

**FRANCISCO FARIA FERREIRA**

**ENERGIAS RENOVÁVEIS E NOVAS TECNOLOGIAS  
SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA NOS MUSEUS**

Volume I

Orientador: Professor Doutor Mário Moutinho

**Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias**

**Faculdade de Ciências Sociais e Humanas**

**Lisboa**

**2013**

**FRANCISCO FARIA FERREIRA**

**ENERGIAS RENOVÁVEIS E NOVAS TECNOLOGIAS  
SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA NOS MUSEUS**

Volume I

Tese apresentada para a obtenção do Grau de Doutor em Museologia, no Curso de Doutoramento em Museologia, conferido pela Universidade Lusófona da Humanidades e Tecnologias

Orientador: Professor Doutor Mário Moutinho  
Co-Orientador: Professor Doutor Engenheiro Manuel Fonseca

**Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias**

**Faculdade de Ciências Sociais e Humanas**

**Lisboa**

**2013**

(...) o compromisso do museu é antes de mais nada com o ser humano. E a sobrevivência humana, no entanto, depende integralmente da natureza. Assim, o museu está inevitavelmente comprometido com a conservação da natureza e com a manutenção do equilíbrio ecológico.

O VERÃO, O MUSEU E O ROCK  
Mário de Souza Chagas  
Cadernos ; Sociomuseologia  
Nº2- ULHT, Lisboa, 1994

## DEDICATÓRIA

É com um sentimento de satisfação e regozijo que completado este trabalho dedico algum tempo a refletir para quem devo dirigir menção particular por tudo quanto contribuiu para se ter chegado com êxito a este final.

Certamente que em primeiro lugar estão os familiares, depois os professores que me orientaram (ou me desorientaram por vezes, positivamente) e em seguida todos os docentes das aulas teóricas e os autores da bibliografia consultada e citada.

Ao pensar nos familiares não posso deixar de mencionar os presentes e alguns dos já ausentes. Os presentes são naturalmente a minha mulher Maria do Céu, o meu filho André e até já o meu neto Francisco. Foram eles, que ao longo da nossa vida em comum, suportaram o marido, o pai ou o avô sempre com os livros Atrás e sem tempo livre para lhes dar a devida atenção ou fazer atividades de lazer em conjunto.

Em relação aos ausentes, refiro-me como é lógico aos meus pais e avós, que desde a primária, como era designada a nossa fase escolar inicial, sempre me ajudaram e incentivaram a nunca desistir, transmitindo-me orgulho e confiança em todas as circunstâncias.

A alguns amigos deixo também o meu agradecimento, sobretudo aqueles que foram companheiros de estudo ao longo dos anos, numa caminhada por sucessivas etapas em que finalmente mais uma chega ao seu termo.

## AGRADECIMENTOS

Para a elaboração desta tese muitas foram as contribuições positivas e participativas de colegas, amigos, superiores e subordinados. A todos quero expressar o meu mais sincero agradecimento.

Ao longo do percurso sempre surgem momentos de algum desânimo e vontade de desistir, mas a responsabilidade em não defraudar as expectativas criadas na confiança de quem nos envolve constituem a força necessária para continuar e vencer.

A decisão de ter optado pelo doutoramento em Museologia tem uma relação muito direta com a visão pragmática, inteligente e de abrangência cultural do Professor Doutor Mário Moutinho que pela primeira vez em Portugal entendeu que uma formação de base de engenharia civil podia e devia integrar-se nas preocupações dos museus e da museologia; para ele, na sua qualidade de Reitor da Universidade Lusófona, Presidente do MINOM, meu Professor e principal orientador vão os meus parabéns e maiores agradecimentos.

Também à Diretora deste doutoramento em museologia da Universidade Lusófona e minha Professora, Doutora Judite Santos Primo quero manifestar os meus agradecimentos pela ajuda que deu no desenrolar das atividades e pesquisa museológica sobretudo pela sua capacidade persuasiva em incutir o gosto pela museologia, particularmente da Nova Museologia.

A todos os restantes Professores, das aulas teóricas: Mário Chagas, Cristina Bruno, Célia Santos e Marcelo Cunha.

Ao meu grande amigo e coorientador, Professor Doutor Manuel dos Santos Fonseca, Diretor da licenciatura e mestrado de Engenharia Civil na U.L.H.T. pela sua sempre disponível disposição para ajudar, orientar, aconselhar e rever partes da tese onde a sua grande experiência académica e pragmatismo científico me auxiliaram. Além disso, também muito me apadrinhou com a sua força e insistência para não esmorecer, incitando-me ao trabalho e à conclusão desta tese.

Ao Professor Engenheiro Teixeira Trigo, Diretor da Faculdade das Engenharias da Universidade Lusófona que se dispôs a ler toda a tese e com a sua sabedoria e experiência me fez as suas anotações, aconselhando correções sempre muito objetivas.

Ao Professor Doutor Anildo Lopes Costa, Diretor da licenciatura em Energias da Universidade Lusófona, pelo seu contributo na busca e descrição dos casos de climatização geotérmica.

Ao júri da tese prévia, que se dispôs a analisar todo o trabalho e me parabenizar pelo que consideraram bem feito e me criticar naquilo que lhes pareceu menos conseguido,

sugerindo ajustamentos em certas matérias às quais procuro responder com toda a minha capacidade nesta tese final.

À Doutora Gisélia Felício, diretora da biblioteca da ULHT, pela sua colaboração na pesquisa e norma bibliográfica.

À Mestre Lina Lopes, amiga de longa data, pelo seu incondicional apoio na busca dos professores mais familiarizados com este tema das energias renováveis que me pudessem ajudar.

Ao Eng<sup>o</sup> Jorge Alves, pela sua colaboração nos cálculos da climatização geotérmica do caso de estudo.

Ao Professor Manuel Serafim pela sua disponível e valiosa ajuda na revisão final, sobretudo no enfoque conceptual com a sustentabilidade energética dos museus.

E também à preciosa colaboração da Rute Cunha, Luis Videira, Filipe Marto e Joana Ribeiro.

## Resumo

O presente estudo faz parte do programa de curso do terceiro ciclo de Museologia da Universidade Lusófona. O tema seleccionado para desenvolver foi “Energias renováveis e novas tecnologias. Sustentabilidade energética nos Museus”.

Fruto da consciência que a todos nós presentemente não nos deve ser alheia, da importância das energias, sua sustentabilidade, salvaguarda das condições ambientais e da biodiversidade, surgiu com clareza a escolha do tema “Energias renováveis” acrescentando desde logo uma ferramenta essencial, “novas tecnologias”, para se alcançarem os objectivos propostos.

Dada a abrangência do tema e a sua inserção na problemática da Museologia fez-se uma abordagem generalizada sobre a origem histórica dos museus, o seu estado de arte e a sua relação com as energias. E ainda antes de entrarmos no estudo principal da tese “Energias renováveis e novas tecnologias” para os museus, achou-se por bem investigar as condições que devem existir no interior dos mesmos, a influência que lhe advém do exterior e a relação funcional dos seus serviços. Posteriormente abordaram-se de forma muito sintética as condições de alguns museus visitados na óptica das energias e tecnologias.

As matérias principais do tema “Energias renováveis e novas tecnologias” foram desenvolvidas de uma forma transversal, com particular enfoque na energia geotérmica e nas tecnologias “Domótica”.

No que diz respeito às energias renováveis procurou-se demonstrar a sua proveniência, a sua eficácia, o aproveitamento das vantagens na sua aplicação, as desvantagens a evitar e ainda se procuraram mostrar alguns exemplos de cálculo e aplicações respectivas. Particularmente sobre a energia geotérmica é apresentado um caso de estudo de aplicação num Museu tipo, sendo este mesmo Museu também usado para outro caso de estudo das tecnologias “Domótica”.

Neste trabalho foram equacionadas as energias renováveis mais significativas, que já estão cientificamente comprovadas e economicamente sustentadas. Para demonstrar esse facto são apresentados casos reais de sucesso, atualmente em uso.

O mesmo acontece em relação ao estudo da Domótica, que além de se descrever a sua forma de funcionamento, também apresentamos as suas atuais capacidades, que se forem devidamente utilizadas dão origem aos chamados “Edifícios Inteligentes”, como são os exemplos de referência que se mostram.

**Palavras-Chave:** Museus, Sociomuseologia, Energias renováveis, Geotermia, Domótica

## **Abstract**

This study is part of the third cycle course programme in Museology of the Universidade Lusófona. The theme chosen was “Renewable energy and new technologies”, energy sustainability in Museums.

As a result of the consciousness that we all do not be oblivious, the importance of energy, its sustainability, the protection of environmental conditions and biodiversity and environmental conditions, there was clearly the choice of the theme “Renewable energy” adding at once an essential tool, “new technologies”, to reach the objectives proposed.

Given the complexity of the theme and its implementation in the scope of Museology, a general study was carried out on the historic origin of museums, their state of the art and their connection to the energies. Before we concentrate on the main theme of the thesis "Renewable Energy and new technologies applied to museum buildings", we thought it would be important to research the conditions that the inside of these buildings must have, the influence their exterior has and the functional relationship of their services. Furthermore, a brief study was carried out on the conditions of some of the museums visited in what regards energy and technologies.

The main topics of the theme "Renewable energies and new technologies" were studied as a whole, with special focus on geothermal energy and Domotic technologies.

Regarding to renewable energy, we tried to demonstrate its origin, efficiency, the advantages in using it, to avoiding disadvantages and still looked illustrate some examples of calculation and respective applications. As for geothermic energy, a case study was presented applied in a model Museum, and this Museum was also used in another case study related to Domotic technologies.

In this paper were considered the most significant renewable energy, wich has been scientifically proven and economically sustainable. To demonstrate this fact real success cases that are currently in use were used as evidence.

The same goes for the Domotics study which also describes briefly the operation and its current capabilities were also presented which, if used adequately, give rise to the so called "Intelligent Buildings", as is the case of the reference examples given.

**Key words:** Museology, Sociomuseology Renewable energies, Geothermal energy, Domotics.

## Índice de Siglas

AAM- American Association of Museums / Associação Americana de Museus  
AC – Alternating Current/Corrente alternada  
AWS – Archimedes Wave Swing CEC - California Energy Commission  
AECOPS – Associação de Empresas de Construção e Obras Públicas  
AIE – Agência de Energia Internacional  
AMES – Agência Municipal de Energia de Sintra  
AQS – Água Quente Solar  
AVAC – Aparelhos de Ventilação e Ar Condicionado  
ASHRAE-American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers  
APPA – Associação de Produtores de Energias Renováveis  
BIPV – Building Integrated Photovoltaics  
BMS – Building management system (Sistema de Gestão na construção)  
BEI – Banco Europeu de Investimento  
COP - Coefficient Of Performance  
CP – Comboios de Portugal  
CCB – Centro Cultural de Belém  
CCS – Carbon Capture and Storage  
CEE – Comunidade Económica Europeia  
CE – Comunidade Europeia  
COVs – Compostos Orgânicos Voláteis  
CFTV – Circuito Fechado de Televisão  
DC – Direct Current  
DGE – Direção Geral de Energia  
DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia  
ETAR – Estação de Tratamento de Esgotos  
EDP – Energia de Portugal  
EER – Energy Efficient Ratio  
EN – European norm  
ENE – Estratégia Nacional para a Energia  
EPBD – European Energy Performance of Buildings Directive  
EUA - Estados Unidos da América  
EGS – Enhanced Geothermal System  
EGEC – European Geothermal Energy Council  
EIBG – European Intelligent Building Group

EMVS – Empresa Municipal de Vivendas e Solos  
FER – Fonte de energia renovável  
FLAD – Fundação Luso-Americana  
FPF – Federação Portuguesa de Futebol  
FV – Fotovoltáicos  
GAM – Grupo para a Acessibilidades nos Museus  
GEA – Geothermal Energy Association  
GW – Gigawatts  
GWh – Gigawatts hora  
GWp – Gigawatts pico  
HR – Humidade Relativa  
ICOM – International Council of Museums  
ICOMOS – International Council on Monuments and Sites  
ICTOP – International Committee for the Training of Personal  
ICR – International Committee for Regional Museums  
I&D – Investigação e Desenvolvimento  
IEA – International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)  
IMC – Instituto dos Museus e da Conservação  
INETI – Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial  
I-GET – Integrated Geophysical Exploration Technologies  
INEGI – Instituto Nacional de Estatística e Geografia  
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change  
IST – Instituto Superior Técnico  
IBI – Intelligent Buildings Institute  
IGA – International Geothermal Association  
IBI – Intelligent Buildings Institute  
LEED-Liderança em Energia e Design Ambiental  
LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia  
LCD – Liquid Crystal Display  
MINOM - Movimento Internacional para uma Nova Museologia  
ME – Ministério da Educação  
NAER – Novo aeroporto, entidade responsável  
NASA – National Aeronautics and Space Administration  
NYSERDA – New York State Energy Research e Development Authority  
ONU – Organização das Nações Unidas  
OWC - Oscillating Water Column

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico  
PT – Posto de Transformação  
PSS – Plano de Segurança e Saúde  
PER – Primary Energy Ratio  
PV – Photovoltaic's  
PDA – Personal Digital Assistant  
PIR – Tecnologia ultra sónica (Passive infrared detetor)  
PCH- Pequenas centrais hidroelétricas.  
RPM – Rede Portuguesa de Museus  
RAFAA –Escritório Suiço  
RCCTE – Regulamento das Caraterísticas de Comportamento Térmico dos Edifícios  
REHAU- Empresa fab. de polímeros e fornecedora de equipamentos para a Industria.  
RFID – Radio Frequency Identification  
RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios  
SEER – Seasonal Energy Efficient Ratio  
SCGE – PLCs – Programmable Logic Controllers  
UNESCO – United Nations Educational and Cultural Organization  
UV – Ultraviolet Light  
UE – União Europeia  
UP'S – Fonte de alimentação ininterrupta  
UT – Universais termóstatos.  
US – United States  
UPSs – Uninterruptible power source (Fonte de alimentação ininterrupta)  
WWF – World Wildlife Fund  
VAV – Volume de Ar Variável  
kW – Quilowatt  
kWh – Quilowatt hora  
kVA – Quilo Volt Ampere

## Índice Geral

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 1 - MUSEUS, SEU ESTADO DE ARTE NUM OLHAR SOBRE O EDIFÍCIO....</b>	<b>31</b>
<b>1.1 - Perspetiva Histórica e Evolução dos Museus .....</b>	<b>32</b>
1.1.1 - A origem dos museus e a sua relação com as energias .....	32
1.1.2 - Museus desde o século XVIII ao século XXI .....	35
<b>1.2 - Edifícios destinados aos Museus .....</b>	<b>40</b>
1.2.1 - Museus em edifícios de construção nova .....	40
1.2.2 - Museus em edifícios adaptados .....	43
<b>CAPÍTULO 2 - ENERGIAS RENOVÁVEIS NOS EDIFÍCIOS DOS MUSEUS.....</b>	<b>77</b>
<b>2.1 - Alterações climáticas devido ao consumo de combustíveis fósseis .....</b>	<b>80</b>
<b>2.2 - Energias alternativas, renováveis e sustentáveis .....</b>	<b>82</b>
2.2.1 - Energia solar térmica e fotovoltaica.....	87
2.2.1.1 - Produção e custos da energia fotovoltaica .....	90
2.2.1.2 - Projetos de aplicação diversos .....	93
<b>2.3 - Energia Eólica .....</b>	<b>102</b>
2.3.1 - Tipo de turbinas e formas de cálculo .....	103
2.3.2.- Estado de desenvolvimento da energia eólica em diversos países .....	107
<b>2.4. - Energia Hidroelétrica.....</b>	<b>110</b>
2.4.1. - Aplicações ao longo da história .....	110
2.4.2 - As cinco maiores barragens hidroelétricas do mundo.....	114
2.4.3 - Abastecimento desta energia aos Museus.....	115
<b>2.5 - Energia das Marés e das Ondas.....</b>	<b>116</b>
2.5.1 - Exemplos de aplicação .....	120
<b>2.6 - Energia de Biomassa.....</b>	<b>122</b>
2.6.1 - Origens da biomassa e forma de produção de bioenergia .....	122
<b>CAPÍTULO 3 - ENERGIA GEOTÉRMICA .....</b>	<b>127</b>
<b>3.1 - Definição e utilização da Energia Geotérmica .....</b>	<b>131</b>
3.1.1 - Energia Geotérmica de alta e baixa entalpia.....	131
3.1.2 - Uso histórico desta energia (Temperatura do interior da Terra) .....	132
3.1.3 - Características fundamentais da Energia Geotérmica.....	136
3.1.4 - Fontes e formas de aproveitamento .....	137
<b>3.2 - Geotermia de baixa profundidade, ou de superfície .....</b>	<b>140</b>
3.2.1 - Descrição de energia geotérmica de baixa profundidade ou de superfície .....	141
3.2.2 - Bombas de calor geotérmicas e seu funcionamento.....	143
3.2.3 - Formas de captação desta Energia Geotérmica .....	149
3.2.3.1 - Captação Horizontal.....	150
3.2.3.2 - Captação Vertical.....	150
3.2.3.3 - Captação em meio Freático ou Aquífero .....	152

3.2.4 - Sistemas de Emissão .....	153
3.2.4.1 - Piso Radiante, principio de funcionamento.....	153
3.2.4.2 - Ventilador-convetores .....	155
<b>3.3- Climatização Geotérmica nos Museus - .....</b>	<b>168</b>
3.3.1 - Implantação dos sistemas de sondas.....	173
3.3.2 - Cálculo da climatização. Museu imaginado para a cidade de Lisboa.....	177
3.3.3 - Implantação dos circuitos das redes e bombas de calor.....	183
<b>3.4 - Produção de energia elétrica a partir da energia geotérmica .....</b>	<b>195</b>
3.4.1 - Produção de energia elétrica ou eletricidade .....	195
3.4.2 - Situação mundial com a exploração dos recursos geotérmicos .....	199
3.4.3 - Vantagens e desvantagens na exploração desta Energia .....	206
<b>CAPÍTULO 4 - EDIFÍCIOS INTELIGENTES .....</b>	<b>211</b>
<b>4.1 - Definição de edifícios inteligentes .....</b>	<b>212</b>
4.1.1 - Edifícios inteligentes destinados aos museus .....	215
<b>4.2 - Tipo de equipamentos e dispositivos.....</b>	<b>219</b>
<b>4.3 - Instalação e gestão da domótica nos edifícios dos museus .....</b>	<b>223</b>
<b>4.4 - Capacidade dos sistemas de domótica.....</b>	<b>224</b>
4.4.1 - Atuação dos sistemas de segurança na sinalização e prevenção .....	225
4.4.2 - Atuação dos sistemas de gestão e controlo energético .....	227
<b>4.5 - Tecnologias de transmissão/ comunicação e deteção.....</b>	<b>238</b>
<b>4.6 - As globais capacidades da domótica e seus benefícios.....</b>	<b>243</b>
<b>4.7 - Aplicação num museu tipo. ....</b>	<b>248</b>
<b>4.8 - Exemplos de referência.....</b>	<b>253</b>
<b>CONCLUSÕES FINAIS.....</b>	<b>259</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>265</b>
<b>APENDICE .....</b>	<b>278</b>
<b>ÍNDICE REMÍSSIVO.....</b>	<b>283</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS (ANEXOS EM FORMATO DIGITAL) .....</b>	<b>287</b>

## Índice de Quadros, Tabelas, Gráficos, Figuras e Ábacos

### Índice de Quadros

Quadro 1 - Agentes de degradação, deterioração e respetivas causas.....	57
Quadro 2 - Humidade e Temperatura; Precauções para a Conservação .....	58
Quadro 3 - Energia elétrica a partir de energias renováveis em Portugal. (GWh) .....	84
Quadro 4 - Países com uma capacidade eólica instalada superior a 100MW. ....	108
Quadro 5 - Barragens hidroelétricas em Portugal, com potencia instalada superior a 97 MW .....	115
Quadro 6 - Custos da energia elétrica produzida pelas várias fontes renováveis.....	124
Quadro 7 - Cálculo dos compartimentos para arrefecimento .....	181
Quadro 8 - Cálculo dos compartimentos para aquecimento.....	181
Quadro 9 - Resumo dos resultados para conjuntos de compartimentos.....	181
Quadro 10 - Carga térmica para o sistema do piso radiante. ....	182
Quadro 11 - Temperatura do piso aquecido. ....	183
Quadro 12 - Temperatura do piso arrefecido.....	183
Quadro 13 - Comparação de um sistema AVAC tradicional com o sistema geotérmico .....	193
Quadro 14 - Produção de eletricidade nos Açores através da Geotermia. ....	196
Quadro 15 - Países produtores através da Energia Geotérmica realizado até 2010 .....	201

### Índice de Tabelas

Tabela 1 - Energias renováveis no programa Europeu, em complexos desportivos. ....	94
Tabela 2 - Modelos de bombas de calor da marca ISARA.....	182
Tabela 3 - Estimativa de consumos e análise comparativa para as hipóteses assumidas.....	194
Tabela 4 - Custos de exploração com várias fontes de energia.....	194

### Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Produção de energia eólica até 2012.....	107
Gráfico 2 - Capacidade instalada até 2007 dos principais projetos hidroelétricos .....	113
Gráfico 3 - Capacidade hídrica prevista a até 2020.....	113
Gráfico 4 - Cenário na evolução da produção mundial de energia elétrica até 2040.....	124
Gráfico 5 - Temperaturas do solo a baixa profundidade.....	141
Gráfico 6 - Projetos em fase de desenvolvimento avançado entre 2006-2011 .....	205
Gráfico 7 - Total de projetos confirmados entre 2006-2010 .....	205

## Índice de Figuras

Fig. 1 - Interior da antiga biblioteca de Alexandria.....	33
Fig. 2 - Gabinete de curiosidades, Nápoles, 1672.....	35
Fig. 3 - Galeria de pintura do Dulwich College.....	35
Fig. 4 - Galleria Uffizi-Florença.....	40
Fig. 5 - Museu Picasso em Paris.....	44
Fig. 6 - Imagem interior do Museu d'Orsay.....	45
Fig. 7 - Diagrama de Mollier.....	55
Fig. 8 - Interior do Museu da Língua Portuguesa.....	60
Fig. 9 - Leopold Museum.....	60
Fig. 10 - Museu Horta - Pormenor interior.....	61
Fig. 11 - Centro Belga de banda desenhada.....	61
Fig. 12 - Museu Rainha Sofia – Ampliação.....	62
Fig. 13 - Museu Nacional do Prado. Nave central.....	63
Fig. 14 - Museu do Louvre.....	64
Fig. 15 - Museu do Cairo - Vista exterior.....	64
Fig. 16 - Cité des Sciences - Vista noturna.....	65
Fig. 17 - Museu Britânico em Londres.....	66
Fig. 18 - Interior da nave central.....	66
Fig. 19 - Rijksmuseum - Imagem exterior.....	67
Fig. 20 - Tropenmuseum - Vista da entrada.....	67
Fig. 21 - Museu do Vaticano.....	68
Fig. 22 - Museu de Macau, antigo forte remodelado.....	69
Fig. 23 - Museu Hermitage - São Petesburgo.....	69
Fig. 24 - Antiga casa do Museu dos Coches.....	70
Fig. 25 - Maqueta do novo Museu dos coches.....	71
Fig. 26 - Museu de Serralves.....	72
Fig. 27 - Biblioteca/museu em Alexandria.....	73
Fig. 28 - Museu do conhecimento. Lisboa.....	73
Fig. 29 - Museu do Quartzo, em Viseu.....	74
Fig. 30 - Museu Guggenheim de Nova Iorque.....	74
Fig. 31 - Painéis fotovoltaicos - Alentejo. 2011/8/10.....	93
Fig. 32 - Natura Towers, do grupo MSF.....	95
Fig. 33 - Laboratório e central solar fotovoltaica de Moura.....	96
Fig. 34 - Torre de energia solar, vista posterior –.....	96
Fig. 35 - Torre de energia solar, a construir no Rio de Janeiro.....	96
Fig. 36 - Museu da água e da vida com painéis fotovoltaicos.....	98
Fig. 37 - Museu da água e da vida, pormenor do sistema integrado na construção.....	98
Fig. 38 - Maior edifício do mundo na China, com 95% de energia solar.....	99
Fig. 39 - Museu ecológico em São Francisco, E.U.A, inaugurado a 2008-09-28.....	100

Fig. 40 - O Hélios, da Nasa. ....	101
Fig. 41 - Catavento de Bruch .....	102
Fig. 42 - Cálculo automático do gerador para diversas condições. ....	105
Fig. 43 - Bahrain World Trade Center. ....	109
Fig. 44 - Açude no rio Liz. ....	111
Fig. 45 - Barragem de Itaipu entre o Brasil e Paraguai.....	114
Fig.46 - Vista panorâmica da maior barragem do mundo.....	114
Fig. 47 - Barragem do Alqueva. ....	114
Fig. 48 - Micro central hidroelétrica. ....	116
Fig. 49 - Corte longitudinal da central de energia elétrica das marés. ....	117
Fig. 50 - Vista em perspectiva da central de aproveitamento da energia das marés.....	117
Fig. 51 - Central piloto europeia de energia das ondas do Pico, Açores.....	120
Fig. 52 - Central piloto no local de teste em Nissum.....	121
Fig. 53 - Turbinas subaquáticas. ....	121
Fig. 54 - O fogo do interior da Terra, na imaginação do jesuíta e filósofo alemão Atanásio Kircher, Sec. XVII. ....	131
Fig. 55 - Termas de Caracalla, Roma. ....	132
Fig. 56 - Banhos termais em Rudas, Budapest. Hungria.....	132
Fig. 57 - Museu europeu da Geotermia e do Termalismo, França.....	134
Fig. 58 - Vulcão a projectar lava a alta temperatura. ....	134
Fig. 59 - O géiser “Old faithful”, do parque de Yellowstone nos EUA. Vapor aquecido. ....	135
Fig. 60 - Primeira experiência geotérmica de água quente na China em 1936.....	137
Fig. 61 - Estufas climatizadas por energia geotérmica, na china. ....	138
Fig. 62 - Piscinas aquecidas, por energia geotérmica, na China.....	138
Fig. 63 - Aproveitamento geotérmico. ....	139
Fig. 64 - Aumento de temperaturas com a profundidade .....	139
Fig. 65 - Camadas geológicas e temperaturas em profundidade na exploração geotérmica. ....	140
Fig. 66 - Roma, Itália – rio subterrâneo sob o Tibre.....	143
Fig. 67 - Esquema de funcionamento do circuito.....	145
Fig. 68 - Movimento de Inverno.....	145
Fig. 69 - Movimento de verão.....	145
Fig. 70 - Aquecimento ou arrefecimento .....	148
Fig. 71 - Circuito de sondas de aproveitamento horizontal.....	150
Fig. 72 - Exemplo de colocação das sondas horizontais em obra.....	150
Fig. 73 - Captação Vertical.....	151
Fig. 74 - Captação vertical - sondas sob estrutura do edifício .....	151
Fig. 75 - Máquina perfuradora para introdução das sondas térmicas no solo.....	152
Fig. 76 - Aparelho para medição da inércia do solo.....	152
Fig. 77 - Sondas nas estacas da fundação do edifício após a betonagem. ....	152
Fig. 78 - Sondas nas estacas da fundação do edifício, antes da betonagem. ....	152

Fig. 79 - Sondas verticais, para captação em aquífero. ....	153
Fig. 80 - Circuito de tubagem de piso radiante Fonte: Geotermia de Portugal .....	155
Fig. 81 - Circuito de tubagem de piso radiante com termoplaca. ....	155
Fig. 82 - Difusor de tecto .....	156
Fig. 83 - Ventiloinvector junto ao pavimento .....	156
Fig. 84 - Ventiloinvector junto ao pavimento .....	156
Fig. 85 - Irradiador junto ao pavimento .....	156
Fig. 86 - Museu da Criança em Brooklyn, New York. ....	158
Fig. 87 - Kolumba Art Museum. Sala de exposições. ....	159
Fig. 88 - Kolumba Art Museum. Distribuição da temperatura em salas de exposições. ....	160
Fig. 89 - Kolumba Art Museum. Distribuição e velocidade do ar nas salas de exposição. ....	160
Fig. 90 - Climatização por sondas verticais. Emil-Schumacher-Museum, Hagen. ....	161
Fig. 91 - Comparação dos custos anuais de energia (€/m <sup>2</sup> ) para Osthaus-Museum (OMH) e Emil-Schumacher-Museum (ESMH) .....	161
Fig. 92 - Museu da Ciência em Minnesota.....	162
Fig. 93 - Cidade Chinesa toda climatizada por energia Geotermica .....	163
Fig. 94 - Edifício da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias .....	164
Fig. 95 - Bombas de calor e compressor instalada na ULHT. ....	165
Fig. 96 - Sistema de bombas de calor. Estação do metro de Madrid.Fonte: D. G. E. y M. C. Madrid“Proyectos Emblemáticos en el Ámbito de la Energía Geotérmica”, .....	166
Fig. 97 - Climatização de um palacete, para escritórios da função pública. Fonte: Fernàndez Molina .....	167
Fig. 98 - Parque de estacionamento climatizado com energia geotérmica. ....	167
Fig. 99 e Fig. 100 - Edifício dotado com solução mista de climatização solar e geotérmica.....	168
Fig. 101 - Corte construtivo de uma parede dupla.....	172
Fig. 102 - Planta da cave do museu tipo.....	174
Fig. 103 - Planta do R/C, com todos os serviços admitidos para este museu .....	174
Fig. 104 - Planta a 1,40 m da superfície do solo ( profundidade das sondas horizontais).....	175
Fig. 105 - Planta do r/c. e espaço exterior onde localizamos as sondas horizontais .....	176
Fig. 106 - Planta da cave e localização das sondas no meio aquífero.....	177
Fig. 107 - Implantação das condutas da rede de ventiloinvectores.....	184
Fig. 108 - Rede de tubagem no pavimento para o sistema do piso radiante .....	185
Fig. 109 - Pormenor da espiral no pavimento, de ligação e constituição do piso radiante. ....	186
Fig. 110 - Sondas verticais no pátio interior e bombas de calor na área técnica .....	187
Fig. 111 - Cobertura (terraço), com máquinas de condensação da ventilação .....	188
Fig. 112 - Alternativa caso se pretenda instalar sondas horizontais.....	189
Fig. 113 - Sondas num aquífero, situado fora da área de implantação do edifício .....	190
Fig. 114 - Esquema geral da instalação dos sistemas de climatização geotérmicos.....	191
Fig. 115 - Circuito dos Ventiloinvectores e rede radiante .....	192
Fig. 116 - Esquema dos depósitos de inércia do circuito de aquecimento.....	192

Fig. 117 - Esquema; Bombas de calor Geotérmicas, e sondas de captação da energia .....	193
Fig. 118 - Captação da temperatura no magma e elevada à central geotérmica.....	196
Fig. 119 - Central geotérmica da Ribeira Grande, Açores.....	196
Fig. 120 - Esquema de funcionamento da central geotérmica da Ribeira Grande .....	197
Fig. 121 - Piero Ginori e o seu invento de gerar electricidade com vapor geotérmico. ....	205
Fig. 122 - Central Nesjavellir, Pingvellir, Islândia.....	206
Fig. 123 - Primeira central geotérmica, em Larderello .....	206
Fig. 124 - Edifício inteligente apresentado na feira Concreta no Porto, em 2002. ....	214
Fig. 125 - Edifício "Inteligente" construído em Pamplona .....	214
Fig. 126 - Centro de ciência da computação Thomas M. Siebel .....	215
Fig.127-Configuração em árvore.....	219
Fig. 128 - Configuração linear .....	219
Fig.129-Configuração em estrela .....	219
Fig. 130 - Equipamentos e sistemas de domótica. ....	223
Fig. 131 - Abrangência da domótica .....	224
Fig. 132 - Várias formas de utilização biométrica. ....	230
Fig. 133 - Equipamentos de vigilância. Detecção, Gravação e Monitorização remota. ....	230
Fig. 134 - Interação entre os vários serviços .....	232
Fig. 135 - Controlo remoto .....	235
Fig. 136 - Imagem termo-gráfica mostrando deficiente isolamento da fachada.....	235
Fig. 137 - Quadro de Cézanne "Auvers-sur-Oise" protegido pelo sistema RFID. ....	242
Fig. 138 - Comando e TAG ativo da ISIS, montado na parte traseira da moldura. ....	242
Fig. 139 - Museu de Arte Moderna do Médio Oriente, em Dubai. ....	244
Fig. 140 - Implantação integral do sistema domótica - simbologia geral.....	248
Fig. 141 - Implantação por simbologia do sistema domótica - grupo Segurança.....	250
Fig. 142 - Implantação por simbologia do sistema domótica - grupo Gestão energética.....	251
Fig. 143 - Implantação por simbologia do sistema domótica - grupo Conforto. ....	252
Fig. 144 - Implantação por simbologia do sistema domótica - grupo Comunicações. ....	253
Fig. 145 - Vista da fachada do Museu de Évora. ....	256
Fig. 146 - Vista do Museu de Foz Côa.....	257

Francisco Faria Ferreira  
Energias renováveis e novas tecnologias  
Sustentabilidade energética nos Museus

## **INTRODUÇÃO**

## Da motivação do tema ao encontro dos “objectos”

Desenvolvendo-se no campo científico da Museologia, esta tese está subordinada ao tema “Energias renováveis e novas tecnologias”, com centralidade na sustentabilidade energética dos museus - museus e centros de cultura - com especial relevância para a energia geotérmica e a domótica.

Nas últimas décadas, os museus em geral têm-se confrontado com múltiplos desafios que, consoante os contextos, têm dois resultados óbvios: ou são ultrapassados com sucesso; ou, encontram dificuldades que se alongam no tempo.

No primeiro caso, situam-se, certamente, as questões do foro da arquitetura dos museus, da gestão, da formação, da programação, da conservação, da documentação e da sua relação com os seus públicos. Sobre estas matérias existe uma profunda reflexão, uma vasta bibliografia e uma prática efetiva na atividade quotidiana de muitos museus. Esta situação é testemunhada pela relevância dos trabalhos desenvolvidos no seio dos diferentes comités internacionais e das organizações afiliadas do Conselho internacional dos Museus (ICOM). Estão também espelhados na atuação das diferentes organizações profissionais do campo da museologia através da organização de conferências de maior ou menor amplitude, do desenvolvimento de projetos de investigação e da produção de vasta bibliografia.

Mas esta situação, dando relevo ao segundo caso, não encontra um aprofundamento idêntico quando se trata das questões de sustentabilidade dos museus e muito menos das questões da sustentabilidade energética dos museus, tanto no nível das fontes renováveis para a produção de energia, como da gestão energética, por meio dos recursos da domótica.

Nestes campos a bibliografia é escassa tanto quanto à introdução destas preocupações ao nível da construção e da gestão ambiental dos museus, quer se trate da construção de novos edifícios ou da renovação e/ou adaptação de edifícios existentes.

De facto, só na última década tem-se assistido à introdução destas problemáticas muitas vezes ainda de forma exploratória e/ou parcial. Tal é o caso do Brooklyn Children’s Museum, que estudamos detalhadamente e que é reconhecido como um “museu verde”, mas, onde as soluções adotadas se encontram no essencial em termos exploratórios ou de demonstração pedagógica. No futuro Museus dos Coches de Lisboa, atualmente em construção, estas problemáticas estão praticamente ausentes, quando seria de esperar que este novo edifício pudesse servir de referência em termos de sustentabilidade ambiental. Não só não existem recursos instalados para produção de energia, como a própria

arquitetura implica custos adicionais resultantes do dimensionamento dos espaços expositivos e técnicos.

Paradoxalmente, estas questões têm vindo, no nosso país, a ser integradas no projeto de novos edifícios destinados a outras funções tais como equipamentos desportivos, hospitais, instituições de ensino ou redes de distribuição de combustíveis. Importa perguntar por que razão os museus se têm alheado das questões relativas à sua própria sustentabilidade energética, a qual, ainda por cima, representa uma parte considerável dos seus custos de funcionamento.

Neste contexto é, no entanto, forçoso constatar que existe, em termos internacionais, um campo de investigação relacionado com as problemáticas da sustentabilidade dos museus e, em particular, da sustentabilidade energética que se desenvolve progressivamente, tendo em vista o próprio desempenho dos museus e de outras instituições destinadas a fins culturais.

Em termos internacionais, a título de exemplo, importa assinalar o trabalho atualmente em curso na Europa e nos EUA.

Na Europa, a "Museums Association" criada em 1889 com sede em Londres, tem atualmente em curso vários programas centrados sobre a sustentabilidade dos museus. Em 2008 publicou um documento essencial visando lançar um debate alargado sobre as questões de sustentabilidade em museus no qual considera que "surpreendentemente, poucos museus estão ainda a pensar explicitamente sobre sustentabilidade (...) e que mesmo os museus mais convencionais não estão envolvidos no trabalho de desenvolvimento sustentável, apesar dos benefícios potenciais que poderiam fluir para as suas instituições e para as comunidades locais"<sup>1</sup>.

Neste mesmo documento coloca-se como questão central a redução da pegada ecológica nos diferentes domínios da atividade dos museus, em particular no que diz respeito ao consumo energético, reconhecendo que "Os museus já estão a enfrentar pressões para melhorar a sua eficiência energética (...) que a redução do uso de energia não só é boa para o meio ambiente, como poupa dinheiro que pode ser usado para outros fins(..) e, finalmente, que alguns museus ainda não sabem qual é o seu consumo energético porque as suas contas de combustível são pagas por outras instituições tais como universidades ou autoridades locais"<sup>2</sup>. Reconhece-se também, e isso talvez seja o mais relevante, que a melhoria da abordagem às questões de sustentabilidade dos museus passa pela melhor compreensão que o pessoal dos museus, nas diferentes funções e níveis de responsabilidade, possam ter sobre estas questões.

<sup>1</sup> Sustainability and museums: Your chance to make a difference Museums, p.5

<sup>2</sup> Sustainability and museums: Your chance to make a difference Museums, p. 9  
<http://www.museumsassociation.org/download?id=16398> acedida a 2/1/2012

Em termos europeus importa também referir a crescente regulamentação e normalização relacionada com o desempenho energético dos edifícios em geral e, ainda, o enquadramento normativo e financeiro relativo ao desenvolvimento da produção de energia a partir de recursos renováveis.

Idêntico processo existe também nos EUA através do "US Green Building Council", o qual tem vindo a fomentar um vasto programa de orientações e de documentação de referência visando a melhoria do desempenho energético dos edifícios.

Pensamos em particular no programa "Leadership in Energy and Environmental Design" (LEED)<sup>3</sup> o qual propõe um conjunto de referências aplicáveis tanto ao projeto como à própria construção dos edifícios.

Também nos EUA deve ser referido o trabalho desenvolvido pela "Mid-Atlantic Association of Museums" (MAAM) que reúne centenas de especialistas envolvidos na construção, renovação e adaptação de edifícios para fins museológicos. Esta instituição promove desde 2002 um importante simpósio internacional com incidência no campo da construção e da sustentabilidade dos museus. Os simpósios "Building Museums" são atualmente uma resposta significativa para o desenvolvimento de manuais destinados às diferentes especialidades profissionais atuando nos museus.

Num trabalho recentemente publicado<sup>4</sup> pelos responsáveis da MAAM, são tratadas de forma aprofundada as questões da sustentabilidade dos museus com particular enfoque a nível da reciclagem, da utilização da domótica, da gestão de fluidos, da eficiência energética e das energias alternativas.

Na presente tese tratamos principalmente três destas questões:

- a produção da energia renovável para consumo nos museus.
- a climatização dos museus com recurso à energia geotérmica.
- e a gestão dos consumos energéticos com recurso à domótica.

Assim, a grande motivação deste trabalho, tem dois objetivos. Por um lado, pretendemos contribuir para uma maior sensibilização dos diferentes intervenientes na atividade dos museus, dos decisores políticos e dos técnicos envolvidos na construção ou reformulação dos edifícios dos museus.

Por outro lado, pretendemos através de uma análise cuidadosa, extensiva, em termos teóricos e técnicos da Geotermia e da Domótica contribuir para um melhor

---

<sup>3</sup> <http://new.usgbc.org/leed> acedida a 3/1/2012

<sup>4</sup> Planning successful museum buildings projects, Walter Crimm, Marta Morris, Carole Wharton, Altamira Press, Plymouth, 2009

conhecimento de recursos que, estando disponíveis no mercado, estão ainda praticamente ausentes nos edifícios dos museus.

Da mesma forma que, de um modo geral, a Museologia e, em particular, a Sociomuseologia fazem apelo à interdisciplinaridade crescente no campo das Ciências Sociais, julgamos que as áreas do conhecimento que estruturam os novos saberes e as novas tecnologias não devem ficar fora deste novo entendimento da própria Museologia.

De resto, a delimitação dos “objectos”, a partir dos quais se desenvolve este trabalho, determina o plano de investigação empírica teoricamente orientada. De resto, a exigência da sua determinação torna-se fundamental no plano epistémico, pela necessidade da lógica e da coerência, princípios estruturantes da epistemologia na condução da investigação científica. Aumenta esta necessidade, o facto da Sociomuseologia ser uma ciência nova, tal como indica, noutras circunstâncias mas nunca contraditórias, Le Moigne:

“... tudo incita os adeptos das *novas ciências* contemporâneas a uma reflexão epistemológica rigorosa. O desafio é decerto mais exigente do que para os adeptos das *ciências estabelecidas*, as quais se auto definem através do seu domínio e dos seus meios de exploração (definição muitas vezes tão restrita que proíbe qualquer inovação...” (Le Moigne, 1999, pp. 54-55).

