços e dos biliões já gastos, o problema dos resíduos continua sem solução, (...)”*

(Rodrigues et al., 2006)

#### 4. Outros factores limitantes

*“Há uma série de questões que potencialmente, limitam a construção de novas capacidades de energia nuclear. Estas incluem a capacidade global de produção de componentes de grande porte, tais como, os componentes do núcleo do reactor, redução da força de trabalho, a incerteza de licenciamento para novos designs de centrais, incerteza nos custos de capital, obtenção de financiamento/disponibilidade de capital para tais projectos de grande escala, incerteza quanto à disposição final do combustível irradiado, etc.”*

(Besmann, 2010)

### 6.3 Oportunidades

#### 1. Competitividade económica

*“(…) Departamento de Energia dos EUA, analisa que empregos serão necessários para apoiar o aumento da produção de energia nuclear.”*

(Kenley et al., 2009)

*“No caso da energia nuclear, detectou-se uma relação positiva entre a abundância de energia nuclear e o crescimento económico.”*

(Yoo et al., 2009)

*“A energia nuclear fornece uma opção de longo prazo e alto desempenho, e pode contribuir para as políticas ambientais no controlo do clima global, assim como para a segurança energética. Além disso o desenvolvimento da energia nuclear pode levar a efeitos colaterais decorrentes da tecnologia industrial e pode promover a produtividade do trabalho., capital e outros factores de produção.”*

(Lee et al., 2011)

*“Os orientadores nacionais também vêem a tecnologia nuclear como um importante produto de exportação, uma ferramenta não só para uma nação livre da dependência energética mas também para alargar o seu alcance económico (…)”*

(Valentine et al., 2010)

#### 2. Substituição de outras fontes energéticas

*“Energia nuclear é considerada como uma alternativa para lidar com o alto preço do petróleo e reduzir a dependência de países estrangeiros como fornecedores de energia.”*

(Yoo et al., 2009)

### 3. Produção de Hidrogénio

*“Uma forma de preparar a transição para uma economia de hidrogénio.”*

(Adamantiades *et al.*, 2009)

### 4. Reservas mundiais de Urânio abundantes

*“Além disso os recursos de Urânio são abundantes e amplamente distribuídos no mundo inteiro.”*

(Yoo *et al.*, 2009)

### 5. Oportunidade de inovação e formação de pessoal especializado

*“Estes tipos de restrições que servem como oportunidades de inovação como na requalificação de trabalhadores para a tecnologia nuclear ou incentivo para construir novas instalações para produzir componentes em larga escala.”*

(Besmann, 2010)

## 6.4 Ameaças

### 1. Falta de técnicos/tecnologias especializados

*“A nossa dependência tecnológica seria total e, ainda, agravada pelo facto de o reactor ter de utilizar urânio enriquecido, facto que cria uma dependência tecnológica, estratégica e económica de um número muito reduzido de fornecedores.”*

(Rodrigues *et al.*, 2006)

*“Portugal possui recursos de Urânio natural e, portanto, os promotores desta fonte pretendem apresenta-la como um recurso “nacional”. No entanto, o combustível usado nas centrais precisa de um tratamento complexo que é, actualmente efectuado em poucas instalações no mundo. As centrais em si são também construídas por um número muito limitado de empresas, cada uma com um monopólio na sua tecnologia. Ao nível da cadeia completa de valor, a incorporação nacional de valor acrescentado seria, portanto, muito reduzida. (...)”*

(Rodrigues *et al.*, 2006)

### 2. Desinteresse governamental

*“(...) o primeiro-ministro afirmou repetidamente que este assunto não será tratado nesta legislatura.”*

(Rodrigues *et al.*, 2006)

*“Os países que quiserem tomar a opção pelo nuclear, façam o favor. Em Portugal, não, o nosso caminho está definido.”*

(José Sócrates, 2007)

### 3. Proliferação

*“As origens da energia nuclear estão enraizadas nos programas militares de 1940, quando as primeiras bombas atómicas foram produzidas. (...) A preocupação com a proliferação não é nova. Em 1963 John F. Kennedy said, ‘sou assombrado pelo sentimento de que por volta de 1970, a menos que sejamos bem sucedidos, poderá haver 10 potências nucleares em vez de 4 e em 1975 15 ou 20’. Calendário que se mostrou impreciso. Mas nos últimos anos tem havido uma sensação a nível mundial de que a previsão de John Kennedy em breve se tornará real.”*

(Adamantiades et al., 2009)

### 4. Opinião pública desfavorável

*“Actualmente não existe oposição ou basicamente uma atitude negativa em relação à energia nuclear na Europa e EUA, embora a atitude adversa pode ser mitigada a curto prazo devido a (...)”*

*“Vários estudos revelam que a produção de energia nuclear tem poucos riscos, mas ainda não é totalmente fiável para o público devido aos acidentes de Three Mile Island e Chernobyl”*

(Zhou et al., 2009)

*“O Eurobarómetro realizado no início de 2008 demonstrou que a opinião na Europa, está dividida, 44% apoia e 45% é contra. No entanto, as opiniões moderadas são na maioria a favor 33%, contra 28% contra. Os resultados mostram valores similares à sondagem IPSOS/MORI, que mostra que o apoio ao nuclear aumento 7% desde 2005 e que os europeus são mais propensos ao “não sei” e não de expressar uma opinião.”*

(Greenhalgah et al., 2009)

*“A oposição pública à energia nuclear começou de forma mais séria no início dos anos 70. O acidente de 1979 Three Mile Island deu um forte impulso ao movimento anti-nuclear. Após o acidente, não houve pedidos de novos reactores em todo os EUA e muitas encomendas foram canceladas. Respostas semelhantes ocorreram noutras partes do mundo, intensificadas após o acidente de 1986 em Chernobyl. No início dos anos 80, a Suécia aprovou uma lei exigindo que todas as unidades nucleares fechassem até 2010.”*

(Adamantiades et al., 2009)

## 5. Política nacional aposta nas energias renováveis

“Em Portugal, nós não usamos o nuclear, nem pretendemos usá-lo. A nossa aposta é nas energias renováveis.”

(José Sócrates, 2007)

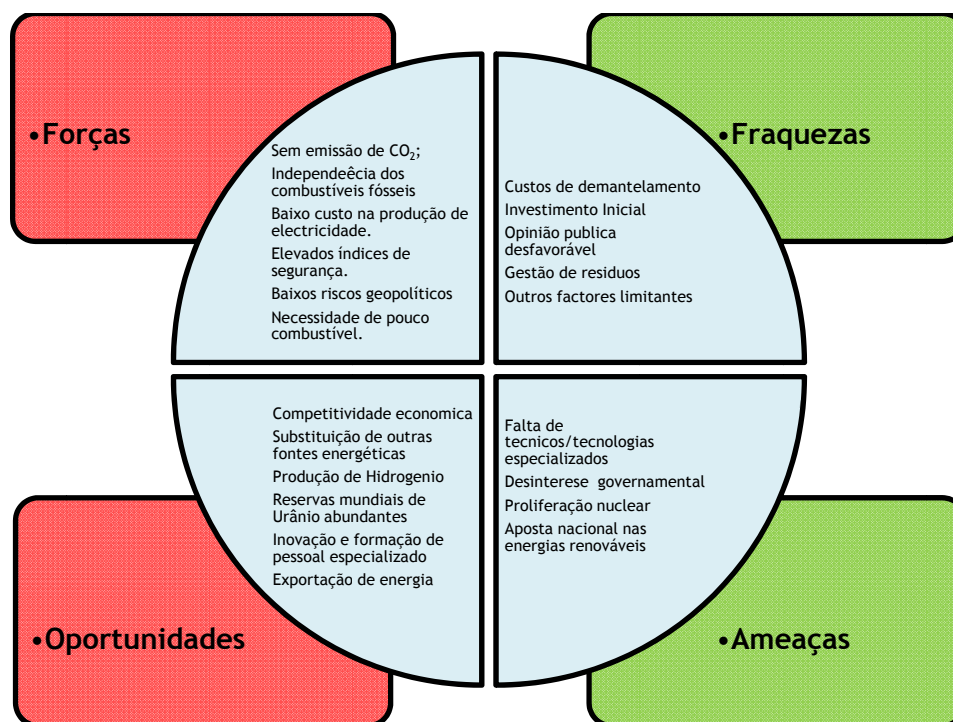


Figura 59 - Matriz da análise SWOT para um Investimento na energia nuclear em Portugal.  
(fonte: elaboração própria)

Após esta análise, fica claro que é necessário concentrar esforços no sentido de fortalecer este tipo de investimento para minimizar ou superar as fraquezas e combater as ameaças.

Assim, verifica-se que a construção de uma central nuclear em Portugal é um cenário positivo. A necessidade de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> implica que a energia nuclear tenha uma importância estratégica para Portugal. O aumento do preço dos combustíveis fósseis nos últimos anos coloca o país na procura de novas alternativas energéticas.

Ao apostar nesta tecnologia abrem-se novas possibilidades de negócio para fornecedores de tecnologia nuclear e de componentes. Permitiria o foco na inovação, com incentivos ao relacionamento entre instituições I+D (universidades) e empresas. Assim, desenvolver-se-ia uma política para retenção de técnicos especializados e de conhecimento.

Portugal deve adoptar uma política nuclear nacional, começando por um programa de implantação de uma central nuclear, inclusive com base em tecnologia e quadros técnicos nacionais.

Em todo o mundo, apesar de alguns receios com alguns acontecimentos recentes, a energia nuclear começa a ser reconsiderada (ex: Finlândia), havendo uma alteração perceptível na postura das populações, que passam a vê-la como uma alternativa válida, que apresenta uma série de vantagens económicas. Se as populações forem esclarecidas sobre esta energia e suas vantagens e desvantagens, poder-se-á obter uma opinião favorável para a construção de uma central nuclear.