Assim, para se entender as fontes teóricas e a investigação desenvolvida, começamos por identificar estes objectos. O “objeto real” que, em linguagem comum, é o tema da tese ou seja “energias renováveis e novas tecnologias”. O “objecto de estudo”, por sua vez, foca a nossa atenção para a condução do estudo no encontro de respostas a dar “ao objeto real” e que, no presente caso, se encontra na “sustentabilidade energética nos museus”. Liga-se, de forma mais ampliada, à pertinência da “sustentabilidade das estruturas museais”. O “objeto científico” é determinado pela área científica seguida, dentro dos princípios epistémicos da lógica e da coerência, e corresponde à Sociomuseologia que, como “nova ciência”, se encontra aberta à interdisciplinaridade, sem preocupações redutoras, abarcando o conhecimento sem fragmentação enriquecido pelo avolumar de saberes apostado no serviço de populações, com territórios, com identidades mas sem fronteiras. O “objecto empírico” é determinado pelo campo empírico de investigação, localiza-se nas várias estruturas museais que permitem a análise aprofundada para dar resposta às questões da sustentabilidade.

Na matéria da interdisciplinaridade, contrária à multidisciplinaridade que é conhecimento fragmentado, reconhece-se hoje que os estudos de história, de sociologia, de marketing, de gestão, de arquitetura são parte integrante do saber museológico e em consequência, essenciais ao seu desenvolvimento. Aplicados, inicialmente, noutros campos

da atividade humana foram progressivamente acolhidos no campo do conhecimento museológico, com um estatuto da maior relevância para o bom funcionamento dos museus. Em coerência, importa também reconhecer que os estudos que tratam das questões de sustentabilidade, aplicados também noutros campos da atividade humana, não deixam por isso de estar, progressivamente, integrados na área do conhecimento da Museologia, e como tal, devem ser assumidos como essenciais, não só para o seu funcionamento como também para o seu desenvolvimento, e em última instância, para o melhor desempenho social dos Museus.

Na verdade, da preservação da vida, da diversidade cultural e biológica, do meio ambiente, da qualidade dessa vida em termos globais, que correspondem ao desenvolvimento sem adjectivo, a “intervenção da museologia [foca-se] no desenvolvimento humano” (Moutinho, 1989, p. 105). Um desenvolvimento que, na actualidade, carece de preocupações ambientais que devem ser superadas, quanto mais não seja para salvaguardar os custos económicos de futuras medidas correctivas.

Foi nesta perspectiva que resolvemos assumir a investigação para este doutoramento na problemática das energias renováveis e novas tecnologias, aplicadas aos museus cuja matéria se enquadra no atual paradigma da sociomuseologia.

- A Problemática

A demanda sobre a degradação do meio ambiente sobressai no final da década de sessenta e década de setenta do século XX como um assunto urgente a resolver ou no mínimo atenuar. Refletindo essa preocupação, surgiu um movimento social partindo do conhecimento e desenvolvimento da ecologia, apelando por cartas, convenções e recomendações Internacionais à época como primeiras tentativas organizadas a nível mundial de toque a rebate para a preservação do património natural e ambiental.

É com base neste fundamento que se justifica a escolha do tema desta tese de doutoramento, dado que, se o ser humano é o culpado pela degradação, cabe-lhe a responsabilidade, como foi referido, de mudar de rumo e zelar pela preservação do ser, da espécie e do mundo. Tendo em atenção as questões anteriores, a nossa recomendação e proposta vai no sentido de justificar a aplicação das energias renováveis, encaradas como prioritárias e essenciais como meios energéticos a serem utilizadas, em geral, e particularmente pelos museus e centros de cultura.

Aliás os museus são instituições que devem ter uma função pedagógica com interação e influência comunitária e social ao serviço da comunidade local e global, como

forma de contribuir para a sustentabilidade do nosso planeta, servindo de exemplo com a utilização das energias renováveis.

Este novo paradigma tem sido uma das características inovadoras da Nova Museologia, em que o MINOM também se tem envolvido e defendido com apresentações em conferências, seminários e encontros, na sequência das conclusões a que chegou o ICOM na Mesa Redonda de Santiago, dedicada ao tema “o desenvolvimento e o papel dos Museus no mundo contemporâneo” que definiu o museu da seguinte forma:

“Que o museu é uma instituição ao serviço da sociedade, da qual é parte integrante e que possui nele mesmo os elementos que lhe permitem participar na formação da consciência das comunidades que ele serve; que ele pode contribuir para o engajamento destas comunidades na ação, situando suas atividades num quadro histórico que lhe permita esclarecer os problemas atuais, isto é ligando o passado ao presente, engajando-se nas mudanças de estrutura em curso e provocando outras mudanças no interior de suas respetivas realidades nacionais”.  
(Mesa Redonda de Santiago do Chile, ICOM, 1972)

No desenvolvimento desta tese de doutoramento importa sublinhar a relação entre os novos modelos de museus quanto à sua conceção de habitabilidade e práticas museológicas na óptica da Nova Museologia ou Sociomuseologia com as preocupações ecológicas, ambientais e sociológicas, definidas por Mário Moutinho, um dos principais teóricos da Sociomuseologia, como: “O que caracteriza a Sociomuseologia não é propriamente a natureza dos seus pressupostos e dos seus objectivos, como acontece em outras áreas do conhecimento, mas a interdisciplinaridade com que apela a áreas do conhecimento perfeitamente consolidadas e as relaciona com a Museologia propriamente dita”. (Mário Moutinho, 2007, Atelier Internacional do MINOM)

Ainda, para Mário Moutinho (2000, 2007), a Sociomuseologia constitui uma área disciplinar como recurso para o desenvolvimento sustentável da humanidade, presumindo a sua intervenção a incidir tanto no património cultural como no natural.

Ao reconhecermos a Sociomuseologia como a tal disciplina ao serviço do ser humano e do seu desenvolvimento, temos de admitir que esta nova museologia pressupõe também práticas de sustentabilidade ecológica e ambiental.

Neste contexto mundial de grandes e justificadas preocupações ambientais parece-nos de interesse relevante, no âmbito da formação académica de base, dar o nosso contributo para esta temática, relacionando os objectivos da Sociomuseologia enquanto vertente da museologia comprometida com a dinâmica social, com as questões da globalização, que entende que a sociedade não é estática e que incorpora a contribuição das outras ciências dentro da interdisciplinaridade. Como afirma Mário Chagas “Lidar com pessoas, expor ideias, viver a mudança e trabalhar com a impermanência, são os problemas

que se colocam para os museus e para os profissionais que não se querem deixar aprisionar na cela da materialidade dos acervos...” (Chagas, 2002, p 31).

Foi também por isso que nos propusemos estudar a problemática museológica numa abrangência global embora mais direcionada para a sustentabilidade, convictos de que tanto os projetistas de edifícios novos ou adaptados para museus, os profissionais desses mesmos museus, bem como as autoridades com responsabilidade sobre eles, não deixarão de refletir sobre as matérias que aqui abordamos e as propostas que, naturalmente, se encontram definidas no “objecto científico” e estão no seguimento ou correspondência com as preocupações manifestadas nas várias declarações do ICOM, do MINOM e da própria UNESCO, defendendo o museu como instrumento ao serviço da sociedade e do seu desenvolvimento. Iremos demonstrar, ou não se, com implantação das energias renováveis e novas tecnologias em todo este tipo de edifícios, novos ou adaptados, existem vantagens para o desenvolvimento social. Ficaremos satisfeitos se tivermos contribuído com esta pesquisa para um melhor ambiente nestes espaços culturais, e consequentemente para melhorar ou não continuar a deteriorar as condições de vida do nosso Planeta; assim, por esta via de utilização das energias renováveis e limpas, os museus poderão cumprir, mais uma vez, a sua função principal que é estarem “ao serviço da sociedade e do seu desenvolvimento” (Comitê Internacional de Museus – ICOM,1956) acrescentando nós, seguro, confortável, saudável e sustentável.

- Delimitação Geográfica e Temporal

Este trabalho de investigação, além de percorrer as áreas científicas da Museologia e da Sociomuseologia, direccionou-se especialmente para as energias renováveis e novas tecnologias, com vista a sustentar a sua aplicação ou utilização nos edifícios destinados aos museus. Neste sentido, decidimos não colocar qualquer delimitação geográfica, na medida em que museus, como sabemos, existem em todo o mundo e todos quantos já visitámos ou conhecemos, espalhados por vários países, com conteúdos tão diversos, com edifícios construídos de raiz ou adaptados para o efeito, constituiriam uma importante base de estudo, para servirem de modelo e de suporte ao desenvolvimento deste trabalho. Naturalmente que para se fazer uma completa investigação destas matérias foi imprescindível recolher informação bibliográfica, efectuar visitas e contactos pessoais com alguns responsáveis da construção e/ou da direção dos serviços dos museus tanto nacionais como internacionais, para com isso poder descrever o estado da arte dos mesmos e sua evolução histórica. Então decidiu-se, em termos metodológicos, pela descrição e apresentação dos museus visitados mais representativos, categorizando-os por edifícios

adaptados, edifícios novos especialmente construídos para o museu, edifícios em construção para o mesmo fim, edifícios de museus ícones da arquitetura e ainda aqueles que não se tendo visitado, sabemos que já incluem algumas energias renováveis.

O critério de análise usado, seguiu objectivamente em três direcções: a primeira observando o percurso histórico dos museus desde a sua concepção original (mesmo antes do termo museu ser conhecido) até à atualidade, passando um olhar pela atividade das organizações entretanto formadas, como o ICOMOS, ICOM e MINOM; a segunda foi analisar as condições standard de conservação no interior dos mesmos, a sua evolução ao longo dos tempos e as condições atuais ou recomendáveis tanto em edifícios novos como os adaptados; a terceira direccionou-se a um olhar para edifícios de museus de construção nova ou de edifícios adaptados, com ou sem quaisquer vestígios de inclusão de energias renováveis e com ou sem novas tecnologias de automação programada ou programável. Em função do seu passado histórico, os edifícios mais antigos têm naturalmente mais dificuldade na implementação destas novas energias e tecnologias, daí o termos preferido classificar menos negativamente aqueles museus que estão em palácios ou conventos antigos que foram adaptados e gozando até do estatuto de monumentos nacionais (onde ainda mais difícil se torna a sua atualização). Em termos temporais, há de facto um intervalo muito grande entre as idades dos museus e isso volta a ter importância no tipo de análise que nos propusemos levar a efeito no estudo de investigação para esta tese. Porém, a abundância de novos edifícios para os museus que nas últimas décadas têm estado por todo o mundo a ser construídos ou em vias de construção são motivo para não nos preocuparmos com o aspecto temporal ou limitação geográfica deste estudo.

Esperamos poder vir a afirmar, com segurança que, com ou sem delimitação geográfica e temporal, este estudo está francamente justificado se conseguirmos que uma percentagem dos mais recentes museus e os que se vão construir, a partir de agora, sigam as preocupações do desenvolvimento humano assentes na sustentabilidade.

- Fontes bibliográficas e documentais

As energias renováveis e outras novas tecnologias já utilizadas ou suficientemente desenvolvidas para poderem sê-lo, com vantagens de todo o tipo incluindo as económicas, já estão suficientemente publicadas, em revistas técnicas e divulgadas nos meios de comunicação mais usuais da atualidade. Esta matéria está de tal maneira na ordem do dia que a comunicação social surge com notícias de novas descobertas científicas em redor deste tema quase todos os dias, o que nos leva a incluir constantemente novos dados ao problema. E, se por um lado, foi positiva a forma como esta fonte de investigação pôde

ajudar, também tem o seu aspecto negativo por se correr o risco de ficar rapidamente desatualizada. Daí termos recorrido também às fontes de informação via “internet”, por este meio de comunicação andar sempre em cima dos acontecimentos e, sobretudo, manter um certo rasto histórico sobre os temas publicados. Para além desta fonte, foram naturalmente consultadas muitas obras bibliográficas publicadas, muitos artigos científicos, diversas teses de doutoramento relacionadas com a museologia, sociomuseologia e edifícios dos museus. Complementarmente, foram também feitas muitas visitas a museus, dentro e fora do país, durante os cerca de quatro anos que durou esta investigação.

A opção metodológica deste trabalho situou-se nos aspectos técnicos, científicos, qualitativos, quantitativos, económicos e ainda os regulamentares o que complexificou a investigação e a recolha de material empírico:

- sendo um assunto relacionado com novas tecnologias não pode ser estudado sem as tecnologias ficarem bem percebidas e justificadas;

- depois, por ser uma matéria relativamente recente, o desenvolvimento científico ainda está a jorrar descobertas no aperfeiçoamento e melhoria dos sistemas atuais;

essa melhoria tem influência naturalmente na qualidade, quer dos equipamentos quer do serviço oferecido;

- na quantidade, por serem cada vez mais as instituições, empresas e particulares que estão a aderir a estas novas tecnologias;

- nos aspectos económicos, pela necessidade de comparar os custos associados a estas novas formas energéticas e tecnológicas com as formas mais clássicas;

- nos aspectos regulamentares, pelo facto de estar a sair constantemente nova legislação não só sobre a regulação interna e externa de implantação destes sistemas mas também incentivos à sua aplicação.

Para o caso do estudo que se apresenta, ilustrando a hipótese de um museu ser climatizado exclusivamente através da energia geotérmica (cap.3), criámos um “Museu tipo”, de acordo com um estudo prévio de um museu imaginado pelo doutorando, e com uma empresa da especialidade efectuámos todos os cálculos e a distribuição das máquinas e das condutas como se de um caso real se tratasse, adaptado neste caso às condições da cidade de Lisboa.

- Metodologia de investigação

Para a elaboração desta tese, a primeira fase da investigação consistiu na reflexão, sistematização e programação do percurso metodológico a seguir, relativamente ao tema de estudo dos edifícios dos museus (desde os pré-museus até à atualidade) na ótica da

sustentabilidade ambiental, visando a inclusão das energias renováveis e novas tecnologias. Escolhemos o método indutivo porque “de acordo com o raciocínio indutivo, a generalização não deve ser buscada aprioristicamente, mas constatada a partir da observação de casos concretos suficientemente confirmadores dessa realidade” (Gil, 1999, p. 28).

Na sequência da programação anteriormente referida, fez-se a recolha de toda a bibliografia e bases de dados existentes na biblioteca da Universidade Lusófona, salientando a consulta e análise dos cadernos de Sociomuseologia, a pesquisa em livrarias técnicas especializadas de Lisboa e Madrid e buscas on-line das várias matérias no alinhamento deste percurso de investigação. Após uma organização de conjunto fomos separando os diversos artigos, referências, citações e exemplos que se enquadrassem em cada área dos temas a investigar, reforçando ou questionando as bases entretanto obtidas e consideradas importantes para o objetivo final.

Em simultâneo seguiram-se visitas e contactos aos vários tipos de museus selecionados, fora e dentro do país, combinando uma análise crítica de âmbito pessoal com o registo das explicações transmitidas pelos técnicos ou responsáveis locais que se dispunham a colaborar neste trabalho. O objectivo destas visitas recaiu no levantamento das condições internas e externas existentes nos espaços. No âmbito das condições internas, verificou-se o conforto térmico, acústico, luminoso e a qualidade do ar, bem como os meios técnicos instalados no âmbito da gestão, controlo e segurança, nomeadamente quais as energias e novas tecnologias aplicadas; nas condições externas, a observação incidiu sobre a percepção do “estado de saúde” do meio ambiente e a influência (visível ou por registo) do museu para esse meio ambiente. Registámos ainda as preocupações existentes ou não acerca da sustentabilidade de manutenção e conservação do museu-edifício e respetivo acervo, através de entrevistas informais a um ou outro responsável que de uma forma programada ou ao acaso não se furtou ao diálogo. Ao longo destas visitas, todos os casos em que foi possível visitar os espaços de reservas técnicas constituíram mais valias preciosas para a análise, sendo que muitas vezes estes espaços denotavam algum “abandono” ou a aplicação de más práticas escondidas do grande público, dando a possibilidade de perceber melhor o estado geral das condições existentes nos espaços abertos e acessíveis a todos os visitantes.

Ao longo destes quatro anos de investigação fomos acompanhando presencialmente alguns simpósios, seminários, workshops e congressos, constituindo também esse conhecimento uma espécie de “roupagem” a envolver as matérias teóricas e práticas recolhidas.

À medida que se foram estudando documentos e recolhendo extratos selecionados, fomos compondo artigo a artigo os quatro capítulos que esta tese contém, desenvolvendo

cada assunto em termos da sua origem histórica e das suas características técnicas em termos atuais, cientificamente comprovadas ou em vias de comprovação. Neste âmbito, e no que diz respeito às energias renováveis e novas tecnologias, foi fundamental a leitura atenta dos mais recentes artigos vindos a público em revistas ou jornais sobre estes temas (não necessariamente aplicadas aos museus), que nos permitiu obter uma maior e mais completa perceção do estado atual de conhecimento que os nossos meios profissionais e académicos têm sobre estas recentes matérias.

Fez-se também uma análise exaustiva da bibliografia especializada em energias renováveis e novas tecnologias aplicadas em edifícios novos ou antigos, com arquitetura de linguagem mais tradicional ou contemporânea, independentemente de serem ou não edifícios de museus (dado que para estes, a análise recaiu nos poucos exemplos que existem em todo o mundo e na aplicação de um caso de estudo-tipo imaginado para a cidade de Lisboa.)

A preocupação de fundo desta tese, ao centrar-se nas energias renováveis, com especial destaque na energia geotérmica, obrigou-nos igualmente a dedicar uma atenção especial à temática da qualidade e sustentabilidade ambiental, conduzindo-nos à análise da documentação produzida pelas diferentes instituições, empresas ou individualidades nacionais e internacionais envolvidas nesse tema, ou seja, na problemática ambiental e defesa da natureza e a sua sustentabilidade, nomeadamente a American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), o Greenpeace International, o Conselho Europeu de Energia Renovável (CEER), o Geothermal Energy Association (GEA), a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), a Liderança em Energia e design Ambiental (LEED), a Integrated Geophysical Exploration Technologies (I-GET), o Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI), o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) e o World Wildlife Fund (WWF).

Para além disso, tratando-se esta tese de uma matéria que interfere com o património construído ou a construir, fomos obrigados a estudar as conclusões da Conferência de Atenas, a Carta de Veneza e a de Cracóvia, que dão sugestões e impõem soluções de salvaguarda patrimonial, com especial destaque para as adaptações dos edifícios para Museus.

Por último, como não podia deixar de ser, foi também vista e referida a legislação em vigor nesta área, salientando os incentivos que estão considerados para motivar a aplicação das energias renováveis, no seguimento dos vários protocolos internacionais existentes para a salvaguarda do meio ambiente e biodiversidade em geral.

À medida que o trabalho se ia organizando, da mesma forma os artigos de cada capítulo se foram também completando, incluindo-lhes a visão pessoal e crítica do autor, suportada pela investigação teórica efetuada. A redação da tese foi construída com base na nossa interpretação e valorização da matéria recolhida e seleccionada, tendo sido agrupada em quatro capítulos com os respetivos sub-capítulos.

Em termos formais, cumprimos as normas da ULHT. Nº101 de Maio 2009 e a norma bibliográfica da American Psychology Association (APA).

Quanto à grafia utilizamos o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa aprovado em 16 de Dezembro de 1990 e ratificado em 29 de Julho de 2008.

- Estrutura da tese

Estruturamos esta tese em quatro capítulos com respectivos subcapítulos e conclusões, precedidos de uma Introdução com as questões prévias, a problemática, delimitação geográfica e temporal, fontes de investigação e metodologias de investigação. Nas questões prévias e problemática, desenvolvemos resumidamente a importância das conferências e outros encontros organizados pelo ICOM e MINOM e seus resultados vertidos em convenções, declarações e propostas, não só sobre os Museus em si, como a contribuição que estes podem dar à condição de vida na biodiversidade, na atividade e vivência social e na defesa do meio ambiente deste nosso planeta.

O Capítulo 1 intitulado “Museus, seu Estado da Arte num olhar sobre o Edifício” começa por uma breve abordagem sobre a origem dos museus e a sua relação com as energias, desde a antiguidade até aos nossos dias. Prossegue descrevendo a evolução dos edifícios destinados aos museus, desde a primeira encomenda de um edifício projectado propositadamente para esse efeito em 1559 até ao século XXI, tanto em edifícios novos como adaptados. Aborda as condições e preocupações de ambiente no interior e exterior dos museus ao longo dos tempos, assim como as condições térmicas aconselháveis à função daqueles nos espaços, incluindo a humidade, poluição externa, interna, e alterações de natureza ecológica e biológica. Descreve-se a pesquisa feita nos museus visitados, sobre a utilização ou não de novas tecnologias e energias renováveis.

O Capítulo 2 intitulado “Energias Renováveis e sua utilização nos edifícios dos Museus” atende à problemática daqueles edifícios e seus conteúdos, incluindo um resumo histórico sobre as energias e as alterações climáticas que supostamente estão a ocorrer devido ao consumo de combustíveis fósseis, na produção de energia elétrica. Segue-se a descrição com algum detalhe sobre as energias renováveis e sustentáveis, comprovadas

cientificamente. Abstem-se da energia geotérmica por ser aquela que é preferencialmente proposta nesta tese para aplicar na climatização interior dos museus, constituindo este sistema energético, só por si o tema do capítulo seguinte.

O Capítulo 3 que se intitula “Energia Geotérmica aplicável nos Museus”, é inteiramente dedicado a este tipo de energia renovável. Por se tratar de um sistema de aplicação muito recente em Portugal na vertente da climatização interior dos edifícios e que por ser rentável a curto prazo, ser saudável e sustentável, é a forma de energia que se preconiza para climatizar o interior dos edifícios dos museus. Porém, ao longo da descrição desta energia houve a necessidade de começar por explicar o que é a energia geotérmica, o que sempre se entendeu ser este tipo de energia, bem como a sua proveniência e as suas características fundamentais, formas de captação e de aplicação. Sempre que são referidas condições legislativas e incentivos do Estado à produção das renováveis, procurou-se identificar as portarias mais atualizadas.

O capítulo 4 e último, intitulado “Edifícios inteligentes dedicados aos Museus”, aborda toda a temática relacionada com a programação eletrónica e computadorizada de todos os serviços na prevenção, segurança, controlo e gestão dos edifícios dos museus e da sua habitabilidade. Indica como aplicar esta ferramenta denominada “Domótica”, as suas capacidades, e benefícios. Por último, finalizamos a tese com as respetivas conclusões.

## **CAPÍTULO 1**

### **Museus, seu Estado de Arte num olhar sobre o Edifício**

## **CAPÍTULO 1 - Museus, seu Estado de Arte num olhar sobre o Edifício**

### **1.1 - Perspetiva Histórica e Evolução dos Museus**

#### 1.1.1 - A origem dos museus e a sua relação com as energias

A construção de edifícios propositadamente para servir os Museus só aparece no século XVI com a construção dos palácios Uffizi, em Florença. Mas recuando à memória da era clássica, somos conduzidos ao século IV a.C., à biblioteca de Alexandria, (Fig.1) que foi um grande centro de cultura e que já incluía no seu seio um importante museu. Porém, a ideia de musealizar é muito anterior e até os homens das cavernas já demonstraram ter sentido de musealização ao fazer pinturas nas paredes, certamente com a intenção não só de exibição mas também de exposição e legado à posteridade. Mais tarde, na polis (cidade) da Grécia clássica, em pequenos edifícios chamados “Pinakotheké”, também as pinturas eram colocadas em pranchas e estavam expostas e acessíveis a todos os cidadãos.

Como se pode depreender por estas analogias, o nascimento e desenvolvimento dos museus e a sua história autêntica, estão inexoravelmente ligados à do ser humano na sua trajectória sócio-cultural. Ainda antes de se criar a palavra museu, e de se distinguir o seu significado, já a sua origem embrionária tinha acontecido. Desde a pré-história que os povos de todas as culturas e civilizações procuraram em algum lugar deixar a sua marca para a posteridade, guardando ou expondo aquilo que mais e melhor os valorizava ou aquilo a que mais valor atribuíam, embora fosse de modo muito diferente ao longo dos séculos e povos.<sup>5</sup>

Nas antigas civilizações, a ideia de coleccionar deveu-se sobretudo à crença da continuação da vida para além da morte. Para o efeito, os egípcios chegaram a fazer enormes depósitos de Objetos preciosos, que são verdadeiros museus funerários.<sup>6</sup>

O desenvolvimento para a ideia do museu acontece por volta do segundo milénio a.C. em Larsa, Mesopotâmia.<sup>7</sup> De facto, as descobertas dos níveis da cidade de Ur na Babilónia indicam-nos que os reis Nabucodonosor e Nabónidus já colecionavam antiguidades da sua época. Inclusivamente, numa sala próxima de um templo-escola desenterrado, encontrou-se não só uma coleção de antiguidades mas também uma tábua com inscrições do século XXI a.C. interpretada como sendo o título de um museu. Esta

<sup>5</sup> Luis Alonso Fernandez, ediciones del Serbal, 2001, 2ª edição, Barcelona, 10/3/2010.

<sup>5</sup> Afirmção de André Bazin, crítico cinematográfico Francês (tradução livre).

<sup>7</sup> A antiga Mesopotâmia faz hoje parte do território Iraquiano.

descoberta parece indicar que Ennigal-di-Nanna, filha de Nabónidus<sup>8</sup> e sacerdotisa que dirigia a escola, teve ali um pequeno museu didático.

Contudo, o primeiro museu organizado como tal foi o da antiga biblioteca de Alexandria, cuja fundação se atribui a Alexandre Magno, General e Imperador Grego (discípulo de Aristóteles, filósofo Grego do século IV), depois da tomada do Egito. Este Imperador, impressionado e influenciado pela cultura faraônica local, projetou esta ideia e transmitiu-a ao seu General e sucessor no trono, Ptolomeu I, que acabaria por concretizar a obra no século III a.C., numa versão final



Fig. 1 - Interior da antiga biblioteca de Alexandria  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/Biblioteca\\_de\\_Alexandria](http://pt.wikipedia.org/wiki/Biblioteca_de_Alexandria)  
acedido em 2011/10/16

ainda mais ambiciosa (influenciado por um feito anterior dos reis da dinastia Átalo<sup>9</sup> que tinham instituído em Pérgamo uma excelente biblioteca).

Admite-se ter sido Alexandria o berço do primeiro Museu, Centro Cultural e Biblioteca no Mundo, devidamente organizado, tendo sido designado por Carl Sagan, cientista e astrónomo americano, como o primeiro Instituto de Investigação da História da Humanidade.<sup>10</sup> Esse edifício certamente não dispunha de meios artificiais para garantir as condições de sustentabilidade dos acervos ou habitabilidade dos seus espaços interiores, tudo seria conseguido de forma natural, como hoje diríamos, à base de energias primárias e sustentáveis.

A civilização romana herdou dos gregos o gosto pelo colecionismo de obras de arte, entendido como manifestação de distinção pessoal dos indivíduos mais poderosos, como Pompeu, Cícero ou Júlio César, que se orgulharam das suas coleções, integradas na decoração das suas casas, ou como aconteceu com os saques de Siracusa (212 a.C) e de Corinto (146 a.C.) que serviram para encher de obras de arte grega os templos de Roma. Com os espólios gregos, Roma colocou em marcha um comércio até então inexistente de obras de arte, e também um hábito de culto público dos troféus conquistados. Cada vez que se anexava um novo território, tornava-se imprescindível celebrá-lo com a exposição dos seus troféus em lugares populares, para serem admirados. Por outro lado, embora não criassem uma instituição especial para conter e conservar as coleções públicas, os romanos

<sup>8</sup> Nabonidus era o rei da Babilónia, no Império Persa, entre 559 e 539 a.C.

<sup>9</sup> Átalo I proclamou-se rei em Pérgamo no século III a.C. e a dinastia Atálide reinou até Átalo III, tendo este legado o reino à República Romana em 133 a.C. A referência à biblioteca criada nesta dinastia foi tirada do livro VII de Vitruvius, traduzido por M. Justino Maciel.

<sup>10</sup> Sagan, Carl (1982). *Cosmos*. Planeta, Barcelona e Madrid.

dedicavam os museus à função de santuários consagrados às musas, escolas filosóficas ou centros de ensino e investigação, seguindo a conceção do “museu científico” ptolomeico, onde o museu era entendido sobretudo como um lugar para as discussões filosóficas e teóricas.

Este novo paradigma civilizacional arrastou consigo preocupações até então desconhecidas ou desprezadas e motivou cientistas e gentes das artes e ofícios de então a debruçarem-se sobre a forma de ultrapassarem os obstáculos ou dificuldades na manutenção destes lugares e seus acervos nas condições mais confortáveis e sustentáveis. Nesta sequência, encontramos as recomendações de Vitruvius<sup>11</sup> que nos indicam, por exemplo, que as pinturas deviam ser colocadas em magníficos gabinetes orientados a norte, por contraposição às bibliotecas que se deviam situar na parte oriental dos edifícios, existindo aqui uma preocupação pelas condições de sustentabilidade natural, de acordo com os conhecimentos da época sobre as condições adequadas de humidade do ar. O próprio Pausanias<sup>12</sup>, fala-nos de como o Poecilo de Atenas untava os metais para evitar a corrosão, ou como a Atenea Partenos de Fídias era protegida no Partenón da secura da atmosfera, colocando a seus pés depósitos de azeite, para evitar a desagregação da sua estrutura criselefantina<sup>13</sup>.

Depois do édito de Milão<sup>14</sup> no ano 313, a Igreja potenciou a utilização de formas plásticas próprias, por oposição às formas pagãs herdadas, continuando com o enfoque didático que Roma havia inspirado sem contudo perder de vista certos hábitos e costumes precedentes da época grega. Formaram-se também na Europa grandes coleções pertencentes a senhores feudais, aristocratas e príncipes, dando-se continuidade às coleções da Igreja.

Já nos séculos VIII-IX, o imperador Carlos Magno (768-814) criador do Sacro Império Romano-Germânico chegou a reunir uma coleção de obras de arte, especialmente romanas e outros numerosos tesouros dos hunos, dos muçulmanos - saqueados na tomada de Lisboa (715) - e dos presentes recebidos do Oriente pelo califa Harun-Al-Rachid (786-809).

Durante a Idade Média, vários foram os templos e mosteiros religiosos que acumularam um rico património, como S. Marcos em Veneza, ou Saint-Denis em Paris. As permanentes convulsões bélicas durante este período (com constantes ocupações e saques dos seus valores mais preciosos) também conduziram à permanência dos Objetos artísticos

---

<sup>11</sup> Vitruvius foi um arquiteto e engenheiro romano que viveu no século I a.C. e deixou publicados 10 livros sobre arquitectura, engenharia, hidráulica, equipamentos, materiais, e técnicas de construção.

<sup>12</sup> Pausânias (115 - 180 d.C.) foi um geógrafo e viajante grego, autor da descrição da Grécia Antiga.

<sup>13</sup> Materiais de ouro e marfim.

<sup>14</sup> Tolerância declarada pelo Império Romano quanto à sua neutralidade em relação ao credo religioso.

nos mosteiros e templos como forma de proteção, como aconteceu no caso de Espanha, que conservou deste modo o seu espólio durante quase dez séculos.

Na segunda metade do século XV começou a utilizar-se o termo museu com um sentido próximo do atual, tendo sido Cósimo de Médicis<sup>15</sup> a aplicá-lo na sua coleção de códices e curiosidades. Porém, sem grande convicção ou difusão, pois no ano de 1599 ainda o termo museu não se tinha afirmado completamente, como se pode deduzir pela ilustração de um chamado gabinete de curiosidades<sup>16</sup> na publicação *Dell'História Natural* de Ferrante Imperato em Nápoles (Fig. 2).

No século XVI já os Médicis de Florença admitiam visitantes nos seus palácios e recomendavam aos seus servidores que proporcionassem um trato atento e agradável a todos quantos decidissem contemplar as suas coleções, contratando inclusivamente o escultor e arqueólogo conhecido pelo nome de Bertoldo para seu primeiro conservador.



O Grã-Duque Cosme I encomendou em 1559 a construção do palácio Uffizi<sup>17</sup> a Giorgio Vasari, (Fig. 4) considerado historicamente como o primeiro edifício projectado para museu. O edifício seria aberto ao público em 1582, aparecendo inclusive nos guias turísticos da época (embora só quase cento e oitenta anos mais tarde é que surge em Inglaterra o primeiro grande museu público, o British Museum).

Fig. 2 - Gabinete de curiosidades, Nápoles, 1672  
Fonte: frontispício do livro XXVIII de sua obra, *História Natural*, de 1599 (Suano, 1986) acedido a 2011/5/12

### 1.1.2 - Museus desde o século XVIII ao século XXI

Foi com a Revolução Francesa de 1789 que se consagrou a teoria da arte como criação do povo, pelo que o governo republicano decidiu em 1791 a instalação definitiva das coleções no Louvre e, mediante um decreto lei, abriu o museu ao público em 10 de Agosto de 1793. Em Espanha foi Fernando VII que se encarregou da realização do museu nacional, decidindo instalá-lo no edifício que Juan de Villanueva, tinha



Fig. 3 - Galeria de pintura do Dulwich College.  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Dulwich\\_Picture\\_Gallery](http://es.wikipedia.org/wiki/Dulwich_Picture_Gallery), 2011/5/15

<sup>15</sup> Cosimo di Giovanni degli Medici (1389 - 1464) foi o primeiro político da dinastia Medici, governantes de facto de Florença durante grande parte do Renascimento italiano.

<sup>16</sup> A primeira ilustração de um gabinete de curiosidades, publicada por Ferrante Imperato em *Dell'Historia Naturale*, Nápoles, 1599.

<sup>17</sup> Escritórios para os magistrados de Florença e primeiro edifício mandado construir de raiz para museu.

construído no tempo de Carlos III, denominado “El Prado” (1785), para museu de ciências naturais.

Esta tendência desenvolve-se por toda a Europa, pelo que o século XVIII pode considerar-se como o criador do conceito moderno de museu, o museu público, que teria a sua consolidação no século XIX, e o seu desenvolvimento no século XX.

Assim sendo, foi no início do século XIX que se começaram a vulgarizar os projetos de edifícios destinados a museus. Nesta linha de projetos e construções museológicas está a Galeria de Pintura do Dulwich College em Londres, construída entre 1811 e 1814 segundo o projeto de Sir John Soane. (Fig. 3)

Este fenómeno vai transcender os limites continentais europeus antes do final daquele século, estendendo-se a outros territórios. Referimo-nos não só aos países das duas Américas, mas também a outras latitudes como a Ásia, África ou Oceania. O Brasil, por exemplo, baseando-se na coleção de pinturas oferecidas pelo rei de Portugal D. João VI, abriu ao público em 1818 o seu Museu Nacional no Rio de Janeiro e o Museu de Ouro Preto em 1876. Outros se lhes seguiram, promovidos por Universidades, como aconteceu com o Museu GeoGráfico e Geológico de São Paulo.

Esta larga e complexa trajetória efetuada desde o museu grego até ao aparecimento e consolidação do museu tal como hoje o conhecemos desenvolveu-se seguindo uma sequência de concepções, que passamos a identificar:

- a) “Concepção alexandrina, como centro científico e universal do saber.
- b) Concepção romana do museu, herdeira do helenismo, como templo das musas ou escola filosófica.
- c) Concepção renascentista, o museu-coleção, herdeiro direto da concepção romana.
- d) Concepção ilustrada, ou o museu como instrumento científico e alojamento (conservação) dos testemunhos do saber e da criação humanas.
- e) Concepção revolucionária, o museu público como meio de questionamento crítico e lição sócio-cultural.
- f) Concepção do museu organizado, do século XX, vivo e didático.
- g) Concepção pós-moderna, o museu como sedução e espectáculo, na ascensão e auto legitimação protagonista do espectador.” (Luis Alonso. Ed. del Serbal, 2001)
- h) Concepção do museu como centro cultural vivo, paradigma da chamada nova museologia, e sociomuseologia, que preconiza e defende o museu como instrumento ao serviço da sociedade e do seu desenvolvimento, “constituindo uma vertente de ensino e investigação nas áreas do conhecimento das Ciências Humanas nos estudos do desenvolvimento da Ciência de Serviços e Planeamento do Território” (Mário C. Moutinho 2007).

Em Portugal, o primeiro edifício feito de raiz para albergar um museu, dedicado essencialmente a uma coleção de arte e história natural, foi construído na cidade do Porto em 1836 pelo comerciante de vinhos do porto e colecionador de descendência Britânica John Francis Allen. Posteriormente, essa coleção passou pela mão do município local para o Museu Portuense (1850) e mais tarde, pela mesma mão, deu origem ao Soares dos Reis (1911). Este último funcionava ainda em edifício adaptado, assim como outros que lhe antecederam, nomeadamente o Real Museu de História Natural e jardim botânico na Ajuda, em Lisboa (1768), o museu de história natural e jardim botânico da Universidade de Coimbra (1772), o museu de Arqueologia, Medalhística, Etnografia e História Natural, Museu Pacense, em Beja (1791) e o Museu Portuense ou Ateneu D. Pedro (1833)<sup>18</sup>. (ver anexos).

“Antes destes, antecedendo a própria designação de museu (pré-museu) foram criadas as coleções de «antiguidades» por D. Afonso, 1º Duque de Bragança (1377-1461), as coleções de D. Afonso (filho) 1º Marques de Valença (1460), a coleção de André Resende (c.1500-1573), a do padre Severim de Faria (c.1582-1655), a de Rodrigo Anes de Sà (1676-1733) e a de D. Francisco Xavier de Menezes (1673-1743) 4º Conde da Ericeira”. (Judite Primo, 2007).

Com a sociedade liberal<sup>19</sup>, extinguíram-se os conventos e nacionalizaram-se os bens da Igreja. Nesta nova sociedade adoptaram-se novos valores culturais, surgindo assim o conceito de monumento (histórico-artístico), conjugando novas realizações museológicas que traduziam mudanças na natureza das coleções. O período da monarquia constitucional cujas balizas cronológicas correspondem à criação do já referido Museu Allen<sup>20</sup>, do Museu Nacional de Arte Antiga (1884) e do Museu dos Coches (1905), conheceu um florescente movimento de abertura de instituições museológicas por todo o país. Com a implantação da República foi reforçada a vontade política e legal de dar corpo e coerência a uma rede de museus nacionais e regionais, de acordo com uma visão pedagógica, patrimonial e artística.

A primeira metade do século XX está marcada por uma série de acontecimentos e pelas suas profundas consequências. Entre eles, as duas guerras mundiais, a revolução russa de 1917 e alguns períodos de recessão económica. A segunda contenda mundial veio agravar brutalmente o que já estava a manifestar algum progresso, tendo muitos museus,

---

<sup>18</sup> Revista da Faculdade de Letras Ciências e Técnicas do Património. Porto 2006-2007 I Série vol. V-VI pp.31-55 (in Vitorino, Pedro. Os Museus de Arte do Porto, Coimbra, Imprensa da Universidade, 1930, Est. XII)

<sup>19</sup> A partir de 1834 triunfa o liberalismo após a guerra civil entre apoiantes de D. Miguel e D. Pedro e são extintas todas as ordens religiosas. A guerra terminou com a assinatura da Convenção de Gramido, em 1847, pondo fim à Monarquia absoluta “Antigo Regime” e estabelecendo uma Monarquia Constitucional. A rainha D Maria II ficou a Governar o país, por abdicação de seu pai D. Pedro IV (Imperador e Rei D. Pedro I do Brasil).

<sup>20</sup> O Museu Allen, na Rua da Restauração, foi fundado no Porto por John Francis Allen, que era um colecionador e negociante de vinho do Porto.

galerias e tesouros europeus sofrido grandes estragos, sendo em muitos casos parcial ou totalmente destruídos.

Para os museus europeus, estes vão ser momentos de profunda revisão e acondicionamento, em que governos, associações profissionais e outros sectores sociais revêem a função ou o papel dos museus, numa sociedade em constantes e profundas mudanças e onde cada estado faz distintas opções museológicas.

Em Portugal o quadro museológico do Estado Novo, desde os anos 30 até aos anos sessenta, tem que ser encarado à luz dos princípios ideológicos do regime, nomeadamente o do restauro interpretativo do património edificado e do comemorativismo nacionalista. É neste contexto que surgiram iniciativas como a instalação no Porto do Museu Nacional Soares dos Reis, o lançamento de um plano de museus regionais etnográficos, e as atividades museológicas associadas às Comemorações Centenárias (1940), de que é exemplo o Museu de Arte Popular (1948). No decorrer da década de cinquenta merece particular relevo por ter constituído à época facto inédito na história dos museus portugueses a instalação do Museu José Malhoa nas Caldas da Rainha, em edifício construído de raiz. A partir da década de setenta vários fatores de ordem interna e externa proporcionaram novas visões patrimoniais e museológicas, quer em termos legislativos, quer associativos (Associação Portuguesa de Museologia, criada em 1965), quer mesmo de novas propostas museais, de que é exemplo cimeiro o Museu Calouste Gulbenkian (1969). É neste contexto que é organizado e programado o Museu de Etnologia do Ultramar que, apesar de ter a sua criação e estatutos fixados por decreto de Março de 1965, só viria a abrir as suas portas ao público depois da Revolução de 25 de Abril, passando a denominar-se Museu Nacional de Etnologia.

O factor que influenciou determinadamente o progresso dos museus na segunda metade do século XX foi sem dúvida o turismo, fenómeno que traria a outros países da área mediterrânica e da Europa Ocidental avultados benefícios, entre eles o do desenvolvimento dos museus de arte, história e arqueologia. Além disso, trouxe desenvolvimento e transformação local e regional, como diz Fernando Moreira na sua tese de doutoramento em 2008: “Desenvolvimento, turismo e museus concorrem, para transformações nos locais, transformações essas que estão na base dos ritmos e direções daquilo que, antes de posterior discussão, convenciamos chamar de desenvolvimento”.