A AIEA promove acções para que a ameaça da proliferação nuclear não ocorra, bem como, o descontrolo dos resíduos radioactivos.

## Capítulo 7

### 7. Considerações Finais

A energia nuclear pode desempenhar um papel muito importante numa época menos dependente dos combustíveis fósseis. Mas, para que isto ocorra, torna-se necessário a sua aceitação quer pela população quer a nível político. A principal vantagem para se enveredar pela energia nuclear é a independência energética que se pode obter. Portugal é um país com muito poucas reservas de combustíveis fósseis, e a energia nuclear permitiria a independência do petróleo, carvão e gás importado.

Portugal tem substituído as centrais termoeléctricas por outras a gás que apresentam menor emissão de partículas causadoras do efeito de estufa. Além disso, mantém uma grande aposta nas energias renováveis. Com esta aposta garante-se o nível energético, segundo a REN, pelo menos até 2020, mas não irá resolver a questão da dependência externa do país face aos combustíveis fósseis. As energias renováveis são extremamente voláteis e dependentes das condições atmosféricas. Em Portugal podia-se perfeitamente complementar as energias renováveis com a energia nuclear.

O modelo de reactor escolhido para construir, o EPR, tem como base uma tecnologia que já existe há várias décadas e está implementada por todo o mundo. Este novo reactor apresenta uma série de vantagens significativas, nomeadamente uma melhor utilização do combustível, uma redução dos tempos de indisponibilidade e um nível de segurança muito superior.

Actualmente vários países estão a aderir e a apostar neste tipo de tecnologia, apesar das centrais nucleares mais recentes terem uma incerteza elevada relativamente ao seu custo de produção. Estes países apostam neste tipo de energia pelo facto da tecnologia se encontrar implementada há várias décadas, o que facilita a aceitação por parte das populações. Outro factor importante é que esta tecnologia é a que oferece o melhor preço por MW. Ainda, uma vez que os governos têm de cumprir metas ambientais, esta tecnologia oferece uma vantagem significativa em relação a outras tecnologias pelo facto de não contribuir com emissões de gases com efeito de estufa.

Nesta dissertação foi demonstrada, pela via computacional com vários cenários plausíveis, que a adopção da energia nuclear por parte de Portugal é viável e poderá ser vista como um exemplo na redução de emissões. Tentou-se, ainda, clarificar as mais diversas questões que limitam a tomada de decisão.

Efectivamente, a construção de uma central nuclear em Portugal poderia ser favorável na procura de novas alternativas energéticas. O país possui reservas de urânio que o tornariam independente energeticamente do exterior, o que não acontece actualmente, e ao iniciar a exploração e prospecção de urânio originaria postos de trabalho em áreas desfavorecidas do país. Ainda, a indústria nuclear poderá ter outras aplicações, como por exemplo nas áreas da medicina e ambiental.

Como trabalho futuro seria interessante realizar uma análise económica detalhada comparando as diversas formas de produção de energia, adaptada ao caso de Portugal. Outro trabalho interessante seria efectuar um estudo económico da construção de uma central nuclear ibérica.

Após a realização desta dissertação verificou-se que ainda há muito a fazer nesta interessante área do saber. A nível mundial um dos desafios colocados à comunidade científica é o desenvolvimento de estratégias optimizadas de modo a diminuir a dependência dos combustíveis fósseis sem, no entanto, comprometer a segurança e continuidade de fornecimento de energia às populações. Nesse sentido, a energia nuclear poderá ter um papel relevante a desempenhar, desde que tal seja plenamente justificado do ponto de vista técnico e económico.

## Referências Bibliográficas

Adamantiades, A.; Kessides, I.; “Nuclear power for sustainable development: Current status and future prospects”; *Energy Policy*; Vol. 37; 2009; pág. 5149-5166

Aguilera, V.; “*Conceitos de Física moderna - 2: A saga do átomo*”; Anais da III Semana da Física, UEL - Londrina, PR, 1997; consultado em: <http://www.valdiraguilera.net/conceitos-fisica-moderna-2.html>, acesso em: 12 de Janeiro 2011

Areva; “*EPR Reactor: The very high power reactor (1650 MWE)*”; consultado em: <http://www.areva.com/EN/global-offer-419/epr-reactor-one-of-the-most-powerful-in-the-world.html>; acesso em: 05 de Fevereiro de 2011

Barros, H.; *Análise de Projectos de Investimentos*; Edições Sílabo; Lisboa; 2008.

Besmann, Theodore M.; “Projections of US GHG reductions from nuclear power new capacity based on historic levels of investment”; *Energy Policy*; Vol. 38; 2010; pág. 2431-2437

Bourdial, Isabelle; “Enciclopédia Ciências Larousse - A energia e a matéria”; Círculo de Leitores; Lisboa; 2001

Correia, P.; “*Energia nuclear - Uma opção para Portugal*”; Bnomics, Lisboa; 1ª Edição; 2009

Cosme, P.; “*Energia Nuclear - Uma solução para Portugal*”; Faculdade de Economia do Porto; 2006

Costa, L.; “*Opção nuclear nacional: o estado do debate*”; 2007; consultado em: <http://www.ied-pt.org/pt/>; acesso em: 28 de Janeiro de 2011

Dujardin, T.; “*Nuclear Energy: missed opportunity or avoidable mistake?*”; 2007; consultado em: <http://www.ied-pt.org/pt/default.asp?Pg=apresentacao.htm>; acesso em: 16 de Fevereiro de 2011

Ecoficial; “*Nuclear expert warns of safety flaws in AREVA’s EPR*”; Novembro 2009; consultado em: <http://www.ecoficial.com/nuclear-expert-warns-of-safety-flaws-in-areva%E2%80%99s-epr-605/>, acesso em 15 de Novembro de 2010

Elpais; “*Energía nuclear en el mundo*”; consultado em: [http://www.elpais.com/graficos/internacional/Energia/nuclear/mundo/elgraint/20110315elpepuint\\_3/Ges/](http://www.elpais.com/graficos/internacional/Energia/nuclear/mundo/elgraint/20110315elpepuint_3/Ges/), acesso em: 19 de Março de 2011

Expresso; “*Tchernobyl: maior catástrofe nuclear ainda se faz sentir*”; consultado em: <http://aeiou.expresso.pt/tchernobyl-maior-catastrofe-nuclear-ainda-se-faz-sentir=f645349>, acesso em 26 de Abril de 2011

Greenhalgh, C.; Azapagic, A.; “Review of drivers and barriers for nuclear power in the UK”; *Environmental Science & Policy*; Vol. 12; 2009; pág. 1052-1067

Harvey, D.; “*The economics of nuclear energy*”; University of Newcastle; s.d.; consultado em: <http://www.staff.ncl.ac.uk/david.harvey/AES829/OECDEconofNuclear.pdf>, acesso em: 12 de Dezembro de 2010

IAEA; “*INES - The international nuclear and radiological event scale*”; 2008; consultado em: <http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/ines.pdf>; acesso em: 12 de Março de 2011

Kenley, C. R.; Klingler, R. D.; Plowman, C. M.; Soto, R.; Turk, R. J.; Baker, R. L.; Close, S. A.; McDonnell, V. L.; Paul, S. W.; Rabideau, L. R.; Rao, S. S.; Reilly, B. P.; “Job creation due to nuclear power resurgence in the United States”; *Energy Policy*; Vol. 37; 2009; pág 4894-4900

Lee, Chien-Chiang; Chiu, Yi-Bin; “Oil prices, nuclear energy consumption, and economic growth: New evidence using a heterogeneous panel analysis”; *Energy Policy*; Vol. 39; 2011; pág. 2111-2120

Leverenz, R.; “*The EPR - A Safe and Competitive Solution for Future Energy Needs*”; Eslovénia; 2006; consultado em: <http://www.djs.si/proc/port2006/pdf/0409.pdf>, acesso em: 19 de Dezembro de 2011

Marques, J.; “*Energia de Cisão Nuclear: Perspectivas de Evolução*”; consultado em: [http://www.ied-pt.org/pt/PDF%20-%20Confer%C3%Aancia%202/Jose\\_Marques.pdf](http://www.ied-pt.org/pt/PDF%20-%20Confer%C3%Aancia%202/Jose_Marques.pdf), acesso em: 25 de Janeiro de 2011

Mendes, P. J.; “*Do Macro-Cosmos ao Micro-cosmos*”; Universidade de Coimbra; 2009; consultado em: <http://biblioteca.climantica.org/resources/1517/pjmendes-climantica-2009-coimbra-texto.pdf>, acesso em: 11 de Novembro de 2010

Murray, Raymond L.; “*Energia Nuclear - Uma introdução aos conceitos, sistemas e aplicações dos processos nucleares*”; Hemus Livraria; 2006

Nunes, C.; Azevedo, F.; Ribeiro, J.; “*Em busca de alternativas ao petróleo*”; 2005; consultado em: [http://www.dpp.pt/Lists/Pesquisa%20Avanada/Attachments/1330/foco\\_no\\_futuro\\_4.pdf](http://www.dpp.pt/Lists/Pesquisa%20Avanada/Attachments/1330/foco_no_futuro_4.pdf), acesso em: 12 de Dezembro de 2010

Nunes, Pedro M. S.; “*Novas Formas de Cisão Nuclear*”; Gazeta da Física - Fascículo 1-2; Sociedade Portuguesa de Física; 2006

Oliveira, J.; “*A Energia nuclear em Portugal - Uma Esquina da Historia*”; Editora O Mirante; Santarém; 1ª Edição; 2002

Oliveira, J.; Martinho, E.; “*Energia nuclear - Mitos e Realidades*”; Editora O Mirante; Santarém; 1ª Edição; 2000

Portugal, P.; “*Cisão Nuclear*”; consultado em: <http://profs.ccems.pt/PauloPortugal/CFQ/Declnios/ciso.htm>, acesso em: 19 de Dezembro de 2010

Reis, M.; “*A Radioactividade no ambiente*”; Gazeta da Física - Fascículo 1 - Volume 30; Sociedade Portuguesa de Física; 2007

REN; “*Caracterização da rede nacional de transporte para efeitos de acesso à rede em 31 de Dezembro de 2009*”; 2010; consultado em: <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/publicacoes/CaracterizacaoRNT/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20da%20RNT%2031-12-2009.pdf>, acesso em 22 de Janeiro de 2011

Rodrigues, J.; Azevedo, V.; “*Nuclear - O debate sobre o novo modelo energético em Portugal*”; Centro Atlântico; Lisboa; 1ª Edição; 2006

Sims, R.; Schock, R.; “*Energy Supply*”; s.d.; Consultado em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter4.pdf>, acesso em: 06 de Fevereiro de 2011

Sócrates, J.; “*José Sócrates: nuclear não é opção em Portugal*”; 2007; Jornal Público; consultado em: <http://www.publico.pt/Sociedade/jose-socrates-nuclear-nao-e-opcao-em-portugal-1287706>; acesso em: 22 de Fevereiro de 2011

Tarjanne, R.; Luostarinen K.; “*Competitiveness Comparison of the Electricity Production Alternatives*”; Lappeenranta University of Technology; 2003 consultado em: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/31043/TMP.objres.617.pdf?sequence=1>, acesso em: 06 de Novembro de 2010

Thomas, S.; “*The economics of nuclear power: analysis of recent studies*”; *Public Services International Research Unit*; 2005

Tipler, Paul A.; Mosca, Gene; “*Física Para Cientistas e Engenheiros - Volume 3*”; LTC Editora; Rio de Janeiro; 2006

Valentine, Scott V.; Sovacool, Benjamin K.; “The socio-political economy of nuclear power development in Japan and South Korea”; *Energy Policy*; Vol. 38; 2010; pág. 7971-7979

Varandas, Carlos; “*Tecnologias Nucleares para a Produção de Energia Eléctrica*”; Instituto Superior Técnico, Sem data

Watson, J.; Scott, A.; “New nuclear power in the UK: A strategy for energy security?”; *Energy Policy*; Vol. 38; 2010; pág. 1962-1968

Yacout, A.; Jacobsen, J.; Mattern, G.; Piet, S.; Moiseyev, A.; “*Modeling The Nuclear Fuel Cycle*”; Idaho National Laboratory; 2005; consultado em: <http://www.inl.gov/technicalpublications/documents/3169906.pdf>, acesso em 06 de Janeiro de 2011

Yoo, Seung-Hoon; Ku, Se-Ju; “Causal relationship between nuclear energy consumption and economic growth: A multi-country analysis”; *Energy Policy*; Vol. 37; 2009; pág. 1905-1913

Zhou, Sheng; Zhang, Xiliang; “Nuclear energy development in China: A study of opportunities and challenges”; *Energy*; 2009; 1-7

## Webgrafia

- [www.dgge.pt](http://www.dgge.pt)
- [www.edp.pt](http://www.edp.pt)
- [www.dissident-media.org/infonucleaire/tcherno\\_news.html](http://www.dissident-media.org/infonucleaire/tcherno_news.html)
- [www.fotolibra.com/gallery/49478/uranium-atom-illustration/](http://www.fotolibra.com/gallery/49478/uranium-atom-illustration/)
- [www.infiniteunknown.net](http://www.infiniteunknown.net)
- [www.infomine.com/chartsanddata/chartbuilder.aspx?z=ff&g=127677&dr=15y](http://www.infomine.com/chartsanddata/chartbuilder.aspx?z=ff&g=127677&dr=15y)
- [www.londonstockexchange.com](http://www.londonstockexchange.com)
- [www.mei.gov.on.ca](http://www.mei.gov.on.ca)
- [www.prociv.pt](http://www.prociv.pt)
- [www.ren.pt](http://www.ren.pt)
- [www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)
- [www.world-nuclear-news.org](http://www.world-nuclear-news.org)

# Anexos

## Anexo 1 - Cenário Base

Ano	Investimento	Capital em dívida	Anuidade	Reembolso	Juro	Combustível	OM Fixo	OM Variável	Custos	Vendas	Cash flow	Σ CF atualizado
0	3.040.000,00 €	1.520.000,00 €							3.040.000,00 €		3.040.000,00 €	3.040.000,00 €
1		1.507.417,195,03 €	88.582.804,97 €	12.582.804,97 €	76.000,000,00 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	203.221.552,00 €	644.720.000,00 €	441.498.448,00 €	2.625.447,46 €
2		1.494.205,249,81 €	88.582.804,97 €	13.211.945,22 €	75.370,859,75 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	202.592.411,75 €	644.720.000,00 €	442.127.588,25 €	2.235.641,57 €
3		1.480.332,707,32 €	88.582.804,97 €	13.872.542,48 €	74.710,262,49 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	201.931.814,49 €	644.720.000,00 €	442.788.185,51 €	1.869.079,77 €
4		1.465.766,537,72 €	88.582.804,97 €	14.566.169,61 €	74.016,635,37 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	201.238.187,37 €	644.720.000,00 €	443.481.812,63 €	1.524.351,12 €
5		1.450.472,059,63 €	88.582.804,97 €	15.294.478,09 €	73.288,326,89 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	200.509.878,89 €	644.720.000,00 €	444.210.121,19 €	1.200.130,66 €
6		1.434.412,857,64 €	88.582.804,97 €	16.059.201,99 €	72.523,602,98 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	199.745.154,98 €	644.720.000,00 €	444.974.845,02 €	895.174,225,64 €
7		1.417.550,695,55 €	88.582.804,97 €	16.862.162,09 €	71.720,642,88 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	198.942.194,88 €	644.720.000,00 €	445.777.805,18 €	608.313,437,61 €
8		1.399.845,425,36 €	88.582.804,97 €	17.705.270,19 €	70.877,534,78 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	198.099.086,78 €	644.720.000,00 €	446.620.913,28 €	338.451,152,79 €
9		1.381.254,891,65 €	88.582.804,97 €	18.590.533,70 €	69.992,271,27 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	197.213.823,27 €	644.720.000,00 €	447.506.176,73 €	84.557,078,95 €
10		1.361.734,831,26 €	88.582.804,97 €	19.520.060,39 €	69.062,744,58 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	196.284.296,58 €	644.720.000,00 €	448.435.703,42 €	154.336,295,52 €
11		1.341.238,767,85 €	88.582.804,97 €	20.496.063,41 €	68.086,741,56 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	195.308.293,56 €	644.720.000,00 €	449.411.706,44 €	379.137,531,84 €
12		1.319.717,901,27 €	88.582.804,97 €	21.520.866,58 €	67.061,938,39 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	194.283.490,39 €	644.720.000,00 €	450.436.509,61 €	590.699,837,40 €
13		1.297.120,991,36 €	88.582.804,97 €	22.596.909,91 €	65.985,895,06 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	193.207.447,06 €	644.720.000,00 €	451.512.552,94 €	789.824,442,71 €
14		1.273.394,235,96 €	88.582.804,97 €	23.726.755,40 €	64.856,049,57 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	192.077.601,55 €	644.720.000,00 €	452.642.398,43 €	977.263,772,39 €
15		1.248.481,142,79 €	88.582.804,97 €	24.913.093,17 €	63.669,711,80 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	190.891.263,80 €	644.720.000,00 €	453.828.736,20 €	1.153.724,422,58 €
16		1.222.322,394,95 €	88.582.804,97 €	26.158.747,83 €	62.424,057,14 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	189.645.609,14 €	644.720.000,00 €	455.074.390,86 €	1.319.869,956,63 €
17		1.194.855,709,73 €	88.582.804,97 €	27.466.685,22 €	61.116,119,75 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	188.337.671,75 €	644.720.000,00 €	456.382.328,25 €	1.476.323,530,23 €
18		1.166.015,690,24 €	88.582.804,97 €	28.840.019,49 €	59.742,785,49 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	186.964.337,49 €	644.720.000,00 €	457.755.662,51 €	1.623.670,356,30 €
19		1.135.733,669,78 €	88.582.804,97 €	30.282.020,46 €	58.300,784,51 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	185.522.336,51 €	644.720.000,00 €	459.197.663,49 €	1.762.460,019,50 €
20		1.103.937,548,30 €	88.582.804,97 €	31.796.121,48 €	56.786,683,49 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	184.008.235,49 €	644.720.000,00 €	460.711.764,51 €	1.893.208,649,46 €
21		1.070.551,620,74 €	88.582.804,97 €	33.385.927,56 €	55.196,877,41 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	182.418.429,41 €	644.720.000,00 €	462.301.570,59 €	2.016.400,961,38 €
22		1.035.496,396,81 €	88.582.804,97 €	35.055.223,94 €	53.527,581,04 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	180.749.133,04 €	644.720.000,00 €	463.970.866,96 €	2.132.492,172,16 €
23		998.688,416,67 €	88.582.804,97 €	36.807.985,13 €	51.774,819,84 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	178.996.371,84 €	644.720.000,00 €	465.723.628,16 €	2.241.909,799,55 €
24		960.040,027,28 €	88.582.804,97 €	38.648.384,39 €	49.934,420,58 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	177.155.972,58 €	644.720.000,00 €	467.564.027,42 €	2.345.055,351,51 €
25		919.459,223,68 €	88.582.804,97 €	40.580.803,61 €	48.002,001,36 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	175.223.553,36 €	644.720.000,00 €	469.496.446,64 €	2.442.305,912,52 €
26		876.849,379,89 €	88.582.804,97 €	42.609.843,79 €	45.972,961,18 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	173.194.513,18 €	644.720.000,00 €	471.525.486,82 €	2.534.015,633,04 €
27		832.109,043,91 €	88.582.804,97 €	44.740.335,98 €	43.842,468,99 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	171.064.020,99 €	644.720.000,00 €	473.655.979,01 €	2.620.517,128,14 €
28		785.131,691,13 €	88.582.804,97 €	46.977.352,78 €	41.605,452,20 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	168.827.004,20 €	644.720.000,00 €	475.892.995,80 €	2.702.122,790,70 €
29		735.805,407,2 €	88.582.804,97 €	49.326.220,42 €	39.256,584,56 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	166.478.136,56 €	644.720.000,00 €	478.241.863,44 €	2.779.126,024,57 €
30		684.012,939,28 €	88.582.804,97 €	51.792.531,44 €	36.790,273,54 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	164.011.825,54 €	644.720.000,00 €	480.708.174,46 €	2.851.802,402,41 €
31		629.630,781,27 €	88.582.804,97 €	54.382.158,01 €	34.200,646,96 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	161.422.198,96 €	644.720.000,00 €	483.297.801,04 €	2.920.410,752,93 €
32		572.529,515,36 €	88.582.804,97 €	57.101.265,91 €	31.481,539,06 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	158.703.091,06 €	644.720.000,00 €	486.016.908,94 €	2.985.194,181,72 €
33		512.573,186,16 €	88.582.804,97 €	59.956.329,20 €	28.626,475,77 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	155.848.027,77 €	644.720.000,00 €	488.871.972,23 €	3.046.381,029,90 €
34		449.619,040,49 €	88.582.804,97 €	62.954.145,66 €	25.628,659,31 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	152.850.213,31 €	644.720.000,00 €	491.869.788,64 €	3.104.185,774,16 €
35		383.517,187,55 €	88.582.804,97 €	66.101.852,95 €	22.480,952,02 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	149.702.504,02 €	644.720.000,00 €	495.017.495,98 €	3.158.809,871,94 €
36		314.110,241,95 €	88.582.804,97 €	69.406.945,60 €	19.175,859,38 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	146.397.411,38 €	644.720.000,00 €	498.322.588,62 €	3.210.442,555,06 €
37		241.232,949,08 €	88.582.804,97 €	72.877.292,87 €	15.705,512,10 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	142.927.064,10 €	644.720.000,00 €	501.792.935,90 €	3.259.261,574,88 €
38		164.711,791,56 €	88.582.804,97 €	76.521.157,52 €	12.061,647,45 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	139.283.199,45 €	644.720.000,00 €	505.436.800,55 €	3.305.433,902,02 €
39		84.364,576,16 €	88.582.804,97 €	80.347.215,39 €	8.235,589,58 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	135.457.141,58 €	644.720.000,00 €	509.262.858,42 €	3.349.116,383,37 €
40		0,00 €	88.582.804,97 €	84.364.576,16 €	4.218,28,81 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	131.439.780,81 €	644.720.000,00 €	513.280.219,99 €	3.390.456,359,04 €
Σ	3.040.000,00 €		3.543.312,19 €	8,89 €	2.023,312,198,89 €	1.392.595,20 €	1.824.000,00 €	1.872.266,88 €	10.152.174,278,89 €	25.788.800,00 €	15.636.625,72 €	1,11 €