A renovação museológica inicia-se nos anos sessenta/setenta e consolida-se nos anos oitenta do século XX, sob a posição da “nova museologia”. O movimento que se gerou, há cerca de quatro décadas, em torno da renovação das teorias e práticas museológicas, designado por Nova Museologia, criou um novo paradigma que resultou na triangulação de três categorias, a que refere sinteticamente Luis Alonso Fernández (1999), em *Introducción*

a la Nueva Museologia (p.82), ao enunciar os parâmetros desenvolvidos por Marc Maure: “un nuevo y triple paradigma de la mono disciplinaridad à la pluridisciplinaridad, del público a la comunidad y del edificio al território.” Assim, a nova visão processual da museologia encontra sentido na participação das pessoas e dos diferentes grupos na comunidade.<sup>21</sup>

Na perspectiva da Nova Museologia, colecionar/recolher, preservar e difundir são operações que um museu de novo tipo assume em parceria com a comunidade, em processos socializantes que contribuem para a qualificação da cultura (termos adoptados por Maria Célia Santos, 2010), assim como também nos diz Judite Primo:

“O nascimento da Nova Museologia deve-se, em grande parte ao movimento transformador que marcou os anos de 1960 e 1970, vincados pelas mudanças económicas, políticas, religiosas e sociais implementadas na sociedade ocidental, e que alimentou as reflexões sobre o papel social dos museus na sociedade em mutação e a sua relação com os utilizadores”.(Judite Primo em 2007; Tese de Doutoramento A Museologia e as Políticas Culturais Europeias.pag.166)

Com o regime democrático em Portugal, fundado em 1974, assistiu-se a um renovado interesse pelo património natural e cultural que, por um lado, originou a proteção e musealização de numerosos sectores da paisagem portuguesa, e por outro, veio a culminar numa verdadeira explosão museal, para a qual contribuiu sobremaneira a iniciativa comunitária de populações e de autarquias locais. Deste movimento haveria de resultar o fenómeno da “municipalização” do universo museológico já que, na verdade, as administrações regionais e locais (regiões autónomas, assembleias distritais, câmaras municipais e juntas de freguesia) tutelam hoje um segmento significativo dos museus existentes no País. Novas tipologias nascidas a partir de experiências museológicas nitidamente inspiradas nas linhas doutrinárias da chamada Nova Museologia e marcadas por um conceito mais abrangente de património associado aos conceitos de cultura material, comunidade, território e identidade caracterizaram essencialmente as décadas de oitenta e noventa na sequência da designação de “ecomuseu” dada por Hugues de Varine e Georges H. Rivière em 1971, cuja referência ao termo foi feita pela primeira vez por Robert Poujade (o então presidente da câmara municipal de Dijon) na 9ª conferência Geral do ICOM, Conselho Internacional de Museus. O termo teve várias versões evolutivas e o próprio Rivière em 1980 definiu ecomuseu como “o museu instrumento dos indivíduos e da natureza, museu do tempo e do espaço” sendo o local adequado para uma real expressão da humanidade e da natureza. É neste contexto que deve ser assinalada a primeira reunião internacional da Nova Museologia que teve lugar no Québec em 1984 e a criação, em Lisboa, do Movimento Internacional por uma Nova Museologia<sup>22</sup> (MINOM, 1985), assim

<sup>21</sup> Cadernos de Sociomuseologia Nº 23 - 2005 163

<sup>22</sup> MINOM – Portugal (ver anexos)

como o movimento de revalorização do património natural, científico e técnico-industrial, o qual foi acompanhado pelo exemplar protagonismo das universidades e, também, de muitas empresas na salvaguarda do património edificado, móvel e documental provenientes da sua atividade profissional.

Entretanto, a partir de 1978, experiências museológicas e socialmente mais inovadoras são premiadas anualmente no âmbito do Conselho da Europa pelo “European Museum Forum”, como Museu Europeu do Ano, ganho em 2010 pelo museu de Portimão. Fruto desse movimento, o país passou a ser regularmente confrontado com a responsabilidade de organizar grandes eventos internacionais de incidência cultural, os quais têm genericamente constituído estimulantes experiências no campo museológico e museográfico, proporcionando a abertura de novos espaços expositivos, tais como a XVII Exposição de Arte, Ciência e Cultura (Conselho da Europa, 1983), Europàlia (1991), Centro Cultural de Belém (1992), Lisboa Capital Europeia da Cultura (1994), Exposição Mundial de Lisboa (1998), Porto Capital Europeia da Cultura (2001), e Guimarães Capital Europeia da Cultura (2012).

Retomando o objetivo estruturante desta tese no olhar sobre os edifícios dos museus, sobre as suas condições tanto em edifícios novos como adaptados, passamos de imediato à sua descrição e análise global.

## 1.2 - Edifícios destinados aos Museus

### 1.2.1 - Museus em edifícios de construção nova

Desde a primeira encomenda de um edifício projectado propositadamente para museu - em 1559 pelo Grão Duque Cosme I de Itália (Fig. 4) - que a sua estrutura arquitetónica é condição fundamental, ainda que nem sempre surja como uma prioridade explícita para os seus colecionadores, mecenas e fundadores, para os quais são maioritariamente os bens de interesse cultural que produzem o fenómeno museístico.

O certo é que quando nos referimos ao museu como instituição real estamos a assinalar de facto, e pelo menos, três aspectos que o constituem:



Fig. 4 - Galleria Uffizi-Florença  
<http://www.viator.com/Florence-attractions/Uffizi-Gallery/d519-a117>  
acedida em 2010-2-15

- a) "O seu estatuto e os elementos integrantes. O que inclui a sua tipologia como entidade cultural pública, semi-pública ou privada; um lugar ou meio físico para o património; as coleções; a equipa de conservação e animação, e a sua entidade legal;
- b) A sua organização. Dependendo da sua importância do seu perfil ou estatuto, e do seu grau de autonomia jurídica, compreendendo as funções de organização, financiamento, gestão e administração.
- c) O edifício ou a sua arquitetura, no qual se incluem os diferentes aspectos de desenho, construção, funcionalidade, segurança, conforto térmico, acústico, sustentabilidade ambiental, financeira e económica, etc. Neste triplo conjunto intervêm factores histórico-sociológicos, museológicos e arquitetónicos, ou técnico museográficos, cuja complexidade requer algumas considerações prévias, antes de entrar na análise concreta do programa e do projeto."<sup>23</sup>

O Palácio dos Uffizi em Florença, como já foi referido, considerado um dos primeiros projetos museológicos encomendado para esse efeito, foi construído por Giorgio Vasari<sup>24</sup> e localiza-se junto ao rio Arno. O uso inicialmente previsto para o edifício era também o de alojar as diversas magistraturas do Estado (Francisca Hernandez, 1994). A construção de galerias com fins expositivos, foi uma opção muito em uso na construção dos palácios europeus do século XVIII, como é o caso da galeria dos Espelhos em Versalhes, do Palácio de Colonna, do Belvedere em Viena e a galeria de pinturas de Dresda. Em qualquer caso, a tipologia arquitetónica dos museus estava confinada, desde as suas origens até ao século XX, aos modelos do "museu-templo" ou do "museu-palácio" (Luis Alonso Fernandez, 2001).

Nas suas origens remotas, o museu começou por ser um "armazém" melhor ou pior acondicionado, para instalação e exibição dos Objetos patrimoniais, mesmo quando utilizava espaços como conventos, palácios ou igrejas, pensados e construídos para outros fins que não os museísticos. Atualmente, o museu tem vindo a afirmar-se como monumento civil capaz de intervir socialmente, difundindo memória, cultura e património.

A transformação do museu num lugar de cultura e de encontro de "massas" exige maior número de espaços perfeitamente estruturados, os quais, desde o átrio de entrada, deverão permitir ao visitante eleger o seu próprio itinerário, facilitar as comunicações horizontais e verticais, e aceder às distintas áreas públicas: cafetaria, biblioteca, salas de exposições permanentes ou temporárias. O edifício destinado a museu deve estar adequado e dotado de condições de acessibilidade para todos os seus visitantes, incluindo os públicos fisicamente diminuídos ou debilitados, além de condições de segurança, conforto térmico, acústico, iluminação, comunicação e controlo programado e programável.

<sup>23</sup> Luis Alonso Fernández – *Museología y Museografía*. Barcelona: Ed. del Serbal, 1999. "Cultura Artística"

<sup>24</sup> Giorgio Vasari, arquiteto e pintor italiano (1511-1574), projetou o palácio dos Uffizi em Florença, igrejas e palácios em Pisa e em Arezzo. Das pinturas restam murais no Palácio Vecchio em Florença e no Vaticano

É indiscutível que a criatividade e a sensibilidade do arquiteto são a base de um bom projeto. O caso do museu não é uma exceção, mas atualmente este trabalho deve ser feito em estreita relação com o museólogo, diretor e conservador, que têm uma consciência mais clara da museologia em geral e do museu e das suas necessidades em particular. Além disso as exigências atuais requerem uma participação de equipas alargadas onde estão presentes Sociólogos, Urbanistas, Arquitetos, Engenheiros, Designers, Museólogos, Historiadores, Conservadores, etc. Este trabalho interdisciplinar é possível por um lado devido à evolução da museologia, e por outro a uma atitude diferente tanto da museologia como do fazer arquitetónico perante a sociedade. A esse respeito escreveu Arthur Eriksson, arquiteto e autor do Museu de Antropologia de Vancouver, no Canadá:

“A arquitetura é muito mais que só uma parte do programa, já que pode determinar a sua própria estrutura. Deve responder não só de forma integrada a fatores de objecto, situação, organização do espaço, instalações técnicas e materiais, mas que deve ter um significado relativamente ao ambiente físico e social de quem o observa e utiliza”. (A.SUCKLE, 1984)

Desde as reuniões do ICOM nos anos sessenta, as relações entre o museólogo, diretor ou responsável do museu e o arquiteto têm vindo a ser cada vez mais frequentes. Assim, o diretor, assistido pela sua equipa científica é considerado desde então o “Dono da Obra”, assistindo-lhe o direito ou prerrogativa de definir o programa e seleccionar o arquiteto. Por conseguinte, o arquiteto é o projectista e coordenador dos projetos das especialidades em gabinete e na obra. A cooperação entre o dono da obra e o projectista, deve ser total, a fim de levar ao aperfeiçoamento do programa e do projeto, a que ambos devem estar estreitamente vinculados, levando este comportamento funcional até ao momento em que as coleções e as exposições estejam convenientemente instaladas. Além disso, complementando o trabalho dos responsáveis da equipa atrás referida, devem intervir outros saberes de diferentes especialidades, tais como educadores, técnicos de conservação, de iluminação, de térmica, de sinalética, de acústica, e agora também especialistas de energias alternativas, renováveis e de tecnologias “domótica”. Só assim o projeto museológico atingirá um resultado final de excelência.

É fundamental que a arquitetura dos novos museus seja analisada, tanto sob a perspectiva sociomuseológica, como sob a sua relação ecológica com o meio ambiente e a sustentabilidade. Também a contextualização do edifício em relação à sua envolvente e à sua conceção como obra de Arte é de extrema importância. De facto, a arquitetura de alguns museus projecta uma maior atração que a sua própria coleção. Sustentado por um apoio público de cariz social inédito, o museu tornou-se no símbolo de um novo tipo de

construção para a coletividade, e não será por acaso que aos novos museus começou a ser atribuída a terminologia honrosa “as catedrais do nosso tempo”. (Kimmelman<sup>25</sup> 2001, p. 8)

A influência do Movimento Moderno, das novas tendências arquitetónicas e do desenvolvimento da museologia vão dar origem a duas teorias, sendo a primeira, a de que o museu como edifício é já um monumento cultural em si mesmo, dado pela aparência exterior e riqueza dos materiais que o convertem num símbolo da comunidade e referência importante para a cidade. A segunda teoria é a de que o museu é apenas o recipiente “anónimo”, concentrado sobre o seu interior, concebido estritamente para serviço das suas coleções e para satisfação intelectual e sociocultural do público. Mas o museu de hoje deve ser um conjunto de relações estruturais, espaciais e ambientais que devem estar funcionalmente à disposição das coleções, da sua conservação e exposição, e sobretudo, numa perspectiva sociocultural, de formação, informação e renovação de mentalidades ao serviço do público em geral, particularmente utentes e visitantes. Para isso, não só os edifícios novos como aqueles que foram adaptados ou ainda vão sê-lo para servir os Museus, devem merecer novas preocupações, na base dos novos conceitos e novas responsabilidades atribuídas às instituições museais.

#### 1.2.2 - Museus em edifícios adaptados

A reabilitação de edifícios históricos e monumentais para adaptação a museus foi em alguns países como Itália, França, Espanha ou Portugal uma prática corrente, aproveitando edifícios antigos religiosos ou civis tais como conventos, mosteiros, palácios, escolas, mercados, prisões e até moinhos, para albergar e expor coleções museísticas. Este aproveitamento produziu em certos casos um desenraizamento de monumentos históricos da sua situação original, levando a UNESCO e o ICOM a impulsionar congressos, seminários e outras ações, no sentido de orientar as implantações dos museus em edifícios e monumentos históricos. Em parte graças a estas iniciativas nasce o ICOMOS, Conselho Internacional de Monumentos e Sítios Históricos, em 1965, adoptando o modelo da Carta de Veneza de 1964, antecedida pela conferência de Atenas em 1931 e precedida da Carta de Cracóvia em 2000, cujo objectivo foi promover a teoria da metodologia e da tecnologia aplicada à conservação, proteção e defesa de monumentos e sítios históricos. O ICOMOS aprova os seus estatutos em 1978 e desenvolve atividades desde então, no aconselhamento da UNESCO e na gestão do ambiente envolvente aos monumentos e à sua integração cultural (ver anexos).

---

<sup>25</sup> Michael Kimmelman é um autor americano, crítico de arquitetura para *The New York Times*.

Não podemos deixar de dar destaque à reunião conjunta ICOM-ICOMOS celebrada na Polónia em 1974, e que foi dedicada aos problemas relacionados com este tipo de intervenções. Perante a possibilidade de recuperar todos os edifícios para fins museísticos, um dos congressistas, William T. Alderson, então diretor da American Association for State and Local History, estabeleceu os seguintes critérios a utilizar na seleção das possíveis readaptações:

- 1 – “ Valor documental do lugar onde se situa o edifício, isto é, a sua possibilidade de vinculação com uma célebre personalidade ou um acontecimento histórico.
  - 2 – Valor de representatividade e respeito de uma época ou de uma determinada sociedade.
  - 3 – Valor estético do edifício histórico, não só considerado em si mesmo, mas também pela sua capacidade de se apresentar como um marco atrativo às coleções do museu.”
- (William T. Alderson 1974)

Logicamente, a estes três pontos devemos nós acrescentar o critério da boa adequação e funcionalidade para os fins museísticos, com todas as condições de sustentabilidade e defesa do meio ambiente exigidas nos nossos dias. Melhor qualidade ambiental, menor poluição, menor consumo energético, maior tempo de vida útil do edifício, melhor e mais saúde, melhoria das condições térmicas interiores, maior economia na utilização e conservação.

Frequentemente, as estruturas destes edifícios fornecem substancial inércia térmica, que é útil para moderar a temperatura, podendo assim reduzir as cargas de arrefecimento e/ou aquecimento. Como muitas vezes acontece, estes edifícios são eficazmente servidos de luz e ventilação natural, podendo as aberturas já existentes, com o seu criterioso posicionamento, ser de grande utilidade na nova distribuição arquitetónica. Além disso, a adaptação de edifícios existentes de elevado valor histórico pode contribuir para melhorar a imagem do museu.

Uma grande parte dos museus tradicionais está instalada em edifícios que não foram construídos para essa função. Esta situação provoca uma trabalhosa adaptação, uma vez que tem de ser conjugado o respeito à edificação e o carácter original do monumento, como referimos, com as exigências museológicas atuais para os diversos objetos de interesse artístico, científico ou técnico. No entanto, apesar desse esforço para se conseguir uma perfeita coerência entre a obra exposta e as infra-estruturas arquitetónico-museográficas, nem



Fig. 5 - Museu Picasso em Paris.  
Fonte: <http://www.musee-picasso.fr/>  
Acedido em 2011-01-15

sempre, em todas as obras onde se verificou essa adaptação, se obtiveram resultados satisfatórios.

Como sempre, há defensores e detractores da reabilitação e reinterpretação de edifícios antigos para fins museísticos; mas apesar disso podemos afirmar que a grande maioria dos museus está instalada em edifícios adaptados para esse efeito. Como dissemos, maioritariamente a reabilitação de edifícios históricos e monumentais tem tido em alguns países como Itália, França, Espanha ou Portugal uma prática mais frequente. Em França, onde se encontram algumas das primeiras intervenções, existem atualmente diversos exemplos



Fig. 6 - Imagem interior do Museu d'Orsay  
Fonte: <http://parisem365dias.blogspot.com/2011/10/musee-dorsay.html> acesso.11/1/15

bem sucedidos de adaptações de edifícios históricos a museus, como é o caso do Museu Picasso, em Paris (Fig. 5), demonstrando como uma coleção moderna de arte pode estar instalada num edifício do século XVII declarado de interesse histórico. Ou o Museu d'Orsay, instalado num edifício de 1902 - a Gare d'Orsay (Fig. 6) - adaptado para albergar coleções que abarcam o período entre 1848 a 1914, e onde a difícil tarefa de adaptação foi possível graças a um programa interdisciplinar em que os protagonistas principais foram a arquitecta Gae Aulenti e o inspector geral dos museus de França na época, o museólogo Michel Laclotte. Neste caso, os aspectos técnicos de iluminação, controlo do meio ambiente e segurança estão integrados num programa computadorizado que controla e regula os circuitos elétricos, a climatização e os sistemas de segurança do museu (Almeida, 1987).

Como último caso exemplar de adaptação refira-se a transformação de uma antiga igreja com mosteiro em Florença, adaptada em 1883 por Stefano Bardini, para albergar a sua coleção pessoal de antiguidades. O Museu Histórico Bardini sofreu recentemente uma nova renovação e atualização, tendo participado como caso de estudo italiano para o projeto Museus Europeus, financiado pela Comissão Europeia num dos seus Programa Quadro. Esta obra já incluiu a instalação de ventilação mecânica com sistemas de controlo ambiental com medições termo-higrométricas, medições de CO<sub>2</sub>, e com sistemas de regulação de consumos de energia através de detetores de presença, resultando em melhorias significativas no conforto dos utilizadores e nas condições de utilização e manutenção dos acervos, com significativa redução dos consumos de energia.

### 1.3 - Articulação funcional dos serviços nos Museus

Os serviços de um museu devem entender-se como um todo, sendo que é no trabalho de cada um dos departamentos *per se*, concorrendo para o conjunto, que assenta o

funcionamento da unidade museológica. Se os problemas de circulação vertical e horizontal dos Objetos, do pessoal e do público no museu, condicionam de facto o projeto arquitetónico, a isso deve ajustar-se o desenho e a relação de todas as suas áreas de recepção, de exposição, de conservação e armazenamento, de restauro, de estudo, de investigação e difusão de atividades culturais internas e externas. O que implica dentro da planificação arquitetónica a conceção dos espaços para o público e os serviços numa inter-relação de três zonas essenciais, pública, de trabalho e reservas técnicas, como diz Geoff Mattheus.<sup>26</sup> Para se decidir a situação e a relação dos espaços e os modelos de circulação há que considerar:

1. “O acesso desde o exterior para os utentes, pessoal e veículos de mercadorias.
2. As instalações para serviços, que têm que estar aptas para atuar de forma independente.
3. Pontos de controlo principais e secundários.
4. Necessidade de acessos internos às escadas e saídas de emergência para resposta a situações de alarme.
5. Circulação interna de utentes e pessoal, particularmente os idosos e incapacitados.
6. Movimento interno de coleções, exposições e outros materiais, incluindo a necessidade de manobra de equipamentos, como por exemplo gruas ou tapetes rolantes.
7. Circulação vertical, como escadas, rampas, escadas mecânicas, ascensores para os utentes, pessoal e exposições, com disposição dividida ou conjunta.
8. Portas amplas para permitir o movimento da equipa de trabalho e das exposições, bem como em situações de emergência a passagem de macas.

O museu é também um conjunto de relações estruturais, espaciais e ambientais que devem estar funcionalmente à disposição das coleções, da sua conservação e exposição e sobretudo, numa perspectiva sociocultural, ao serviço do público visitante”.  
Geoff Mattheus. (1986)

Qualquer projeto rigoroso de museu deve ser o resultado de um processo longo e coletivo, em que a definição do programa deve conduzir à realização arquitetónica integrada. De outro modo, produzir-se-á uma inevitável disfunção organizativa museográfica, que impedirá a materialização das suas grandes vocações: conservação exposição, estudo, documentação, educação e cultura.

---

<sup>26</sup> Membro da Sociedade Portuguesa de Designers. Formado em Sistemas de Gestão e Ciências pela Universidade de Hull em 1996, trabalhou no Museu Marítimo Nacional entre 1980 e 1986, e entrou na Associação de Museus em 1983 e na Sociedade de Pesquisa de Design em 1985. Ainda foi professor convidado da Academia Reinwardt na Escola de Museologia, e na Escola Nacional das Artes, Amsterdam.

Quando se fala em espaços interiores de serviços, estamos a incluir os espaços de reserva técnica. Estes espaços alojam a maior parte das coleções dos museus, dado que segundo os novos critérios de exposição exhibe-se somente ao público uma pequena parte das coleções que representam. Por isso, ao realizar a programação de um museu é necessário ter em conta a distribuição de espaços segundo as funções e atividades que se devem levar a cabo. Isto pressupõe que a dita programação não deve ser concebida em abstracto, deve ter em conta os seguintes fatores: características do museu, natureza das coleções, programas de atividades, política de aquisições e incremento de fundos, relação espacial com outras áreas públicas e privadas do museu e as condições de conservação e segurança das coleções.

A adequação do projeto arquitetónico ao programa museológico é um trabalho que deve ser realizado por uma equipa interdisciplinar, como já foi dito, cujos actores principais devem ser o museólogo - que tem que definir os objectivos, as funções e atividades - e o arquiteto - a quem compete dar forma ao projeto, isto é, criar o museu.

A bibliografia atual também evidencia um novo conceito de museu que supera definitivamente a ideia do edifício antigo para ir adequando a sua morfologia às coleções que alberga e ao programa museográfico que vai desenvolver, pois além das coleções deve ter-se em conta o público, que como elemento essencial e participativo no museu, exige novos espaços para a comunicação, a educação e o lazer.

Atualmente, os museus são visitados por milhões de pessoas e tornam-se muitas vezes marcos e símbolos de desenvolvimento na sua área geográfica, assumindo com frequência o papel de instituições importantes para envolver e educar o público. Considerando a “educação” de uma forma abrangente, inclusive na vertente de sustentabilidade do planeta, este será um local por excelência para a abordagem de novos comportamentos ambientais. De facto, se o projeto dos museus endereçar para problemas de eficiência de energia e sustentabilidade, pode o edifício tornar-se ele próprio num símbolo educacional e de consciencialização social sobre o ambiente e ecologia, tornando perceptível ao público a utilização racional de energias saudáveis e renováveis, influenciando o seu uso por particulares, através do esclarecimento fundamentado dos mesmos, tornando-se assim o museu um potencial veículo de uma efectiva demonstração e persuasão.

A importância na adequação do projeto arquitetónico passa também pela seleção e implantação de meios de condições especiais ou extraordinárias acessíveis a todo tipo de públicos. Em Portugal, muitos museus já dispõem de infra-estruturas arquitetónicas de acessos apropriados e outros dispositivos, como publicações em braille e audioguias, para que o acesso físico e perceptivo seja uma realidade para todos. No entanto, a acessibilidade comporta outras dimensões que o GAM (Grupo para a Acessibilidades nos Museus) ajuda a

melhorar em todos os museus e para todo o tipo de público com necessidades especiais, físicas, intelectuais, ou sociais, disponibilizando informações e aconselhamento. Existe também na Câmara Municipal de Lisboa o núcleo de acessibilidades, especializado nos EUA (com bolsas da FLAD, Fullbright e Gulbenkian) que em 10 anos de trabalho em Portugal projetou a adaptação de vários edifícios públicos e colaborou como consultor em planos, projetos, normas técnicas e manuais, ajudando ainda a interpretar a legislação portuguesa relativamente às exigências legais a cumprir no nosso país, nomeadamente o decreto-lei 163/2006 de 8 de Agosto sobre o regime de acessibilidades aos edifícios e estabelecimentos que recebem público. Esta lei tem particular importância no que diz respeito às consequências que poderão advir de um acidente ou reclamação por parte de um visitante/utente de um Museu ou edifício público<sup>27</sup>.

Além das condições, acabadas de referir, relacionadas com o público ou serviços em todo o tipo de edifícios de Museus, não podemos deixar de dedicar o sub-capítulo seguinte (1.4) às condições a observar nos espaços interiores necessárias à preservação e sustentação das diversas obras e Objetos expostos e em reserva, assim como às condições exteriores, que podem interferir com o equilíbrio do ambiente nos espaços interiores.

#### **1.4 - Condições de ambiente no interior e exterior dos Museus**

Os primeiros sinais visíveis de preocupação com as condições do ambiente em Museus remontam ao século I a.C. com Vitrúvio,<sup>28</sup> quando este recomenda nos seus livros que “para manter as paredes secas, estas devem ser drenadas, se necessário recorrendo a valas com cascalho e restos de carvão.” Esta afirmação mostra que o problema das condições ambientais já era considerado nessa altura e estava associado ao conceito de salubridade. A recomendação de Vitruvius de que as paredes devem ser drenadas é o que ainda atualmente se faz, tanto nas paredes expostas ao ar livre como nas que se encontram enterradas perifericamente aos espaços em caves. As que estão ao ar livre são normalmente constituídas por duas paredes (parede dupla) e a drenagem é feita por pequenos tubos (drenos) devidamente localizados, por onde saem as humidades ou condensações que se formam no intervalo das duas paredes, designado por caixa de ar (Vitrúvio, no seu livro VII cap.IV, já recomendava esta mesma técnica construtiva para evitar as humidades). As paredes enterradas, também nos dias de hoje, recebem da mesma maneira drenagens que podem ser constituídas por brita ou cascalho (como Vitruvius

---

<sup>27</sup> Retirado de: Acessibilidade aos edifícios – Conceito e exigências legais, 13 de Março de 2009

<sup>28</sup> Vitruvius Pollio, foi um arquiteto e engenheiro romano que viveu no século I a.C. e deixou como legado a sua obra em 10 livros, aos quais deu o nome de De Architectura (aprox. 27 a 16 a.C.). Esta obra teve a primeira edição impressa em Roma, em 1486.

também já recomendava). O carvão já não se usa, mas em sua substituição utilizam-se outros materiais com idêntica finalidade, que é a de desviar as águas que se infiltram no solo provenientes das chuvas ou dos níveis freáticos elevados. Por aqui se pode ver que os problemas associados às infiltrações de humidade para dentro dos edifícios em geral e dos museus em particular, sempre representaram um caso muito especial na tipologia arquitetónica e construtiva.

A evolução destas preocupações com a adequação ao meio ambiente tem tomado forma não apenas nos novos propósitos de construção de museus, mas também nos que foram ou vão sendo ampliados, renovados e remodelados. Pois além das humidades, qualquer edifício está sujeito diariamente a alternâncias de temperatura, produzindo com vários graus de amplitude (dependendo da sua localização geográfica) dilatações e contrações dos materiais, que ao longo do tempo os conduz à degradação. Todos os materiais têm um grau de elasticidade, com percentagens diferentes entre cada um, mas apenas conseguem resistir a estas variações até um certo limite, entrando em rutura a partir desse limite. Essa rutura, em maior ou menor extensão, processa-se de forma lenta e progressiva sem grande visibilidade inicial, pois todo o processo começa por micro-fissuras e só mais tarde se vêem as ditas fissuras, transformando-se em fendas bem visíveis se não forem rapidamente colmatadas, bloqueando o processo que lhes deu origem. Uma vez criadas estas fendas, aparecem também (novamente) os fenómenos de infiltração de humidade, que por sua vez propiciam o depósito e desenvolvimento de matérias orgânicas, que no decorrer do tempo tendem a aumentar de volume provocando a degradação dos edifícios, quer pela oxidação das armaduras quer pela rutura com a desagregação dos materiais.

Nesta experiência diária impõe-se a observação e o retirar de conclusões, que sirvam para influenciar positivamente as novas concepções arquitetónicas, as quais, combinadas com uma aproximação bioclimática desde o projeto, darão origem a edifícios que podem ser uma fonte de ensino excelente para a percepção energética, ecológica e a sensibilização ambiental em geral. Esta sensibilização passa também pelos resultados que, positivos ou negativos, se forem revelando nos objetos expostos no museu sob a influência das condições de salubridade (como dizia Vitruvius) conseguidas nos espaços interiores.

Reativamente às condições térmicas, diremos que a temperatura interior depende diretamente do isolamento que este apresentar face às condições climáticas exteriores. Sempre que o material de construção for pouco isolante, dever-se-á reforçar o material isolante térmico, que complemente a capacidade intrínseca do material de construção utilizado, para proteger as condições ambientais interiores das exteriores.

Relativamente a este ponto, interessa explicar que a transmissão de calor se processa

segundo três mecanismos: por condução, por convecção e por radiação. A condução térmica ocorre quando se aquece um corpo sólido (por exemplo, uma barra metálica) num determinado ponto, e o calor se difunde por toda a restante superfície desse mesmo corpo. A convecção ocorre quando, por exemplo, uma massa de ar quente embate num corpo sólido e lhe transfere parte da sua carga térmica aquecendo o corpo. A transmissão de calor por radiação ocorre quando, por exemplo, os materiais sofrem o efeito de uma fonte de calor idêntica à que o nosso corpo sente ao receber diretamente a radiação solar (este processo de transferência térmica cessa de imediato quando nos colocamos à sombra).

Do mesmo modo, um edifício encontra-se sujeito a estes três mecanismos de transferência térmica. Para manter as condições adequadas à temperatura de conforto interior, temos de o isolar das temperaturas normalmente adversas do lado exterior (calor no Verão e frio no Inverno), ou seja é necessário contrariar os mecanismos de transferência de calor ou de frio com o exterior. Os pontos críticos para as trocas de calor entre o interior e o exterior de um qualquer edifício são as paredes expostas ao exterior, portas e janelas, teto/cobertura e o pavimento do piso térreo.

Tal como as paredes, as portas e janelas permitem a transferência de calor com o exterior por convecção e condução, no entanto, devem-se ter em consideração duas zonas distintas, a zona envidraçada e a zona não envidraçada. De forma a diminuir as transferências térmicas com o exterior, as zonas envidraçadas deverão ser constituídas por vidros especiais duplos ou triplos, separados por uma câmara de ar que atua como isolante térmico. As caixilharias que suportam as zonas envidraçadas deverão ter corte térmico, ou seja, terem embutido um material isolante que evite as transferências térmicas pelos pontos de ligação das várias peças componentes. O sistema de fecho das portas e janelas, deve ser tal que impeça a circulação de ar entre o interior e o exterior; sempre que tal não aconteça, as portas e janelas devem ser devidamente calafetadas.

O telhado, para além dos mecanismos de condução e convecção térmica, está particularmente sujeito à incidência direta dos raios solares, de onde resulta a transferência de calor por radiação; assim, para além de um isolante que atenua a condução térmica, dever-se-ão instalar componentes que atenuem a transferência de calor por radiação, constituídos por materiais refletores. As cores dos materiais também têm importância na reflexão ou absorção do calor, pois como sabemos genericamente o branco reflecte e o preto absorve.

Ao nível do piso térreo, as transferências térmicas ocorrem por condução do solo para este piso e novamente por condução deste para o seu interior; mas se também forem tomados alguns cuidados na elaboração do projeto e na construção, como por exemplo, a criação de uma caixa de ar sob o piso térreo, este fenómeno será minimizado.

Existem áreas geográficas no nosso planeta onde o conforto térmico ocorre de uma forma natural e quase durante todo o ano. E a este nível, o nosso país tem condições climáticas excepcionais, com temperaturas entre os 18 e os 26 graus. Porém, os seus picos de frio no inverno e de calor no verão, com temperaturas que chegam a atingir menos 20 graus à mínima e mais 20 graus à máxima, fazem com que certas regiões do país oscilem ao longo do ano entre os -2 a +46 graus, obrigando por isso a que, mesmo em Portugal, se devam ter cuidados especiais em relação aos edifícios, nomeadamente aos destinados aos museus.

Só a partir do século XVIII é que passaram a haver instrumentos de medida que permitiram avaliar a verdadeira temperatura e humidade existente em cada local. Não foi possível a introdução do termómetro na vida quotidiana antes do século XVIII uma vez que este instrumento de medida só foi inventado por Fahrenheit em 1720, e o higrómetro, medidor de humidade, só aparece no século XIX. Até aos primórdios do século XIX, as condições de secura, humidade e temperatura ambiente eram definidas pela avaliação sensorial, e pelos efeitos visíveis sobre os Objetos, tomando como referência os mais sensíveis, cujo comportamento podia servir de orientação pela dilatação ou contração, pelo brilho ou opacidade, pela rigidez ou flexibilidade. Também servia como referencial o estado de conservação dos espaços, onde os bolores indicariam infiltrações de água ou as molduras que rachavam pelo ambiente estar demasiado seco. Foi Georges Duby<sup>29</sup> especialista em história medieval, que no século XX escreve algo sobre a noção do conforto a propósito do interior das residências da burguesia dos Países Baixos, afirmando que “São aparentes o desafogo, a ordem tranquila e um certo sentido de conforto e comodidades”. Por isso, atente-se que o próprio conceito de condição ambiente não tinha ainda um século quando o seu introdutor na Alemanha, Max von Pettenkofer<sup>30</sup>, em 1862 lhe acrescentou a criação do conceito de higiene científica do ambiente.

Assim sendo, importa reflectir sobre as razões que poderão ter levado a que a introdução do aquecimento nas instituições museológicas se tenha processado à margem dos estudos da salubridade do ambiente, visando unicamente o conforto, e tenham sido técnicos de outras áreas e não conservadores de museus que definiram as primeiras regras a observar nesses casos. Também não podemos esquecer o passado do edifício, porque os «edifícios modernos calam-se mas as ruínas falam» e a história das peças que compõem a sua coleção dão-nos algumas pistas, visto que não é a mesma coisa conservar uma cadeira do século XVI ou um móvel moderno. Em 1978, é publicada a primeira edição do livro de

---

<sup>29</sup> Historiador Frances Georges Duby (1976) *O Tempo das Catedrais: a Arte e a Sociedade (980-1420)*

<sup>30</sup> Max von Pettenkofer estudou farmácia, ciência e medicina em Munique, e formou-se em 1843.

Gary Thomson,<sup>31</sup> *The Museum Environment*, onde, logo no início do capítulo consagrado à humidade se pode ler que «É bom partirmos, desde já, do princípio de que, num museu, o controlo da humidade é muito mais importante do que o controlo da temperatura». Esta afirmação, feita num tom perentório (que Thomson só muito raramente utiliza), marca em 1978 o início de uma rutura que, no entanto e a despeito de tudo o que se ia aprendendo, só será assumida claramente em 1994 no Congresso do Instituto Internacional de Conservação, em Ottawa.

“O intervalo de temperatura adoptado aos museus, exceptuando-se casos especiais de armazenamento a longo prazo, corresponde aos valores determinados pelo conforto humano. Ora, este intervalo é relativamente estreito, 5 a 10 graus no máximo. Por isso, a humidade relativa é a principal variável no ambiente dos museus para a qual não há nenhum valor ou intervalo que se possa considerar ótimo.” (Thomson p.130)

Muitas referências a um valor ótimo para a humidade relativa citam Gary Thomson, tendo este autor definido 55% como um valor médio entre o limite superior de 65/70%, para prevenir a formação de bolores e 40/45% para evitar as fendas nos materiais como a madeira e o marfim, acentuando que a humidade relativa deve ser estável, embora reconheça que haja muito pouca informação sobre essa estabilidade<sup>32</sup>. Sabendo-se que até a nossa produtividade é condicionada pelas condições do conforto térmico, e que precisamos de sentir conforto para nos conseguirmos concentrar (todo o desconforto motiva distração e interrompe o nosso raciocínio), o conforto térmico deve ser medido, controlando a temperatura para que esta seja estável e humidade relativa equilibrada.

É importante notar que os valores de uma conservação apropriada dependem da taxa dos valores aceitáveis para variações diárias e sazonais. Para a conservação dos Objetos do museu, é importante o controlo da temperatura, da humidade, da luz e da contaminação do ar. Cada um destes fenómenos pode afetar as peças existentes, tanto em exposição como em reservas técnicas ou arquivos. As mudanças de humidade são as mais perniciosas, a menos que a humidade relativa se mantenha constante, porque um aumento de temperatura causará *secura*, produzindo rachas em madeira, papel, cola animal e couro.

No depósito (reserva), ao contrário da exposição, as baixas temperaturas (entre 5 e 10°C) podem ser realmente benéficas para a maioria do material de arquivo, auxiliando também a reduzir os problemas de bio-deterioração. Contudo, existe o problema do vapor de água, que pode condensar-se sobre os Objetos trazidos diretamente do armazém frio para o escritório ou para a sala de exposições. O ponto de condensação numa sala a 20°C e 55% de HR é de 11°C, por isso, os Objetos cujas temperaturas sejam inferiores a 11°C irão sofrer condensações.

<sup>31</sup> Robert Howard Garry Thomson, natural da Ilha Carey, Malásia. Formou-se na Inglaterra e foi investigador Químico na National Gallery (Londres) de 1955 a 1985.

<sup>32</sup> Casanovas, Eng<sup>o</sup>. Tese sobre Conservação preventiva e preservação das obras de arte (1926-2008).

Nos Objetos frágeis e não absorvedores de humidade, cujos materiais têm coeficientes de dilatação desiguais, expandindo-se e contraindo-se a diferentes níveis (por exemplo, o esmalte nos metais), quando ficam sujeitos a uma alteração anormal da temperatura podem deteriorar-se. Embora no ar a água não seja visível ela está em quase todo o lado, até o nosso corpo se compõe de água em 65% do seu peso. Se as plantas e os animais contêm grande quantidade de água, é normal que os produtos extraídos de ambos contenham humidade. Se a madeira, o marfim ou o osso se secam, encolhem e podem rachar ou deformar-se, os produtos orgânicos laminados como o papel, o pergaminho, o couro e os tecidos naturais perdem flexibilidade e as suas fibras quebram. Pelo contrário, em condições de excessiva humidade não é fácil que ocorram essas alterações, embora sejam os locais perfeitos para o desenvolvimento de fungos e bolores.

A absorção de humidade incha os Objetos e a secura contrai-os, aumentando e diminuindo respetivamente o seu volume. Ao mudar de tamanho, muda também a sua forma e como muitas peças de museu são feitas de diferentes materiais, são mesclados, raramente respondem às mudanças de humidade do mesmo modo, pelo que podem produzir-se ruturas. Também se podem quebrar os Objetos compostos de peças do mesmo material, sob o efeito da ocorrência de variação diferencial da humidade ou temperatura nas diferentes direções. A madeira, o marfim e o osso aumentam mais nos veios longitudinais que ao longo de todas as outras direções. Na categoria dos mais sensíveis encontram-se as pinturas sobre tela, os móveis envernizados, os instrumentos musicais e os Objetos de madeira tropical.

Como se pode depreender, a humidade no interior dos museus pode ser muito perniciosa, mas apesar de tudo o que nos deve merecer ainda maior atenção é a **humidade relativa**. Porque normalmente é esta que faz com que apareçam condensações mesmo com graus de humidade baixos, basta para isso que a temperatura também o esteja. Porque a humidade relativa é uma relação entre dois valores; a quantidade de vapor de água existente num determinado volume de ar e o valor máximo que esse volume pode absorver (humidade absoluta) antes de se dar início à condensação (saturação). Ou seja, a humidade relativa expressa-se em percentagem e é a relação entre a massa de vapor de água ( $m$ ) existente num determinado volume de ar e a massa de vapor ( $m$ ) que deverá existir para torná-lo saturado à temperatura considerada.

Existe uma relação estreita entre a temperatura e a humidade relativa de um local: sempre que a temperatura sobe a humidade relativa desce, e inversamente, sempre que a temperatura desce a humidade relativa sobe. Este fenómeno simples tem uma explicação física importante: quanto mais elevada for a temperatura, maior a quantidade de vapor de água que o ar pode absorver sem condensar, ou seja, mais elevado será o valor de

saturação. Esta relação entre a temperatura, a humidade relativa, a humidade absoluta e a saturação vem traduzida graficamente no chamado **diagrama de Mollier** que se reproduz como exemplo de aplicação na figura 7.

A humidade relativa atua sobre as substâncias orgânicas de diversas formas, decorrentes do seguinte processo: sempre que a humidade relativa é superior a 70% a estrutura aumenta de dimensões, torna-se plástica, perde rigidez, e simultaneamente, fica muito vulnerável à formação de fungos. Quando a humidade relativa desce abaixo dos 40% a estrutura contrai-se, aumenta a rigidez, as substâncias orgânicas têm tendência a ficar quebradiças, e nos têxteis dá-se a formação de eletricidade estática. Nos metais, surge a corrosão ativa a partir de 50%. Se o valor dessa humidade relativa oscilar bruscamente, pode provocar danos consideráveis e irreparáveis, alterando a estabilidade dimensional dos Objetos com o aparecimento de fendas e deformações várias, provocando a migração de sais na cerâmica e tornando opacos certos tipos de vidros e de cristal. Daí o princípio defendido por Garry Thomson (1978) e por todos os especialistas, da prioridade na estabilidade da humidade relativa, ou seja, de que a humidade relativa não deva ter oscilações superiores a 10% nas 24 horas. Portanto, se as coleções de um determinado museu se encontram, comprovadamente, em boas condições de conservação a 40, 50, 60 ou 70% de humidade relativa, importa manter esse valor com o maior rigor possível. Mas é necessário ter a certeza que as coleções estão de facto em boas condições, e para isso há que ultrapassar a simples observação sensorial e ir mais longe na análise, recorrendo ao raio X ou aos lasers. Porque a partir da medição do grau de humidade existente é possível corrigi-lo usando simples aparelhos desumidificadores ou humidificadores. Mas em simultâneo com a ação de qualquer processo de desumidificação é indispensável averiguar as causas da humidade. Com efeito, há muitos casos em que o aumento da humidade relativa do ambiente provém de deficiências várias da construção que importa corrigir, tais como frinchas nas janelas, infiltrações nas coberturas, humidade estrutural proveniente do solo, ou até condensações produzidas pelos próprios sistemas de climatização. Se não se corrigirem esses defeitos o processo de desumidificação pode agravar a situação obrigando ao funcionamento contínuo dos aparelhos, o que, por razões de segurança e de consumo de energia, é desaconselhável.