## Anexo 2 - Cenário 1: Duplicação do preço do combustível

Ano	Investimento	Capital em dívida	Anuidade	Reembolso	Juro	Combustível	OM Fixo	OM Variável	Custos	Vendas	Cash flow	∑ CF atualizado
0	3.040.000,00 €	1.520.000,00 €							3.040.000,00 €		3.040.000,00 €	3.040.000,00 €
1		1.507.417,19 €	88.582.804,97 €	12.582.804,97 €	76.000.000,00 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	238.036.432,00 €	644.720.000,00 €	406.683.568,00 €	2.658.137,49 €
2		1.494.205,24 €	88.582.804,97 €	13.211.945,22 €	75.370.859,75 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	237.407.291,75 €	644.720.000,00 €	407.312.708,25 €	2.299.026,46 €
3		1.480.332,70 €	88.582.804,97 €	13.872.542,48 €	74.710.262,49 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	236.746.694,49 €	644.720.000,00 €	407.973.305,51 €	1.961.286,13 €
4		1.465.766,53 €	88.582.804,97 €	14.566.169,61 €	74.016.635,37 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	236.053.067,37 €	644.720.000,00 €	408.666.932,63 €	1.643.619,89 €
5		1.450.472,09 €	88.582.804,97 €	15.294.478,09 €	73.288.326,89 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	235.324.758,89 €	644.720.000,00 €	409.395.241,19 €	1.344.810,14 €
6		1.434.412,85 €	88.582.804,97 €	16.059.201,99 €	72.523.602,98 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	234.560.034,98 €	644.720.000,00 €	410.159.965,08 €	1.063.713,53 €
7		1.417.550,69 €	88.582.804,97 €	16.862.162,09 €	71.720.642,88 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	233.757.074,88 €	644.720.000,00 €	410.962.925,12 €	799.256.335,33 €
8		1.399.845,42 €	88.582.804,97 €	17.705.270,19 €	70.877.534,78 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	232.913.966,78 €	644.720.000,00 €	411.806.033,22 €	550.430.286,80 €
9		1.381.254,89 €	88.582.804,97 €	18.590.533,70 €	69.992.271,27 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	232.028.703,27 €	644.720.000,00 €	412.691.296,73 €	316.288.547,50 €
10		1.361.734,83 €	88.582.804,97 €	19.520.060,39 €	69.062.744,58 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	231.099.176,58 €	644.720.000,00 €	413.620.823,42 €	95.941.966,03 €
11		1.341.238,76 €	88.582.804,97 €	20.496.063,41 €	68.086.741,56 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	230.123.173,56 €	644.720.000,00 €	414.596.826,44 €	111.444.441,19 €
12		1.319.717,90 €	88.582.804,97 €	21.520.866,58 €	67.061.938,39 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	229.098.370,39 €	644.720.000,00 €	415.621.629,61 €	306.654.794,53 €
13		1.297.120,99 €	88.582.804,97 €	22.596.909,91 €	65.985.895,06 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	228.022.327,06 €	644.720.000,00 €	416.697.672,94 €	490.425.454,10 €
14		1.273.394,23 €	88.582.804,97 €	23.726.755,40 €	64.856.049,57 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	226.892.481,57 €	644.720.000,00 €	417.827.518,43 €	663.447.933,32 €
15		1.248.481,42 €	88.582.804,97 €	24.913.093,17 €	63.669.711,80 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	225.706.143,80 €	644.720.000,00 €	419.013.856,20 €	826.371.634,73 €
16		1.222.322,39 €	88.582.804,97 €	26.158.747,83 €	62.424.057,14 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	224.460.489,14 €	644.720.000,00 €	420.259.510,86 €	979.806.418,74 €
17		1.194.855,70 €	88.582.804,97 €	27.466.685,22 €	61.116.119,75 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	223.152.551,75 €	644.720.000,00 €	421.567.448,25 €	1.124.325,01 €
18		1.166.015,69 €	88.582.804,97 €	28.840.019,49 €	59.742.785,49 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	221.779.217,49 €	644.720.000,00 €	422.940.782,51 €	1.260.465,29 €
19		1.135.733,66 €	88.582.804,97 €	30.282.020,46 €	58.300.784,51 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	220.337.216,51 €	644.720.000,00 €	424.382.783,49 €	1.388.732,37 €
20		1.103.937,58 €	88.582.804,97 €	31.796.121,48 €	56.786.683,49 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	218.823.115,49 €	644.720.000,00 €	425.896.884,51 €	1.509.600,64 €
21		1.070.551,62 €	88.582.804,97 €	33.385.927,56 €	55.196.877,41 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	217.233.309,41 €	644.720.000,00 €	427.486.690,59 €	1.623.515,62 €
22		1.035.496,39 €	88.582.804,97 €	35.055.223,94 €	53.527.581,04 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	215.564.013,04 €	644.720.000,00 €	429.155.986,96 €	1.730.895,72 €
23		998.688,41 €	88.582.804,97 €	36.807.985,13 €	51.774.819,84 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	213.811.251,84 €	644.720.000,00 €	430.908.748,16 €	1.832.133,90 €
24		960.040,02 €	88.582.804,97 €	38.648.384,39 €	49.934.420,58 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	211.970.852,58 €	644.720.000,00 €	432.749.147,42 €	1.927.599,22 €
25		919.459,22 €	88.582.804,97 €	40.580.803,61 €	48.002.001,36 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	210.038.433,36 €	644.720.000,00 €	434.681.566,64 €	2.017.638,29 €
26		876.849,37 €	88.582.804,97 €	42.609.843,79 €	45.972.961,18 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	208.009.393,18 €	644.720.000,00 €	436.710.606,82 €	2.102.576,67 €
27		832.109,04 €	88.582.804,97 €	44.740.335,98 €	43.842.468,99 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	205.878.900,99 €	644.720.000,00 €	438.841.099,01 €	2.182.720,09 €
28		785.131,69 €	88.582.804,97 €	46.977.352,78 €	41.605.452,20 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	203.641.884,20 €	644.720.000,00 €	441.078.115,80 €	2.258.355,73 €
29		735.805,47 €	88.582.804,97 €	49.326.220,42 €	39.256.584,56 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	201.293.016,56 €	644.720.000,00 €	443.426.983,44 €	2.329.753,31 €
30		684.012,93 €	88.582.804,97 €	51.792.531,44 €	36.790.273,54 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	198.826.705,54 €	644.720.000,00 €	445.893.294,46 €	2.397.166,16 €
31		629.630,78 €	88.582.804,97 €	54.382.158,01 €	34.200.646,96 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	196.237.078,96 €	644.720.000,00 €	448.482.921,04 €	2.460.832,24 €
32		572.529,51 €	88.582.804,97 €	57.101.265,91 €	31.481.539,06 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	193.517.971,06 €	644.720.000,00 €	451.202.028,94 €	2.520.975,03 €
33		512.573,18 €	88.582.804,97 €	59.956.329,20 €	28.626.475,77 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	190.662.907,77 €	644.720.000,00 €	454.057.092,33 €	2.577.804,47 €
34		449.619,04 €	88.582.804,97 €	62.954.145,66 €	25.628.659,31 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	187.665.091,31 €	644.720.000,00 €	457.054.908,69 €	2.631.517,76 €
35		383.517,18 €	88.582.804,97 €	66.101.852,95 €	22.480.952,02 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	184.517.384,02 €	644.720.000,00 €	460.202.615,98 €	2.682.300,11 €
36		314.110,24 €	88.582.804,97 €	69.406.945,60 €	19.175.859,38 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	181.212.291,38 €	644.720.000,00 €	463.507.708,62 €	2.730.325,52 €
37		241.232,94 €	88.582.804,97 €	72.877.292,87 €	15.705.512,10 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	177.741.944,10 €	644.720.000,00 €	466.978.055,90 €	2.775.757,43 €
38		164.711,79 €	88.582.804,97 €	76.521.157,52 €	12.061.647,45 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	174.098.079,45 €	644.720.000,00 €	470.621.920,55 €	2.818.749,37 €
39		84.364,57 €	88.582.804,97 €	80.347.215,39 €	8.235.589,58 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	170.272.021,58 €	644.720.000,00 €	474.447.978,42 €	2.859.445,57 €
40		0,00 €	88.582.804,97 €	84.364.576,16 €	4.218.228,16 €	69.629.760,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	166.254.660,81 €	644.720.000,00 €	478.465.339,91 €	2.897.981,53 €
∑	3.040.000,00 €		3.543.312,19 €	8,89 €	2.023.312,19 €	2.785.190,40 €	1.824.000,00 €	1.872.266,88 €	11.544.769,47 €	25.788.800,00 €	14.244.030,52 €	1,11 €

## Anexo 3 - Cenário 2: Duplicação da potência instalada

Ano	Investimento	Capital em dívida	Anuidade	Reembolso	Juro	Combustível	OM Fixo	OM Variável	Custos	Vendas	Cash flow	∑ CF atualizado
0	6.080.000,00 €	3.040.000,00 €							6.080.000,00 €		6.080.000,00 €	6.080.000,00 €
1		3.014.834,39 €	177.165.609,94 €	25.165.609,94 €	152.000.000,00 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	430.472.864,00 €	1.289.440,00 €	858.967.136,00 €	5.273.458,08 €
2		2.988.410,49 €	177.165.609,94 €	26.423.890,44 €	150.741.719,50 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	429.214.583,50 €	1.289.440,00 €	860.225.416,50 €	4.515.032,36 €
3		2.960.665,41 €	177.165.609,94 €	27.745.084,96 €	149.420.524,98 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	427.893.388,98 €	1.289.440,00 €	861.546.611,02 €	3.801.801,78 €
4		2.931.533,07 €	177.165.609,94 €	29.132.339,21 €	148.033.270,73 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	426.506.134,73 €	1.289.440,00 €	862.933.865,27 €	3.131.023,36 €
5		2.900.944,19 €	177.165.609,94 €	30.588.956,17 €	146.576.653,77 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	425.049.517,77 €	1.289.440,00 €	864.390.482,23 €	2.500.121,31 €
6		2.868.825,71 €	177.165.609,94 €	32.118.403,98 €	145.047.205,96 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	423.520.069,96 €	1.289.440,00 €	865.919.930,04 €	1.906.676,84 €
7		2.835.101,39 €	177.165.609,94 €	33.724.324,18 €	143.441.285,76 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	421.914.149,76 €	1.289.440,00 €	867.525.850,24 €	1.348.418,56 €
8		2.799.690,85 €	177.165.609,94 €	35.410.540,39 €	141.755.069,56 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	420.227.933,56 €	1.289.440,00 €	869.212.066,44 €	823.213,52 €
9		2.762.509,78 €	177.165.609,94 €	37.181.067,41 €	139.984.542,54 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	418.457.406,54 €	1.289.440,00 €	870.982.593,54 €	329.058,74 €
10		2.723.469,66 €	177.165.609,94 €	39.040.120,78 €	138.125.489,17 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	416.598.353,17 €	1.289.440,00 €	872.841.646,83 €	135.926,76 €
11		2.682.477,55 €	177.165.609,94 €	40.992.126,82 €	136.173.483,13 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	414.646.347,13 €	1.289.440,00 €	874.793.652,87 €	573.509,21 €
12		2.639.435,80 €	177.165.609,94 €	43.041.733,16 €	134.123.876,79 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	412.596.740,79 €	1.289.440,00 €	876.843.259,21 €	985.347,46 €
13		2.594.241,98 €	177.165.609,94 €	45.193.819,82 €	131.971.790,13 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	410.444.654,13 €	1.289.440,00 €	878.995.345,87 €	1.372.999,14 €
14		2.546.788,41 €	177.165.609,94 €	47.453.510,81 €	129.712.099,14 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	408.184.963,14 €	1.289.440,00 €	881.255.036,86 €	1.737.927,07 €
15		2.496.962,28 €	177.165.609,94 €	49.826.186,35 €	127.339.423,60 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	405.812.287,60 €	1.289.440,00 €	883.627.712,40 €	2.081.504,96 €
16		2.444.644,78 €	177.165.609,94 €	52.317.495,67 €	124.848.114,28 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	403.320.978,28 €	1.289.440,00 €	886.119.021,72 €	2.405.022,88 €
17		2.389.711,41 €	177.165.609,94 €	54.933.370,45 €	122.232.239,50 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	400.705.103,50 €	1.289.440,00 €	888.734.896,50 €	2.709.692,32 €
18		2.332.031,38 €	177.165.609,94 €	57.680.038,97 €	119.485.570,97 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	397.958.434,97 €	1.289.440,00 €	891.481.565,03 €	2.996.651,04 €
19		2.271.467,39 €	177.165.609,94 €	60.564.040,92 €	116.601.569,02 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	395.074.433,02 €	1.289.440,00 €	894.365.566,98 €	3.266.967,52 €
20		2.207.875,09 €	177.165.609,94 €	63.592.242,97 €	113.573.366,98 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	392.046.230,98 €	1.289.440,00 €	897.393.769,02 €	3.521.645,21 €
21		2.141.103,24 €	177.165.609,94 €	66.771.855,11 €	110.393.754,83 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	388.866.618,83 €	1.289.440,00 €	900.573.381,17 €	3.761.626,48 €
22		2.070.992,79 €	177.165.609,94 €	70.110.447,87 €	107.055.162,07 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	385.528.026,07 €	1.289.440,00 €	903.911.973,93 €	3.987.796,36 €
23		1.997.376,82 €	177.165.609,94 €	73.615.970,26 €	103.549.639,68 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	382.022.503,68 €	1.289.440,00 €	907.417.496,32 €	4.200.986,03 €
24		1.920.080,05 €	177.165.609,94 €	77.296.768,78 €	99.868.841,17 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	378.341.705,17 €	1.289.440,00 €	911.098.294,83 €	4.401.976,12 €
25		1.838.918,44 €	177.165.609,94 €	81.161.607,22 €	96.004.002,73 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	374.476.866,73 €	1.289.440,00 €	914.963.133,27 €	4.591.499,77 €
26		1.753.698,75 €	177.165.609,94 €	85.219.687,58 €	91.945.922,37 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	370.418.786,63 €	1.289.440,00 €	919.021.213,63 €	4.770.245,52 €
27		1.664.218,08 €	177.165.609,94 €	89.480.671,96 €	87.684.937,99 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	366.157.801,99 €	1.289.440,00 €	923.282.198,01 €	4.938.860,08 €
28		1.570.263,38 €	177.165.609,94 €	93.954.705,55 €	83.210.904,39 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	361.683.768,39 €	1.289.440,00 €	927.756.231,61 €	5.097.950,80 €
29		1.471.610,94 €	177.165.609,94 €	98.652.440,83 €	78.513.169,11 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	356.986.033,93 €	1.289.440,00 €	932.453.966,89 €	5.248.088,16 €
30		1.368.025,87 €	177.165.609,94 €	103.585.062,87 €	73.580.547,07 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	352.053.411,07 €	1.289.440,00 €	937.386.588,93 €	5.389.807,95 €
31		1.259.261,56 €	177.165.609,94 €	108.764.316,02 €	68.401.293,93 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	346.874.157,93 €	1.289.440,00 €	942.565.842,07 €	5.523.613,42 €
32		1.145.059,03 €	177.165.609,94 €	114.202.531,82 €	62.963.078,13 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	341.435.942,13 €	1.289.440,00 €	948.004.057,87 €	5.649.977,24 €
33		1.025.146,37 €	177.165.609,94 €	119.912.658,41 €	57.252.951,54 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	335.725.815,54 €	1.289.440,00 €	953.714.184,46 €	5.769.343,39 €
34		899.238,08 €	177.165.609,94 €	125.908.291,33 €	51.257.318,62 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	329.730.182,62 €	1.289.440,00 €	959.709.817,38 €	5.882.128,89 €
35		767.034,37 €	177.165.609,94 €	132.203.705,90 €	44.961.904,05 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	323.434.768,05 €	1.289.440,00 €	966.005.231,95 €	5.988.725,45 €
36		628.220,48 €	177.165.609,94 €	138.813.891,19 €	38.351.718,75 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	316.824.582,75 €	1.289.440,00 €	972.615.417,25 €	6.089.501,02 €
37		482.465,89 €	177.165.609,94 €	145.754.585,75 €	31.411.024,20 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	309.883.888,20 €	1.289.440,00 €	979.556.111,80 €	6.184.801,23 €
38		329.423,58 €	177.165.609,94 €	153.042.313,12 €	24.123.294,91 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	302.596.158,91 €	1.289.440,00 €	986.843.841,09 €	6.274.950,73 €
39		168.729,15 €	177.165.609,94 €	160.694.430,79 €	16.471.179,16 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	294.944.043,16 €	1.289.440,00 €	994.495.956,84 €	6.360.254,52 €
40		0,00 €	177.165.609,94 €	168.729,15 €	8.436.457,62 €	139.259.520,00 €	45.600.000,00 €	93.613.344,00 €	286.909.321,62 €	1.289.440,00 €	1.002.530,67 €	6.440.999,10 €
∑	6.080.000,00 €		7.086.624,39 €		4.046.624,39 €	5.570.380,80 €	1.824.000,00 €	3.744.533,76 €	21.265.538,97 €	51.577.600,00 €	30.312.061,04 €	2,38 €