Tem demonstrado a prática museológica destes últimos anos que só há no fundo dois valores que podem servir de referência universal:

- Os metais devem estar em ambiente de humidade relativa inferior a 50%.
- As matérias orgânicas provenientes de escavações subaquáticas têm de ser conservadas em ambientes saturados a 100%.

Para além destes dois extremos há ainda a assinalar o valor de referência de 70% de humidade relativa, que representa um limiar importante para o comportamento de diversas espécies musealizadas, nomeadamente pinturas, cuja resistência estrutural diminui de forma acentuada a partir deste valor. Há museus com humidade relativa média inferior a 40% onde tudo está em perfeitas condições e outros com humidade superior a 60% onde coleções similares se encontram, igualmente, em bom estado. A relação de equilíbrio em cada situação pode ser obtida com a ajuda do diagrama de Mollier (Fig.7) que a seguir se apresenta.

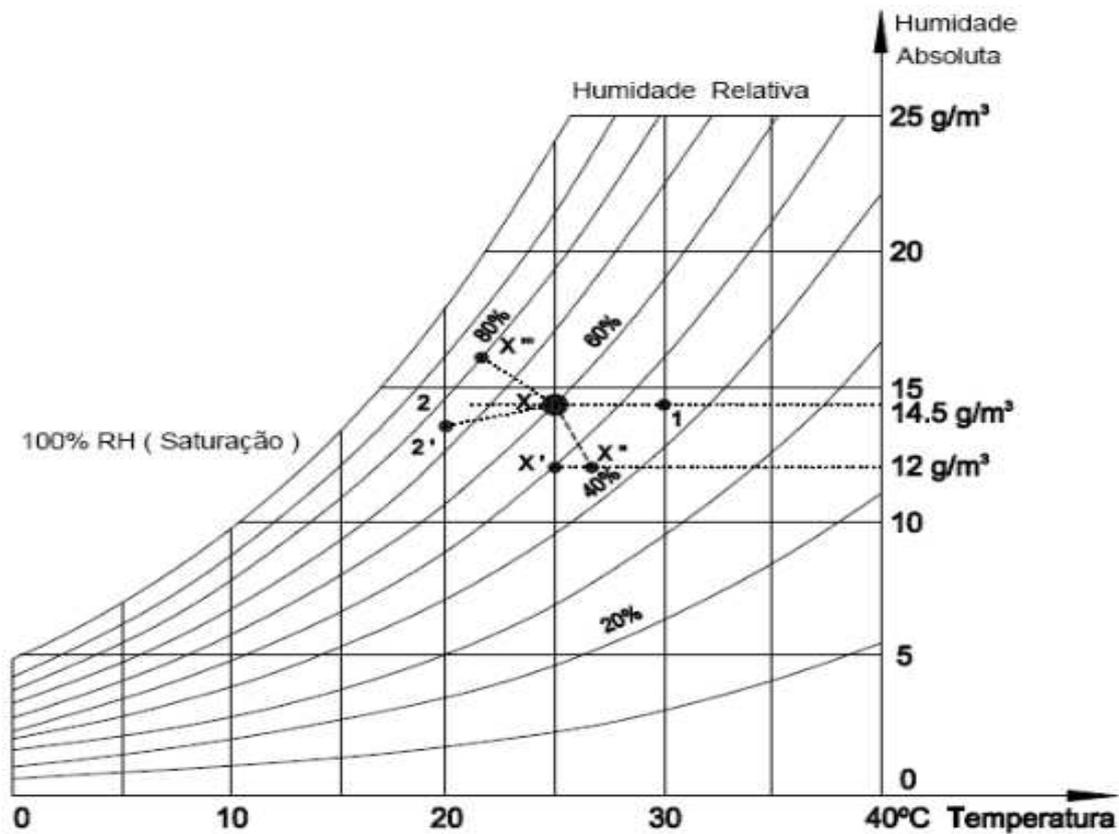


Fig. 7 - Diagrama de Mollier  
Fonte: Instituto dos Museus e da Conservação (2010)

### Exemplos aplicados.

#### 1º Ponto X:

temperatura 25° C  
humidade relative 60%  
humidade absoluta 14,5 g/m<sup>3</sup>

#### 2º - Se aquecermos até ao ponto (1)

Teremos:  
temperatura 30° C  
humidade relative 45%  
humidade absoluta 14,5 g/m<sup>3</sup>

#### 3º - Se arrefecermos até ao ponto (2)

Teremos:  
temperatura 20° C  
humidade relative 80%  
humidade absoluta 14,5 g/m<sup>3</sup>

- Se o arrefecimento for obtido com equipamento de produção de frio, há sempre uma redução de humidade absoluta pelo que a humidade final será provavelmente 75% (ponto 2')

4º - Se com a sala no ponto X pretendemos baixar a humidade relativa com um desumidificador de absorção, poderemos chegar ao ponto X'

temperatura 25° C  
humidade relative 50%  
humidade absoluta 12 g/m<sup>3</sup>

(Na realidade há sempre um ligeiro aquecimento decorrente do funcionamento da unidade e a temperatura final será provavelmente de 26 - 26,5°C (X'').

5º - Se partindo do ponto x quisermos aumentar a humidade relativa por pulverização, o processo é mais complexo do que o referido e é representado pelas letras x - x''' cujas coordenadas são:  
temperatura 23° C  
humidade relative 80%  
humidade absoluta 16 g/m<sup>3</sup>

Nestes exemplos aplicados ao diagrama de Mollier podemos fazer as leituras da seguinte forma:

Temos um sistema de eixos cartesianos com as suas coordenadas na horizontal e vertical, em que na linha horizontal (abscissa) estão marcados os valores das Temperaturas, na linha vertical (ordenada) estão marcados valores da Humidade Absoluta e as linhas curvas no interior deste sistema correspondem aos valores da Humidade Relativa. Então, para sabermos qual será a situação de equilíbrio em qualquer ambiente, isto é, para aí não ocorrerem condensações, a relação entre a temperatura existente e a humidade absoluta deve corresponder uma certa percentagem de humidade relativa. Marcando a temperatura no eixo das abcissas e o valor da humidade absoluta no eixo das ordenadas, traçando a seguir respetivamente as retas vertical e horizontal a partir desses dois pontos, o cruzamento dessas mesmas retas define um outro ponto que corresponde à percentagem de humidade relativa, de acordo com a posição da linha curva mais próxima. Como se pode ver no primeiro caso que aqui se apresenta, o ponto X que está no cruzamento da reta vertical correspondente à temperatura de 25º C com a recta horizontal correspondente à humidade absoluta de 14,5 gr/m<sup>3</sup> dá-nos uma humidade relativa de 60%. O exemplo seguinte altera a temperatura para 30ºC e logo desce a humidade relativa para 45%. No 3º caso altera a temperatura para 20ºC mantendo-se a humidade absoluta, surge a humidade relativa a 80%. Se desumificarmos aquele ambiente, conforme o exemplo 4º, e passarmos a ter humidade absoluta de 12 g/m<sup>3</sup> com uma temperatura de 25ºC, verificamos que a humidade relativa passa para 50%.

Confirma-se com estes exemplos que a humidade absoluta pode ser aumentada para cada valor da temperatura até chegar ao valor máximo de saturação a partir do qual se dá a condensação, sendo que a humidade relativa passa ao valor 1 nesse preciso momento, ou seja passa a confundir-se com a humidade absoluta. Porém, se mantivermos fixa a humidade absoluta e aumentarmos a temperatura, a humidade relativa diminui porque com temperaturas mais elevadas o ar absorve mais humidade antes de condensar e por isso a massa de humidade existente passa a ser percentualmente inferior em relação à que lá podia existir até chegar ao valor da saturação.

Esta relação das humidades e temperaturas tem grande significado na medida em que por experiencias efetuadas se concluiu que os materiais tem comportamentos diferentes em função destes valores, permitindo referenciar a partir daí certos intervalos de estabilidade entre valores máximos e mínimos admissíveis para cada material.

São esses valores que se apresentam a seguir nos Quadros 1 e 2 de forma resumida e organizada, incluindo os efeitos produzidos se estes limites forem ultrapassados, bem como as principais causas que lhes deram origem e os efeitos produzidos em qualquer

tipo de acervo. Os mesmos quadros ainda nos dão valores de referência de acordo com a sensibilidade dos materiais a efeitos da humidade e temperatura. Toda esta problemática tem origem nas condições existentes tanto no interior como exterior dos museus, e terá efeitos agravados mais ou menos perniciosos ainda em função do fenómeno designado por poluição, externa e interna.

A poluição de origem externa, embora variável conforme a localização<sup>33</sup>, assume hoje características semelhantes em qualquer museu, quer estes se situem dentro de uma zona urbana ou fora dela. Assim, é evidente que os níveis de poluição medidos no Museu Nacional dos Coches serão superiores aos que se observarão no Museu Nacional do Teatro, mas os poluentes serão os mesmos, ou seja, os produtos provenientes dos gases dos escapes SO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> ou das chaminés que expõem os gases da combustão dos produtos fósseis, eventualmente ozono<sup>34</sup> são idênticos.

Agente de degradação		Deterioração	Causas
Humidade Relativa	Valores muito altos ou muito baixos	-Bolors -Corrosão (valores elevados) -Diminuição da capacidade resistente (valores baixos)	Mudança do tempo -Humidade de condensação -Humidade de infiltração -Ventilação insuficiente
	Variações rápidas	-Fraturas -Dobras -Deformações	-Humidade ascensional -Limpeza
Temperatura	Valores altos ou baixos	-Aumento da deterioração -Diminuição da capacidade resistente	-Aquecimento inadequado -Mudança de tempo/clima -Iluminação -Isolamento do edifício
	Variações rápidas	-Fraturas -Dobras -Deformações	Insuficiente -Controlo do aquecimento Insuficiente

Quadro 1 - Agentes de degradação, deterioração e respetivas causas.  
Fonte: Francisca Hernandez (1998)

Material	Sensibilidade à humidade Máx. e Mín.%		Efeitos sobre as dimensões
Papel*	60	45	Dissecação e congelamento rápido originam uma perda de flexibilidade.
Papel tenso**	60	45	Telas, desenhos a pastel tenso nas molduras contraem-se e rasgam-se numa atmosfera seca.
Fotografia, e filmes	45	30	Com humidade relativa excessiva, suaviza a gelatina. Com humidade relativa, demasiado seca, o papel e a gelatina partem-se.
Pergaminho, vitela	Estabilidade 55%		Extremamente rápidos. A secura leva a uma perda de flexibilidade.
Couro	60	45	Variável de acordo com o processo de curtimento. Encolhe quando a humidade relativa é elevada.

<sup>33</sup> «Tourist Pollution. Museum Management and Curatorship», 1991, pp. 45-52.

<sup>34</sup> Conservação e Condições Ambiente de Luís Efem e Elias Casanovas (1992).

Tecidos, de fibras naturais	60	45	Encolhem quando as fibras incham e abrandam, quando as fibras encolhem. A seda e a lã são mais sensíveis aos danos da humidade do que o algodão ou outro tecido. Os panos pintados são muito sensíveis às mudanças de humidade.
Osso, marfim	60	45	Muito lentos, excepto para as folhas finas. O marfim é mais sensível aos danos da humidade do que os ossos ou Objetos esculpidos em osso de baleia.
Madeira	60	45	Lentos, variam segundo o corpo e os vernizes anti-humidade. Afetados pelos ciclos semanais, especialmente ciclos sazonais.
Madeira pintada***	60	45	A secura, causa de encolhimento, leva a uma deterioração particularmente grave dos Objetos em que a madeira é o suporte intrínseco de outros materiais. <sup>35</sup>
Anéis, piteira, penas	60	45	Em caso de humidade inferior a 30% e de humidade relativa do ar inferior a 15%, estas matérias vão endurecer e quebrar. <sup>36</sup>
Plásticos			Os plásticos normalmente não são sensíveis às mudanças de humidade. Alguns criam fungos e a dimensão e a sua dimensão muda a humidades relativas elevadas.
Metais (polidos)	Inferior a 30%		Nenhuma influência sobre a dimensão em caso de mudança da humidade. <sup>37</sup>
Pedra, arenito, porcelana, chumbo, estanho			Geralmente muito resistentes às mudanças de humidade relativa e de temperaturas normais. No entanto, é possível a sua deterioração em caso de calor, frio e humidades extremas.
Vidro	60	45	Evitar mudanças rápidas de humidade e temperatura. O vidro "ambite" corre o risco de se danificar em condições de humidade muito elevadas ou muito baixas.
Arqueológicos bronze, pedra, cerâmica, gesso terracota, cerâmica coz. a baixa temperat.	O mais seco possível		Os Objetos arqueológicos que têm estado muito tempo enterrados podem estar contaminados ou ser atacados por sais que são higroscópicas. "A doença do bronze" pode manter-se em estado latente numa atmosfera seca.

\*(45% ótimo) \*\*(Limite mínimo) \*\*\* (Crítico)

Quadro 2 - Humidade e Temperatura; Precauções para a Conservação  
Fonte: Manual de Museologia, pp.197-200. Francisca Hernández (1994) adaptação do próprio.

Por outro lado temos que considerar aquilo a que os autores anglo-saxónicos designam por «particulate matter», ou seja, substâncias presentes sob forma de partículas: pó, fuligem ou resíduos de tabaco. Em termos de origem interna são de considerar não só os poluentes tradicionais, pó e fumo de tabaco, mas também os que mais recentemente se identificaram, como o ozono, que pode ser originado no interior dos museus e, sobretudo, os

<sup>35</sup> Por exemplo uma placa de madeira pintada. As esculturas de madeira, o mobiliário, as maquetas, os instrumentos musicais e objectos de arte decorativos também podem estar revestidos com uma camada de gesso, depois pintados ou dourados. Estas capas rígidas são mais ou menos sensíveis às flutuações normais da humidade; os materiais contraem, as capas comprimem-se, levando ao torcimento, bolhas e escamação. Em caso de humidade extrema (inundação, condensação, superfície molhada), o gesso, as juntas de cola e algumas pinturas podem amolecer e dissolver.

<sup>36</sup> Transformam-se em pó quando se lhes mexe. Se não se lhes mexer até que se volte às condições normais, reabsorvem a sua humidade normal e voltam a ter as suas características físicas normais.

<sup>36</sup> As dimensões do metal podem reagir a mudanças extremas de temperatura. Experiências realizadas pelo Departamento da Marinha dos EUA mostram que não há nenhum sinal de corrosão em superfícies de aço a 15% ou menos de humidade relativa do ar. A corrosão manifesta-se 9 meses depois de humidade relativa a 30%. A corrosão está presente ao fim de um dia a 90 % de humidade relativa do ar. O cobre e o bronze não se mancham a uma humidade relativa do ar a 15 % ou menos.

poluentes libertados pela coleção como o dióxido de carbono proveniente da degradação de matérias celulares, e os ácidos voláteis libertados pela madeira, pelos aglomerados, certos tipos de cartão, etc. Por fim importa considerar ainda o pó e o anidrido carbónico dos visitantes, proveniente da sua respiração, pois cada visitante liberta no verão em média 56 gramas de água e 100 kcal por hora.

Também acontecem alterações de natureza biológica que em climas quentes e húmidos podem ser consideradas como as principais causa de degradação de acervos<sup>38</sup>, como ataques de insetos, traças e baratas, bactérias e fungos, crescendo estes com maior intensidade a humidades relativas superiores a 65%. Estas alterações serão mais agravadas se as condições térmicas, de ventilação ou temperaturas não estiverem devidamente reguladas nos níveis adequados a cada situação e/ou local, e sobretudo se os meios utilizados para essa regulação não forem os mais aconselháveis ou se não forem devidamente controlados. Para isso, é fundamental usarmos equipamentos baseados em novas tecnologias e consumirmos energias limpas e renováveis, coisa que ainda não se verifica na maioria dos museus, como a seguir se demonstra.

No decorrer da investigação, observamos um largo número de Museus procurando avaliar a utilização que estes já fazem das energias renováveis e das novas tecnologias, tanto em edifícios construídos de raiz para museu como em edifícios adaptados. Esta avaliação consistiu numa análise visual e de recolha de informação escrita e/ou verbal dada pelos responsáveis daqueles Museus. A nossa sensibilidade técnica permitiu facilmente diagnosticar a realidade de cada um deles, cuja síntese se apresenta.

### **Museu da Língua Portuguesa - São Paulo, Brasil**

O Brasil é hoje um país com grande índice cultural no campo da museologia. Tem diversos museus por todo o país e museólogos qualificados. O Ministro da Cultura Gilberto Gil no tempo do Presidente Lula da Silva, assessorado por um importante museólogo da atualidade, Mário Chagas<sup>39</sup>, deu prioridade à revitalização dos museus brasileiros e do património histórico do país, com a tomada de medidas para a modernização dos edifícios e o apoio a projetos de preservação de acervos. No mesmo âmbito, criou o Fórum Nacional de Museus, a semana dos Museus e a MUSAS – Revista Brasileira de Museus e Museologia. Estabeleceu também diversas parcerias com Portugal, nomeadamente a

<sup>38</sup> ARC - Revista Brasileira de Arqueometria Restauração Conservação. Edição Especial, Nº 1 - Março 2006 AERPA. Resumos do III Simpósio de Técnicas Avançadas em Conservação de Bens Culturais Olinda. 2006.

<sup>39</sup> Doutor Mário de Souza Chagas, professor adjunto da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, diretor do Departamento de Processos Museais do Instituto Brasileiro de Museus (DEPMUS/IBRAM/MinC), membro do conselho consultivo da Universidade Comunitária Regional de Chapecó, professor convidado da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, em Lisboa.

cooperação técnica com o Instituto Português de Museus e os convênios com a Universidade Lusófona e a Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP)<sup>40</sup>. Foram tomadas ainda outras medidas que permitiram a criação de novos museus, nomeadamente o Museu da Língua Portuguesa, influenciando a mudança de mentalidades sobre o papel social que o museu deve desempenhar.

Nesta referência aos museus visitados do Brasil, limitamo-nos a apontar alguns existentes na cidade de São Paulo, por terem sido os que serviram de base à visita de estudo efetuada em Março de 2009, nomeadamente, o Museu de Arqueologia e Etnologia, a Pinacoteca do Estado de São Paulo, o Centro Cultural, o Museu Paulista, o Museu de Zoologia, o Museu do Futebol, o



Fig. 8 - Interior do Museu da Língua Portuguesa.  
Fonte: foto pessoal em Março-2009

SESC Pompeia, o Memorial da Resistência, o Museu da Língua Portuguesa e o Museu Afro Brasil. Outros Museus e Centros Culturais foram visitados, cada um com as suas representações e especificidades, mas todos semelhantes num ponto: pouca ou nenhuma utilização das chamadas energias alternativas. Já o mesmo não podemos dizer em relação às novas tecnologias, já que alguns destes espaços tem uma forte componente tecnológica instalada, como é o caso do Museu do Futebol, e particularmente o Museu da Língua Portuguesa (Fig. 8), que apresenta novas e inovadoras tecnologias, sobretudo na área multimédia.

### **Leopold Museum - Viena, Áustria**

Destacamos este Museu pela sua simplicidade de linhas arquitetónicas, com algumas experiências inovadoras e bem sucedidas de luminosidade. O projeto é dos arquitetos Ortner & Ortner, tendo aberto ao público em 2001. Situado em Viena, este museu contém o maior acervo do mundo de



Fig. 9 - Leopold Museum  
Fonte: [www.leopoldmuseum.org](http://www.leopoldmuseum.org) Acedido a 3/4/2010

<sup>40</sup> Fonte: Política Nacional de Museus. Relatório de gestão 2003/2004

obras do pintor Egon Schiele. A característica arquitetónica mais importante deste edifício é a configuração das suas janelas e claraboia (pouco perceptíveis do exterior), com diferentes dimensões e posicionamentos, permitindo um ótimo aproveitamento da energia renovável que é a luz natural.

### **Museu Horta** - Bruxelas, Bélgica

Este edifício situa-se em Bruxelas, e é dedicado à obra do arquiteto belga Victor Horta. Contrariando a leitura do museu tradicional, onde os Objetos expostos são a principal atração, no Museu Horta foi o próprio edifício que se tornou o objecto principal do museu. Para falarmos, no entanto, do edifício onde está instalado o museu devemos situar-nos no tempo e na vivência de Victor Horta, cuja influência aplicou nas suas construções, nomeadamente nesta casa, onde se destacam os elementos arquitetónicos de estilo Arte Nova.



Fig. 10 - Museu Horta - Pormenor interior  
Fonte: Foto pessoal.

A origem deste espaço remonta a 1898, e após vários melhoramentos ao longo do tempo, com introdução de soluções de iluminação natural e ventilação, este edifício acabou por se transformar num exemplo para a época. Podemos dizer que neste caso já houve a preocupação em utilizar um certo tipo de energia renovável para a iluminação e ventilação. O museu foi definitivamente aberto ao público em 1973, e faz parte do património da humanidade da Unesco desde 2000.

### **Centro Belga de Banda Desenhada** – Bruxelas, Bélgica

É um museu com grande dinâmica sobretudo na promoção de histórias aos quadrinhos, com especial relevo para a personagem do Tim Tim. É também um centro de pesquisa moderno, que possui mais de 40.000 títulos (álbuns e trabalhos teóricos) em mais de vinte idiomas. A sua sustentabilidade financeira é conseguida por projetos culturais, originários em



Fig. 11 - Centro Belga de banda desenhada  
Fonte: Foto pessoal.

grande parte através de receitas provenientes dos visitantes que assistem aos inúmeros eventos que ocorrem todos os anos (e o Estado só financia uma parte do orçamento, totalizando não mais do que 10%). O museu está localizado num dos mais antigos quarteirões de Bruxelas, instalado no edifício pertencente aos antigos armazéns Waucquez, datado de 1906, da autoria do arquiteto Victor Horta, grande mestre da Arte Nova. Do mesmo modo que o exemplo anterior, tem uma forte componente de iluminação natural zenital (Fig. 11), utilizando algumas novas tecnologias e energia renovável proveniente desta iluminação natural. Em termos climáticos, sobretudo em relação às temperaturas de conforto de verão, não possuía automatização adequada de forma a regular a graduação do excesso de calor proveniente da incidência dos raios solares nos envidraçados.

### **Centro de Arte Rainha Sofia - Madrid, Espanha**

O Museu Nacional e Centro de Arte Rainha Sofia está situado no antigo Hospital Geral de Madrid, e foi construído pelo Rei D. Carlos III. Em 1980, a Direção Geral de Belas Artes confia a primeira fase da restauração do edifício ao arquiteto António Fernández Alba, realizando assim um dos trabalhos de maior envergadura para a época na Europa, e um projeto vanguardista, nomeadamente em relação aos acessos verticais. Os trabalhos,



Fig. 12 - Museu Rainha Sofia – Ampliação.  
Fonte: <http://www.google.com/>  
Acedido a 3-4-2010

terminados em 1990, contemplaram a colocação de equipamento técnico de controlo da climatização, segurança e humidade dentro de todo o edifício, com algumas preocupações ambientais. Mais recentemente, foi feita uma nova ampliação (Fig.12), onde foram incluídas energias renováveis com aproveitamento das energias solares térmica e fotovoltaica e introdução de equipamento tecnológico computadorizado da geração dos chamados edifícios inteligentes. Este equipamento permite manter o grau de temperatura e de humidade apropriada dentro de cada sala, regular a iluminação, pôr a funcionar os alarmes de segurança e garante a auto-gestão em tudo o que concerne ao funcionamento do sistema, detetando mesmo eventuais avarias.

### **Museu Nacional do Prado - Madrid, Espanha**

A responsabilidade histórica deste museu confere-lhe um estatuto que não permite que o ignoremos. O edifício que hoje serve de sede ao Museu Nacional do Prado foi projetado pelo arquiteto Juan de Villanueva em 1785, como Gabinete de Ciências Naturales, por ordem de Carlos III. O Museu Nacional do Prado abriu pela primeira vez ao público em Novembro de 1819, com o duplo propósito de mostrar as obras propriedade da coroa espanhola à Europa, e de dar corpo à existência de uma nova escola espanhola. Ao longo dos anos, o edifício teve várias ampliações e adaptações, nas quais, por



Fig. 13 - Museu Nacional do Prado. Nave central  
Fonte: [www.museodelprado.es/en](http://www.museodelprado.es/en)  
Acedido a 3-4-2010

se tratarem de obras mais recentes, foram instaladas novas tecnologias e sistemas de climatização mais adequados à época. De qualquer forma, sobre energias renováveis estamos perante o mesmo Cenário que os anteriores.

Como era apanágio daquela época, os edifícios monumentais públicos eram construídos com paredes de grande espessura, altos pés direitos e recurso à luz zenital proveniente de envidraçados incorporados em grandes abóbadas, como se pode ver na figura 13. Essa era a preocupação que proporcionava alguma sustentabilidade na iluminação diurna, e conforto térmico interior devido à grande resistência térmica dos materiais usados naquelas espessas paredes estruturais.

### **Museu do Louvre - Paris, França**

Em 1625, o rei Luis XIII ordena um conjunto extenso de trabalhos num edifício construído originalmente para um castelo, depois para a residência oficial de Carlos V. Após a intervenção, que deu origem a grandes ampliações à estrutura original e durou até 1668, o palácio medieval foi demolido, tendo ficado apenas as novas edificações, dando origem ao Museu do Louvre. Em 1793, o Museu central abre ao público a Grande Galeria e o Salão quadrado. O desaparecimento das Tulherias em 1882 marca o nascimento do Louvre moderno. Com as duas grandes guerras mundias, assiste-se a um período de intensas dificuldades e os museus, se não são destruídos, são utilizados para outros fins; mas o Louvre reabre as suas portas, ainda sob a ocupação nazi, em Setembro de 1940. A partir daqui os melhoramentos das instalações tornam-se numa evidente necessidade, pelo que

em 26 de Setembro de 1981, o presidente da República François Mitterrand anuncia que o palácio do Louvre será inteiramente devolvido ao Museu. Em 30 de Março de 1989 foi inaugurada a Pirâmide de vidro, assim como os acessos aos fossos do Louvre de Charles V, a um auditório e aos diferentes serviços para os visitantes, como vestiários, livraria, cafetaria e restaurante.



Fig. 14 - Museu do Louvre  
Fonte: <http://www.louvre.fr/> Acedido a 18-5-2011

Este museu é um dos mais importantes do mundo, estando continuamente em renovações e atualizações de todo o tipo; no entanto, no que toca às redes técnicas instaladas, ainda não utiliza energias renováveis e muito menos energia geotérmica. Em relação às novas tecnologias, nomeadamente a domótica, vimos que tem alguns meios sofisticados em uso, sobretudo para proteger algumas obras, como é o caso do célebre quadro da Mona Lisa.

### **Museu do Cairo** - Cairo, Egipto

Por ser o berço de uma das civilizações mais antigas da humanidade, o museu é uma passagem obrigatória para quem visita a cidade do Cairo, levando-nos a mergulhar em 5.000 anos de história daquele país. As suas instalações, construídas no final do século XIX, pese embora tenham sido já recentemente restauradas, encontram-se muito degradadas e desatualizadas.



Fig. 15 - Museu do Cairo - Vista exterior  
Fonte: foto pessoal em 21/9/2009

O Museu Egípcio do Cairo exhibe os tesouros da história do antigo Egíto. Este período foi durante séculos quase desconhecido, até à chegada da campanha francesa em 1798, liderada por Napoleão Bonaparte. Foi a Expedição Francesa que trouxe mais de 165 estudiosos e cientistas de muitas especialidades para estudarem os aspetos da vida egípcia, nomeadamente a geografia, zoologia, geologia, história, religião, tradições e leis, apresentando ao mundo a importância da história do antigo Egíto e dos seus monumentos. Nas pesquisas arqueológicas então levadas a cabo, foi encontrada a famosa pedra de Roseta (exposta no British Museum de Londres), uma pedra de granito negro escrita com aeroglifos, que permitiu decifrar a língua egípcia antiga, e a partir daí permitiu interpretar os símbolos e inscrições gravadas nas paredes dos templos e túmulos, descobrindo-se assim a história, civilização, religião e arte no antigo Egíto.

Em termos da matéria de estudo deste trabalho, a visita a este museu permitiu-nos observar que não é aqui utilizado qualquer tipo de energia renovável.

### **Cité des Sciences et de l'Industrie – Paris, França**

A Cité des Sciences et de l'Industrie - La Villette, possui um enorme centro de exposições de ciências naturais, com demonstrações interativas nos vários ramos científicos, sendo um dos museus de ciência mais



Fig. 16 - Cité des Sciences - Vista noturna.

Fonte: <http://www.fromparis.com/cite-des-sciences-la-geode.html>  
Acedido a 25-9-2010

visitados em todo o mundo. A exposição, muito inovadora para a época em que foi feita, pretendeu junto do grande público transmitir o ensino da ciência de uma forma divertida.

O projeto está inserido no parque de La Villette, e tem autoria do arquiteto Bernard Tschumi, tendo a obra sido inaugurada a 13 de Março de 1986 (aquando da passagem do cometa Halley). Entre o parque e a Cité existem três estufas gigantes com 32 x 32 m e 8 m de altura, que se projetam a partir da fachada sul do edifício. Atrás de cada parede de vidro temperado feita por 16 placas de 2 x 2 m, os tubos de aço desenham uma trama quadrada com 8 metros de lado, garantindo a máxima transparência. Estas estufas reciclam a energia solar, aproveitando alguma quantidade de energia renovável, mas ainda sem grande significado relativamente ao total das necessidades deste gigante museu de ciência.

### **British Museum** - Londres, Reino Unido

O Museu Britânico de Londres foi fundado em 7 de junho de 1753. A sua coleção permanente inclui peças como a Pedra de Roseta (atrás referida), trazida do Egito após a derrota do exército de Napoleão, além de preciosidades de todo o mundo. A coleção original foi reunida por Sir Hans Sloane, médico de profissão e antiquário por vocação, que deixou após a sua morte, em 1753, a sua coleção de 79.575 objetos ao rei Jorge II para benefício da nação.



Fig. 17 - Museu Britânico em Londres.  
Fonte: foto pessoal em 12/06/2011

Este museu sofreu várias ampliações ao longo do tempo, de acordo com as necessidades impostas pelo crescimento dos acervos, mas já em 1850 o museu Britânico tinha quase a mesma aparência que tem hoje. Contudo, no ano 2000, foi inaugurado o novo centro do Museu, conhecido como o pátio principal (Great Court) da Rainha Isabel II, que foi criado como resposta às necessidades que evoluíam e às novas oportunidades que surgiram. Este pátio é caracterizado por um teto de aço e vidro de desenho delicado, semelhante a uma teia de aranha de grandes dimensões (Fig.17). Este foi o primeiro museu de acesso público em todo o mundo a seguir ao museu de Ashmolean (criado pela Universidade de Oxford em 1683). As últimas renovações já incorporam novas tecnologias e preocupações no que diz respeito às energias alternativas para defesa do meio ambiente.

### **Museu Nacional da Escócia** – Edimburgo, Escócia

É um dos principais museus do Reino Unido, localizado na cidade de Edimburgo. A sua construção começou em 1861 e foi concluída em fases distintas, sendo a primeira fase concluída em 1888. Este museu tem recebido desde então várias reformas e ampliações, tendo a principal ocorrido em 1998, passando desde essa data a denominar-se Museu Real da Escócia. As coleções deste museu constam de Objetos de geologia, arqueologia, história natural, ciência, tecnologia e



Fig. 18 - Interior da nave central.  
Fonte:[http://pt.wikipedia.org/wiki/Museu\\_Real\\_da\\_Esc%C3%B3cia](http://pt.wikipedia.org/wiki/Museu_Real_da_Esc%C3%B3cia) Acedido a 28-10-2010

arte, destacando-se os achados arqueológicos do Egito antigo e uma parte da coleção pessoal de Elton John doada ao museu. Atualmente, a parte da exposição mais visitada é a da Ovelha Dolly - o primeiro mamífero clonado. Como se vê na Fig.18, a iluminação zenital é bastante presente. Todos os restantes meios e recursos de funcionamento são os tradicionais.

### **Rijksmuseum** - Amsterdão, Holanda

Este é o mais importante e maior museu da Holanda, albergando uma grandiosa e diversa coleção de obras de arte, permitindo a percepção de um panorama completo da história holandesa. O edifício contempla no seu interior a utilização de energias tradicionais, tanto para a iluminação como para o condicionamento térmico.



Fig. 19 - Rijksmuseum - Imagem exterior.  
Fonte: Foto pessoal em 13/08/2007

Em Amsterdão, foram visitados outros museus, apresentando todos bastantes semelhanças em relação à utilização de energia; destaca-se nalguns casos o aproveitamento de energias renováveis, obtidas com a produção eólica e outras fontes que alimentam a rede nacional. Já em relação ao uso de novas tecnologias, sobretudo de informação, estes museus estão muito bem equipados.

### **Tropenmuseum** - Amesterdão, Holanda

Este é um museu de orientação moderna, onde a nova museologia e a sociomuseologia já tem lugar. No seu interior, fazem-se reconstruções de vivências e ambientes locais e frequentes exposições temporárias que procuram atrair o público, oferecendo atividades complementares tais como palestras, filmes, visitas guiadas, concertos de música e teatro. Relativamente à utilização de novas tecnologias de informação, este museu está atualizado. No entanto, no



Fig. 20 - Tropenmuseum - Vista da entrada.  
Fonte: foto pessoal em 19/3/2008

que diz respeito às energias renováveis, sobretudo para a climatização, mantém as soluções de AVAC tradicionais.

### **Museus do Vaticano - Roma, Itália**

Os Museus do Vaticano constituem um conjunto de renovadas instituições culturais da Santa Sé, que abrigam extensas e valiosas coleções de arte e antiguidades colecionadas ao longo dos séculos pelos diversos pontífices romanos. Deste conjunto, destacamos o Museu Nacional Romano, um dos grandes museus italianos. Este espaço abriga secções das coleções nacionais, fundadas depois da unificação italiana, para consolidar e reunir



Fig. 21 - Museu do Vaticano.  
Fonte: Foto pessoal em 1997

tesouros dispersos em vários locais pertencentes à Santa Sé, cujo acervo alargado é constituído por valiosas coleções de arte e antiguidades. O acervo foi dividido e espalhado em vários locais e espaços dentro dos palácios da cidade do Vaticano, nomeadamente, capelas e galerias de grande valor arquitetónico. No século XX foram criados museus etnológicos, históricos e de arte moderna, e as coleções começaram a ser reorganizadas de acordo com critérios museológicos atualizados. A Pinacoteca Vaticana foi criada por Pio XI num edifício construído de raiz, e em 1926 foi fundado o Museu Missionário-Etnológico. Tem havido ampliações, restauros e adaptações diversas ao longo dos tempos, mas quanto a energias renováveis, existem apenas aquelas que porventura sejam provenientes da rede pública.

### **Museu de Macau - Macau, China**

A velha fortificação construída pelos padres Jesuítas em 1626, em forma de quadrilátero com bastiões nos cantos, foi o local escolhido para se instalar o atual Museu de Macau (Fig.22). As grossas paredes exteriores constituídas em “chumbo” ou taipa - um material feito a partir de uma argamassa com areia, cal e pedaços de conchas ou ostras moídas e que se mostrava muito resistente - constituíram os materiais usados na época, com nítida preocupação nos problemas da manutenção, do conforto térmico e da sustentabilidade ambiental.

O Museu de Macau foi inaugurado a 18 de Abril de 1998, compreendendo a construção de dois edifícios distintos, o edifício do Museu propriamente dito, implantado no interior da fortaleza, e o edifício administrativo, localizado na encosta Norte da colina, onde estão instalados os serviços técnicos e administrativos da instituição, tais como os gabinetes da direção, salas de reservas técnicas, laboratório de restauro, oficinas, núcleo de informática, central de segurança, auditório, etc. A sua área total é de 2,800 m<sup>2</sup>, dos quais cerca de 2,100m<sup>2</sup> se destinam a área útil de exposição. Visitámos este museu em 1999 ainda sob a vigência da Administração Portuguesa e não encontrámos evidências de utilização de energias renováveis.



Fig. 22 - Museu de Macau, antigo forte remodelado  
Fonte: [http://www.macaumuseum.gov.mo/htmls/globaltop/por\\_top\\_intr.htm](http://www.macaumuseum.gov.mo/htmls/globaltop/por_top_intr.htm) Acedido a 5-2-2011

### **Museu Hermitage - São Petersburgo, Rússia**



Fig. 23 - Museu Hermitage - São Petesburgo  
Fonte: <http://www.minube.pt/sitio-preferido/museu-hermitage-a1864> Acedido a 6-3-2011

Este foi um dos primeiros museus do mundo a abrir as suas portas ao público, apenas cinco anos depois do campeão britânico. O Hermitage atravessou o período pós revolução Russa de 1917 e reapareceu agora em força, reclamando o estatuto que julgava perdido, de um dos maiores museus do mundo. Foi organizado ao longo de dois séculos e meio, e possui um acervo de mais de 3 milhões de objetos. Os principais edifícios que compõem o Hermitage na sua forma global são:

- 1) O Palácio Menshikov, localizado na ilha Vasilyevsky, projectado por Giovanni Mario Fontana e construído entre 1710 e 1721, tendo continuado com Johann Gottfried Schaedel.
- 2) O pavilhão Pequeno Hermitage, construído entre 1765 e 1766 segundo projeto de Yury Veldten.
- 3) O Grande Hermitage, construído entre 1771 e 1787 segundo projeto de Yury Veldten, com o propósito de albergar a imperial coleção de arte e biblioteca. A este edifício foi acrescentada uma nova ala em 1792, feita por Giacomo Quarenghi, replicando a Galeria de Rafael no Vaticano.

Um grande incêndio e a Segunda Guerra Mundial quase destruíram o palácio por completo. O que escapou das coleções foi enviado para os Montes Urais, retornando em 1945, tendo o museu chegado aos dias de hoje em franca expansão, com frequentes aberturas de novos espaços de exposição.

Relativamente, às preocupações de preservação dos edifícios e do acervo foram criados os departamentos de Conservação e de Restauro em 1760, e dez laboratórios para técnicas especializadas de restauro e controle biológico e ambiental. Infelizmente quanto à utilização de energias renováveis, só aproveita as energias fornecidas pela rede geral, insistindo igualmente nos sistemas de climatização tradicionais.

### **Museu Nacional dos Coches – Lisboa, Portugal**

O Museu Nacional dos Coches foi criado por iniciativa da rainha D. Amélia de Orléans e Bragança, mulher de D. Carlos I, e instalado em 1905 no edifício do Picadeiro Real do Palácio de Belém, adaptado para o efeito. O Museu Nacional dos Coches permite ao visitante a compreensão da evolução técnica e artística dos meios de transporte do mundo de tração animal com carros de gala e de passeio dos séculos XVII a XIX,



Fig. 24 - Antiga casa do Museu dos Coches.  
Fonte <http://www.museudoscoces.pt/>  
Acedido a 15-5-2012

utilizados pelas cortes europeias até ao aparecimento do automóvel. Sendo o edifício original muito antigo e de difícil atualização aos tempos atuais, está atualmente em curso a construção de um novo imóvel, a cargo da empresa construtora Mota/Engil.

Tivemos a oportunidade de falar em 2011/09/12 com o Diretor da obra, o Eng.º João Preto, que em traços largos nos apresentou os pormenores da construção. O novo Museu dos Coches fica situado sensivelmente em frente ao atual, na desembocadura da Rua da Junqueira e face ao Jardim Vieira Lusitano, onde estavam localizadas as oficinas

auto do Exército. O projeto, da autoria do arquiteto brasileiro Paulo Mendes da Rocha, prevê a construção de um edifício com cerca de 15 000 m<sup>2</sup> de área coberta, elevado acima do solo cerca de seis metros, suportado por sete pilares feitos de betão armado, transformando o piso térreo numa enorme praça pública. O edifício é uma construção mista de estrutura metálica e betão armado, com painéis de aglomerado nas fachadas na formação de paredes, isolados interiormente com lã de rocha e poliestireno extrudido, em duas camadas separadas por um intervalo (caixa de ar). Os pavimentos são em betão armado com cofragem colaborante. As redes técnicas gerais que vão ser instaladas nas salas de exposição (situadas num primeiro andar elevado) são genericamente as tradicionais: luz elétrica proveniente da rede pública e ar condicionado AVAC pelo sistema tradicional (condutas, ventiloconvetores e unidades de tratamento de ar com chiller colocados na cobertura).

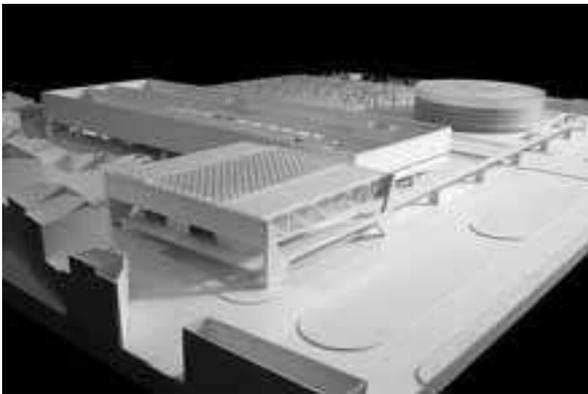


Fig. 25 - Maqueta do novo Museu dos coches.  
Paulo M. da Rocha  
Belém - Lisboa. Imagem: Bak Gordon Arquitetos



Vista interior do novo Museu dos coches.  
<http://abarrigadeumarquiteto.Blogspot.com/009/03/novo-museu-nacional-dos-coches.html> Acedido a 2011-9-13

A componente mais inovadora que se pode destacar no aproveitamento de energias renováveis corresponde à instalação de painéis solares na cobertura para aquecimento de água, com a instalação de um circuito radiante nos pisos para conforto de inverno e uma forma de recuperação das águas pluviais para uso geral, não potável. Essa água recolhida em toda a área da cobertura é canalizada para uns depósitos enterrados no solo. Estes depósitos também são abastecidos pela rede geral sempre que falte a água das chuvas, pois também servem para a reserva obrigatória de prevenção aos incêndios. Ao nível dos tetos vão ser instalados detetores de incêndios e uma rede de sprinklers para a sua extinção, além de outros adequados sistemas de segurança.

Não está prevista a utilização de painéis fotovoltaicos nem qualquer aproveitamento de energia geotérmica. Para o controlo da iluminação, grau de humidade e intrusão vai existir um sistema de gestão centralizado. Podemos dizer que estamos perante um edifício construído de raiz para um museu já com alguma preocupação de sustentabilidade energética e domótica, mas não tanta como em nossa opinião era possível e aconselhável.

## Museu de Serralves - Porto, Portugal

Este museu foi inaugurado a 6 de Junho de 1999, tendo como objetivos principais a constituição de uma coleção representativa da arte contemporânea portuguesa e internacional, a apresentação de uma programação de exposições temporárias, coletivas e individuais, assim como a organização de programas pedagógicos que ampliem os públicos



Fig. 26 - Museu de Serralves.  
Fonte: (Fundação Serralves) – Porto  
Acedida em 2011-3-5

interessados na arte contemporânea e suscitem uma relação com a comunidade local. É também objetivo da instituição desenvolver projetos com jovens artistas que permitam a afirmação das suas obras e o desenvolvimento das suas pesquisas.

O Museu de Serralves é um edifício da autoria do arquiteto Álvaro Siza Vieira, convidado no início da década de 90 para conceber um projeto museológico que tivesse em consideração singulares condições de espaço e de integração paisagística. Prescindindo de uma fachada monumental, a condição do edifício enquanto museu acentua-se antes pelo modo como cada elemento interage entre si, proporcionando ao visitante uma perspetiva harmoniosa do espaço. Este museu (Fig. 26) com pouco mais de uma década de idade, já incluiu novas tecnologias mas não faz uso de energias alternativas geradas localmente.

Pela amostragem que acabamos de fazer constatamos que estamos ainda muito distantes das aconselháveis preocupações com a sustentabilidade energética e defesa do meio ambiente, sobretudo em relação aos edifícios destinados aos Museus, seja no país ou no estrangeiro. Poucos são os exemplos que vimos, para além dos que foram aqui referidos que utilizam energia elétrica proveniente das energias renováveis, salvo aquela que lhes é fornecida pela distribuição normal da rede geral. No nosso país, o museu mais recente e ainda em construção, o novo museu nacional dos coches, não tem prevista qualquer utilização dessas energias salvo a aplicação de painéis solares para aquecimento de água. Apesar de tudo, em relação às novas tecnologias já há muitas utilizações, abrangendo pontualmente um ou todos os sistemas (gestão, controlo, segurança e comunicação).

Apesar de tudo, os edifícios dos museus com ou sem energias renováveis, estão cada vez mais a assumir um papel de ícones sociais, culturais e atrativos turísticos, como é o caso dos exemplos que a seguir se ilustram. São edifícios de Museus de construção recente, espalhados um pouco por todo o mundo, e que devido à sua ligação histórica com o passado, com o local onde se inserem, com a memória de algum evento ou acontecimento mediático ou ainda pela fama do arquiteto autor do projeto, foram naturalmente

predestinados a serem ícones sociais ou arquitetónicos do lugar ou país onde se situem, como são os exemplos seguintes:

### **Museu e biblioteca de Alexandria – Egipto**

Ícone universal da humanidade no século IV a.C. é atualmente um novo ícone construído em 2001 e formalmente aberto em 2002. Porém, não basta aos edifícios terem esta classificação para de imediato admitirmos que estão apetrechados com todas as novas tecnologias, ou que buscaram todas as possibilidades para utilizarem as já disponíveis



Fig. 27 - Biblioteca/museu em Alexandria.  
fonte: foto pessoal em Set. 2009

energias renováveis. Este museu de Alexandria por exemplo, da autoria do gabinete norueguês Snohetta, é exemplar como elemento arquitetónico (faz-nos lembrar um disco voador pousado na água), assumindo o objetivo de dar continuidade à memória da antiga biblioteca de Alexandria, supostamente construída naquele mesmo local. A sua relação com a defesa do meio ambiente está presente em muitos pormenores, sobretudo pelo aproveitamento da luz do dia e pela ventilação através de painéis envidraçados na cobertura, que por um processo automatizado regulam a sua abertura e fecho de acordo com a posição do sol. Esta solução consegue proporcionar boas condições de habitabilidade e sustentabilidade no interior, até um certo limite. A partir desse limite, há a necessidade de reforçar as condições de ventilação e conforto térmico através da utilização dos equipamentos com sistemas mecânicos tradicionais (com os indiscutíveis efeitos negativos para o ambiente).

### **Museu do Conhecimento – Lisboa, Portugal**

Este edifício é da autoria do arquiteto Carrilho da Graça, e assume-se como um espaço de divulgação científica e tecnológica constituindo o maior centro interativo de ciência e tecnologia da rede de centros Ciência Viva existente no país. O edifício foi construído para a EXPO'98,



Fig. 28 - Museu do conhecimento. Lisboa  
Fonte: Wikipédia. a enciclopédia livre. Acedido 3-5-2011

tendo sido um dos seus emblemáticos pavilhões temáticos (o pavilhão do "Conhecimento dos Mares"), e foi nesse ano (1998) contemplado com o Prémio Valmor e Municipal de

Arquitetura. No entanto, apesar de ser um museu de ciência viva “modelo”, não é exemplar no aproveitamento dos atuais sistemas de energia limpa, nomeadamente a fotovoltaica e geotérmica, pois utiliza pouco da primeira e nada da segunda.

### **Museu do Quartzo - Viseu, Portugal**

Este espaço foi construído na cratera deixada no Monte de Santa Luzia pela atividade de exploração das minas de quartzo, na década de 60 do século passado. O museu pretende ser um centro interpretativo do quartzo (Fig. 29), com suporte nas novas tecnologias e evoluindo para um Centro de Investigação Científica e Tecnológica em torno desta temática, com importância a nível



Fig. 29 - Museu do Quartzo, em Viseu.  
Fonte: Diário Regional de Viseu, 10/08/10

internacional. O arquiteto responsável pela sua conceção, o professor Mário Moutinho, o melhor que conseguiu em relação às energia renováveis foi introduzir zonas envidraçadas ou opacas, verticais ou inclinadas, orientadas estrategicamente de forma a obter o maior aproveitamento da luz natural, tendo em conta as condicionantes térmicas do local e da própria orientação carteziana do imóvel.

### **Museu Guggenheim - Nova Iorque, E.U.A.**

Este edifício, visto à luz dos dias de hoje (Fig. 30) nada tem de especial em termos tecnológicos, mas quando o arquiteto Frank Lloyd Wright o inaugurou, em 1959, marcou uma rutura com a forma de pensar os museus relativamente à sua arquitetura. Uma das suas características de maior importância é a forma como a luz zenital penetra no seu interior, conseguindo o edifício aproveitar muito bem esta fonte de energia renovável (a única existente neste museu).

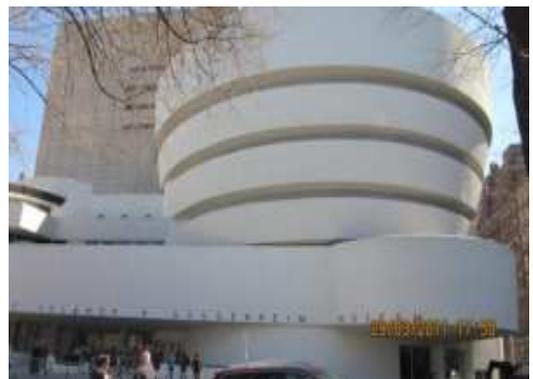


Fig. 30 - Museu Guggenheim de Nova Iorque.  
Fonte: fotografia pessoal em 29-03-2011

## Conclusões

Indiscutivelmente, com ou sem utilização das energias renováveis, o novo paradigma atribuído aos museus como centros de carácter cultural, social e de atração turística, para além de tudo o que demais importante encerram, torna-os imprescindíveis na nossa sociedade. Atualmente, uma cidade moderna não se concebe sem museus e independentemente dos resultados económicos diretos que obtenham, terão a sua rentabilidade altamente justificada, fruto da sua importante ação como locomotivas culturais, em todas as vertentes, nomeadamente na sustentabilidade ecológica, biológica e sociológica, adaptando-se aos hábitos contemporâneos que encaram a cultura como bem de consumo, de formação e informação, numa dinâmica que estimula a obtenção de conhecimentos - base essencial de progresso, bem estar, melhores condições e qualidade de vida.

Ao longo dos tempos, várias foram as formas de olhar para os museus, para os seus conteúdos e para os diversos interesses que os rodearam, nomeadamente de ordem individual, comunitária, social, política e mais recentemente turística. A história da humanidade e do seu próprio planeta está carregada de acontecimentos devastadores tanto de ordem natural como provocados pela intrínseca natureza humana. O interesse pela museologia foi suplantando todas essas vicissitudes e como sabemos chegamos ao século XXI com mais e melhores edifícios de museus, mais e melhores conteúdos, mais e melhores condições de conservação e sustentabilidade, mais e melhores serviços, mais e melhores respostas a novas exigências sociais, ainda ao seu domínio de intervenção na investigação, no ensino, na difusão de cultura e também de poder influenciador sobre as preocupações candentes da atual sociedade. Em diversos países foram construídos recentemente novos museus, tendo havido a preocupação de atribuir à arquitetura o papel de principal protagonista no espaço. Isto arrastou mais uma vez a discussão em torno da prioridade dos programas que devem estar associados aos museus e coloca interrogações sobre os objectivos e a função que compete a um museu. Em nossa opinião não há qualquer contradição nesses programas, uma vez que o objectivo e função dos museus deve ser extensivo às relações entre a arquitetura, a arte, a ciência social e económica, impondo-se atualmente introduzir também a preocupação da sustentabilidade energética e ambiental.

No ano 2000, Suzanne Greub, diretora do Art Centre de Basel organizou a exposição "Museus para um Novo Milénio", que até 2005 foi apresentada em 17 museus ou centros culturais por todo o mundo, incluindo a Culturgest em Lisboa. Esta exposição veio no seguimento de uma anterior em que foram apresentados 27 dos mais interessantes

projetos de edifícios museológicos<sup>41</sup>, construídos, em construção ou previstos, entre os anos 2000 e 2014. São projetos muito diversos que revelam diferentes pontos de vista sobre o conceito de museu, o seu papel na sociedade contemporânea e as suas relações com a arquitetura,<sup>42</sup> e acrescentamos nós, as relações com as energias renováveis.

A valorização do próprio edifício do museu deve ser um ponto de partida obrigatório, numa evidência particularmente óbvia quer nos casos de novos edifícios de museus quer nos que não foram construídos de raiz para essa função, sendo estes de uma forma geral edifícios de elevado valor histórico (parte integrante do nosso património cultural), e nestes casos parece evidente que a obra de adaptação para a futura utilização deve ter como primeiro apelo a máxima preservação das suas características originais, o que infelizmente nem sempre acontece.

Alguns dos museus visitados ainda apresentam grande deficit a respeito de tudo quanto aqui referimos, mas ao longo do tempo serão compelidos à modernização ou desaparecimento. Tanto mais que verificamos hoje a existência de museus que, pela sua arquitetura, pelas condições de conforto e serviços oferecidos ou pela sua intervenção social, constituem símbolos ou ícones de cidades, regiões ou países onde se inserem.

É neste contexto que se insere também o paradigma da sociomuseologia que envolvendo o ser humano e a defesa do meio ambiente, inclui naturalmente preocupações com os meios energéticos e tecnológicos, recomendando a aplicação dos mais saudáveis e sustentáveis atualmente disponíveis. Por essa razão se justifica a pesquisa pormenorizada feita no capítulo seguinte sobre as energias renováveis aplicáveis aos edifícios dos museus.

---

<sup>41</sup> Conceção e coordenação: Art Centre Basel, Basel, Suíça. [www.artcentrebasel.com](http://www.artcentrebasel.com)

<sup>42</sup> A arquitectura de museus: Tema fundamental da arquitectura contemporânea por Werner Oechslin (2008).

## **CAPÍTULO 2**

# **Energias Renováveis nos edifícios dos Museus**

## **CAPÍTULO 2 - Energias Renováveis nos edifícios dos Museus**

Os edifícios dos museus representam na sociedade atual um caso especial de tipologia arquitetónica, tanto os edifícios novos, construídos de raiz, como os edifícios adaptados para a função museológica. Os conteúdos que integram os museus, a sua arquitetura e os sistemas energéticos aí instalados podem e devem ser importantes veículos de educação e formação para os utentes e público em geral. A evolução das teorias museológicas, o conhecimento das condições ambientais sobre o efeito das energias utilizadas e um público cada vez mais conhecedor e exigente obrigam a introduzir melhores e mais sofisticadas condições de conforto, higiene e segurança, pois se não conseguirmos dar a resposta conveniente, se não forem seleccionadas as formas artificiais que exijam menores consumos de energia, renovação sustentável e não poluente, estaremos a condenar tanto a função exigida ao museu como as condições climáticas do nosso próprio planeta.

As energias renováveis na óptica da sustentabilidade também se podem classificar como um motor de desenvolvimento económico e tecnológico, e podem ajudar a ultrapassar a crise económica atual. Por essa razão, a nossa proposta vai no sentido de serem os museus, ou edifícios destinados aos mesmos a dar o exemplo, sendo todos fornecidos com sistemas integrados de energias renováveis limpas e sustentáveis quando se trate de novos edifícios e sendo progressivamente adaptados os antigos para receberem as mesmas energias.

Durante milénios o nosso planeta foi sustentando a vida em toda a sua plenitude usando energias naturais como o sol, o vento, a água, e o fogo, mas com o desenrolar da evolução natural ou as descobertas dos seres humanos, foram utilizadas resinas extraídas das árvores ou plantas, cera de abelha, óleo da gordura animal, e mais tarde com a aprendizagem da transformação da azeitona obteve-se o azeite que ainda se utiliza nos nossos dias para, entre muitas outras coisas, iluminar cenas de âmbito religioso. Usando esses meios de formas engenhosas os nossos antepassados resolviam o aquecimento, a iluminação ou a movimentação de engenhos, como era o caso das noras utilizadas para tirar água de poços ou dos moinhos utilizados para moer cereais, sem alterações significativas do meio ambiente.

A energia dos ventos também teve um papel primordial no desenvolvimento da humanidade, uma vez que tornou possível aos navegadores europeus fazerem as grandes descobertas, aventurando-se nas suas caravelas movidas por aquela força para navegarem ao longo dos mares, descobrindo e colonizando novos continentes. Esta energia dos ventos ainda teve grande importância na transformação de certos produtos através dos moinhos de

vento, que foram um dos primeiros processos industriais desenvolvidos pelo homem. Todos estes tipos de energia correspondem à utilização das energias primárias, cujo trabalho produzido surge diretamente da sua ação natural sem necessitar de qualquer transformação.

Os Romanos já usavam o azeite para produzir iluminação, depositando-o em recipientes de cerâmica que continham um reservatório (Lucernas) e um pavio para acender uma lamparina. O museu de Castro Verde tem um espólio único no mundo de 10.000 lucernas em exposição.

Porém, o grande marco na utilização da energia pelo ser humano aconteceu durante o século XVIII, com a invenção da máquina a vapor, utilizando a energia já não de uma forma primária, mas transformando calor em vapor através da máquina com o mesmo nome, dando origem ao início do grande desenvolvimento industrial na Europa, que se veio a designar por era da Revolução Industrial, e marcando definitivamente a nova forma de produção de energia recorrendo à utilização da energia primária “calor” produzido por combustíveis fósseis sólidos, líquidos ou gasosos.

A invenção da locomotiva e dos teares mecânicos foram duas das primeiras aplicações para o uso da energia das máquinas a vapor, surgindo em seguida muitas outras como os navios movidos a vapor que contribuíram significativamente para o desenvolvimento do comércio mundial.

A partir dos combustíveis fósseis, que permitiram a produção de energia através da sua transformação em calor, descobriu-se em simultâneo a energia elétrica, “eletricidade”, também a partir destes mesmos combustíveis e do calor por eles produzido. E desde que a eletricidade foi descoberta e também a forma de a utilizar, nunca mais o ser humano cessou a busca de progresso no sentido da realização pessoal, comunitária e planetária com vista à obtenção da máxima comodidade e felicidade. Com esta descoberta todos os países desenvolvidos ou em vias de desenvolvimento passaram a depender da energia elétrica. E para a produzirem, usaram e ainda hoje usam muito combustível fóssil, sendo que esse combustível, para além de poluir o planeta, irá esgotar-se a curto prazo. Antes porém de se esgotar (até porque estão a aparecer novas reservas todos os dias) é bom fazer-se uma abordagem sobre as alterações climáticas e os seus efeitos ao nível planetário. Isto porque, com a rápida expansão das economias mundiais e particularmente as emergentes, de países com grandes populações tais como a China e a Índia, a procura de combustíveis fósseis foi-se agravando de tal modo que dentro das próximas décadas, se continuar ao atual ritmo a procura destes combustíveis, tais como crude gás natural e carvão, estes irão

esgotar-se (Robert B. Laughlin 2012)<sup>43</sup> e a poluição produzida não nos poupará muito provavelmente a uma catástrofe ecológica generalizada.

## **2.1 - Alterações climáticas devido ao consumo de combustíveis fósseis**

As alterações climáticas observadas pela crescente necessidade de se consumir combustíveis fósseis para produzir energia elétrica, deve fazer-nos repensar o caminho e procurar intensificar a exploração das energias renováveis. Os governos dos estados estão constantemente a ser lembrados de que os métodos tradicionais de produção de energia elétrica podem contribuir para criar sérios problemas ambientais, e todos já se aperceberam disso e da necessidade urgente de obtenção da eletricidade através das fontes de energias não poluentes, saudáveis e sustentáveis. É do conhecimento geral através de publicações escritas e da comunicação multimédia que há atualmente alterações climáticas no planeta provenientes da utilização indevida dos recursos que dele extraímos. Analisadas as retas de progressão das diversas estatísticas feitas em pontos diversos e sob efeitos climáticos também diversos, concluímos que é urgente rever o nosso comportamento na utilização dos recursos disponíveis e conseguir tornar sustentáveis esses recursos para deixarmos condições de vida às gerações que nos vão suceder. Para isso é necessário medir, programar, controlar, corrigir e fazer previsões para o futuro. No caso da utilização da energia é essencial que se faça porque o atual sistema energético baseado principalmente no uso de combustíveis fósseis não é sustentável e já está a dar origem a muitos e sérios problemas:

- o aquecimento global com as conseqüentes mudanças climáticas, e poluição do ar das grandes metrópoles, chuva ácida, etc;
- uma luta cada vez mais acirrada para garantir acesso ao petróleo e gás, que tem levado à instabilidade política e económica mundiais, originando guerras em vários países produtores;
- a certeza de que os combustíveis fósseis estão em fase de esgotamento e para os substituir terão de ser explorados os outros tipos de recursos mais saudáveis e sustentáveis.

As projecções do IEA (“Institute of Energy Analysis” da OCDE) para 2050 são apenas uma extrapolação das tendências atuais e apontam para um mundo inaceitável nessa data. Por essa razão é necessário construir cenários alternativos que sejam moderadamente realistas e que sejam acompanhados de propostas de políticas públicas que mudem a rota do atual sistema. O efeito de estufa é o processo pelo qual a atmosfera

---

<sup>43</sup> Robert B. Laughlin. Prémio Nobel da Física em 1998. Prof. Universidade Stanford.

retém parte da energia irradiada pelo Sol e a transforma em calor, aquecendo a Terra e impedindo uma oscilação adequada das temperaturas. O aumento dos “gases de efeito estufa” provocado pela atividade humana está a acentuar esse efeito artificialmente, elevando a temperatura global e alterando o clima do planeta. Entre os gases de efeito estufa estão o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) - “produzido pela queima de combustíveis fósseis e pela libertação do metano” por práticas agrícolas, animais e aterros de lixo, e o óxido nítrico “resultante da produção agrícola e de uma série de substâncias químicas industriais”.

Todos os dias o meio ambiente é prejudicado pelo consumo de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás) na produção de energia elétrica e nos transportes. Como consequência disso, as mudanças climáticas já estão a afetar a vida de bilhões de pessoas. A previsão é que essas alterações no clima destruirão o modo de vida de milhões de pessoas nos países em desenvolvimento, além de acarretar nas próximas décadas a perda de ecossistemas e diversas espécies. É necessário reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa, tanto por razões ambientais como económicas.

De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), o órgão das Nações Unidas que elabora os relatórios baseados no melhor conhecimento científico disponível, a temperatura mundial poderá aumentar até 5,8°C nos próximos cem anos. Esse aumento seria a alteração climática mais brusca já vivida pela humanidade. Hoje, as mudanças climáticas já prejudicam pessoas e ecossistemas, como provam o derretimento dos glaciares polares e do permafrost<sup>44</sup> (solo congelado da região ártica), a destruição de recifes de coral, o aumento do nível do mar e as ondas de calor cada vez mais intensas.

Não é a primeira vez que a humanidade se encontra diante de uma crise ambiental de tamanha magnitude. Se não houver ação imediata para deter o aquecimento global, os danos serão irreversíveis. A única maneira de evitar os danos é reduzir rapidamente as emissões, ou enquanto isso não for possível, acelerar o desenvolvimento da tecnologia CCS (Carbon Capture and Storage) - captura e armazenamento do carbono, CO<sub>2</sub> que depois mediante determinadas transformações, é conduzido através de gasodutos até locais onde pode ser armazenado em profundidade. Assim deixará de ser lançado para a atmosfera, podendo vir a ocupar os lugares de onde foi extraído o gás, re-injectando aí o CO<sub>2</sub> ainda com a possibilidade de mais tarde se poder extrair daí mais alguma matéria prima<sup>45</sup>. A União Europeia, por exemplo, já se comprometeu com uma redução total de 8% e também concordou em aumentar a proporção da energia renovável, cuja descrição passamos a desenvolver no tema que se segue.

---

<sup>44</sup> Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Permafrost> acessado a 2013/1/27

<sup>45</sup> João do Nascimento Baptista. (2011). Revista INGENIUM nº122.

## 2.2 - Energias alternativas, renováveis e sustentáveis

Só com o desenvolvimento das energias alternativas, limpas, saudáveis e sustentáveis, e a rápida aplicação na substituição das energias atuais provenientes do uso dos combustíveis fósseis é que se poderão inverter as pessimistas previsões atrás referidas. Tudo o que deve ser feito é utilizar as tecnologias existentes para aproveitar a energia de modo mais eficiente. Energias renováveis e medidas de eficiência energética estão disponíveis, são viáveis e cada vez mais competitivas.

A sociedade precisa aprender a respeitar os limites da natureza, porque a atmosfera provavelmente não tem capacidade para absorver tanto carbono. A cada ano, as atividades humanas emitem o equivalente a cerca de 23 mil milhões de toneladas de carbono, literalmente saturando os céus. As reservas geológicas de carvão poderiam fornecer combustível por mais algumas centenas de anos, mas queimar esse combustível significaria ultrapassar os limites de segurança. O desenvolvimento da indústria de petróleo e de carvão precisa de ir diminuindo gradualmente até terminar para que o clima da Terra não fique totalmente fora de controlo. A maior parte das reservas de combustíveis fósseis do mundo, carvão, petróleo e gás, devem permanecer no solo.(OCDE1999)

“A idade da pedra não terminou por falta de pedras, e a era do petróleo terminará muito antes que o mundo esgote o petróleo.”  
(Sheikh Zaki Yamani, ex- ministro de petróleo da Arábia Saudita © GP/LANGER)

Atualmente, cerca de 75% da oferta de energia primária ainda provém de combustíveis fósseis, e 7% da energia nuclear. As fontes de energias renováveis suprem apenas os restantes 18% da necessidade mundial de energia primária. Os signatários de Quioto negociaram há pouco tempo a segunda fase do acordo, que abrange o período de 2013 a 2017, no qual os países industrializados deverão reduzir suas emissões de CO<sub>2</sub> em 18% relativamente aos níveis de 1990, e no período entre 2018 e 2022 a redução deve aumentar para 30%. Apenas com esses cortes teremos oportunidade de manter o aumento médio da temperatura global abaixo do limite de 2°C. Caso o aumento da temperatura ultrapasse os 2°C, os impactos da mudança do clima serão incontroláveis. O Conselho Europeu de Energia Renovável e o Greenpeace Internacional produziram este Cenário Energético Global como um plano de ação para atingir as metas de redução de emissões de CO<sub>2</sub> e assegurar o suprimento necessário de energia para garantir um desenvolvimento económico mundial sustentável. Ambos os objetivos podem ser alcançados. A quota da energia renovável na geração de eletricidade é atualmente de 18%.

É necessário fazer uma transição ágil para as energias renováveis de modo a proporcionar um crescimento limpo e sustentável passando dos princípios teóricos à prática.

No entanto, o tempo útil que temos para a transição do uso de combustíveis fósseis para as energias renováveis é relativamente curto. O mundo em desenvolvimento necessita urgentemente de repensar a sua estratégia energética e aprender com os erros do passado para construir novas teorias económicas, assentes sobre as bases sólidas de uma produção e consumo de energias renováveis e sustentáveis. A próxima década será crucial para se realizarem mudanças estruturais substanciais no setor energético. Muitas das centrais de produção nos países industrializados, como Estados Unidos, Japão e União Europeia serão desativadas; mais de metade de todas as centrais em operação têm mais de 20 anos e estarão obsoletas num futuro próximo. Por outro lado, países em desenvolvimento como China, Índia e Brasil terão que aumentar a sua capacidade energética para suprir as crescentes necessidades resultantes da sua expansão económica. Este cenário só por si, sustenta a nova conjuntura política favorável à energia renovável e à co-geração combinada com a eficiência energética. Mas para que isso aconteça, tanto a energia renovável como a co-geração em larga escala ou em pequenas unidades descentralizadas devem crescer mais rápido do que a procura geral de energia e substituir os antigos sistemas. Como não é possível bruscamente abandonar o sistema atual de geração energética, é necessária uma fase de transição para a implementação de uma nova infra-estrutura para geração de energia renovável.

No cerne desta questão está uma mudança no modo como produzimos, distribuimos e consumimos energia. As principais chaves para essa mudança são:

- Implementar soluções renováveis e limpas na produção de eletricidade.
- Implementar sistemas de produção de energia descentralizados.
- Respeitar os limites naturais do meio ambiente.
- Eliminar gradualmente fontes de energia à base de combustíveis poluentes.
- Promover a equidade na utilização dos recursos.
- Desvincular o crescimento económico do consumo de combustíveis fósseis.
- Implementar sistemas descentralizados de energia, evitando o atual desperdício durante a conversão e distribuição.

No final de 2008, o Parlamento Europeu aprovou o novo pacote para a energia e clima. Os novos objectivos definem que a União Europeia, até 2020:

- Reduza em 20% as emissões de gases com efeito de estufa;
- Aumente para 20% a quota parte das energias renováveis no consumo de energia;
- Aumente para 20% a eficiência energética;
- Aumente para 10% a incorporação de energias renováveis nos combustíveis utilizados nos transportes.

Mas Portugal quer ser pioneiro em renováveis, e ultrapassar as metas que o próprio

conselho do Parlamento Europa definiu. Assim, o anterior Governo estabeleceu uma estratégia nacional para a energia, que tem como principal objectivo garantir a adequação ambiental de todo o processo energético, reduzindo os impactos ambientais à escala local, regional e global, nomeadamente no que respeita à intensidade carbónica. Também o LNEG, a DGEC e o programa MIT, estão a reforçar a participação do país nas candidaturas aos financiamentos do Plano Estratégico da Energia da União Europeia.<sup>46</sup> Em Portugal cerca de 50% da produção de electricidade já tem origem nestes recursos, nomeadamente da energia hídrica, eólica, biomassa e solar ou solar fotovoltaica. O quadro seguinte ilustra a realidade do nosso país até ao ano de 2011 inclusivé.

Energia eléctrica a partir de energias renováveis em Portugal.(GWh)

<b>Tipo de energias renováveis</b>	<b>Ano 2010</b>	<b>Ano 2011</b>
Hídrica Total	16546	12114
Grande Hídrica (>30MW)	14306	10474
PCH(>10 e < =30MW)	1152	778
PCH(<= 10 MW)	1088	862
Eólica	9182	9161
Biomassa(c/cogeração)	1850	1975
Biomassa(s/Cogeração)	812	991
Resíduos Sólidos Urbanos	765	883
Biogás	97	67
Fotovoltaica	214	277
Geotermica	197	210
Total GWh	29663	25679

Quadro 3 - Energia eléctrica a partir de energias renováveis em Portugal. (GWh)  
Fonte: DGEG/MEID, PORDATA

Mas esta quantidade ainda não é suficiente e por isso torna-se necessário apostar cada vez mais no desenvolvimento das várias energias renováveis ao nosso alcance e motivar a sua aplicação em todos os domínios, nomeadamente nos museus.

A nova Estratégia Nacional para a Energia (ENE) define as metas a que o País se propõe atingir até 2020, em que se procura a diminuição da dependência energética através da aposta nas renováveis e da promoção da eficiência. Até 2020, os resultados esperados no âmbito da ENE assentam na redução de 74% da dependência energética externa, e que apenas 31% da energia final seja proveniente de recursos não renováveis. Por outro lado, espera-se igualmente uma redução em 25% do saldo importador energético, no valor de dois mil milhões por ano até 2020. Outra das metas é a consolidação do 'cluster' industrial

<sup>46</sup> Defendeu Carlos Zorrinho, Secretário de Estado da Energia e Inovação, em entrevista ao Diário Económico-especial de 30/9/2010

associado às energias renováveis, que terá um contributo de 3.800 milhões de euros para o valor acrescentado bruto, a par de um investimento de 13.000 milhões de euros.

A energia necessária para as atividades desenvolvidas em todo o mundo pode ser obtida de uma forma limpa, renovável e economicamente sustentável até 2050, revela um estudo da *World Wide Fund for Nature*(WWF).<sup>47</sup> A este propósito escreveu o jornal Diário Económico no 17 de Maio de 2011: “Energias renováveis podem alimentar o mundo em 2050”; segundo a mesma fonte, as energias renováveis poderão satisfazer cerca de 80% das necessidades energéticas globais de acordo com um relatório apresentado pelo painel Intergovernamental para as alterações climáticas (IPCC) da Organização das Nações Unidas. Este relatório, apresentado no Dubai e elaborado com a intervenção de 120 investigadores, é constituído por cerca de mil páginas e já é considerado como uma bíblia para o sector das energias renováveis. O valor indicado pelo relatório corresponde a um acréscimo substancial na produção deste tipo de energia, dado que em 2008 apenas se utilizavam 13%. Já começam a surgir locais onde a energia utilizada provém totalmente das energias renováveis, como é o caso da ilha espanhola de El Hierro que está em primeiro lugar no mundo nessa aposta a 100% para os seus onze mil habitantes, sendo esta energia distribuída em 11,5 MW eólica, 11,3 MW hídrica, correspondendo a 80% das necessidades, sendo os 20% restantes fornecidos a partir de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos<sup>48</sup>.

Ainda segundo a mesma fonte, a Grécia está a apostar fortemente nas energias renováveis ao ponto de ter sido anunciado pelo anterior primeiro ministro Georges Papandreou o interesse da Alemanha em “comprar Sol” grego. Papandreou adiantou haver possibilidade de fornecer à Alemanha entre 10 mil a 15 mil MW de energia, tendo neste momento em processo de aprovação um projeto para instalar parques solares com 20 mil hectares destinados à exportação. O jornal Publico de 25-07-2011 também noticiou que em 2010, a Alemanha produziu 17% da sua energia elétrica a partir de fontes renováveis e o seu objectivo é alcançar 35% até 2020 e 50% até 2030.

A matriz mundial proposta no relatório da GREENPEACE garante o desenvolvimento das nações com uma redução das emissões globais em 50% até 2050, ou seja, a energia renovável usada racionalmente e com eficiência, será capaz de suprir metade da necessidade energética global até 2050. O presente relatório, “evolução energética – Perspetivas para uma energia global sustentável”, conclui que a redução das emissões globais de CO<sub>2</sub> atingirá 50% nos próximos 38 anos, é economicamente viável, e que a utilização maciça de fontes de energia renovável também é tecnicamente possível.

---

<sup>47</sup> A WWF é uma das maiores e mais respeitadas organizações independentes de conservação da natureza, com quase cinco milhões de membros e uma rede global ativa em mais de 100 países.

<sup>48</sup> Fonte: Diário Económico de 15 de Setembro de 2011.

O (IPCC), instituição da ONU que reúne mais de mil cientistas e fornece subsídios para a elaboração de políticas públicas, confirma<sup>49</sup> que hoje já existe um esmagador consenso científico sobre a realidade das mudanças climáticas.

Em resposta à ameaça do aquecimento global, o Protocolo de Quioto determinou que os países industrializados signatários reduzissem em 5,2% as suas emissões de carbono em relação aos níveis de 1990 no período de 2008 a 2012. O acordo gerou a adopção de uma série de metas de redução regionais e nacionais. A União Europeia, para atingir esse objetivo, concordou também em aumentar a participação de energias renováveis na sua matriz energética, de 6% para 12% até 2010. E devido à necessidade urgente de mudanças no setor energético, a elaboração deste cenário tomou por base apenas tecnologias testadas e sustentáveis, tais como fontes renováveis de energia e a co-geração descentralizada eficiente.

O potencial das fontes de energias renováveis foi avaliado com base em informações fornecidas por todos os setores da indústria de energia em todo o mundo e forma a base do Cenário da Revolução Energética. Décadas de progresso tecnológico demonstram que as tecnologias de energia renovável, como as turbinas eólicas, os painéis solares fotovoltaicos, as centrais geotérmicas, os colectores solares térmicos e outras energias renováveis progrediram constantemente para se transformarem na principal produção energética do futuro. As energias renováveis podem suprir 35% das necessidades mundiais de energia até 2030, considerando a vontade política de promover sua aplicação em larga escala, em todos os sectores e de forma global. Este relatório realça que o futuro do desenvolvimento das energias renováveis dependerá fortemente de escolhas políticas feitas hoje por governos nacionais e pela comunidade internacional.

Tecnologias de energias renováveis variam imensamente entre si em termos de desenvolvimento técnico e competitividade económica, mas há uma gama de opções cada vez mais atrativas e todas apresentam duas óptimas características em comum: produzem pouco ou nenhum gás de efeito de estufa e contam com fontes naturais virtualmente inesgotáveis.

Passamos à descrição de cada uma delas, começando pelo seu início histórico, o seu desenvolvimento, as soluções adoptadas qualitativas e quantitativas, bem como a apresentação de alguns exemplos já em funcionamento.

---

<sup>49</sup> Relatório do IPCC/ONU- Novos cenários climáticos (2007).

### 2.2.1 - Energia solar térmica e fotovoltaica

Estas energias renováveis são obtidas a partir do Sol. A primeira absorve e transforma os raios solares para gerar aquecimento de água e a segunda por processo idêntico absorve os raios solares e gera eletricidade, para consumo direto por carregamento de baterias ou para injectar na rede geral. Quer uma quer outra vem sendo aplicadas com sucesso em muitos países. A sua fácil instalação nos edifícios, tanto ao nível das coberturas como das paredes podem constituir um bom exemplo de auto sustentabilidade energética nos edifícios de museus. E se acoplarmos outras energias renováveis, como por exemplo a geotérmica, para o conforto térmico, e unidades de tratamento de ar para a ventilação, teremos um edifício completamente sustentável à base de energias saudáveis e renováveis.

Esta energia surgiu naturalmente, fruto de investigação e desenvolvimento, tendo origem porém numa observação ocasional, como aconteceu com muitas outras descobertas, e que foram trabalhadas e desenvolvidas posteriormente pela ciência. Atribui-se a Arquimedes no ano 212 a.C. o feito lendário de ter incendiado a frota romana com o emprego de um conjunto de espelhos, dirigindo a radiação solar incidente em direção às velas dos navios romanos. Esta é seguramente a primeira aplicação da energia solar de que se tem notícia. Já a fotovoltaica foi descoberta há menos tempo: o seu efeito foi observado pela primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel, físico francês que verificou que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas num electrólito, produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz<sup>50</sup>. Mais tarde, em 1877, dois inventores norte americanos, W. G. Adams e R. E. Day, utilizaram as propriedades fotocondutoras do selénio para desenvolver o primeiro dispositivo sólido de produção de eletricidade por exposição à luz<sup>51</sup>.

A história da energia fotovoltaica teve ainda de esperar os grandes desenvolvimentos científicos da primeira metade do século XX, nomeadamente a explicação do efeito fotoelétrico por Albert Einstein em 1905, o advento da mecânica quântica, e em particular a teoria de bandas e a física dos semicondutores, assim como as técnicas de purificação e dopagem associadas ao desenvolvimento do transistor de silício: sem a ciência moderna, seria impensável o nascimento da energia solar elétrica. As descobertas acidentais e o desenvolvimento empírico nunca nos teriam levado a ultrapassar o limiar de eficiência que a tornou viável, com a criação da primeira célula solar, mas como sempre acontece, com a investigação que se seguiu.

A primeira célula solar começou a ser desenvolvida em Março de 1953 quando

<sup>50</sup> Becquerel, E., "Memórias de efeitos eléctricos produzidos sob a influência dos raios", (1839) 561.

<sup>51</sup> Adams, W.G. and Day, R.E., (1877) "A ação da luz sobre o selénio", Proceedings of the Royal Society, A25

Calvin Fuller, um químico dos Bell Laboratory (Bell Labs), em Murray Hill, New Jersey, nos Estados Unidos da América, desenvolveu um processo de difusão para introduzir impurezas em cristais de silício, de modo a controlar as suas propriedades elétricas (um processo chamado “dopagem”). A patente desta célula solar à base de silício foi registada em Março de 1954, por Daryl M. Chapin da mesma Companhia.

Seguindo as instruções de Fuller, o físico Gerald Pearson conseguiu após vários ensaios de laboratório, estabelecer numa amostra um campo elétrico permanente. Ao caracterizar eletricamente esta amostra, Pearson verificou que produzia uma corrente elétrica quando exposta à luz.

Tinha apenas dois centímetros quadrados de área e uma eficiência de 6%, gerando 5 mW de potência elétrica<sup>52</sup>. Cinquenta anos depois, em 2004, foram produzidos cerca de mil milhões de células, com eficiências da ordem dos 16%, ultrapassando pela primeira vez a barreira de 1 GW de potência elétrica anual instalada. As primeiras utilizações desta energia resumiam-se a situações em que não estava disponível energia da rede, nomeadamente em locais remotos, e especialmente fora da Terra, quer em satélites quer em sondas espaciais<sup>53</sup>. Em 1958, o satélite americano Vanguard levou ao espaço módulos de pequena área para fornecer energia ao seu sistema de comunicação.

A primeira aplicação de uma célula solar de silício foi como fonte de alimentação de uma rede telefónica local em Americus, na Geórgia, Estados Unidos da América, em 1955. A partir dessa primeira célula desenvolveram-se os chamados painéis solares fotovoltaicos para produzir energia elétrica. A forma como o fazem consiste na conversão direta da luz do sol em energia elétrica, que pode ser utilizada de imediato ligando-a à rede geral, ou ser armazenada em acumuladores. O Sol irradia sobre a Terra anualmente algo equivalente a 10 mil vezes a energia consumida pela população mundial no mesmo período. A eletricidade gerada pela luz solar causa baixo impacto ambiental, o qual se restringe à matéria prima necessária para a construção dos painéis fotovoltaicos, quando considerados os seus resíduos provenientes no fim de vida desses painéis.

Os painéis podem ser colocados em superfícies junto ao solo (como é o caso das centrais que foram construídas no Alentejo), nas fachadas dos edifícios, nas guardas das varandas, nos telhados ou no cimo de um poste como fonte de alimentação de uma rede telefónica local, como foi o caso da primeira aplicação referida.

Um metro quadrado de módulos pode produzir em média 100 W de potência. Os módulos estão ligados entre si para produzir a eletricidade e formar a corrente elétrica. Muitos edifícios atualmente estão a utilizar energia proveniente deste sistema e alguns

---

<sup>52</sup> Fonte: <http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf> acedidos em 2012-01-02.

<sup>53</sup> Idem : <http://web.ist.utl.pt/palmira/solar2.html>.

Museus estão a implementar a mesma tecnologia, tratando-se de uma energia limpa e renovável. Segundo Tolmasquim<sup>54</sup> (2004), de uma forma geral o sistema fotovoltaico apresenta os seguintes impactos ambientais negativos:

- Emissões e outros impactos associados à produção de energia necessária para os processos de fabricação, transporte, instalação, operação, manutenção e desconstrução dos sistemas;
- Emissões de produtos tóxicos durante o processo de manuseamento da matéria prima para a produção dos módulos e componentes periféricos, tais como ácidos e outros, além de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, etc.
- Riscos associados aos materiais tóxicos utilizados nos módulos fotovoltaicos (arsénio, gálio e cádmio) e outros componentes, ácido sulfúrico das baterias (incêndio, derramamento de ácido, contato com partes sensíveis do corpo);
- Necessidade de se dispor de reciclagem correcta das baterias, geralmente do tipo chumboácido, tendo estas uma vida relativamente curta, em média quatro a cinco anos. E os módulos fotovoltaicos e demais componentes elétricos e eletrônicos têm uma vida útil média de 20 a 30 anos.