## Anexo 4 - Cenário 3: Duplicação do investimento inicial

Ano	Investimento	Capital em dívida	Anuidade	Reembolso	Juro	Combustível	OM Fixo	OM Variável	Custos	Vendas	Cash flow	∑ CF atualizado
0	6.080.000,00 €	3.040.000,00 €							6.080.000,00 €		6.080.000,00 €	6.080.000,00 €
1	3.014.834,390,06 €	177.165.609,94 €	25.165.609,94 €	152.000.000,00 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	324.821.552,00 €	644.720.000,00 €	319.898.448,00 €	5.779.625,87 €	0,42 €
2	2.988.410,499,61 €	177.165.609,94 €	26.423.890,44 €	150.741.719,50 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	323.563.271,50 €	644.720.000,00 €	321.156.728,50 €	5.496.475,05 €	9,52 €
3	2.960.665,414,65 €	177.165.609,94 €	27.745.084,96 €	149.420.524,98 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	322.242.076,98 €	644.720.000,00 €	322.477.923,02 €	5.229.512,00 €	3,82 €
4	2.931.533,075,44 €	177.165.609,94 €	29.132.339,21 €	148.033.270,73 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	320.854.822,73 €	644.720.000,00 €	323.865.177,27 €	4.977.764,12 €	3,19 €
5	2.900.944,119,26 €	177.165.609,94 €	30.588.956,17 €	146.576.653,77 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	319.398.205,77 €	644.720.000,00 €	325.321.794,23 €	4.740.317,97 €	9,88 €
6	2.868.825,715,28 €	177.165.609,94 €	32.118.403,96 €	145.047.205,27 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	317.868.757,96 €	644.720.000,00 €	326.851.242,04 €	4.516.315,67 €	1,94 €
7	2.835.101,391,10 €	177.165.609,94 €	33.724.324,18 €	143.441.285,76 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	316.262.837,76 €	644.720.000,00 €	328.457.162,24 €	4.304.951,44 €	6,74 €
8	2.799.690,850,71 €	177.165.609,94 €	35.410.540,39 €	141.755.069,56 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	314.576.621,56 €	644.720.000,00 €	330.143.378,44 €	4.105.468,52 €	1,09 €
9	2.762.509,783,30 €	177.165.609,94 €	37.181.067,82 €	139.984.542,54 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	312.806.094,54 €	644.720.000,00 €	331.913.905,46 €	3.917.156,09 €	5,46 €
10	2.723.469,662,52 €	177.165.609,94 €	39.040.120,82 €	138.125.489,13 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	310.947.041,13 €	644.720.000,00 €	333.772.958,83 €	3.739.346,55 €	0,34 €
11	2.682.477,535,70 €	177.165.609,94 €	40.992.126,82 €	136.173.483,13 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	308.995.035,13 €	644.720.000,00 €	335.724.964,87 €	3.571.412,81 €	3,66 €
12	2.639.435,802,55 €	177.165.609,94 €	43.041.733,16 €	134.123.876,79 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	306.945.428,79 €	644.720.000,00 €	337.774.571,21 €	3.412.765,88 €	8,91 €
13	2.594.241,982,73 €	177.165.609,94 €	45.193.819,82 €	131.971.790,13 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	304.793.342,13 €	644.720.000,00 €	339.926.657,87 €	3.262.852,53 €	4,03 €
14	2.546.788,471,92 €	177.165.609,94 €	47.453.510,81 €	129.712.099,14 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	302.533.651,14 €	644.720.000,00 €	342.186.348,86 €	3.121.153,08 €	1,92 €
15	2.496.962,285,57 €	177.165.609,94 €	49.826.186,35 €	127.339.423,60 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	300.160.975,60 €	644.720.000,00 €	344.559.024,40 €	2.987.179,39 €	3,99 €
16	2.444.644,789,90 €	177.165.609,94 €	52.317.495,67 €	124.848.114,28 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	297.669.666,28 €	644.720.000,00 €	347.050.333,72 €	2.860.472,93 €	8,53 €
17	2.389.711,419,46 €	177.165.609,94 €	54.933.370,82 €	122.232.239,50 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	295.053.791,50 €	644.720.000,00 €	349.666.208,50 €	2.740.602,96 €	6,30 €
18	2.332.031,380,48 €	177.165.609,94 €	57.680.038,81 €	119.485.570,97 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	292.307.122,97 €	644.720.000,00 €	352.412.877,03 €	2.627.164,91 €	6,28 €
19	2.271.467,339,56 €	177.165.609,94 €	60.564.040,92 €	116.601.569,02 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	289.423.121,02 €	644.720.000,00 €	355.296.878,98 €	2.519.778,62 €	4,73 €
20	2.207.875,096,60 €	177.165.609,94 €	63.592.242,97 €	113.573.366,98 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	286.394.918,98 €	644.720.000,00 €	358.325.081,02 €	2.418.087,03 €	1,35 €
21	2.141.103,241,48 €	177.165.609,94 €	66.771.855,11 €	110.393.754,83 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	283.215.306,83 €	644.720.000,00 €	361.504.693,17 €	2.321.754,67 €	6,35 €
22	2.070.992,793,61 €	177.165.609,94 €	70.110.447,87 €	107.055.162,07 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	279.876.714,07 €	644.720.000,00 €	364.843.285,93 €	2.230.466,40 €	4,32 €
23	1.997.376,823,35 €	177.165.609,94 €	73.615.970,26 €	103.549.639,68 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	276.371.191,68 €	644.720.000,00 €	368.348.808,32 €	2.143.926,12 €	5,45 €
24	1.920.080,054,57 €	177.165.609,94 €	77.296.768,78 €	99.868.841,77 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	272.690.393,77 €	644.720.000,00 €	372.029.606,83 €	2.061.855,65 €	6,19 €
25	1.838.918,447,35 €	177.165.609,94 €	81.161.607,22 €	96.004.002,73 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	268.825.554,73 €	644.720.000,00 €	375.894.445,27 €	1.983.993,62 €	7,74 €
26	1.753.698,759,78 €	177.165.609,94 €	85.219.687,58 €	91.945.922,37 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	264.767.474,37 €	644.720.000,00 €	379.952.525,63 €	1.910.094,46 €	2,35 €
27	1.664.218,087,82 €	177.165.609,94 €	89.480.671,96 €	87.684.937,99 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	260.506.489,99 €	644.720.000,00 €	384.213.510,01 €	1.839.927,41 €	1,73 €
28	1.570.263,382,27 €	177.165.609,94 €	93.954.705,55 €	83.210.904,39 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	256.032.456,39 €	644.720.000,00 €	388.687.543,61 €	1.773.275,65 €	4,29 €
29	1.471.610,941,43 €	177.165.609,94 €	98.652.440,83 €	78.513.169,11 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	251.334.721,11 €	644.720.000,00 €	393.385.278,89 €	1.709.935,44 €	7,28 €
30	1.368.025,878,56 €	177.165.609,94 €	103.585.062,87 €	73.580.547,07 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	246.402.099,07 €	644.720.000,00 €	398.317.900,93 €	1.649.715,33 €	0,78 €
31	1.259.261,562,54 €	177.165.609,94 €	108.764.316,02 €	68.401.293,93 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	241.222.845,93 €	644.720.000,00 €	403.497.154,07 €	1.592.435,36 €	0,16 €
32	1.145.059,030,73 €	177.165.609,94 €	114.202.531,82 €	62.963.078,13 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	235.784.630,13 €	644.720.000,00 €	408.935.369,87 €	1.537.926,50 €	4,17 €
33	1.025.146,372,32 €	177.165.609,94 €	119.912.658,41 €	57.252.951,54 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	230.074.503,54 €	644.720.000,00 €	414.645.496,46 €	1.486.029,78 €	5,84 €
34	899.238.080,99 €	177.165.609,94 €	125.908.291,33 €	51.257.318,62 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	224.078.870,62 €	644.720.000,00 €	420.641.129,38 €	1.436.595,86 €	3,56 €
35	767.034.375,09 €	177.165.609,94 €	132.203.705,90 €	44.961.904,05 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	217.783.456,05 €	644.720.000,00 €	426.936.543,95 €	1.389.484,34 €	9,90 €
36	628.220.483,90 €	177.165.609,94 €	138.813.891,19 €	38.351.718,75 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	211.173.270,75 €	644.720.000,00 €	433.546.729,25 €	1.344.563,28 €	5,92 €
37	482.465.898,15 €	177.165.609,94 €	145.754.585,75 €	31.411.024,00 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	204.232.576,00 €	644.720.000,00 €	440.487.423,80 €	1.301.708,62 €	8,68 €
38	329.423.583,12 €	177.165.609,94 €	153.042.315,04 €	24.123.294,91 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	196.944.846,91 €	644.720.000,00 €	447.775.153,09 €	1.260.803,77 €	0,09 €
39	168.729.152,33 €	177.165.609,94 €	160.694.430,79 €	16.471.179,16 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	189.292.731,16 €	644.720.000,00 €	455.427.268,84 €	1.221.739,08 €	5,03 €
40	0,00 €	177.165.609,94 €	168.729.152,33 €	8.436.457,62 €	34.814.880,00 €	91.200.000,00 €	46.806.672,00 €	181.258.009,62 €	644.720.000,00 €	463.461.990,38 €	1.184.411,50 €	7,05 €
∑	6.080.000,00 €		7.086.624,39 €	4.046.624,39 €	1.392.595,20 €	3.648.000,00 €	1.872.266,88 €	17.039.486,47 €	25.788.800,00 €	8.749.313,52 €		2,21 €