Excluindo os efeitos referidos relativamente ao fabrico dos próprios painéis, os restantes impactos durante a sua vida útil na produção de energia são pouco relevantes.

O inconveniente é o facto de necessitar de uma área de implantação significativa, com algumas alterações causadas aos ecossistemas presentes e à paisagem em termos visuais, no caso de uma central concentrada (Fig. 31). Mas em instalações descentralizadas, com a colocação dos painéis nos telhados, fachadas ou coberturas, estes não ocupam área útil significativa (pode é a solução arquitetónica ser questionada pelo seu autor).

De qualquer maneira a quantidade de emissão de produtos tóxicos durante o fabrico e posterior remoção no fim de vida é relativamente baixa quando comparada com os sistemas de produção de energia através dos combustíveis fósseis. Estima-se que a emissão de CO<sub>2</sub> na produção fotovoltaica é na ordem de 21,65 g/kWh, e de 900 g/kWh na produção à base de combustíveis fósseis<sup>55</sup>.

Em Portugal temos cerca de três mil horas de sol por ano em algumas regiões; verifica-se no entanto, que o aproveitamento deste recurso renovável tem sido muito inferior ao que é feito noutros países<sup>56</sup>. Uma das barreiras mais frequentemente citada como

<sup>54</sup> Mauricio Tiomno Tolmasquim, Presidente da Empresa de Pesquisa Energética, associada ao Ministério de Minas e Energia, do Brasil. Formou-se em 1981, em Engenharia, mestre em ciências económicas em 1982 em 1990, doutorado em Socio Economie du Développement na École des hautes études en sciences sociales (EHESS) da França. É professor associado na COPPE/UFRJ.

<sup>55</sup> Fonte: <http://pt.scribd.com/doc/2535571/Energia-fotovoltaico>.acedido a 2/1/2012

<sup>56</sup> FORUM-Energia fotovoltaica em Portugal, até 2011.

inibidora da expansão do mercado das energias renováveis é o elevado custo de investimento inicial. No entanto, os custos de exploração são consideravelmente mais baixos que os dos sistemas convencionais, o que faz com que o investimento inicial seja em poucos anos recuperado. Nos últimos anos, com vista a incentivar o aproveitamento da Energia Solar em Portugal, incluindo a fotovoltaica, o governo português legislou no sentido de oferecer a entidades públicas, privadas ou a pessoas singulares, incentivos financeiros e benefícios fiscais para a aquisição de sistemas solares. Assim, o Decreto-Lei 363/2007, de 2 de Novembro estabeleceu o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por intermédio de instalações de pequena potência, o orçamento do Estado estabeleceu ainda incentivos fiscais em sede de IRS, com dedução à colecta até 30% das despesas dispendidas com a aquisição de equipamentos novos, e em sede de IRC conforme despacho regulamentar nº 22/99, de 6 de Outubro, estipula um período mínimo de vida útil de 4 anos do sistema solar para efeitos de reintegração e amortização do investimento; relativamente ao IVA, e de acordo com a Lei nº 109-B/2001, de 27 de Dezembro, os equipamentos específicos para a captação e aproveitamento da energia solar estão sujeitos à taxa intermédia de 12%. Existem também incentivos financeiros que podem ir até 40% das despesas elegíveis, conforme regras estabelecidas na portaria nº 394/2004, de 19 de Abril. Toda esta legislação está porém sujeita a alterações pelo atual Governo e pelas exigências da troika.

#### 2.2.1.1 - Produção e custos da energia fotovoltaica

Considerando a máxima degradação do período de vida útil dos sistemas de energia solar e a quantidade de energia elétrica gerada esse período de vida útil do sistema nos casos de pior performance, podemos prever os seguintes resultados:

Com uma produção diária de energia igual a 350 kWh e com 5,5 horas de insolação diária<sup>57</sup>, temos um total de 1925 kW/dia. Então a produção anual de energia é igual a  $1925 \times 365 \text{ dias} = 702.625 \text{ kW/ano}$ .

Considerando a vida útil dos painéis nos 25 anos temos então  $702.625 \times 25 = 17.565.625 \text{ kW}$  ou 17,57 MW.

Assumindo uma taxa otimista de aumento no custo da energia elétrica nos 25 anos da vida do sistema com um valor médio de 0,35€/kWh, as contribuições de poupança projectadas pelos sistemas de energia solar poderiam ser aproximadamente 6.147.968,75€. Se assumirmos uma taxa de 1% do custo dos sistemas de energia solar para manutenção geral, a poupança na rede de energia ao longo do tempo de vida útil do sistema seria na

---

<sup>57</sup> Casos de produção horária de energia e insolação diária mais desfavoráveis.

ordem dos seis milhões de euros (6.086.489,00€)<sup>58</sup>.

Pelo contrário, quando se gera energia elétrica através da queima de combustíveis fósseis, como resultado da produção de emissões de dióxido de carbono para a atmosfera somos penalizados com acréscimos de impostos de acordo com os meios utilizados tanto na produção como nos transportes, e em função do tipo de combustível fóssil utilizado tal como o gás natural, o petróleo ou o carvão.

Embora o mercado mundial de PV tenha crescido mais de 30% ao ano nos últimos anos, a contribuição da tecnologia fotovoltaica para a geração de eletricidade ainda é muito pequena. O foco da investigação nesta tecnologia prende-se com o aperfeiçoamento de módulos existentes e dos componentes do sistema e no desenvolvimento de novos tipos de células no sector de filmes finos e novos materiais para as células cristalinas. A previsão é que a eficiência comercial das células cristalinas melhore entre 15% a 20% nos próximos anos e que as células de filmes finos que utilizam menos matéria-prima estejam disponíveis no mercado a curto prazo. O factor de desenvolvimento para módulos PV tem-se mantido constante por um período de mais de 30 anos, indiciando um elevado índice de aprendizagem técnica e redução de custo. Atualmente para se ter 5 kW de potência instalada necessita-se de uma área de 100 m<sup>2</sup> que custa entre 37 mil a 75 mil euros, dependendo do grau de integração, isto é, se faz parte da estrutura ou não<sup>59</sup>. Considerando uma capacidade global instalada de 2.000 GW em 2050, calcula-se que os custos de produção de eletricidade estarão por volta de 0.25-0.5 cêntimos por kWh. Comparada com outras tecnologias de renováveis, a energia fotovoltaica deve, portanto, ser classificada como uma opção a longo prazo. A sua importância deriva da sua grande flexibilidade e do seu enorme potencial técnico, incluindo a facilidade de produção descentralizada “Microgeração”.

- Microgeração

É a produção de energia pelo próprio consumidor, utilizando equipamentos de pequena escala, podendo a energia produzida ser vendida à rede a preços vantajosos.

O Decreto-Lei da Microgeração (Decreto-Lei 118A/2010) incentivou recentemente a instalação e utilização de pequenos sistemas produtores de energia elétrica a partir de fontes renováveis, nomeadamente a energia solar, e simplificou o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por intermédio de instalações de pequena potência, designadas

---

<sup>58</sup> Neste valor está incluído o custo da instalação, dado que o preço unitário considerado tem por base o preço atual da energia elétrica que também já inclui os custos das unidades de produção.

<sup>59</sup> Energias renováveis e desenvolvimento sustentável. Por Carlos Pimenta ao Jornal de Animação da rede Portuguesa II Série | Nº 36 - 2006

por unidades de microprodução, procedendo à segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 363/2007, de 2 de Novembro, e à segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 312/2001, de 10 de Dezembro.

Assim, qualquer consumidor de energia elétrica poderá passar a ser produtor e vender o excesso à Rede Elétrica Nacional. O regime remuneratório encontra-se dividido em regime geral e regime bonificado. O regime bonificado aplica-se a unidades de produção com potência inferior a 3,68 kW. A energia elétrica poderá ser de origem solar, eólica, hídrica, ou a partir de biomassa. No regime bonificado, a tarifa da venda de eletricidade (solar) é de 0,38€/kWh nos primeiros 8 anos e de 0,22€/kWh nos 7 anos seguintes. A partir do 16º ano, inclusive, a tarifa de venda deixa de ser bonificada, passando a ser idêntica à tarifa de compra. Excepcionalmente, a Câmara Municipal de Moura financia os investimentos em microgeração dos seus municípios em 70% do investimento.

- Mini geração

Saiu também recentemente nova legislação para a miniprodução de energia elétrica para uma potência máxima de ligação à rede de 250kW. O Decreto-Lei n.º 34/2011 de 8 de Março, estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por intermédio de instalações de pequena potência, designadas por unidades de miniprodução.

Existem três escalões, definidos da seguinte forma:

Escalão I - Unidades com potência inferior ou igual a 20 kW - Remuneração definida pela tarifa anual de referência.

Escalão II - Unidades com potência superior a 20 kW até 100 kW - Remuneração com base em tarifa a apurar após oferta dos interessados.

Escalão III - Unidades de potência superior a 100 kW até 250 kW - Remuneração com base em tarifa a apurar após oferta dos interessados.

A tarifa de referência para o ano de 2011 foi de 250 € / MWh.

Para que se possa ser miniprodutor, seja para particulares ou empresas, terá que se satisfazer os seguintes requisitos:

- Contrato de compra de eletricidade, com uma potência contratada igual a 2 vezes a potência de ligação (Ex: A uma potência contratada de 50 kVA, poderá associar-se uma potência de ligação de 25 kW).

- O edifício terá que ser alvo de uma auditoria energética, cujo custo das medidas a implementar não tenham um retorno para além de:

Escalão I - 2 anos

Escalão II - 3 anos

### Escalão III - 4 anos

- A energia consumida no local, terá que ser igual ou superior a 50% da energia produzida. (Ex: Consumo anual = 10.000 KWh - Produção anual máxima = 20.000 KWh)

As condições necessárias para obter a devida aprovação, de uma instalação por contador de energia em baixa tensão para produção de energia fotovoltaica são:

- 1 - Local com boa exposição solar, sem sombras, voltado a sul com pelo menos 40 m<sup>2</sup> disponíveis (2m<sup>2</sup> para coletores solares e 36 m<sup>2</sup> para painéis fotovoltaicos).
- 2 - Local da instalação facilmente acessível.
- 3 - Local para colocação de equipamentos para o correto funcionamento da instalação.
- 4 - Não se pode injetar na rede uma potência superior a 50% da potência contratada.

#### 2.2.1.2 - Projetos de aplicação diversos

Na União Europeia, Portugal é, depois da Grécia e da Espanha, o país com maior potencial de aproveitamento de energia solar. Com mais de 2300 horas/ano de insolação na Região Norte, 3000 horas/ano no Algarve e ainda com 2.200 a 3.000 horas de radiação solar por ano no Alentejo, temos condições de gerar grande quantidade de



Fig. 31 - Painéis fotovoltaicos - Alentejo. 2011/8/10  
Fonte: <http://www.cienciapt.net/pt/index.php?option>

potência fotovoltaica. No distrito de Beja (Fig. 31) encontra-se uma grande central fotovoltaica instalada em Portugal. É lá que estão situadas as três centrais solares de Ferreira do Alentejo e aquela que, em tempos, chegou a ser considerada uma das maiores do mundo, na Amareleja, com a capacidade de produzir 46,41 MW<sup>60</sup> (de onde se conclui que o nosso país dispõe de uma situação privilegiada para o desenvolvimento deste tipo de energia). Apesar de hoje em dia a energia solar fotovoltaica ser utilizada principalmente em sistemas independentes para fornecer eletricidade a localidades rurais remotas, em equipamentos de bombagem para irrigação agrícola e em sistemas de telecomunicações, a tendência futura é que as aplicações com ligação à rede elétrica pública se imponham, nomeadamente no que diz respeito à integração dos sistemas fotovoltaicos em edifícios. Prevê-se ainda o aumento do número de sistemas integrados, à semelhança do que foi desenvolvido para a Federação Portuguesa de Futebol no centro de estágio das seleções

<sup>60</sup> Confirmado por Francisco Aleixo, director-geral da Amper Central Solar, empresa criada para construir e gerir a central.

nacionais em Sintra, onde se integraram a utilização de energia fotovoltaica, geotérmica e solar térmica.

#### 1 - Complexo desportivo em Sintra

Está prevista a construção de um complexo desportivo de alta competição para albergar as Seleções Nacionais de Futebol, em Sintra. Para este fim, a Agência Municipal de Energia de Sintra (AMES) associou-se com as entidades promotoras, incluindo a Câmara Municipal de Sintra e a Federação Portuguesa de Futebol (FPF), no sentido de, ao abrigo do Programa Europeu ALTENER, se estudar uma forma de tornar auto-suficiente em energia o futuro complexo desportivo, aproveitando ao máximo os recursos renováveis disponíveis localmente. A introdução de energia geotérmica, aproveitando a enorme massa térmica do solo, instalando sondas horizontais a 2 m de profundidade, produz a climatização do ar ambiente, reduzindo os consumos de energia em climatização ativa. A introdução de energia solar térmica, aproveitando as coberturas planas envolvidas por platibandas, permite a instalação de 976 m<sup>2</sup> de colectores solares com uma bem conseguida integração estética e simultaneamente um fácil acesso para manutenção. O abastecimento de eletricidade será efectuado por painéis solares fotovoltaicos instalados em fachadas orientadas a sul, em palas, integrado em coberturas e ainda em coberturas ligeiras de campos cobertos. Sem a ocupação de espaços adicionais, consegue-se abastecer todo o complexo de eletricidade e ainda sobram 10% para vender.

#### Energias renováveis previstas para o complexo desportivo de Sintra. Valores comparativos entre produção e necessidades.

Forma de Energia e Tecnologia.	Aquecimento Ambiente. kWh/ano (%)	Arrefecimento Ambiente. kWh/ano (%)	A. Sanitário e Piscina kWh/ano, (%)	Eletricidade kWh/ano, (%)	TOTAL kWh/ano, (%)
Geotérmica	24 653 (2.5%)	21 887 (24%)	—	—	46 540 (2.5%)
Solar Térmica	139 091 (14%)	69 275 (76%)	332 869 (89.4%)	—	865 453 (46.7%)
Biomassa	825 910 (83.5%)	—	39 543 (10.6%)	—	865 453 (46.7%)
Solar Fotovoltaica	(2)	(2)	—	440 576 (110.1%)	440 576 (23.8%)
Energia Eólica	—	—	—	(2)	(2)
TOTAL	989 654	91 162	372 412	440 576	1 893 804
TOTAL das necessidades úteis	989 654	91 162	372 412	400 000	1 853 228
% de cobertura das necessidades	100%	100%	100%	110.1%	102.2%

Tabela 1 - Energias renováveis no programa Europeu, em complexos desportivos.

Fonte: <http://www.ames.pt/mgallery/default.asp?obj=295> acesso em 30/1/2012

Os ganhos totais anuais são estimados em 1.853,2 MWh/ano, excedendo em 2.2% as necessidades úteis em energia. Este valor em excesso é proveniente da energia solar fotovoltaica, pelo que a eletricidade excedentária será fornecida à rede elétrica nacional, gerando receitas adicionais para o empreendimento e contribuindo para descongestionar as redes elétricas já sobressaturadas, introduzindo uma relação biunívoca.

## 2 - Novo aeroporto de Lisboa

Também no projeto elaborado para o novo aeroporto de Lisboa o terminal de passageiros tinha prevista uma cobertura preenchida com uma área de 16 hectares de painéis solares, e ficaria também preparado para reaproveitar a água das chuvas, conforme foi noticiado no jornal “O Sol” de 10 de Dezembro de 2010. O presidente da NAER, Carlos Madeira, na conferência realizada em Lisboa com o título “Aviação, Ambiente e Custos Energéticos” descreveu como aquele projeto previa ajudar a reduzir os impactos ambientais: “O telhado irá ter uma área de aproximadamente 10 hectares em 2050, permitindo-nos captar a energia solar através de painéis, bem como reaproveitar as águas da chuva”. No entanto, como a produção de energia por este método não será suficiente para suprir todas as necessidades do complexo, os planos da NAER passavam também pela implementação de uma central de energia abastecida a gás, que apesar de ser um recurso poluente é dos menos poluentes.

## 3 - Natura Towers em Lisboa, no Alto da Faia, Lumiar, junto ao Eixo Norte-Sul

Foi atribuído ao edifício Natura Towers, sede do grupo MSF (Fig. 32), o Certificado de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior com a classificação máxima de classe A+. Este é, de acordo com o comunicado da empresa, o “primeiro edifício de escritórios em Portugal a alcançar esta classificação”. Esta avaliação implica que o consumo energético de um edifício novo, neste caso de escritórios, é de 0% a 25%, comparativamente aos consumos de referência para edifícios desta categoria. Nas Natura Towers<sup>61</sup>, as emissões anuais estimadas de gases de efeito de estufa, “são de 117,6 toneladas, o que representa uma redução de, pelo menos, 75% face às emissões de referência”.



Fig. 32 - Natura Towers, do grupo MSF.  
Fonte: Projecto de arquitectura GJP

## 4 - Centro Tecnológico de Moura

Situado paredes meias com a Amareleja, funciona o laboratório solar que se tem dedicado à investigação nesta área, pioneiro do género em Portugal e no mundo inteiro<sup>62</sup>. O

<sup>61</sup> Fonte: Conferência Nacional sobre Sustentabilidade na reabilitação urbana. (Set.2011).

edifício foi construído com duas fachadas viradas a sul, insolação térmica e um sistema de aquecimento e arrefecimento integralmente alimentado a energia térmica. Além disso, vai ter integrada uma central fotovoltaica de 15 kW e um sistema de tratamento de águas da chuva para descargas sanitárias e rega, outros elementos que ajudam a tornar o edifício eficiente e com zero emissões associadas de CO<sub>2</sub>.



Fig. 33 - Laboratório e central solar fotovoltaica de Moura.

Fonte: [http://www.portaldemoura.com/index.php?Itemid=285&id=739&option=com\\_content&task=view](http://www.portaldemoura.com/index.php?Itemid=285&id=739&option=com_content&task=view)  
Acedida a 2011/12/9

#### 5 – Torre de energia solar, Rio de Janeiro

O Governo Brasileiro está a desenvolver um projeto para surpreender o mundo nos Jogos Olímpicos de 2016, pela imagem da sustentabilidade e renovação de energia limpa.

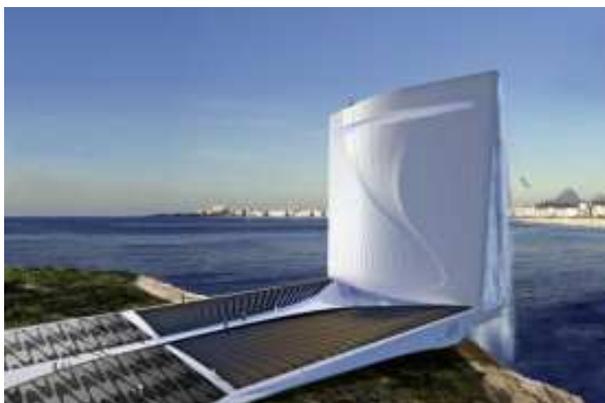


Fig. 34 - Torre de energia solar, vista posterior – Rio de Janeiro.

Fonte: [www.funco.org/?ID=12&cod=2D9FBF5762CF9E386D2](http://www.funco.org/?ID=12&cod=2D9FBF5762CF9E386D2) Acedidas a 23/4/2012



Fig. 35 - Torre de energia solar, a construir no Rio de Janeiro

Trata-se de uma torre de energia solar com 105 m de altura, construída sobre uma ilha entre a cidade do Rio de Janeiro e Niterói,<sup>63</sup> da qual brota uma cascata. A cascata é realmente o elemento iconográfico de uma central de energia solar que, de acordo com os arquitetos do gabinete RAFAA (autores do projeto) espera vir a fornecer energia suficiente para ajudar a tornar os Jogos Olímpicos neutros de carbono. Na verdade, os arquitetos esperam que o edifício produza energia suficiente a partir da luz solar para acionar as

<sup>62</sup> Dados da DGEG-Direção Geral de Energia e Geologia.

<sup>63</sup> [http://obviousmag.org/archives/2010/04/torre\\_sustentavel\\_nos\\_olimpicos\\_de\\_2016.html](http://obviousmag.org/archives/2010/04/torre_sustentavel_nos_olimpicos_de_2016.html) acesso 2012/1/16.

bombas que elevam a água do mar até aos reservatórios colocados no topo da estrutura. Por sua vez, esses reservatórios esvaziam a água, despejando para baixo durante a noite e acionando turbinas para gerar eletricidade. O lançamento da água formando a atraente “cachoeira” será apenas para "ocasiões especiais". Para além desta função energética, o edifício funcionará como um centro de entretenimento, com varandas panorâmicas, espaços de restauração e lazer, atividades de bungee jumping e uma "caminhada de céu de vidro" no topo.

#### 6 - Museu da água e da vida, Califórnia, Estados Unidos da América

Os Estados Unidos da América correspondem a 5% da população mundial, mas consomem 25% da energia total global. Como resultado do seu poder económico, este país tem um dos maiores padrões de vida, e uma riqueza que resulta em parte pela posse e produção de energias primárias. As soluções criadas para co-geração de Energia Solar foram as medidas mais significativas incluídas nos projetos de poupança de energia dos Museus da Água e da Vida, da Antropologia e da Paleontologia, projeto de Peter Gevorkian e McGraw Hill. Também aqui, a inclusão de energia solar fotovoltaica é uma componente integrante da arquitetura destes museus, através de um sistema solar de 540 kWh, que consiste em 2955 painéis solares altamente eficientes da Sharp Electronic, que cobrem todos os telhados do campo dos museus (Fig. 36). Atualmente, a capacidade de produção de energia elétrica do sistema está dimensionado para produzir aproximadamente 70% da necessidades totais. O sistema de geração de energia solar produz cerca de 550 MWh de energia elétrica, correspondendo apenas a 8% do total de capital investido; descontando o incentivo de 50% no preço da energia solar CEC e considerando a escalada do custo previsto para a energia elétrica, espera-se que o investimento de sistemas de co-geração de energia solar seja recuperado em menos de 5 anos. Tendo em conta os 25 anos de garantia da vida útil dos painéis de energia solar e o custo mínimo de manutenção do sistema, a co-geração de energia poupará quantidades significativas de energia, sem contribuir para a poluição atmosférica pois não lança toneladas de dióxido de carbono para o ar, estimado em 12.727.272,70 kg.



Fig. 36 - Museu da água e da vida com painéis fotovoltaicos.

Fonte: Tradução livre dos cadernos Power in Building Design



Fig. 37 - Museu da água e da vida, pormenor do sistema integrado na construção.

A Fig. 37 mostra o Sistema de energia solar integrado (BIPV) na construção do Museu da Água e da Vida<sup>64</sup>. O projeto de engenharia elétrica tomou medidas especiais para maximizar os resultados da produção de energia solar, nomeadamente, e para além da produção de energia direta, a montagem de painéis solares nos telhados proporciona sombra, a qual aumenta o tempo de vida útil da cobertura do telhado em aproximadamente 25%; esta sombra mantém também os telhados frescos, aumentando o valor “R” de insolação e ajudando a melhorar as condições térmicas. Um avançado sistema de telemetria e um sistema de monitorização estão instalados para monitorizar e mostrar em tempo real os parâmetros de consumo de energia em cada prédio. Consumos de energia em kWh, eficiência do sistema de energia, saída de energia estatística, manómetros de pressão, temperatura exterior, humidade e muitos outros parâmetros operacionais são instantaneamente exibidos em telas de supervisão.

O Museu da Água e da Vida fornece ainda uma exposição interativa, especialmente desenhada, sobre a energia solar, onde os visitantes do museu estão autorizados a interagir e requisitar informação sobre o sistema de co-geração de energia solar.

## 7 - O maior Escritório Solar do mundo, na China

A China é frequentemente apelidada como um usuário pesado de combustíveis fósseis e como poluidor ou assassino climático, porque atende a 70% das suas necessidades de energia explorando o carvão. No entanto, este país está igualmente a desenvolver enormes mudanças em direção à vanguarda nas políticas de defesa do meio ambiente. Devagar mas com firmeza, estão a ser implantadas fontes de energia eólica, solar

<sup>64</sup> Solar Power in Building Design. Peter Gevorkian, Mc Graw Hill. Introdução (pág. XVII a XXIV).

e geotérmica. A China foi distinguida por ter instalado energia solar no maior edifício do mundo (Fig. 38), situado em Dezhou, Província de Shandong, no noroeste do país. O edifício ocupa uma área de 75.000 m<sup>2</sup>, divididos entre espaços para centros de exposições, centros de investigação científica, de reunião, instalações de desporto e ainda um hotel. O edifício que é simbolicamente descrito como o “altar do Sol e da Lua” consegue suprir as suas necessidades energéticas em 95% através do recurso a fontes alternativas renováveis e limpas, nomeadamente energia solar.



Fig. 38 - Maior edifício do mundo na China, com 95% de energia solar.  
Fonte: <http://blogdoadeli.blogspot.com/2011/08/cidades-sustentaveis-relogio-solar.html> Acedida a 2011/09/30

Este edifício, cuja cor exterior branca representa a energia limpa, apresenta a forma de um relógio de sol, o que permite uma melhor eficiência de captação (mesmo com o movimento da Terra em relação ao Sol ao longo do dia e dos meses), através da sua superfície exterior coberta de painéis fotovoltaicos, que captam a luz natural e a transformam em energia elétrica e de aquecimento. Em termos de boas práticas, destaca-se também a mínima quantidade de aço utilizada na estrutura do edifício e a cobertura e paredes isolantes, que garantem uma economia de 30% nos sistemas de conforto térmico.

## 8 - Museu e Academia de Ciências no Parque Golden Gate, em São Francisco, EUA

Trata-se de um complexo museológico e científico cujo edifício foi apelidado como o mais ecológico e sustentável do mundo (Fig.39). Além de Museu de História Natural, tem um Planetário, um aquário, uma floresta tropical que se desenvolve em quatro andares e um laboratório de investigação e educação. A autoria deste projeto, que mantém a fachada principal do edifício original em volta do qual se desenvolve o novo edifício, é do arquiteto italiano Renzo Piano<sup>65</sup>. A cobertura é composta por uma camada de solo com uma

<sup>65</sup> Arquiteto italiano, premiado com o Prémio Pritzker de Arquitetura em 1998, conta com obras de referência por todo o mundo, como o Centro George Pompidou em Paris, ou o Terminal do Aeroporto Internacional de Kansai, Osaka, Japão.

plantação de cerca de dois milhões de espécies da flora autóctone dos EUA. As plantas e o solo colaboram para o isolamento térmico do edifício, minimizando as suas necessidades energéticas, e a forma curva do telhado está calculada para armazenar anualmente perto de nove milhões de litros de água da chuva além de criar uma certa proteção do vento. Um sistema de clarabóias em conjunto com as janelas na fachada Sul, abrem e fecham automaticamente, facilitando a passagem da brisa do pacífico, ajudando a equilibrar a temperatura e circulação de ar no interior. Contornando todo o edifício, estão instalados sessenta mil painéis solares que geram cerca de 15% da energia de que o complexo necessita. “Surpreendente, elegante e verde, o edifício é brindado com esta solução, que deixa pensar que aquela gigantesca massa retilínea podia ter emergido do solo, impecavelmente cuidado, a cobrir o que afinal é uma obra de arte da arquitetura da engenharia e de construção, ambientalmente sustentável”.(Ciência Hoje)



Fig. 39 - Museu ecológico em São Francisco, E.U.A, inaugurado a 2008-09-28.  
Fonte. Ciência Hoje. 20 de Julho de 2012 Jornal de Ciência Tecnologia e Empreendedorismo.

### 2.2.1.3 – Perspetivas para o futuro da energia fotovoltaica

A energia fotovoltaica ocupa lugares de destaque a nível mundial, com perspetivas de produção na ordem dos 28.000 TWh até ao ano 2040. A avaliação Energética Mundial das Nações Unidas<sup>66</sup> prevê que o mercado de geração de eletricidade solar térmica vá desfrutar de um crescimento dinâmico similar ao da indústria eólica, mas com um atraso de 20 anos. A situação atual continua a ser extremamente interessante do ponto de vista da investigação e desenvolvimento (I&D), ainda longe de decidir qual será o material de base das células do futuro que romperão a barreira da produção em larga escala, e muito menos a sua tecnologia. De facto, apesar do entusiasmo das “primeiras”, “segundas” e “terceiras gerações” (designações de tipos de tecnologias sem grande significado real) nada está decidido. O velho silício cristalino, depois de muitas vezes preterido por outros materiais

<sup>66</sup> Agência Internacional de Energia (AIE) chamado Perspectiva Energética Mundial 2004 (WEO 2004).

emergentes, soube até agora manter-se à frente na corrida da produção industrial. Os filmes finos de silício amorfo e os filmes policristalinos de CdTe (telurieto de cádmio) e de CIS (seleniuto de cobre e índio) são concorrentes fortes, com produção industrial realizada, mas perfilam-se igualmente os orgânicos poliméricos, as células electroquímicas, os filmes de compostos III-V (até agora remetidos para a utilização no espaço), ou as recentes “antenas”.

Mesmo as próprias tecnologias de um mesmo material estão em contínua competição. A aposta mais recente na investigação para a produção desta energia é a das películas de materiais em “versão nano” que entre as suas várias vantagens destacam o facto de “poderem ser fabricadas de forma completamente flexível, ou seja, de manterem a sua eficiência inalterada sob grandes torções mecânicas, resultados que são absolutamente inigualáveis por qualquer outro tipo de material fotovoltaico atualmente conhecido”.<sup>67</sup>



Fig. 40 - O Hélios, da Nasa.

Fonte: [http://nautilus.fis.uc.pt/gazeta/revistas/29\\_1-2/vol29\\_1\\_2\\_Art06.pdf](http://nautilus.fis.uc.pt/gazeta/revistas/29_1-2/vol29_1_2_Art06.pdf) –acedido a 2012/01/15

Na sequência desta prevista evolução, as cidades irão ter cada vez mais edifícios com soluções arquitetónicas incorporando a instalação de painéis fotovoltaicos, integrados em vãos de janelas, revestimentos das coberturas, guardas de varandas, palas de sombreamento, etc.. Da mesma forma, os museus e centros culturais irão gerar a sua energia eléctrica através dos FV, instalados também nas fachadas, varandas, janelas e coberturas, produzindo a múltipla função de revestimento, isolamento impermeabilização ou sombreamento. Com o crescente desenvolvimento tecnológico, a integração destes elementos nas fachadas caminha no sentido de poder produzir soluções arquitetónicas cada vez mais integradas, podendo ser utilizadas pelos arquitetos como uma mais-valia criativa.

<sup>67</sup> Luís Pereira, investigador da Universidade de Aveiro ao Diário Económico de 15/2/2011.

### 2.3 - Energia Eólica

O vento tem sido utilizado como uma fonte de energia desde há milénios. Acredita-se que antes da invenção dos cata-ventos na Pérsia, no século 200 a.C., já a China por volta de 2000 a.C. e o Império Babilónico por volta 1700 a.C. utilizavam cata-ventos rústicos para irrigação<sup>68</sup>. Historicamente é sabido que os Gregos usaram barcos à vela na batalha de Salamina contra os Persas,<sup>69</sup> no ano 480 a.C, e os Egípcios já antes os usavam para navegar no rio Nilo. As aplicações do vento permitiram a navegação à vela, a bombagem de água dos poços, o funcionamento de moinhos, e ainda hoje nos balões de ar e parapentes. Além disso (de uma forma mais discreta aos olhos da maioria das pessoas) é usado como meio de interação nas descolagens e aterragens do tráfego aeronáutico. O primeiro registo histórico da utilização da energia eólica para bombeamento de água e moagem de grãos através de cata-ventos é proveniente da Pérsia, por volta do século II a.C. A introdução dos cata-ventos na Europa deu-se no retorno das Cruzadas, há 900 anos. O uso do vento como uma fonte de energia para gerar eletricidade é que se aplica há relativamente pouco tempo: o início da adaptação dos cata-ventos para geração de energia elétrica teve início no final do século XIX. Em 1888, Charles F. Bruch, um industrial apaixonado pela electrificação, ergueu na cidade de Cleveland, Ohio, o primeiro cata-vento destinado à geração de energia elétrica (Fig. 41). Tratava-se de um cata-vento que fornecia 12kW em corrente contínua para carregamento de baterias, as quais eram destinadas, sobretudo, para o fornecimento de energia para 350 lâmpadas incandescentes.<sup>70</sup> Bruch serviu-se da configuração de um moinho para o seu invento: a roda principal, com suas 144 pás, tinha 17m de diâmetro, assente numa torre de 18m de altura. O conjunto era sustentado por um tubo metálico central de 0,36 m de diâmetro que possibilitava o movimento circular de todo o sistema, acompanhando assim o vento predominante. Esse sistema esteve em operação por 20 anos, sendo desativado em 1908, e ficou para a História como um marco na utilização dos cata-ventos para a produção de energia elétrica, que entretanto se passaram a chamar turbinas eólicas.

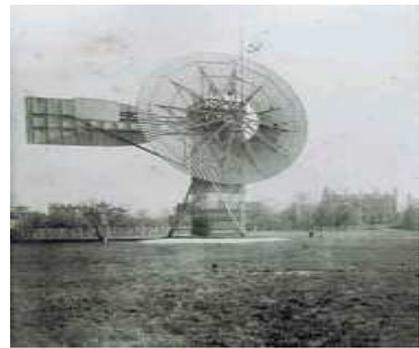


Fig. 41 - Catavento de Bruch  
Fonte: Universidade Federal da Baía.

A energia elétrica produzida, com a evolução introduzida nos geradores passou de 50kW em 1885 para 7.000 kW em 2010. As maiores turbinas eólicas do mundo, várias delas instaladas na Alemanha, têm capacidade de 6 MW. Nos últimos anos o impedimento para o

<sup>68</sup> Desenvolvimento histórico de moinhos de vento por CHESF-BRASCEP, 1987 e SHEPHERD, 1994  
Fonte: <http://www.cresesb.cepel.br/content.php?catid=3> acessado a 5/3/2011

<sup>69</sup> Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Navio\\_de\\_guerra](http://pt.wikipedia.org/wiki/Navio_de_guerra) acessada a 18/7/2011

<sup>70</sup> RIGHTER, 1991 e SHEPHERD, 1994 na Revista SCIENTIFIC AMERICAN, 1890  
Fonte: <http://www.scientificamerican.com/sciammag/> acessada a 25/7/2011

desenvolvimento deve-se aos custos de novos sistemas desta tecnologia em alguns países e ao necessário aumento de investimentos por parte dos fabricantes, para o aperfeiçoamento e desenvolvimento da tecnologia.

### 2.3.1 - Tipo de turbinas e formas de cálculo

A turbina de vento é um corpo rígido simétrico que está livre para rodar em torno de um eixo fixo a um poste. As turbinas de vento modernas estão classificadas como turbinas de eixo horizontal ou turbinas de eixo vertical. As turbinas de eixo vertical têm lâminas que rodam à volta desse eixo vertical, e a sua aparência visual é parecida à de uma bateadeira de ovos. As turbinas de eixo horizontal têm lâminas que rodam à volta desse eixo horizontal. Estas últimas turbinas são atualmente as que têm maior utilização. Uma típica turbina de eixo horizontal consiste num rotor com duas ou mais lâminas ligadas a uma cabine instalada no topo de um poste que está encastrado numa base enterrada no solo. A energia eólica é proporcional à velocidade do vento elevada ao cubo, e ao raio elevado ao quadrado do ventilador. A área é a área de superfície do círculo formado pela ponta rotativa da lâmina do rotor. A energia eólica é máxima se a direção do vento for perpendicular ao plano de rotação da lâmina do rotor, caso contrário a energia eólica será menos do que o máximo. Se a direção do vento for paralela ao plano de rotação das lâminas do rotor, a turbina de vento pode não fornecer nenhuma energia eólica. Como a velocidade do vento raramente é constante (varia desde nulo ao normal ou excepcional), a velocidade da rotação da ponta da turbina provoca a produção de energia elétrica que corresponde ao produto da eficiência multiplicada pela entrada de energia eólica.

A eficiência deste sistema depende de vários fatores. Um fator é a eficiência da conversão de energia mecânica da lâmina do rotor em energia elétrica. Outro fator é a taxa de rotação da lâmina do rotor em função da velocidade do vento. Sendo a velocidade muito grande, a lâmina do rotor pode rodar muito depressa e danificar o sistema. Para evitar este problema, as turbinas de vento devem ser desligadas em condições de vento muito forte.

- Cálculo da Potência do vento

Uma turbina eólica capta uma parte da energia cinética do vento<sup>71</sup>, que passa através da área varrida pelo rotor, e a transforma em energia elétrica. Considerando-se um fluxo de ar, movendo-se a velocidade  $V_1$ , perpendicular à secção transversal de um cilindro, e a energia cinética da massa de ar  $m$  é igual :  $E = m.V_1^2/2$

<sup>71</sup> Maurício Nunes Santana da Universidade Federal da BAHIA. Op. Um sistema de geração eólica. (2009).

- A potência  $P$  disponível no vento é definida como a derivada da energia em ordem ao tempo.

$$P = dE/dt = m V_1^2/2$$

O fluxo de massa de ar é dado por

$$m = \rho V_1 A$$

Substituindo a equação, temos:

$$P = 1/2 \rho A V_1^3$$

Onde:  $P$  = potência disponível no vento [W];

$E$  = energia cinética do vento [J];

$t$  = tempo [s];

$m$  = fluxo de massa de ar [kg/s];

$V_1$  = velocidade do vento [m/s];

$\rho$  = massa específica do ar [kg/m<sup>3</sup>];

$A$  = Área da seção transversal [m<sup>2</sup>]

Quando analisamos o vento que passa pela área varrida pelo rotor de uma turbina, devemos considerar o coeficiente aerodinâmico de potência do rotor ( $CP$ ) e o rendimento do conjunto gerador/ transmissões mecânicas e elétricas ( $\eta$ ). O coeficiente aerodinâmico de potência do rotor tem seu valor máximo teórico, de acordo com a lei de Betz, de 59,3% e varia com o vento, rotação e parâmetros de controle da turbina. Assim, a potência útil produzida pela turbina eólica deve ser escrita da seguinte forma:

$$P = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot V_1^3 \cdot C_p \cdot \eta$$

Contando com os fatores que influenciam a energia do vento, temos a altitude e a temperatura ambiente.

Logo, a energia cinética de um corpo em movimento é proporcional à sua massa; sendo assim, a energia cinética do vento depende da densidade do ar. A densidade do ar, por sua vez, varia com a temperatura e a pressão atmosférica, conforme a expressão abaixo:

$$\rho = P/R T$$

Onde:  $R$  = constante do ar [287 J/kg.K];

$P_a$  = pressão atmosférica [Pa];

$T$  = temperatura ambiente [K];

A massa específica do ar depende também da altitude e da temperatura ambiente, já que a altitude afeta a própria temperatura e a pressão atmosférica do local. A expressão abaixo estima a massa específica do ar  $\rho$  em função da altitude do local e da temperatura ambiente:

$$\rho = 353,4 (1 - z/45271)^{5,2624} / (273,15 + T)$$

Onde:  $\rho$  = massa específica do ar [kg/m<sup>3</sup>];

$z$  = altitude do local [m];

$T$  = temperatura ambiente [°C].

Em condições meteorológicas padrão, isto é, 15°C e 1.013 hPa, a massa específica do ar  $\rho$  é 1,225 kg/m<sup>3</sup>. Usando o cálculo automático descrito no Manual das Energias renováveis de Hilário Dias Nogueira, publicado pela AECOPS, podemos seleccionar o gerador mais adequado a cada situação em concreto (Fig. 42).

Sabendo a potência real e aplicando a fórmula da potência teórica, obtemos o diâmetro das pás 3 m

No mercado teremos de procurar qual dos tipos de gerador, tem um alternador que satisfaça os cálculos efectuado

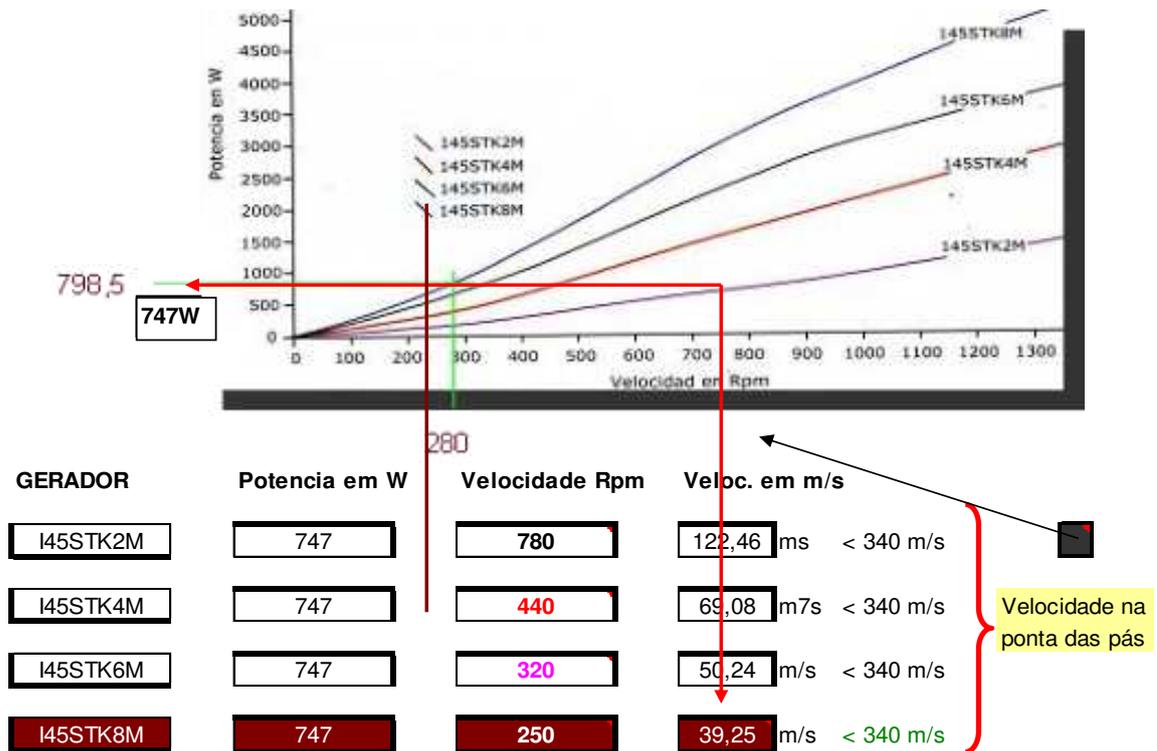


Fig. 42 - Cálculo automático do gerador para diversas condições.

$$D = \sqrt{\frac{\text{velocidade anual do vento} \times \text{Energia diária}}{\eta \times \pi \times \rho \times V^3}}$$

$$V = \omega \times R = \frac{2 \times \pi \times}{\text{tempo min}} \times R = \frac{2 \times 3,14 \times 250}{60} \times 1,5 = 39,25 \text{ m/s}$$

Podemos seleccionar o alternador I45STK8M, que para 747 W tem uma velocidade de 39,25 m/s menor que a velocidade de ruído que é 340m/s e menor do que qualquer outro gerador. A torre pode ter 10 metros com um rotor de duas pás. Naturalmente, este tipo de

energia tem algumas desvantagens, porém, as vantagens são muito superiores, como se pode verificar seguidamente.

- Vantagens

- A energia eólica é uma energia renovável, considerada uma energia limpa por ter um impacto mínimo no ambiente comparado com outras formas de energia.
- As turbinas de vento fornecem energia elétrica sem emitir gases de efeito de estufa, e sem esgotar o vento.
- Não gera resíduos de longa duração.
- É uma fonte de energia que pode competir em termos de rentabilidade com as fontes de energia tradicionais.
- Contribui para reduzir a elevada dependência energética do exterior e não recorre à importação de combustíveis.
- O seu aproveitamento permitirá aos países uma poupança correspondente a uma menor aquisição de direitos de emissão de dióxido de carbono para cumprimento dos compromissos resultantes da Directiva europeia de comércio de emissões derivada do Protocolo de Quioto.
- Os parques eólicos são compatíveis com outros usos e utilizações do terreno (como, por exemplo, a agricultura ou a criação de gado).
- Em menos de seis meses, o aerogerador recupera a energia gasta com o seu fabrico, instalação e manutenção.
- Os aerogeradores não necessitam de abastecimento de combustível e requerem escassa manutenção, uma vez que só se procede à sua revisão em cada seis meses.
- Energia suplementar em zonas ventosas; é a melhor alternativa para o proprietário individual.

- Desvantagens

- Os seus impactos ambientais, eventualmente desfavoráveis, pelo aumento do ruído nas suas proximidades (embora as novas centrais já sejam mais silenciosas).
- O efeito visual e paisagístico proporcionado pelas elevadas dimensões das torres e das pás dos aerogeradores pode ser desagradável para algumas pessoas.
- As turbinas de vento rotativas podem matar pássaros e interferir com rotas de

migração<sup>72</sup> (dependendo porém da dimensão do parque e da sua localização).

- Outros fatores negativos são as interferências electromagnéticas que podem perturbar os sistemas de telecomunicações, o efeito de sombras em movimento.
- custos acrescidos no armazenamento em baterias para manter o fornecimento de energia elétrica, mesmo quando não está a ser produzida por falta de vento.

### 2.3.2.- Estado de desenvolvimento da energia eólica em diversos países

- Em Portugal

Em 2010, Portugal era já o segundo país do mundo com maior utilização das eólicas. Por cada 100 Watt de eletricidade consumidos nesse ano nos lares portugueses, 15,03 Watt vieram do vento, um valor que eleva o país do terceiro para o segundo lugar mundial no contributo de energia eólica, atrás da Dinamarca, mas à frente da Espanha.

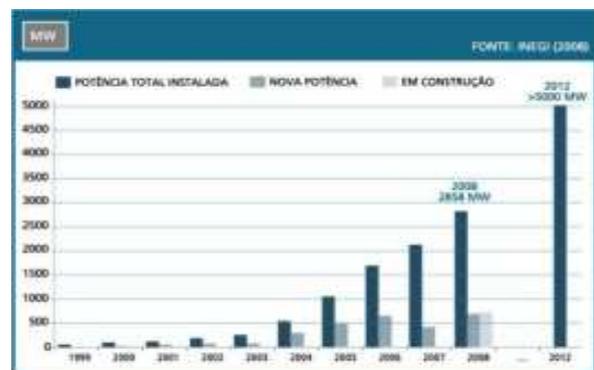


Gráfico 1 - Produção de energia eólica até 2012  
Fonte: Instituto Nacional de Estatística e Geografia.

A meta em Portugal para a produção de energia eólica foi aumentar 800 MW à capacidade instalada de 4.300 Mw no final de 2011, perfazendo um total de 5100 MW até final de 2012 (Gráfico 1). Em 2010 as renováveis representaram 35,9% de todo o consumo de energia elétrica em Portugal. E de acordo com informação do INEGI o total da potência instalada renovável geral, atingiu 9 688 MW, no final de Junho de 2011.

- Outros países

A energia eólica encontra-se na categoria das Fontes de Energia Renováveis (FER), em que mais se tem apostado na Europa durante a última década, sendo a região líder a nível mundial nesta área. Os projetos para o seu aproveitamento têm aumentado cerca de 40% por ano nos últimos seis anos, resultando na produção de energia elétrica suficiente para satisfazer o consumo doméstico de 5 milhões de pessoas.

Na Alemanha, o governo planeia substituir nos próximos 30 anos, a energia nuclear (responsável por mais de um terço da energia elétrica produzida), pela energia eólica. Para

<sup>72</sup> Estudos realizados na Alemanha, Holanda, Dinamarca e Reino Unido demonstraram que os aerogeradores não representam nenhum problema acrescido para a deslocação das aves quando devidamente localizados (fora das rotas de migração e das áreas preferenciais de nidificação, por exemplo). Esta constatação é confirmada pela “Royal Society for the Protection of Birds”.

tal, serão implantados no mar do norte importantes parques eólicos, assim como em terra. A Alemanha, com as suas 8500 centrais eólicas, é o país número um no sector a nível europeu, produzindo o correspondente a metade da produção europeia. O quadro 4 mostra os países com produções acima de 100 MW de onde se pode inferir que Portugal com a sua atual produção de 3150 MW ocupa o terceiro lugar.

Potência atual em vários países

China**	62,7 GW	Holanda	434MW
Alemanha**	4973 MW	Reino Unido	380 MW
Estados Unidos**	2733 MW	Itália*	298 MW
Espanha**	2046 MW	Suécia*	221 MW
Dinamarca**	1905 MW	Grécia*	158 MW
India	1150 MW	Canadá	127 MW

Quadro 4 - Países com uma capacidade eólica instalada superior a 100MW.

\* Em crescimento \*\* Crescimento muito rápido

Enquanto o relatório Perspectiva Energética Mundial 2004 da AIE espera que a capacidade eólica mundial cresça somente a 330 GW até 2030, a Avaliação Energética Mundial das Nações Unidas prevê um nível de saturação global de cerca de 1.900 GW para o mesmo período. Já a versão 2006 do relatório Perspectiva Global de Energia Eólica projeta uma capacidade global acima de 3.000 GW até 2050.

A China confirmou recentemente a sua posição de maior potência mundial, alcançando uma capacidade de 62,7 GW em 2011, um volume 40% superior ao de 2010, segundo um estudo recente da Associação Mundial de Energia Eólica<sup>73</sup>. De acordo com o plano estabelecido pela Comissão Nacional para o Desenvolvimento e Reforma, a capacidade eólica da China passará para 200 GW em 2020, e para 1.000 GW em 2050, para cobrir 17% das suas necessidades energéticas.

No Panorama Global de Energia Eólica, indicadores probabilísticos mostram que os custos para turbinas eólicas até 2050 terão uma redução de 40% e os custos de produção que hoje se situam em 0,12€/kWh, passarão para 0,08€/Kwh.

- Mini-geração

O Decreto-Lei n.º 34/2011 de 8 de Março, estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por intermédio de instalações de pequena potência, designadas por unidades de miniprodução.

A Portaria n.º 178/2011 de 29 de Abril, fixa o valor das taxas a cobrar nos pedidos de registo, de reinspeção da unidade de miniprodução e de averbamento de alterações ao

<sup>73</sup> Fonte: <http://hojemacau.com.mo/?p=30504> Acedida em 2012-07-22.

registo da miniprodução, com e sem emissão de novo certificado de exploração.

As instalações de miniprodução devem possuir equipamentos para proteção da interligação com a rede pública que devem assegurar as funcionalidades previstas no Guia Técnico das Instalações de Produção Independente de Energia elétrica de máximo/mínimo de tensão e de frequência e, quando a ligação à rede for no nível de média/alta tensão máximo de corrente e de tensão homopolar. Nas instalações com inversor DC/AC dispensa-se a aplicação de dispositivo externo de proteção contra máximo/mínimo de tensão e de frequência, conforme indicado no Guia Técnico das Instalações de Produção Independente.

- Para equipamentos até 16A por fase (3,68kW / 11,04kW de potência nominal), se for apresentado certificado de conformidade com a norma EN 50438, ou VDE126-1-1.

- Para equipamentos de potência nominal superior a 3,68 kW monofásico e 11,04 kW trifásico e não superior a 30kW, se for apresentado o certificado de conformidade com a norma VDE126-1-1.

- Para equipamentos de potência superior a 30 kW, é obrigatória a apresentação de Declaração do fabricante atestando o cumprimento da norma VDE126-1-1.

- Micro produção

O Decreto-Lei da Microgeração (Decreto-Lei 118A/2010, de 25 de Outubro) incentiva a instalação e utilização de pequenos sistemas produtores de energia elétrica a partir de fontes renováveis, garantindo diversos benefícios. Este decreto-lei simplifica as regras para a produção de eletricidade por particulares a partir da energia do sol, do vento, da água, etc. Desta forma, já é possível possuímos em nossa casa e/ou na nossa empresa, o nosso próprio sistema de produção de energia elétrica, e a instalação paga-se a ela própria em poucos anos, uma vez que a energia produzida é vendida à rede pública na sua totalidade. Em termos remuneratórios, a tarifa é estabelecida em dois períodos, o primeiro com a duração de 8 anos onde é fixada em 400€/MWh e um segundo com a duração dos subsequentes 7 anos, fixada em 240€/MWh. Após estes períodos, o valor de ambas as tarifas é sucessivamente reduzido anualmente em € 20/MWh.



Fig. 43 - Bahrain World Trade Center.  
Fonte: <http://desarq.wordpress.com/tag/predio/>  
Acedida a 2012/5/25

- Exemplo de Micro-geração

O complexo localizado em Manama, a capital do Bahrein (Fig. 43), é composto por duas torres gémeas, que serão as primeiras no mundo a comportar turbinas de vento em larga escala. As turbinas irão fornecer entre 11% à 15% das energia elétrica dos dois edifícios, aproximadamente equivalente aos gastos energéticos de 300 casas.

A turbina eólica que aqui se mostra é bem ilustrativa da simplicidade que afinal um equipamento destes comporta. Pode assim constatar-se que além da torre de sustentação e das pás que o vento acciona, este produtor de energia elétrica fica completo com um eixo de transmissão da rotação das pás ao gerador elétrico e um multiplicador de velocidade, sendo complementado com mais uns acessórios de controlo da velocidade do vento, da rotação e de frenagem. Para além disto, talvez o mais complicado sejam as autorizações a obter para a sua localização, a indemnização a pagar aos proprietários dos terrenos por onde vão passar as linhas de transporte da eletricidade e a obtenção do seu licenciamento, após a aprovação por todas as entidades obrigatoriamente consultadas e cujos pareceres sejam vinculativos.

- Hipóteses de micro-geração desta energia nos Museus

Esta fonte energética pode ser obtida em qualquer lugar, bastando para isso que haja correntes de vento com alguma intensidade e regularidade. Os parques eólicos que existem atualmente produzem eletricidade que injectam na rede geral e daqui entram no circuito normal de distribuição sendo fornecida indiscriminadamente a todos o tipo de consumidores. Porém os edifícios dos Museus podem ter a sua microgeração, bastando para isso ter um local apropriado e próximo para instalar os aerogeradores, ou ser um edifício que já tenha a arquitetura preparada para a sua instalação, como se verifica no complexo do Bahrein atrás referido (Fig. 43).

## **2.4. - Energia Hidroelétrica**

### **2.4.1. - Aplicações ao longo da história**

Desde a utilização da nora, para fazer mover moinhos de cereais, ou elevar água para regar, o potencial aproveitamento energético das águas sempre constituiu uma forma de recuperação desta energia renovável por quase todos os povos ao longo da sua história: “A água é o veículo da natureza” (Leonardo da Vinci).

Atualmente, o maior aproveitamento dos cursos de água serve para a produção de energia elétrica, sendo Portugal um exemplo de sucesso na utilização desta energia

renovável, com a construção de barragens nos principais rios. De facto, no decorrer do século XX, a produção de hidroeletricidade foi efetuada principalmente através da construção de barragens de grande ou média capacidade. O princípio de funcionamento destas centrais é muito simples, e consiste em transformar a energia mecânica existente num curso de água (como acontece num rio) em energia elétrica, através de uma central local de transformação, sendo depois transportada através das linhas de distribuição de corrente elétrica conhecidas por todo o país até às subestações e postos de transformação de tensão (situados por vezes a grandes distâncias) para ser finalmente utilizada. Para aumentar o potencial do curso de água constroem-se as barragens - barragens hidroelétricas - com o propósito de reter a maior quantidade de água possível e criar um desnível acentuado, para tirar partido do seu potencial energético.

A energia da água tem também sido aproveitada por mini ou micro hídricas, que são pequenas barragens com produção até 150kW ou 100kW respetivamente, reguladas pelos D.L.nº312/2001 e D.L.nº68/2002. Estas pequenas barragens, também designadas por açudes, desviam uma parte do caudal do rio, devolvendo-o num local desnivelado (onde estão instaladas turbinas), produzindo assim eletricidade.



Fig. 44 - Açude no rio Liz.  
Fonte: <http://mesozoico.wordpress.com/2009/06/02/caracterizacao-hidrografica-da-bacia-do-rio-lis/> Acedida a 27/5/2012

Atualmente, 50% da energia produzida no país é renovável e cerca de 35% da energia elétrica consumida em Portugal tem origem hídrica. No entanto, é preciso não esquecer que a produção deste tipo de energia está diretamente dependente da chuva. Quando a precipitação é mais abundante, a contribuição destas centrais atinge os 40%. Pelo contrário, nos anos mais secos, apenas 20% da energia total consumida provém dos recursos hídricos. A energia elétrica proveniente de centrais hidroelétricas é gerada a partir do aproveitamento da força das águas de um rio ou barragem. Este processo é realizado fazendo passar o escoamento da água pelas pás das turbinas, cujo movimento faz rodar um gerador que lhe está acoplado através de um eixo. Este movimento da turbina possibilita que o gerador converta a energia do movimento das águas em energia elétrica. Esta energia é limpa, e no caso das pequenas barragens, pouca alteração produzem ao meio em que são inseridas. Porém quando se trata de grandes barragens, os efeitos ambientais e sociais podem ser muito significativos, provocando alguns efeitos negativos e indiscutível controvérsia:

- Inundam áreas extensas de produção de alimentos e florestas.
- Alteram o ambiente e com isso prejudicam muitas espécies de seres vivos (interferem na migração e reprodução de peixes, alteram o funcionamento dos rios).

- Geram resíduos nas atividades de manutenção de seus equipamentos.
- Podem obrigar a deslocar povoações para outros locais, como aconteceu no Alentejo com a Aldeia da Luz e em Vilarinho das Furnas. O pior exemplo deste fenómeno de deslocação de populações aconteceu na central das Três Gargantas, na China, que obrigou ao êxodo de centenas de milhares de pessoas.

“Portugal é um dos países da União Europeia com maior potencial hídrico por explorar. É também um dos países que menos cresceu em capacidade energética hídrica nos últimos 30 anos, tem hoje ainda cerca de 54% de potencial para aproveitar.”<sup>74</sup>

A energia disponível resulta da transformação da energia potencial de uma certa quantidade de água em energia cinética, quando aquela se desloca para ocupar uma cota inferior. Em termos de potência temos:  $P = mgh_{\text{efectiv}}$

Em que  $P$  representa a potência,  $m$  o caudal de água que se desloca,  $g$  a aceleração da gravidade e  $h_{\text{efect}}$  uma altura correspondente à diferença de cota disponível, corrigida em termos de perdas por atrito nas tubagens/conduitas adutoras de água (perdas que podem representar 20 a 30% da queda total), isto é:  $h_{\text{efect}} \approx 0,8h_{\text{real}}$ .

Em termos de rendimentos temos um primeiro rendimento de conversão (mecânica) da energia cinética da água em energia cinética de rotação da turbina e outro rendimento de conversão de energia mecânica da turbina em energia elétrica. Um valor típico para cada um destes rendimentos é o de 80%. Quanto à energia produzida por ano, esta dependerá da quantidade de água disponível para movimentar a turbina, sendo calculada por um integral de grandeza  $m$ , em geral dependente do tempo.

Em Portugal, o potencial para as mini e micro hídricas está razoavelmente distribuído por todo o território nacional, embora no continente, o Norte e o Centro tenham maiores recursos, quer pela orografia, quer pela maior pluviosidade média. Portugal é um dos países da UE em que o recurso hídrico aparece com abundância mas ainda não é convenientemente explorado, devido principalmente às seguintes razões:

- a) Processos longos para se conseguir o licenciamento dos projetos, por ser necessário ter a aprovação por parte de várias entidades, como a Direção Geral das Águas, a DGE, as municipalidades locais e mais recentemente as Direções Regionais do Ambiente e dos Recursos Naturais, entre outras.
- b) Oposição de ambientalistas com uma visão por vezes demasiado estreita do problema da energia e do ambiente.
- c) Dificuldades na obtenção de condições satisfatórias para a ligação à rede da EDP.

<sup>74</sup> Energias renováveis em Portugal. Ministério da Economia e da Inovação. Dezembro de 2008.

d) A empresa que compra a energia elétrica renovável não fez a atualização dos preços que se esperava (o Dec.-Lei de 198/88 de 27 de Maio devia prever atualizações anuais).

e) Outra dificuldade é o limite de 10 MW que pode também introduzir restrições severas para instalações maiores, porque só a produção equivalente à capacidade de 10 MW é considerada na base mensal para o tarifário especial praticado.

Prevê-se que até 2050, cerca de 70% da eletricidade seja produzida a partir destas fontes renováveis de energia. Uma capacidade instalada de 7.100 GW produzirá 21.400 Terawatt/hora por ano (TWh/a) de eletricidade em 2050. Para que esta previsão aconteça, a evolução da utilização da energia hídrica passa por:

1- reforço da potência das barragens atuais, nomeadamente as do Alqueva (Fig. 47), Picote e Bemposta, por forma a superar os 5 mil MW de potência que tinham até 2010.

2- instalação de mais 2,250 MW, permitindo chegar aos 6250MW de capacidade hídrica, e aposta em novos projetos estruturantes de vertente hídrica, como o mecanismo de bombagem (Ex. Barragem do Baixo Sabor), até 2015.

3- apresentar em 2020 um total de 7 mil MW de capacidade hídrica instalada, atingindo assim um aproveitamento do potencial hídrico de 70%, igual à média dos países europeus (gráfico 3).

Contudo, ainda é necessário ultrapassar alguns obstáculos de ordem social e ambiental - nem sempre é possível evitar alguns impactos ambientais negativos e satisfazer todos os interesses em jogo.



Gráfico 2 - Capacidade instalada até 2007 dos principais projetos hidroelétricos

Fonte: <http://energiarenovavel.webs.com/energiahidroelctrica.htm> Acedida a 12/6/2010



Gráfico 3 - Capacidade hídrica prevista a até 2020

## 2.4.2 - As cinco maiores barragens hidroelétricas do mundo

- Hidroelétrica de Itaipu na fronteira do Brasil com o Paraguai: esta era a maior obra do género no mundo, antes de ser construída a Hidroelétrica das Três Gargantas, na China. Com uma potência instalada de 12.600 MW, mantém atualmente o segundo lugar, seguida da Guri, na Venezuela, com 10.200 MW e da Grand Coulee, nos Estados Unidos, com 6.500 MW. Em quinto lugar está a de Sayano Shushenskaya, na Rússia, com 6.400 de MW de potência instalada.



Fig. 45 - Barragem de Itaipu entre o Brasil e Paraguai.

Fonte: <http://www.calendario.cnt.br/MARAVILHAS.htm>

- Hidroelétrica das Três Gargantas construída no Rio Yang-tsé, China: a construção da central das Três Gargantas foi iniciada em 1993 e esteve desde a origem envolta em polémica pelo seu imenso impacto ambiental e social. Em finais de 2004, quatro turbinas entraram em funcionamento; em 2009, com 26 turbinas instaladas, a capacidade concebida da barragem é de 18 200 megawatts, ultrapassando a potência de Itaipu (até então a maior central hidroelétrica do mundo em termos de potência instalada).



Fig.46 - Vista panorâmica da maior barragem do mundo.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Hidrel%C3%A9trica\\_de\\_Tr%C3%AAs\\_Gargantas](http://pt.wikipedia.org/wiki/Hidrel%C3%A9trica_de_Tr%C3%AAs_Gargantas) acedida a 22/05/2010

- Energia Hidroelétrica em Portugal: no nosso país, esta forma de energia é, de todas as energias renováveis, a que mais se produz, deixando as outras renováveis muito distantes em relação à quantidade de eletricidade produzida por esta via. Em Portugal, o potencial de aproveitamento de energia hidroelétrica está distribuído por todo o território nacional, com maior concentração no Norte e Centro do país, e apesar de ser a energia renovável que mais se produz, com



Fig. 47 - Barragem do Alqueva.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Barragem\\_de\\_Alqueva](http://pt.wikipedia.org/wiki/Barragem_de_Alqueva) acedida a 21/04/2011

muitas barragens a produzir uma significativa potencia elétrica (conforme se pode ver no Quadro 5) e ainda só se está a aproveitar cerca de metade do nosso potencial hídrico.

Capacidade instalada nos principais projetos hidroelétricos lançados em Portugal

Nome da Barragem	Bacia Hidrográfica	Ano de abertura	Potência Instalada (MW)	Produção Anual (GWh)
Barragem do Alto Lindoso	Lima	1992	630	948
Barragem do Alqueva	Guadiana	2002	512*	770
Barragem de Miranda	Douro	1961	390	1036
Barragem da Agueira	Mondego	1981	270	210
Barragem Foz do Tua	Douro	(1)	234	340
Barragem da Valeira	Douro	1975	216	801
Barragem de Bemposta	Douro	1964	210	1086
Barragem do Carrapatelo	Douro	1972	210	871
Barragem do Pocinho	Douro	1982	186	534
Barragem de Picote	Douro	1958	180	1038
Barragem do Fridão	Douro	(1)	238	439
Barragem da Régua	Douro	1973	156	738
Barragem de Torrão	Douro	1988	146	228
Barragem da Venda Nova	Cávado	1951	144	389
Barrag. de Castelo do Bode	Tejo	1951	139	390
Barragem de Fratel	Tejo	1973	130	348
Bar.deVilarinho das Furnas	Cávado	1972	125	225
Barragem Gouvães	Douro	(1)	112	153
Barragem Daivões	Douro	(1)	109	148
Barrag.de Crestuma-Lever	Douro	1985	108	367
Barragem do Cabril	Tejo	1954	97	301

Quadro 5 - Barragens hidroelétricas em Portugal, com potencia instalada superior a 97 MW

(1) Em construção; \* Potência instalada para este valor em 2013. Fonte:EDP

- Vantagens

Não polui, tem elevada eficiência (80%), pouco desperdício de calor, baixo custo por kWh, e além disso as albufeiras permitem explorar a pesca e servir em termos turísticos, nomeadamente para desportos náuticos.

- Desvantagens

Risco para as espécies de peixes existentes no local, acumulação de sedimentos, mudança nas características das bacias hidrográficas, alterações do ciclo hidrológico, Inundação de grandes áreas, deslocação de populações, Impactos na flora e na fauna.

#### 2.4.3 - Abastecimento desta energia aos Museus

Como é natural, não podemos construir uma barragem apenas com o objectivo de produzir eletricidade para abastecer um museu. As barragens exigem avultados investimentos financeiros e por isso terão que englobar necessidades mais vastas de abastecimentos. Naturalmente, os museus estarão incluídos nos clientes que usufruirão

desta energia renovável e amiga do ambiente. Portugal é um bom exemplo desta teoria na medida em que dos cerca de 16.500 GWh produzidos por todas as suas centrais hidroelétricas entram no circuito de distribuição da EDP e das outras operadoras, que sem discriminação a fornecem para todo o território e por isso muitos museus já estão a consumir esta energia.



Fig. 48 - Micro central hidroelétrica.  
Fonte: <http://guacuvira.org.br/site/Albuns.aspx>  
Acedida a 14/10/2012

Porém, se o edifício do museu estiver localizado, ou puder ser localizado, junto de um curso de água que contemple uma queda tipo catarata, de volume significativo e permanente, porque não pensar na instalação de uma turbina a aproveitar esse potencial de energia para, em regime de micro geração, abastecer o museu?

## 2.5 - Energia das Marés e das Ondas

Foram consideradas duas formas de energia do oceano neste estudo: correntes de maré, causadas principalmente pelos movimentos dos oceanos movidos pela interação dos campos gravitacionais da Terra, Sol e Lua, e a potência das ondas, obtida a partir de movimentos em grandes extensões de mar provocados pelos ventos.

A energia das marés ou maremotriz, é o modo de produção de eletricidade através da utilização da energia que se retira no movimento das águas do mar devido às marés. Em qualquer local, a superfície do oceano oscila entre pontos de maior e menor enchimento designados por maré alta e maré baixa. Esta evidência é visível todos os dias junto às praias, pelo aumento ou diminuição do espaço que os banhistas têm para chegar à água e acontece a cada 12h e 25min. Podem ser obtidos dois tipos de energia maremotriz: pela energia cinética das correntes devido às marés e pela energia potencial da diferença de altura entre as marés alta e baixa.

Desde a Idade Média que existem registos da utilização de pequenas centrais de maré, no sul da Inglaterra e no norte da França. Em certas baías e estuários, como junto ao Monte Saint-Michel, no estuário do rio Rance, na França, ou em São Luís, no Brasil, essas marés são bastante amplificadas, podendo atingir alturas da ordem de 15 metros.

A energia das marés é obtida de modo semelhante ao da energia hidroelétrica, sendo uma obra complexa de Engenharia hidráulica: em primeiro lugar constroi-se uma barragem, formando um reservatório junto ao mar. Quando a maré sobe, a água enche o

reservatório, passando através da turbina hidráulica, e produzindo energia elétrica. Na maré baixa, o reservatório é esvaziado e a água que sai do reservatório passa novamente através da turbina, em sentido contrário, continuando a produzir energia elétrica. Pode-se abreviar de muitas formas, mas aquela que nos parece mais óbvia é encher depósitos de água do mar durante a maré alta, e em seguida despejar esses depósitos durante a maré baixa, fazendo com que tanto na entrada como na saída a força da corrente da água faça mover turbinas que vão produzir energia elétrica. Este tipo de fonte energética é também usada no Japão, na França e na Inglaterra há vários anos. Inclusive, a primeira central maremotriz construída no mundo para geração de eletricidade foi a de *La Rance*, em 1963.

Para se calcular a energia potencial armazenada numa bacia durante a maré cheia podemos fazê-lo através da seguinte fórmula:  $E = mgH = \rho A g R^2 / 2$ , sendo  $R$  a variação de cota entre a maré cheia e a maré vazia,  $\rho$  a densidade da água,  $A$  a área da bacia e  $g$  a aceleração da gravidade.

Fazendo a média para um período de maré  $\tau$  tem-se:  $P = \rho A g R^2 / 2$

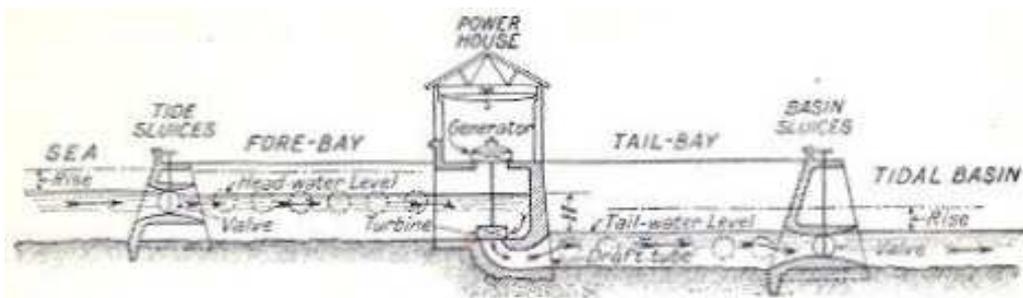


Fig. 49 - Corte longitudinal da central de energia elétrica das marés.

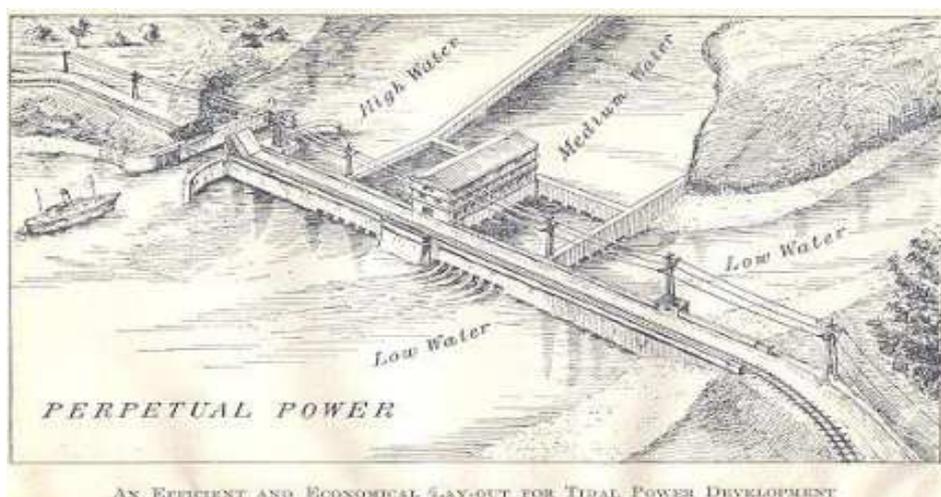


Fig. 50 - Vista em perspectiva da central de aproveitamento da energia das marés.  
Fonte: Struben, AMA, *Power Tidal* Londres.: Sir Isaac Pitman & Sons, Ltd., 1921.

- Vantagens e desvantagens

- Trata-se do aproveitamento de uma energia limpa, saudável e sustentável.
- A manutenção do sistema é fácil e não muito onerosa.
- Estas centrais exigem normalmente grandes investimentos.
- Podem representar ameaças mal compreendidas para os ecossistemas oceânicos.

- Energia das Ondas

A ideia de converter a energia das ondas na superfície do oceano em energia útil não é nova, existindo técnicas, pela primeira vez patenteadas em 1799 (Girard & Son, França). A atração para a energia do oceano é clara: existe um enorme conhecimento dos recursos e um enorme mercado potencial para esta fonte renovável de energia limpa.

Quantas vezes na orla marítima, olhando o mar calmo que se estende aos nossos pés, não deixamos que nos invada uma profunda sensação de tranquilidade? Contudo, não ignoramos que estamos perante um gigante algo imprevisível, e não podemos deixar de pensar no enorme potencial energético que lhe corresponde quando presenciamos o poderoso espectáculo das ondas, “rebentando” na praia ou contra as falésias a pique. Do ponto de vista da disponibilidade, para termos apenas uma ideia de ordem de grandeza caso dispuséssemos de uma onda que fosse uma sinusóide pura, com 100m de comprimento de onda (período de 8seg) e uma amplitude de 1,5m (altura total 3m), valores perfeitamente normais para ondas ao largo no Atlântico Norte, a potência mecânica (ou fluxo de energia) por metro linear de frente de onda seria de 73 kW (uma boa introdução a este tópico pode encontrar-se em Renewable Energy Resources, Twidell and Weir).

A expressão para o seu cálculo é:

$$(a) \quad P = \rho g^2 H^2 T / (32 \pi)$$

Em que H é a altura (total) da onda, ( $H = 2 \cdot a$  – amplitude da senoide) g é a aceleração da gravidade e  $\rho$  a densidade da água.

É evidente que padrões regulares como o sinusoidal acima referido são extremamente raros, o que diminui o potencial por metro linear de frente de onda, pelo que a expressão para a potência para profundidades superiores a 100m é a seguinte:

$$(b) \quad P = \rho g^2 H_s^2 T_e / (64 \pi)$$

em que  $H_s$  tem o significado de uma altura efectiva (altura significativa), com um conteúdo estatístico que reflecte o afastamento médio da cota que corresponde ao nível médio da superfície do mar e  $T_e$  é o período espectral médio da energia correspondente a todas as

oscilações (quando  $H_s$  é expresso em metros e  $T_e$  em segundos  $P \approx 5 \cdot H_s^2 \cdot T_e$  ( kW/m)). Pode também referir-se um problema realmente condicionante, sobretudo para os dispositivos conversores desta energia em energia elétrica que estão longe da costa, que é o fenómeno de onda periódica dos 50 aos 100 anos, com uma amplitude e outras características verdadeiramente extraordinárias, capazes de destruir as construções flutuantes (ancoradas) ou fixas que se lhe atravessarem ao caminho.

Em 500 km de costa Portuguesa estima-se um potencial de 13 GWh de produção possível. No entanto, para explorar 10% deste potencial seriam necessárias apesar de tudo, longas séries de dispositivos (até 50 km) localizados ao largo, com uma profundidade do oceano superior a 30m. Por outro lado, a produção de eletricidade que não seja feita na costa ou perto desta traz problemas de transporte com aumento dos custos da energia produzida, por isso reduz o potencial associado às ondas ao largo.

Em Portugal já existe alguma tecnologia desenvolvida neste âmbito, sobretudo no IST e no INETI, embora mereçam referência alguns investigadores individuais, com especial destaque para o Sr. Agnelo Gonçalves David<sup>75</sup>, que imaginou e construiu um protótipo do sistema de coluna de água oscilante (precisamente a tecnologia escolhida e em desenvolvimento pelo INETI/ IST). Esta tem sido uma tecnologia sobre a costa (“on shore”), essencialmente caracterizada por utilizar o movimento ondulatório das ondas do mar para comprimir ar que está contido numa câmara, com uma única abertura para se escapar, na qual se coloca uma turbina (a ar) cuja rotação permite a geração de eletricidade por um processo de indução convencional. A realização concreta deste sistema mais atual está a funcionar na ilha do Pico, nos Açores, produzindo cerca de 1 GWh/ano.

Este tipo de solução desenvolve-se em águas pouco profundas (6 - 15m), sobre a costa ou perto dela. Para águas mais profundas (>30m) são mais adequados os sistemas de corpos oscilantes, flutuantes ou submersos. O problema deste tipo de tecnologia resulta da dificuldade em transformar movimentos lentos de carácter oscilatório e linear em movimentos de rotação contínuos para a geração de eletricidade.

Nos próximos 10 anos é pouco provável que esta tecnologia possa contribuir de modo muito substancial, dado o estado de desenvolvimento em que ainda se encontra, até porque os custos de construção deste tipo de centrais ainda são elevados.

- Vantagens e desvantagens

As vantagens da aplicação desta tecnologia em território nacional resultam das características da nossa costa (recurso energético médio alto, águas profundas relativamente

---

<sup>75</sup> Agnelo Gonçalves David, inventor e comercial de Almeirim.

próximas da costa), da disponibilidade das infraestruturas de suporte ao longo da costa (portos, estaleiros de reparação naval e rede elétrica nacional), das condições de compra da energia produzida (tarifa e obrigatoriedade da compra) e de relevantes conhecimentos técnico-científicos nesta área. Sobre este último ponto é de acentuar que os estudos na área do aproveitamento da energia das ondas se iniciaram há quase 30 anos em Portugal (inicialmente no Instituto Superior Técnico e um pouco mais tarde no INETI), de onde resultou uma muito significativa capacidade técnica-científica. E por isso, foi um português o presidente do 1º Congresso Europeu de Energia das Ondas, também realizado em Portugal, e desde sempre tem havido um português na sua Comissão Científica. Atualmente está em desenvolvimento um projeto para instalação de uma central de energia das ondas semelhante à do Pico no molhe norte, a construir na Foz do Douro. Salienta-se uma das condições favoráveis para o desenvolvimento da energia das ondas em Portugal que é a existência de pontos de ligação à rede elétrica junto à costa.

As desvantagens surgem associadas aos impactos ambientais provocados durante a operação e manutenção dos equipamentos de conversão desta energia nomeadamente:

- 1 - Impactos visuais.
- 2 - Efeitos negativos nos recursos pesqueiros.
- 3 - Influência do ruído nos mamíferos marinhos.
- 4 - Obstáculos à navegação.
- 5 - Alterações no regime de ondas, podendo influenciar o processo de erosão costeira.
- 6 - Possível geração de um campo eletromagnético, prejudicial para algumas espécies.
- 7 - Blocos e correntes de amarração podem constituir recifes artificiais.
- 8 - A regularização da manutenção pode provocar aumento significativo de tráfego com possíveis emissões tóxicas para o meio envolvente.
- 9 - Alteração no habitat de algumas espécies.
- 10 - Custos de produção ainda não competitivos.

#### 2.5.1 - Exemplos de aplicação



Fig. 51 - Central piloto europeia de energia das ondas do Pico, Açores.  
Fonte: INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

A central da ilha do Pico (Fig. 51) é um bom exemplo, como primeira central em Portugal de produção de energia elétrica através da energia das ondas, sendo considerada

de primeira geração<sup>76</sup>. Com uma potência instalada de 400 kW, é constituída por uma estrutura em betão com uma área interna de 12 m x 12 m ao nível médio da superfície livre, e está assente no fundo do mar numa reentrância da costa onde a profundidade é de cerca de 8 m. A “segunda geração” foi designada a partir da incorporação de algumas modificações no seu projeto, incluindo sistemas próximos da costa e do tipo de absorção pontual. A “terceira geração” corresponde aos dispositivos projectados para capturar energia em águas profundas, instalados ao largo da costa.



Fig. 52 - Central piloto no local de teste em Nissum Bredning/Dinamarca Fonte: Energia das ondas.dgge

O Wave Dragon, (Fig.52) é um dispositivo flutuante para aplicação no alto mar. O seu princípio de funcionamento baseia-se na acumulação de água num reservatório sobrelevado relativamente ao nível médio da superfície livre do mar. A água acumulada é devolvida ao mar através de turbinas hidráulicas Kaplan de baixa queda que accionam geradores elétricos de fabrico comum.

Os pesquisadores da NASA, que desenvolveram uma nova forma de veículos submarinos robotizados, acreditam que esta tecnologia poderia ajudar a converter a energia do oceano em energia elétrica a uma escala muito maior do que a atual. Estes pesquisadores esperam que a energia limpa e renovável produzida a partir do movimento do oceano e dos rios possa vir a atender uma parte importante das necessidades mundiais de eletricidade.

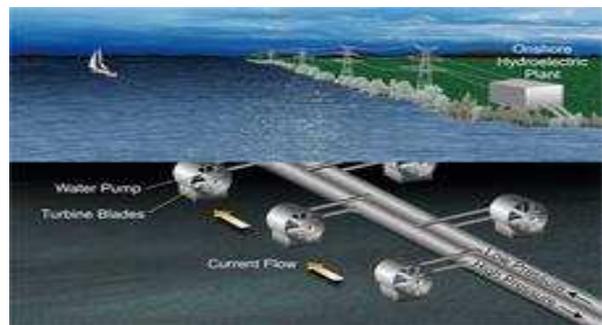


Fig. 53 - Turbinas subaquáticas.  
Fonte: [http://www.nasa.gov/topics/earth/features/tide\\_energy.html](http://www.nasa.gov/topics/earth/features/tide_energy.html). Acedida a 2011/10/7

Para além destas tecnologias, outras estão em desenvolvimento ou em fase de conceção, para transformar a energia das correntes oceânicas, marés e rios, noutra tipo de energia, a hidrocínética. Muitos desses sistemas de energia hidrocínética usam turbinas subaquáticas, semelhantes às de parques eólicos. Neste caso, as correntes oceânicas ou marés fazem girar as turbinas, gerando eletricidade que pode ser transferida por cabo para as centrais de transformação (Fig. 53). Nessa distribuição estarão contemplados os museus, naturalmente. Inclusivamente, se o museu estiver localizado junto ao mar até pode ser pensada uma central deste tipo só para o seu abastecimento, instalando uma turbina

<sup>76</sup> No caso de estarem assentes no fundo, junto à costa, constituem sistemas de “primeira geração”.

subaquática que produza energia num regime de micro ou mini geração e transferindo essa corrente a um PT instalado no edifício do museu.