Ano	Investimento	Capital em dívida	Anuidade	Reembolso	Juro	Combustível	OM Fixo	OM Variável	Custos	Vendas	Cash flow	Cash flow atualizado	I CF atualizado
0	6.080.000,00 €	3.040,00 €							6.080.000,00 €				
1		3.014,83 €	177.165,60 €	25.165,60 €	152.000,00 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	324.821,552,00 €	967.080,000,00 €	642.258,448,00 €	603.059,575,59 €	5.476,940,24 €
2		2.988,41 €	177.165,60 €	26.423,89 €	150.741,71 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	323.563,271,50 €	967.080,000,00 €	643.516,728,50 €	567.362,497,30 €	4.909,577,927,12 €
3		2.960,66 €	177.165,60 €	27.745,08 €	149.420,52 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	322.242,076,98 €	967.080,000,00 €	644.837,923,02 €	533.828,488,93 €	4.375,749,438,18 €
4		2.931,53 €	177.165,60 €	29.132,33 €	148.033,27 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	320.854,822,73 €	967.080,000,00 €	646.225,177,27 €	502.325,752,21 €	3.873,423,685,98 €
5		2.900,94 €	177.165,60 €	30.588,95 €	146.576,65 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	319.398,205,77 €	967.080,000,00 €	647.681,794,23 €	472.730,529,77 €	3.400,693,156,21 €
6		2.868,82 €	177.165,60 €	32.118,40 €	145.047,20 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	317.868,757,96 €	967.080,000,00 €	649.211,242,04 €	444.926,614,48 €	2.955,766,541,73 €
7		2.835,10 €	177.165,60 €	33.724,32 €	143.441,28 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	316.262,837,76 €	967.080,000,00 €	650.817,162,24 €	418.804,888,62 €	2.536,961,653,11 €
8		2.799,69 €	177.165,60 €	35.410,54 €	141.755,06 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	314.576,621,56 €	967.080,000,00 €	652.503,378,44 €	394.262,891,21 €	2.142,698,761,81 €
9		2.762,50 €	177.165,60 €	37.181,06 €	139.984,54 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	312.806,094,54 €	967.080,000,00 €	654.273,905,46 €	371.204,412,15 €	1.771,494,349,66 €
10		2.723,46 €	177.165,60 €	39.040,12 €	138.125,48 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	310.947,041,17 €	967.080,000,00 €	656.132,958,83 €	349.539,109,93 €	1.421,955,239,73 €
11		2.682,47 €	177.165,60 €	40.992,12 €	136.173,48 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	308.995,035,13 €	967.080,000,00 €	658.084,964,87 €	329.182,154,87 €	1.092,773,085,39 €
12		2.639,43 €	177.165,60 €	43.041,73 €	134.123,87 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	306.945,428,79 €	967.080,000,00 €	660.134,571,21 €	310.051,889,21 €	782.719,195,70 €
13		2.594,24 €	177.165,60 €	45.193,81 €	131.971,79 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	304.793,342,13 €	967.080,000,00 €	662.286,657,87 €	292.079,519,15 €	490,639,676,55 €
14		2.546,78 €	177.165,60 €	47.453,51 €	129.712,09 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	302.533,651,14 €	967.080,000,00 €	664.546,348,86 €	275.188,808,22 €	215,450,868,33 €
15		2.496,96 €	177.165,60 €	49.826,18 €	127.339,42 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	300.160,975,60 €	967.080,000,00 €	666.919,024,40 €	259.315,806,34 €	43,864,938,02 €
16		2.444,64 €	177.165,60 €	52.317,49 €	124.848,11 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	297.669,666,28 €	967.080,000,00 €	669.410,333,43 €	244,398,585,43 €	288,263,523,45 €
17		2.389,71 €	177.165,60 €	54.933,37 €	122.232,23 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	295.053,791,50 €	967.080,000,00 €	672.026,208,50 €	230,378,994,46 €	518,642,517,91 €
18		2.332,03 €	177.165,60 €	57.680,03 €	119.485,57 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	292.307,122,97 €	967.080,000,00 €	674.772,877,03 €	217,202,428,92 €	735,844,946,83 €
19		2.271,46 €	177.165,60 €	60.564,04 €	116.601,56 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	289.423,121,02 €	967.080,000,00 €	677.656,878,98 €	204,817,614,46 €	940,662,561,29 €
20		2.207,87 €	177.165,60 €	63.592,24 €	113.573,36 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	286.394,918,98 €	967.080,000,00 €	680.685,081,60 €	193,176,403,63 €	1.133,838,964,91 €
21		2.141,10 €	177.165,60 €	66.771,85 €	110.393,75 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	283.215,306,83 €	967.080,000,00 €	683.864,693,17 €	182,233,585,08 €	1.316,072,549,99 €
22		2.070,99 €	177.165,60 €	70.110,44 €	107.055,16 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	279.876,714,07 €	967.080,000,00 €	687.203,285,93 €	171,946,704,41 €	1.488,019,254,40 €
23		1.997,37 €	177.165,60 €	73.615,97 €	103.549,63 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	276.371,191,68 €	967.080,000,00 €	690.708,808,32 €	162,275,895,94 €	1.650,295,150,34 €
24		1.920,08 €	177.165,60 €	77.296,76 €	99.868,841,17 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	272.690,393,17 €	967.080,000,00 €	694.389,606,83 €	153,183,724,73 €	1.803,478,875,07 €
25		1.838,91 €	177.165,60 €	81.161,60 €	96.004,002,73 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	268.825,554,73 €	967.080,000,00 €	698.254,445,27 €	144,635,038,72 €	1.948,113,913,35 €
26		1.753,69 €	177.165,60 €	85.219,68 €	91.945,922,37 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	264.767,474,37 €	967.080,000,00 €	702.312,525,61 €	136,598,827,21 €	2.084,710,740,55 €
27		1.664,21 €	177.165,60 €	89.480,67 €	87.684,937,99 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	260.506,489,99 €	967.080,000,00 €	706.573,510,91 €	129,038,094,57 €	2.213,748,835,12 €
28		1.570,26 €	177.165,60 €	93.954,70 €	83.210,904,13 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	256.032,456,39 €	967.080,000,00 €	711.047,543,99 €	121,929,732,99 €	2.335,678,568,11 €
29		1.471,61 €	177.165,60 €	98.652,44 €	78.513,169,11 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	251.334,721,11 €	967.080,000,00 €	715.745,278,89 €	115,244,409,40 €	2.450,922,977,51 €
30		1.368,02 €	177.165,60 €	103.585,0 €	73.580,547,07 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	246.402,099,07 €	967.080,000,00 €	720.677,900,93 €	108,956,456,77 €	2.559,879,434,28 €
31		1.259,26 €	177.165,60 €	108.764,3 €	68.401,293,93 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	241.222,845,93 €	967.080,000,00 €	725.857,154,07 €	103,041,772,47 €	2.662,921,206,75 €
32		1.145,05 €	177.165,60 €	114.202,5 €	62.963,078,13 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	235.784,630,13 €	967.080,000,00 €	731.295,369,87 €	97,477,722,79 €	2.760,398,929,55 €
33		1.025,14 €	177.165,60 €	119.912,6 €	57.252,951,54 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	230.074,503,34 €	967.080,000,00 €	737.005,496,46 €	92,243,053,36 €	2.852,641,982,90 €
34		899,238,080,99 €	177.165,60 €	125.908,2 €	51.257,318,62 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	224.078,870,62 €	967.080,000,00 €	743.001,129,38 €	87,317,804,94 €	2.939,959,787,85 €
35		767,034,375,09 €	177.165,60 €	132.203,7 €	44.961,904,05 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	217.783,456,05 €	967.080,000,00 €	749.296,543,95 €	82,683,234,47 €	3.022,643,022,31 €
36		628,220,483,90 €	177.165,60 €	138.813,8 €	38.351,718,75 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	211.173,270,75 €	967.080,000,00 €	755.906,729,25 €	78,321,740,80 €	3.100,964,763,11 €
37		482,465,898,15 €	177.165,60 €	145.754,5 €	31.411,024,20 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	204.232,576,20 €	967.080,000,00 €	762.847,423,80 €	74,216,795,09 €	3.175,181,582,20 €
38		329,423,583,12 €	177.165,60 €	153.042,3 €	24.123,294,91 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	196.944,846,91 €	967.080,000,00 €	770.135,153,09 €	70,352,875,35 €	3.245,534,433,56 €
39		168,729,152,33 €	177.165,60 €	160.694,4 €	16.471,179,16 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	189.292,731,16 €	967.080,000,00 €	777.787,268,84 €	66,715,405,02 €	3.312,249,838,58 €
40		0,00 €	177.165,60 €	168.729,1 €	8.436,457,6 €	34.814,880,00 €	91.200,000,00 €	46.806,672,00 €	181.258,009,62 €	967.080,000,00 €	785.821,990,32 €	63,290,695,32 €	3.375,540,533,90 €
Σ	6.080.000,00 €	0,00 €	7.086,624,397,79 €	4.046,624,397,79 €	1.392,595,200,00 €	1.392,595,200,00 €	3.648,000,000,00 €	1.872,266,880,00 €	17.039,486,477,79 €	38.683,200,000,00 €	21.643,713,522,21 €	3.375,540,533,90 €	

## Anexo 5 - Cenário 4: Aumento de 50 % nos pressupostos económicos

Ano	Investimento	Capital em dívida	Anuidade	Reembolso	Juro	Combustível	OM Fixo	OM Variável	Custos	Vendas	Cash flow	∑ CF atualizado
0	3.040.000,00 €	1.520.000,00 €							3.040.000,00 €		3.040.000,00 €	3.040.000,00 €
1		1.513.311,523,02 €	120.688.476,98 €	6.688.476,98 €	114.000.000,00 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	241.221.552,00 €	644.720.000,00 €	403.498.448,00 €	2.672.347,655,58 €
2		1.506.121,410,27 €	120.688.476,98 €	7.190.112,75 €	113.498.364,23 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	240.719.916,23 €	644.720.000,00 €	404.000.083,77 €	2.336.940,443,06 €
3		1.498.392,039,05 €	120.688.476,98 €	7.729.371,21 €	112.959.105,77 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	240.180.657,77 €	644.720.000,00 €	404.539.342,23 €	2.030.922,298,77 €
4		1.490.082,965,00 €	120.688.476,98 €	8.309.074,05 €	112.379.402,93 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	239.600.954,93 €	644.720.000,00 €	405.119.045,07 €	1.751.690,711,76 €
5		1.481.150,710,40 €	120.688.476,98 €	8.932.254,61 €	111.756.222,38 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	238.977.774,38 €	644.720.000,00 €	405.742.225,62 €	1.496.874,202,18 €
6		1.471.548,536,70 €	120.688.476,98 €	9.602.173,70 €	111.086.303,28 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	238.307.855,28 €	644.720.000,00 €	406.412.144,72 €	1.264.311,800,42 €
7		1.461.226,199,97 €	120.688.476,98 €	10.322.336,73 €	110.366.140,25 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	237.587.692,25 €	644.720.000,00 €	407.132.307,75 €	1.052.034,349,18 €
8		1.450.129,687,99 €	120.688.476,98 €	11.096.511,98 €	109.591.965,00 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	236.813.517,00 €	644.720.000,00 €	407.906.483,00 €	858.247.466,55 €
9		1.438.200,937,60 €	120.688.476,98 €	11.928.750,38 €	108.759.726,60 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	235.981.278,60 €	644.720.000,00 €	408.738.721,60 €	681.316.022,60 €
10		1.425.377,530,94 €	120.688.476,98 €	12.823.406,66 €	107.865.070,32 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	235.086.622,32 €	644.720.000,00 €	409.633.377,68 €	519.749.994,93 €
11		1.411.592,368,79 €	120.688.476,98 €	13.785.162,16 €	106.903.314,82 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	234.124.866,82 €	644.720.000,00 €	410.559.133,18 €	372.191.580,72 €
12		1.396.773,319,46 €	120.688.476,98 €	14.819.049,32 €	105.869.427,66 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	233.090.979,66 €	644.720.000,00 €	411.629.020,34 €	237.403.453,71 €
13		1.380.842,841,44 €	120.688.476,98 €	15.930.478,02 €	104.757.998,11 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	231.979.550,96 €	644.720.000,00 €	412.740.449,04 €	114.258.064,28 €
14		1.363.717,577,57 €	120.688.476,98 €	17.125.263,87 €	103.563.213,11 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	230.784.765,11 €	644.720.000,00 €	413.935.234,89 €	-1.727.890,11 €
15		1.345.307,918,91 €	120.688.476,98 €	18.409.658,66 €	102.278.818,32 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	229.500.370,32 €	644.720.000,00 €	415.219.629,68 €	101.123.447,24 €
16		1.325.517,535,85 €	120.688.476,98 €	19.790.383,06 €	100.898.093,92 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	228.119.645,92 €	644.720.000,00 €	416.600.354,08 €	195.149.276,44 €
17		1.304.242,874,05 €	120.688.476,98 €	21.274.661,79 €	99.413.815,19 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	226.635.367,19 €	644.720.000,00 €	418.084.632,81 €	281.127.251,67 €
18		1.281.372,612,63 €	120.688.476,98 €	22.870.261,43 €	97.818.215,5 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	225.039.767,55 €	644.720.000,00 €	419.680.232,45 €	359.766.072,60 €
19		1.256.787,081,59 €	120.688.476,98 €	24.585.531,03 €	96.102.945,95 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	223.324.497,95 €	644.720.000,00 €	421.395.502,05 €	431.711.607,58 €
20		1.230.357,635,73 €	120.688.476,98 €	26.429.445,86 €	94.259.031,12 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	221.480.583,12 €	644.720.000,00 €	423.239.416,88 €	497.552.476,76 €
21		1.201.945,981,43 €	120.688.476,98 €	28.411.654,30 €	92.276.822,68 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	219.498.374,68 €	644.720.000,00 €	425.221.625,32 €	557.825.115,75 €
22		1.171.403,453,06 €	120.688.476,98 €	30.542.528,37 €	90.145.948,61 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	217.367.500,61 €	644.720.000,00 €	427.352.499,39 €	613.018.447,64 €
23		1.138.570,235,06 €	120.688.476,98 €	32.833.218,00 €	87.855.258,98 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	215.076.810,98 €	644.720.000,00 €	429.643.189,02 €	663.578.063,60 €
24		1.103.274,525,71 €	120.688.476,98 €	35.295.709,35 €	85.392.767,63 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	212.614.319,63 €	644.720.000,00 €	432.105.680,37 €	709.910.088,55 €
25		1.065.331,638,15 €	120.688.476,98 €	37.942.887,55 €	82.745.589,43 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	209.967.141,43 €	644.720.000,00 €	434.752.858,57 €	752.384.681,29 €
26		1.024.543,034,03 €	120.688.476,98 €	40.788.604,12 €	79.899.872,86 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	207.121.424,86 €	644.720.000,00 €	437.598.575,14 €	791.339.227,31 €
27		980.695,284,61 €	120.688.476,98 €	43.847.749,43 €	76.840.727,55 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	204.062.279,55 €	644.720.000,00 €	440.657.720,45 €	827.081.248,08 €
28		933.558,953,97 €	120.688.476,98 €	47.136.330,64 €	73.552.146,35 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	200.773.698,35 €	644.720.000,00 €	443.946.301,65 €	859.891.051,84 €
29		882.887,398,54 €	120.688.476,98 €	50.671.555,43 €	70.016.921,55 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	197.238.473,55 €	644.720.000,00 €	447.481.526,45 €	890.024.149,03 €
30		828.415,476,45 €	120.688.476,98 €	54.471.922,09 €	66.216.554,89 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	193.438.106,89 €	644.720.000,00 €	451.281.893,11 €	917.713.453,14 €
31		769.858,160,20 €	120.688.476,98 €	58.557.316,25 €	62.131.160,73 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	189.352.712,73 €	644.720.000,00 €	455.367.287,27 €	943.171.286,08 €
32		706.909,045,24 €	120.688.476,98 €	62.949.114,97 €	57.739.362,02 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	184.960.914,02 €	644.720.000,00 €	459.759.085,98 €	966.591.205,44 €
33		639.238,746,65 €	120.688.476,98 €	67.670.298,59 €	53.018.178,39 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	180.239.730,39 €	644.720.000,00 €	464.480.269,61 €	988.149.669,51 €
34		566.493,175,67 €	120.688.476,98 €	72.745.570,98 €	47.942.906,00 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	175.164.458,00 €	644.720.000,00 €	469.555.542,00 €	1.008.007,554,35 €
35		488.291,686,86 €	120.688.476,98 €	78.201.488,81 €	42.486.988,17 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	169.708.540,17 €	644.720.000,00 €	475.011.459,83 €	1.026.311,536,15 €
36		404.225,086,39 €	120.688.476,98 €	84.066.600,47 €	36.621.876,51 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	163.843.428,51 €	644.720.000,00 €	480.876.571,49 €	1.043.195,350,87 €
37		313.853,490,89 €	120.688.476,98 €	90.371.595,50 €	30.316.881,48 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	157.538.433,48 €	644.720.000,00 €	487.181.566,52 €	1.058.780,941,96 €
38		216.704,025,73 €	120.688.476,98 €	97.149.465,16 €	23.539.011,82 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	150.760.563,82 €	644.720.000,00 €	493.959.436,18 €	1.073.179,506,17 €
39		112.268,350,68 €	120.688.476,98 €	104.435,675,05 €	16.252.801,93 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	143.474.353,93 €	644.720.000,00 €	501.245.646,07 €	1.086.492,446,50 €
40		0,00 €	120.688.476,98 €	112.268,350,68 €	8.420.126,30 €	34.814.880,00 €	45.600.000,00 €	46.806.672,00 €	135.641.678,30 €	644.720.000,00 €	509.078.321,70 €	1.098.812,240,54 €
∑	3.040.000,00 €		4.827.539,079,22 €		3.307.539,079,22 €	1.392.595,200,00 €	1.824.000,000,00 €	1.872.266,880,00 €	11.436.401,159,22 €	25.788.800,000,00 €	14.352.398,840,78 €	