## 2.6 - Energia de Biomassa

### 2.6.1 - Origens da biomassa e forma de produção de bioenergia

A Biomassa é a matéria formada em resultado da fotossíntese e inclui madeira e outras matérias como animais e restos de plantas que podem ser diretamente queimados ou convertidos em combustíveis. Os produtos derivados de matéria biológica são também considerados biomassa.

A biomassa pode ser utilizada como combustível sólido, líquido ou gasoso e já existem tecnologias para converter plantas, lixo e estrume animal em gás natural. Um exemplo de um projeto de biomassa é a produção de gás a partir de aterros das lixeiras. Estes aterros, em produção plena, constituem uma espécie de reservatório de gás, que depois de filtrado e comprimido é conduzido para a conduta principal de gás para fornecimento dos consumidores.

Alguns dos tipos de biomassa usados para energia incluem despojos florestais, resíduos agrícolas, resíduos de madeira, estrume animal, e as frações orgânicas dos resíduos sólidos urbanos consideradas não perigosas. Mas o impacto ambiental do aumento da emissão por combustão dos subprodutos também deve ser considerado; quando um combustível fóssil arde, o carbono pode reagir com o oxigénio para formar dióxido de carbono ou monóxido de carbono nas reações primárias da combustão.



O calor de combustão da reação na equação (1) é de 14.600 BTU/lbm de carbono ( $3,4 \cdot 10^7$  J/kg) e o calor de combustão da reação na equação (2) é de 4.430 BTU/lbm ( $1,0 \cdot 10^7$  J/kg) de carbono. Se o hidrogénio se encontrar presente, o que será o caso quando um hidrocarboneto é queimado, esse hidrogénio reage com o oxigénio para formar água na equação (3). O calor de combustão da reação na equação (3) é de 62.000 BTU/lbm de hidrogénio ( $1,4 \cdot 10^8$  J/kg). Estas são reações exotérmicas, isto é, reações onde há uma nítida libertação de energia.

As reações de combustão produzem água, monóxido de carbono e dióxido de carbono, um gás de efeito de estufa. Assim, são tão importantes os esforços para reduzir a emissão de gases de efeito de estufa para o consumo de biomassa (como a sequestração destes gases em formações geológicas) como o são para o consumo de combustíveis fósseis.

A Bioenergia é um recurso energético renovável e representa presentemente cerca de 11% do consumo de energia primária mundial, constituindo o único recurso energético com carbono que se pode considerar emissor neutro de CO<sub>2</sub>.

A biomassa tem sido historicamente usada no fornecimento de calor para cozinhar e para conforto ambiental. Atualmente, os biocombustíveis podem ser usados para gerar eletricidade e produzir gás natural. O poder obtido através da biomassa, chamado de biopoder, pode ser estabelecido em escalas que vão desde a utilização em casas de uma só família até pequenas cidades. Este biopoder é tipicamente fornecido por uma das seguintes classes de sistemas:

- diretamente do fogo;
- por gaseificação;
- por sistemas modulares.

O primeiro sistema é similar a uma central com queima de combustíveis fósseis. O vapor a alta pressão, levado da turbina para um gerador, é obtido pela queima de biocombustíveis numa caldeira. Atualmente, as caldeiras de biopoder ainda possuem uma menor capacidade do que as centrais a carvão, fornecendo as primeiras energia na ordem dos 20 a 50MW, enquanto que as segundas fornecem energia na ordem dos 100 até 1500 MW. Em Portugal já se produz esta energia, em centrais espalhadas de norte a sul do país, nomeadamente em Mortágua, Vila Velha de Rodão, Cabeceiras de Basto, Gondomar e Oleiros. Esta energia é lançada na rede geral de distribuição, pelo que alguns museus já a consomem sem ter conhecimento. Não é fácil criar uma central de produção deste tipo de energia exclusivamente dedicada a um Museu, no entanto não deixa de ser muito recomendada a sua utilização, não só por ser uma energia renovável e limpa mas também pelo importante contributo que dá à reciclagem de detritos de vária ordem e à promoção da limpeza das zonas florestais.

- Energia Geotérmica

O consumo de energia elétrica para aquecimento e arrefecimento nos edifícios pode ser reduzido de 30% a 50% em média, se usarmos a tecnologia de aproveitamento da energia geotérmica já amplamente desenvolvida e disponível. Para descrever pormenorizadamente este tipo de energia especialmente dedicada aos edifícios dos museus reservamos o capítulo 3, por opção de preferência e de aconselhamento ao seu uso.

Previsão da produção de energia elétrica pelas várias fontes de combustível.<sup>77</sup>

---

<sup>77</sup> Notar a previsão da explosão da energia solar fotovoltaica a partir de 2020, tornando-se uma das principais, a par da hídrica, da eólica e da biomassa.

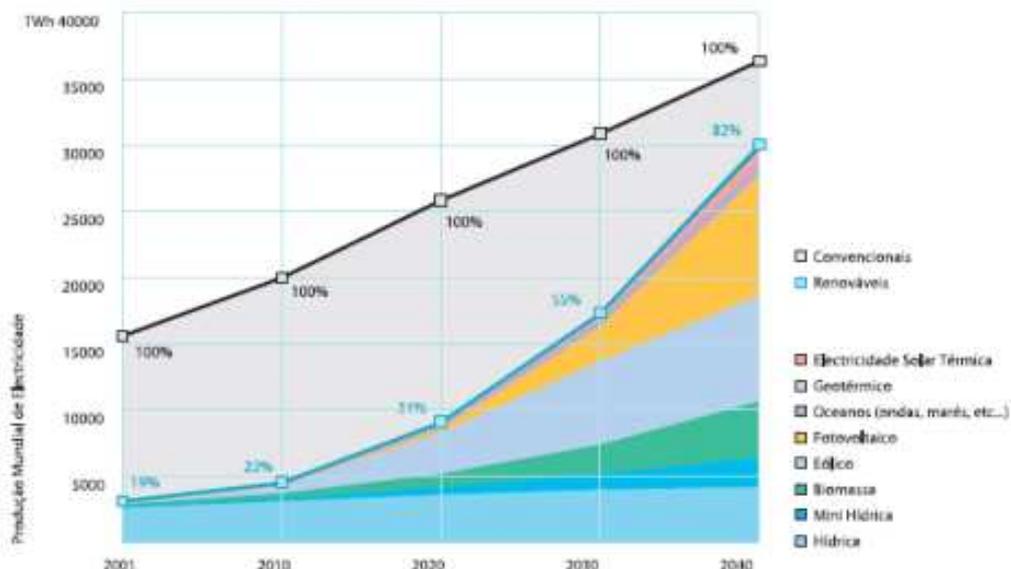


Gráfico 4 - Cenário na evolução da produção mundial de energia elétrica até 2040.  
Fonte: European Renewable Energy Council, EREC-2005; [http://nautilus.fis.uc.pt/gazeta/revistas/29\\_1-2/vol29\\_1\\_2\\_Art06.pdf](http://nautilus.fis.uc.pt/gazeta/revistas/29_1-2/vol29_1_2_Art06.pdf) acedida a 17/3/2011

#### Custos comparativos entre energias renováveis.

TECNOLOGIAS	Tarifa média indicativa Decreto Lei nº 225/2007 (€/MWh)	
	até 5 MW	+ de 5 MW
Eólicas	75	74
Hídricas até 10 MW	77	75
Fotovoltaico com mais de 5 kW	317	310
Fotovoltaico com <= 5 kW	450	
Solar termoelétrico <= 10 MW	273	267
PV microgeração <= 5 kW	470	
PV microgeração > 5 kW e <= 150 kW	355	
Biomassa florestal	109	107
Biomassa animal	104	102
Biogás dig. Anaeróbia RSU/ETAR efluentes pecuária e agro-alimentar		115
Gás de aterro	104	102
RSU (vertente queima)	54	53
CdR (vertente queima)	76	74
Ondas demonstração até 4 MW	260	
Ondas pré-comercial até 20 MW		191
Ondas comercial primeiros 100 MW		131
Ondas comercial 150 MW seguintes		101
Ondas comercial seguintes		76

Quadro 6 - Custos da energia elétrica produzida pelas várias fontes renováveis.  
Fonte: Direção Geral de Energia e Geologia (Divisão de Estatística)

- Conclusões

Pelo que se acabou de descrever constata-se que as energias renováveis estão a ser cada vez mais exploradas e melhorados os seus mecanismos e sistemas de produção.

Com isso, além dos benefícios ambientais que trazem, também aumentam a sua capacidade e rentabilidade baixando os custos associados à exploração, transporte e processamento dos combustíveis não fósseis. Atualmente, para esta energia ser competitiva ainda se exige que os governos atribuam subsídios à sua exploração, mas isso não vai poder acontecer por muito mais tempo. Inclusivamente, já existem alterações suspensivas de algumas condições pelo Decreto-Lei n.º 25/2012, de 6 de Fevereiro de 06-02-2012 e Diretiva n.º 6/2012, de 28 de Janeiro de 28-01-2012 da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE). De qualquer maneira, também a evolução dos sistemas está a caminhar no sentido de tornar todas as energias renováveis mais eficientes, mais baratas e mais reduzidas as dimensões dos seus equipamentos. As grandes contrapartidas atuais estão sobretudo na conservação ambiental, na sustentabilidade energética e na redução das taxas a pagar pelos governos para poderem produzir certa quantidade de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> ao consumirem energias à base de combustíveis fósseis.

Como foi demonstrado no Quadro 3 (pag.84) o nosso país já possui uma grande produção de energia proveniente das renováveis, embora ainda seja pouco para atender às atuais necessidades. Também se verifica que a maior parte dessa produção de energia advém das centrais hidroelétricas, seguida das eólicas. No entanto, ambas as soluções também já estão a provocar muita contestação social devido aos efeitos sobre a ocupação dos solos e paisagens em geral. Assim sendo, é necessário investir mais nas restantes energias renováveis, como a fotovoltaica, a das marés e das ondas, a bioenergia e a geotérmica.

O Conselho de Ministros fez sair a resolução n.º 169/2005, de 24 de Outubro, onde aprovou a Estratégia Nacional para a Energia, prevendo a sua linha de orientação para a eficiência energética com a aprovação de um plano de ação para a eficiência energética até 2015.

Os responsáveis pelos edifícios dos museus também devem incluir nas suas preocupações a necessidade de introduzirem formas de utilização das energias renováveis. Não só para os novos edifícios como os existentes, sabendo contudo que muitos dos nossos museus estão instalados em edifícios de elevado valor histórico, integrando conseqüentemente parte do nosso património cultural. O que significa que qualquer obra de adaptação para lhe incluir a rede de distribuição da nova energia deve merecer uma atenção especial, tendo como base a salvaguarda da máxima preservação das suas características originais.

Nos edifícios novos torna-se mais fácil a inclusão das redes dos sistemas de energia renovável, desde que esta seja considerada como premissa inicial ao longo do estudo e desenvolvimento do projeto. Nessa fase será relativamente fácil incluir vários sistemas a

trabalhar conjuntamente, para garantir as condições exigidas de todas as necessidades. Por exemplo, podemos ter instalados painéis térmicos e fotovoltaicos na cobertura e fachadas para produzirem eletricidade e aquecimento de águas; ter aproveitamento geotérmico do solo sob o edifício ou na sua envolvente para climatização interior; recolher as águas pluviais para a reserva de incêndio, rega e uso sanitário; ou optar pela própria implantação do imóvel em local que melhor possa usufruir da microgeração de energia eólica ou hidroelétrica, caso este se situe próximo de alguma albufeira, mar ou curso de água permanente. Dessa forma podemos ter autosuficiência energética por um acréscimo no investimento inicial que será facilmente amortizado a curto prazo.

## **CAPÍTULO 3**

### **Energia Geotérmica**

### **CAPÍTULO 3 - Energia Geotérmica**

Neste capítulo é descrita a fonte de energia designada por geotérmica, e alguns exemplos sobre as suas milenares utilizações, dando especial relevância à descoberta recente do seu aproveitamento na climatização de todo o tipo de edifícios, dedicando especial atenção aos edifícios destinados aos Museus.

Na atualidade podemos simplificarmente dividir esta energia em dois tipos de aproveitamento: a geotermia de alta temperatura (que pode produzir eletricidade) e a de baixa temperatura (que pode produzir conforto térmico). Para um estudo mais alargado de utilização desta energia os fluidos geotérmicos estão classificados por vários autores em três níveis de acordo com as temperaturas ou entalpias, baixa, média e alta.<sup>78</sup> Alguns países utilizam esta forma energética na produção de eletricidade e climatização de uma forma normal e corrente, enquanto que outros aproveitam a primeira há alguns anos e a segunda estão ainda no começo da sua exploração e utilização, como é o caso do nosso, em que a geotermia de profundidade e alta entalpia já tem uma prática corrente há muitos anos, mas a geotermia de superfície só muito recentemente passou a ser utilizada para climatização de espaços interiores. Neste sentido, parece-nos interessante apresentar alguns exemplos onde este tipo de aproveitamento energético se fez com sucesso, com o objectivo de desmontar a noção de aventura ou solução pouco desenvolvida e experimentada, para quem queira optar por esta solução, particularmente para quem tenha que decidir por novos projetos de edifícios destinados a museus ou pela alteração de condições técnicas para conforto térmico nesses edifícios já existentes.

Toda a pesquisa que neste trabalho se desenvolve e aprofunda tem ainda o objectivo de poder ser útil para os técnicos que dela necessitem e ser entendida por aqueles que por razões diversas procurem adquirir alguns conhecimentos sobre esta matéria, ou para quem tenha responsabilidade na participação ou na tomada de decisões acerca da possível aplicação desta energia na climatização de espaços interiores de edifícios destinados aos Museus.

O presente capítulo inicia-se com uma perspectiva histórica, descrevendo o aproveitamento e utilidade desta forma de energia ao longo dos tempos, salientando de seguida as suas características fundamentais e respetiva proveniência, bem como as variantes existentes, formas de captação e aplicação.

O tema é desenvolvido em quatro subcapítulos, além da introdução e conclusão. O primeiro subcapítulo é dedicado à descrição geral das geotermias de alta e baixa entalpia,

---

<sup>78</sup> Autores: Muffler and Cataldi (1978); Nicholson (1993); Axelsson and Gunnlaugsson (2000) e (Dickson and Fanelli, 2004).

ou seja, a geotermia de altas temperaturas e profundidade (cujo aproveitamento pode dar origem à produção de energia elétrica) e a geotermia de baixas temperaturas a baixa profundidade ou superficial (que é utilizada para a climatização de espaços interiores). Este subcapítulo dedica-se igualmente à apresentação da evolução histórica, características, fontes e formas de aproveitamento desta energia e apresenta também a legislação aplicável.

No segundo subcapítulo é apresentada a definição e os conceitos considerados fundamentais sobre a EG de baixa profundidade ou de superfície, incluindo:

- 1- Aquela que é aproveitada para a climatização interior dos edifícios, e os países onde esta energia mais é utilizada.
- 2- A Máquina que lhe introduz essa capacidade (bomba de calor).
- 3- A descrição das suas formas distintas de captação: horizontal, vertical, ou em meio aquífero.
- 4- Os sistemas de emissão: por piso radiante ou ventiloconvetores.

Por fim, são apresentados alguns exemplos de museus internacionais e outros edifícios de referência onde esta climatização está aplicada com sucesso.

O terceiro subcapítulo é dedicado inteiramente à climatização geotérmica dos edifícios destinados aos museus de uma forma circunstanciada e dirigida a um Caso de Estudo para a climatização de um museu, localizado teóricamente na cidade de Lisboa. Dada a importância que este caso de estudo nos merece é feita uma descrição deste sistema de climatização, comparando-o com o AVAC tradicional, formas de aplicação, características gerais, equipamentos utilizados bem como as vantagens e inconvenientes em todo o processo. Descreve-se também o comportamento térmico do edifício e a forma de medição dos parâmetros que lhe estão associados, apresentando-se por fim o cálculo feito para este caso de estudo e a análise dos resultados obtidos.

No quarto subcapítulo é descrita a forma de produção de energia elétrica a partir da geotermia de alta temperatura e profundidade e a situação estatística mundial na exploração deste recurso de produção de eletricidade, nomeadamente:

- Descrição e análise sobre a produção de energia elétrica a partir da geotermia de alta temperatura e profundidade, com especial destaque para as centrais geotérmicas existentes nas ilhas dos Açores, particularmente a mais antiga e mais produtiva, que se encontra instalada na ilha de São Miguel.
- Lista dos países que mais energia elétrica produzem a partir desta fonte renovável.
- Descrição das vantagens e inconvenientes na utilização desta fonte de energia.

Cada um destes subcapítulos ainda se divide de acordo com as necessárias distinções temáticas, ou seja:

- Considerações gerais, características e definições da Geotermia.
- Geotermia de alta e baixa temperatura e profundidade.
- O uso histórico deste calor da terra e as características desta energia.

Salienta-se os subcapítulos 3.2 e 3.3 relativos à geotermia de baixa profundidade ou de superfície, por se tratar de uma energia cujo aproveitamento e aplicação é muito recente em todo o tipo de edifícios, e ainda raramente considerada nos edifícios destinados aos museus, justificando por isso a apresentação do caso de estudo.

Em termos resumidos, os subcapítulos abordam os aspectos mais significativos da energia geotérmica, nomeadamente:

- Definição do que se considera energia geotérmica de superfície e apresentação dos países onde já se faz grande aproveitamento deste tipo de energia.
- Equipamentos necessários para a transformar e utilizar, bem como apresentação esquemática do circuito de funcionamento.
- Formas de captação e emissão desta energia geotérmica.
- Fórmulas de cálculo e análise de resultados comparativos com outras fontes de energia, em projetos tipo.
- Características dos equipamentos, parâmetros de dimensionamento e implantação das redes e bombas de calor.
- Alguns exemplos de aplicações feitas com sucesso em alguns países, incluindo uma análise económica comparativa simples.
- Descrição e análise sobre a produção de energia elétrica a partir da geotermia de alta temperatura e profundidade, com especial destaque para as centrais geotérmicas existentes nas ilhas dos Açores, particularmente a mais antiga e mais produtiva, que se encontra instalada na ilha de São Miguel.
- Lista dos países que mais energia elétrica produzem a partir desta fonte renovável.
- Descrição das vantagens e inconvenientes na utilização desta fonte de energia.

Saliente-se ainda que, embora genericamente se aborde todo o tipo de energia geotérmica (por ser há muitos séculos conhecida e ter uma vasta aplicação), é sobre aquela que mais recentemente se passou a aproveitar para climatização de edifícios que maior relevância é dada neste estudo.

### 3.1 - Definição e utilização da Energia Geotérmica

#### 3.1.1 - Energia Geotérmica de alta e baixa entalpia

Em termos clássicos e por definição, energia geotérmica é a energia existente sob forma de calor abaixo da superfície exterior da Terra. Em sentido mais pragmático, entende-se como energia geotérmica a energia calorífica contida no interior da terra e que está em condições de ser extraída de forma economicamente rentável. Para certos autores (Leibowitz, 1978),<sup>79</sup> a designação de energia geotérmica restringe-se apenas a esta visão economicista do calor do interior da terra. Em termos mais amplos, a Geotermia é estudada por um vasto conjunto de ciências, desde as ciências geológicas (geologia, estratigrafia, geologia estrutural, vulcanologia, geofísica), todos os ramos da sismologia e a geoquímica.

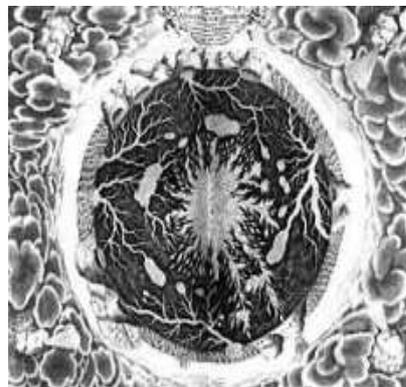


Fig. 54 - O fogo do interior da Terra, na imaginação do jesuíta e filósofo alemão Atanásio Kirchner, Sec. XVII. Fonte: [http://www.swissinfo.ch/por/esp eciais/a\\_suica\\_dos\\_recordes/](http://www.swissinfo.ch/por/esp eciais/a_suica_dos_recordes/) Acedida a 2009/03/05

O calor do solo, ou energia geotérmica, é proveniente do interior e exterior do globo terrestre. O calor proveniente do seu interior é fruto das altas temperaturas do núcleo em rocha fundida designado por magma e o calor do exterior é devido à incidência do sol na crosta terrestre. O fluxo de calor para a superfície e a sua implícita renovação, são mantidos pelos processos de condução, convecção e radiação. O calor do interior da terra chega à superfície através de fendas ou falhas das placas tectónicas existentes em diversos locais do globo sob a forma de água quente, vapor aquecido ou lava a altas temperaturas. Esta energia é definida pela sua temperatura em alta e baixa entalpia, consoante o fluido se encontre, respetivamente, a uma temperatura superior ou inferior a 150°C, podendo ainda ser oriunda de alta ou baixa profundidade, nomeadamente:

1. Quando oriunda de grandes profundidades, chega à superfície de forma natural ou é explorada por meios mecânicos para captar água quente, vapor seco ou húmido, provocando o movimento das turbinas que vão produzir eletricidade (caso haja condições ou interesse na produção de eletricidade), ou podendo ser aproveitada no campo da agronomia ou da balneoterapia.

2. Quando é captada a baixa profundidade, também designada de superfície, estamos a aproveitar esta energia para climatizar espaços interiores.

Há assim duas formas genéricas de aproveitamento desta energia, uma de grandes profundidades e temperaturas para se obter água quente, vapor seco ou húmido, e outra a

<sup>79</sup> Advogado Romeno, emigrado nos EUA, autor das obras *Metropolitan Life*, Dutton, 1978 and *Random House*

pequena profundidade e baixa temperatura para uso na climatização. Podemos então concluir que esta energia geotérmica tem dois grandes campos de aplicação: produção de eletricidade e uso térmico. O primeiro está relacionado com o aproveitamento de águas quentes ou vapores a altas temperaturas para a produção de eletricidade, como é por exemplo o caso da Ribeira Grande nos Açores. O segundo está no aproveitamento de temperaturas mais baixas para, com algum incremento dado pela bomba de calor, produzir conforto térmico.

Está provado cientificamente que o interior da Terra se encontra a altíssimas temperaturas, atingindo vulgarmente 5.000°C, visível em certos locais da crosta terrestre através de fendas geológicas ou vulcões (Fig.58). Deste recurso geotérmico usado para aquecimento de água e produção de energia elétrica, já todos conhecemos ou ouvimos falar. Porém, poucos ainda conhecem o uso deste calor da Terra na vertente designada por superficial, de muito menor temperatura e que muito recentemente começou a ser explorado para uso exclusivo da climatização. É sobre esta energia que nos iremos debruçar, propondo o seu uso nos Museus e Centros de cultura, até agora desconhecida ou ignorada, especialmente em Portugal.

### 3.1.2 - Uso histórico desta energia (Temperatura do interior da Terra)

Ao longo da história da humanidade sempre se procuraram recursos que tornassem a vida mais confortável, mais saudável e mais sustentável. Com esta busca, foram descobertas novas fontes de energia que sempre desempenharam um papel importante no desenvolvimento da sociedade. Desde os tempos mais remotos que usamos a água, que flui livremente do interior da superfície da terra a temperaturas superiores às designadas por correntes naturais ou pluviais, nomeadamente para uso termal (Fig. 55 e Fig. 56). Uma prática muito antiga e comum sempre foi a de relaxar nas consoladoras águas quentes de



Fig. 55 - Termas de Caracalla, Roma.  
Fonte: Banhos na Roma Antiga, The Archeology acedidas a 26/06/2010.



Fig. 56 - Banhos termais em Rudas, Budapest. Hungria.  
Fonte: Energia geotérmica y del mar.

alguns lagos ou nascentes. Mas naturalmente esta “água mágica” foi sendo usada (e ainda é), para finalidades mais criativas.

Os Romanos, por exemplo, usaram a água geotérmica para tratar doenças dos olhos e da pele, e em Pompeia já se aqueciam edifícios. Há 10 mil anos, os Americanos Indígenas usavam a água das termas para cozinhar e para uso medicinal. Durante séculos já os Maoris da Nova Zelândia cozinhavam com esta água.

Exemplos de aproveitamentos termais temos vários espalhados pelo país, localizados do Minho ao Algarve, muitos deles já anteriores à história do próprio país. Atualmente fazem-se perfurações até aos reservatórios geotérmicos para bombear a água quente para a superfície<sup>80</sup>. Os engenheiros geólogos fazem explorações e testes para localizar bolsas subterrâneas que contenham esta água geotérmica, de forma a poderem decidir os locais onde perfurar poços geotérmicos sustentáveis. Desta forma, assim que a água quente e/ou vapor é elevada através dos furos ou poços até à superfície, pode ser usada para gerar a eletricidade através de centrais geotérmicas ou simplesmente para usar de uma forma primária e natural na climatização térmica dos mais variados espaços, desde produção agrícola, estufas e exterior de espaços urbanos.

A energia geotérmica é considerada uma fonte de energia renovável, sendo a água continuamente repostada pelas chuvas e o calor permanentemente mantido no interior da Terra pela influência interna do seu núcleo e pela influência externa do Sol. Esse calor está estabilizado, tanto as altas temperaturas a muita profundidade como as pequenas temperaturas mais perto da superfície, podendo o primeiro ser recuperado para a produção de energia elétrica e o segundo para o condicionamento térmico do interior dos edifícios, como foi já referido.

Atualmente, a energia geotérmica está a despertar interesse em todo o mundo e embora existam países como a Islândia, Suíça, Suécia, que estão à frente no uso deste recurso; também a Alemanha está a emergir como um dos principais utilizadores desta energia, produzindo uma quantidade superior a 100 MW de calor a partir da energia geotérmica. Na Itália, onde teve início o primeiro aproveitamento geotérmico, há atualmente uma equipa de cientistas europeus (na região de Travale) a planear a exploração do potencial de reservatórios geotérmicos ali localizados. Com a conclusão deste projeto vai ser possível produzir energia semelhante a um potencial de cerca de 1.000 turbinas de energia eólica. Este foi dos projetos mais relevantes apresentados na conferência internacional final do "I-GET" (Integrated Geophysical Exploration Technologies), uma conferência onde participaram sete países europeus e que apresentou como tema o desenvolvimento do estado da arte desta tecnologia com potencial para a prospeção de

---

<sup>80</sup> <http://geothermal.marin.org/geopresentation/sld012.htm> acedida a 12/10/2010

reservatórios geotérmicos na Europa. Todos os países participantes da conferência querem explorar mais e melhores reservatórios geotérmicos e utilizá-los para produzir a energia limpa e verde, diminuindo os problemas relacionados com as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, cujo excesso pode provocar alterações climáticas. Pode-se dizer que também a União Europeia no seu todo está a reconhecer a importância do desenvolvimento do aproveitamento da energia geotérmica, e a despertar para o potencial que esta energia tem em todos os campos de aplicação.

A Terra armazena no seu interior uma imensa quantidade de energia térmica; em Portugal Continental até ao final do último século, só era considerada viável e economicamente rentável a geotermia de aquecimento de águas e vapor de baixa entalpia, sendo utilizada nos balneários termais, aquecimento ambiental urbano e em estufas direccionadas para a floricultura, fruticultura e outras.

Em França, numa pequena vila com cerca de 1100 habitantes, “Chaudes-Aigues”, há registos que mostram ter sido ali construído o primeiro sistema de distribuição de calor urbano, permitindo aquecer algumas casas no século XIV (1332), mantendo-se ainda hoje em funcionamento. Inicialmente era uma rede distribuidora afeta apenas a três habitações do núcleo da aldeia, sendo a distribuição conseguida à base de tubos de madeira de pinho. No século seguinte alargou-se a



Fig. 57 - Museu europeu da Geotermia e do Termalismo, França.  
Fonte: [www.aquiclude.org](http://www.aquiclude.org) acedidaa12/2/2010

cerca de vinte casas, albergarias e barbearias, entre outros equipamentos, beneficiando do direito de utilizar a água que circulava a uma temperatura de 82 °C na fonte do parque com um caudal de 280 L/min de água. Em meados do século XVII, este sistema passa a servir um número de habitações ainda maior (vários quarteirões), estendendo-se no século XIX completamente por toda a vila. No sentido de manter viva esta memória, foi criado naquela localidade o Museu Europeu da geotermia (Fig.57).

No entanto, em termos históricos, o aproveitamento do calor da terra como já referimos, foi quase sempre usado para aquecimento natural de águas, aproveitadas essencialmente para uso termal ou



Fig. 58 - Vulcão a projectar lava a alta temperatura.  
Fonte: [http://energiageotermica\\_8g.blogs.sapo.pt/4553.html](http://energiageotermica_8g.blogs.sapo.pt/4553.html) acedida em 6/6/2011

balnear. Só há cerca de 100 anos atrás é que passou também a ser aproveitada para a produção de eletricidade, tendo muito recentemente um novo e excepcional incremento, não só para a produção de eletricidade mas também para a climatização de espaços interiores, usando desta vez não apenas o calor da água (tal como brota livremente da natureza), mas incorporando um equipamento designado por “bomba de calor”, que permite captar e permutar o calor da terra de baixa temperatura, entre 10e15 °C a pequena profundidade (em Portugal, nos primeiros 150/200 m de profundidade, a temperatura mantêm-se entre 12 e 15 °C). Os líderes europeus no uso desta tecnologia são atualmente a Islândia, Suíça, Suécia, Itália, Turquia e França<sup>81</sup>, e cada vez mais outros países no mundo inteiro canalizam grandes investimentos para o aproveitamento de todos os tipos de energia geotérmica, como é o caso da China, Canadá e Estados Unidos.

A primeira eletricidade geotérmica gerada no mundo foi produzida em Larderello, na Itália, em 1904; a partir dessa data, esta localidade toscana não mais deixou de a produzir, tendo inclusivamente aumentando gradualmente a sua produção. Outros países foram seguindo este exemplo, tendo o uso desta energia para produção de eletricidade aumentado a nível mundial em aproximadamente 7.000 MW, em vinte e um países de todo o mundo. Só os Estados Unidos produzem anualmente uma média de 2700 MW de eletricidade através da energia geotérmica. Em termos comparativos, esta quantidade de eletricidade produzida através do petróleo obrigaria a queimar sessenta milhões de barris por ano. Daqui se conclui que a energia geotérmica é uma energia limpa, saudável e sustentável, por poder ser reposta a curto ou médio prazo, e além disso com baixos custos de produção quando comparados com as restantes energias.

Esta energia provém, como já dissemos, do calor produzido a grandes profundidades, conduzido através da água, vapor ou gás, verificando-se que em termos médios a temperatura aumenta, nos primeiros 500 km cerca de 33°C por km. Praticamente todos os níveis de temperatura do subsolo podem ser utilizados para produzir energia ecologicamente saudável, limpa, a miga do ambiente e a custos reduzidos. Ao mesmo tempo trata-se de uma fonte de quase infinita renovação.

As antigas civilizações Grega, Persa, Turca e Romana, entre outras, usaram com o máximo aproveitamento a geotermia para usufruto corporal nos



Fig. 59 - O géiser “Old faithful”, do parque de Yellowstone nos EUA. Vapor aquecido.

Fonte: <http://www.dignow.org/post/fly-geyser-862005-88706.html> acedida a 6/6/2011

<sup>81</sup> <http://www.erec.org/renewable-energy/geothermal-energy.html>. acedida a 6/6/2011

banhos, saunas e tratamentos termais<sup>82</sup>. Hipócrates, conhecido como o “pai da medicina”, escreveu no século V a.C.: “Para se gozar de boa saúde, é preciso tomar um banho perfumado e fazer uma massagem com óleos todos os dias.” Nestes casos, usavam os resultados geotérmicos, o ‘calor da terra’ que lançava à superfície águas quentes, lava e vapores e sem necessitar de meios técnicos para a sua obtenção (Fig.58 e 59). O aproveitamento geotérmico desenvolvido nesta tese corresponde à evolução contemporânea desta temática, considerando os meios tecnológicos atualmente disponíveis.

### 3.1.3 - Características fundamentais da Energia Geotérmica

A energia geotérmica tem características que a classificam na categoria das Energias Renováveis, uma vez que a taxa de extração/utilização é inferior à taxa de renovação/reposição dos recursos.

Como já foi referido, uma enorme quantidade de energia sob a forma térmica está contida no interior do planeta, sendo transferida sobretudo por condução, através de um gradiente de temperatura com um valor aproximado de 33 °C/km até à superfície da crosta terrestre. O potencial desta energia é enorme, estimando-se  $2.9 \times 10^{24}$  Mjoule recuperáveis para aplicações térmicas, isto é, aproximadamente 10.000 vezes o consumo anual de energia no mundo<sup>83</sup>. Atualmente, o seu interesse prático para aplicações reside nos casos em que água termal ou vapor se concentram a profundidades inferiores a 3.000 m. Os recursos de águas termais resultam da circulação dessa água de origem pluvial em falhas e fracturas, ou da circulação de água residente em rochas porosas a certas profundidades. Os recursos de alta temperatura estão geralmente associados a áreas de atividade vulcânica. Em Portugal, os usos da baixa temperatura são muito mais comuns do que os de alta temperatura, sendo exemplos do primeiro tipo as águas termais que existem de Norte a Sul do país, enquanto que exemplos do segundo tipo apenas existem nos Açores.

Nos processos geotérmicos, via água ou vapor, existe uma transferência de energia por convecção que torna imediatamente útil o calor produzido e contido no interior da Terra. Hoje consideram-se também situações em que, através da injeção forçada de água a partir da superfície, se consegue ter acesso ao calor armazenado em rochas quentes, mas secas.

Como já se referiu, em Portugal Continental o recurso à geotermia tem-se feito sobretudo através da exploração dos recursos sob a forma de águas termais para fins terapêuticos ou balneares; nestes casos, obtêm-se temperaturas entre os 20 e os 80 °C, sendo particularmente notável o caso de Chaves com valores à superfície de 75 °C.

<sup>82</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Spa> Gêiser: s.m. (termo da Islândia que significa fonte termal), são jatos de vapor de água e água quente, que em regiões vulcânicas, são periodicamente lançados ao ar.

<sup>83</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Consumo\\_y\\_recursos\\_energ%C3%A9ticos\\_a\\_nivel\\_mundial](http://es.wikipedia.org/wiki/Consumo_y_recursos_energ%C3%A9ticos_a_nivel_mundial) acedida 4/2/2011.

Nos últimos tempos, tem-se assistido ao desenvolvimento de pequenas aplicações térmicas ou de uso direto de energia geotérmica, como por exemplo em estufas, piscinas e edifícios. O seu potencial é difícil de estimar pois depende da acessibilidade do recurso, das suas características e da sua utilização à superfície. Existem casos como na Grande Lisboa, com reservatórios de água quente a cerca de 1500 m de profundidade e temperaturas superiores a 50 °C, que abrem possibilidades de aproveitamento interessantes. Um caso concreto<sup>84</sup> é o do aproveitamento do Hospital da Força Aérea de Lisboa, a funcionar desde 1993. A recuperação do investimento feito nesse caso estima-se ser da ordem de 10 anos.

O caso da contribuição potencial deste tipo de recurso a grande profundidade não será relevante neste estudo, pelo facto da sua exploração exigir grandes investimentos e não se coadunar com uma perspectiva de utilização imediata nos museus.

#### 3.1.4 - Fontes e formas de aproveitamento

Quando não existem géisers, e as condições são favoráveis, é possível estimular o aquecimento da água usando o calor do interior da Terra. Uma experiência realizada em Los Álamos, Califórnia<sup>85</sup>, demonstrou a possibilidade de execução deste tipo de aproveitamento, sendo feitas perfurações de dois poços no solo, distânciados 35 m entre si e com 360 m de profundidade na vertical, de modo a alcançarem uma camada de rocha quente. Num dos poços foi injectada água, que aqueceu na rocha e foi expelida pelo outro poço, tendo ocorrido o chamado processo de metabolização geotérmica. Porém, a melhor maneira de obter energia natural é perfurar um poço que já contenha água quente e a partir daí efectuar o seu aproveitamento.

Das grandes profundidades obtêm-se água, vapor, e gás seco ou húmido a temperaturas capazes de permitir de forma rentável instalar no exterior centrais de produção de energia elétrica de aproveitamento Geotérmico, como existem no Arquipélago dos Açores. No resto do mundo, muitos outros países têm expandido a produção de eletricidade por esta via, ou usado o vapor quente seco ou húmido para condicionamentos térmicos, como o México, Japão, Filipinas, Quénia, Islândia e China. Na China, os primeiros registos de utilização de energia geotérmica, estão



Fig. 60 - Primeira experiência geotérmica de água quente na China em 1936.

Fonte: Wang K., Lee C., and Lei H., 2005. geothermal resources in Tianjin.

<sup>84</sup> Segundo, A Geóloga Maria Carla Lourenço do Instituto Geológico e Mineiro.

<sup>85</sup> [http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia\\_geot%C3%A9rmica](http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_geot%C3%A9rmica). Acedida a 5/11/2010

indicados na Crónica Geral do Distrito de Pequim, publicado durante a dinastia Quing. O Geólogo Prof. Zhang Hongzhao refere-se a estes registos na síntese da Hot Springs da China, em 2006, descrevendo uma “primavera quente que está localizada na Jitou Montanha em Ji County, e pessoas que aí tomavam banho para curar doenças”.

No início de 1936, foi executado o primeiro furo de geotermia no centro da área urbana de Pequim (Fig.60), patrocinado pelo Museu da Natureza de Tianjin. Este poço atingiu uma profundidade de 861m e uma tiragem de 23 m<sup>3</sup>/h a uma temperatura de 36 °C e teve as suas bombas de extração a trabalhar até 1980, tendo sido desligado em 1994. Desde meados da década de 1990, muitas províncias e regiões autónomas da China têm adoptado políticas de desenvolvimento de energias renováveis, incluindo incentivos como subsídios e redução de impostos. Até o final da década de 1980, os recursos geotérmicos de Tianjin estavam a ser usados para o aquecimento de estufas<sup>86</sup> e água de piscinas, (Fig.61 e 62) tratamento com águas termais, indústria têxtil e água potável. Mas o aproveitamento geotérmico inicial era simples e direto, sendo a água geotérmica introduzida diretamente para sistemas de aquecimento sem implicar qualquer tipo de equipamento suplementar. Cerca de 114 poços geotérmicos são utilizados no aquecimento de espaços, fornecendo principalmente para a área urbana. Anualmente, cerca de 100.000 famílias e 850.000 pessoas já desfrutam do abastecimento desta água quente, através da rede normal de distribuição e de fisioterapia a partir de recursos geotérmicos.



Fig. 61 - Estufas climatizadas por energia geotérmica, na china.

Fonte: Lectures on geothermal areas in Chin Orkustofnun (2008) Grensásvegur 9, nº 7  
acedida a 20/10/2012 em <http://www.os.is/gogn/unu-gtp-report/UNU-GTP-2008-07.pdf>



Fig. 62 - Piscinas aquecidas, por energia geotérmica, na China.

Saliente-se ainda que os governos da China e Singapura assinaram com o Brasil um acordo de cooperação para o projeto Eco-Cidade Sino-brasileiro. O Sino-brasileiro Eco City está localizado entre China e Singapura, sendo o segundo projeto de cooperação entre estes dois países, após a Suzhou Industry Garden ocupando uma área de 32 km<sup>2</sup>. A

<sup>86</sup> Fonte: <http://www.os.is/gogn/unu-gtp-30-ann/UNU-GTP-30-14.pdf>. acedido em 17/10/2009

construção começou em Julho de 2008 e terminou em 2011, tendo um investimento estimado em 4300 milhões de dólares. Quando estiver concluída, prevê-se que hajam trezentas mil pessoas a viver e a trabalhar em edifícios energeticamente eficientes na Eco-Cidade. Além disso, consegue-se a preservação e restauração da ecologia natural, o consumo de baixas emissões de carbono e a contribuição para a coesão social.

Para que possamos entender melhor como é aproveitada a energia do calor da Terra devemos primeiro saber como é estruturalmente constituído o nosso planeta. A Terra é formada por grandes placas, que nos mantêm isolados do seu interior, no qual encontramos o magma, que consiste basicamente em rochas derretidas. Com o aumento da profundidade, a temperatura dessas rochas é cada vez maior (Fig.63), sendo precisamente nessas zonas que se regista elevado potencial geotérmico.

O aproveitamento deste potencial geotérmico pode ser considerado para a produção de eletricidade ou para o uso natural da energia aí contida (Fig.64).



Fig. 63 - Aproveitamento geotérmico.

<http://www.portal-energia.com/energiageotermica-funcionamento-e-tecnologia> acedida a 6/6/11

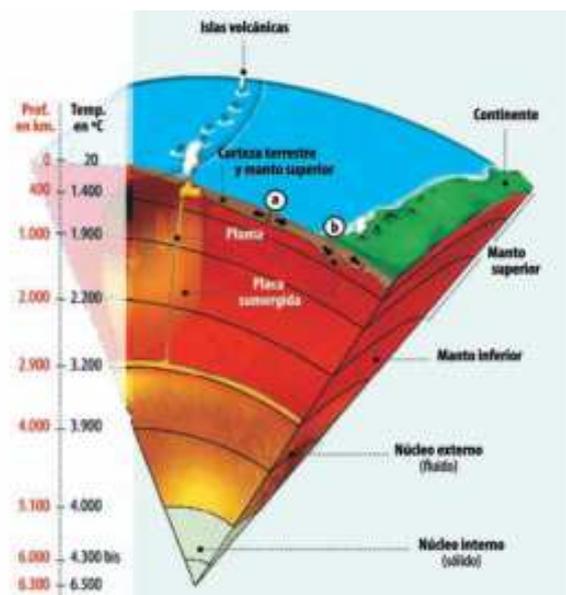


Fig. 64 - Aumento de temperaturas com a profundidade

Fonte: II Congresso GeoEner 2010. Energia Geotermica en la Edificacion y la Industria

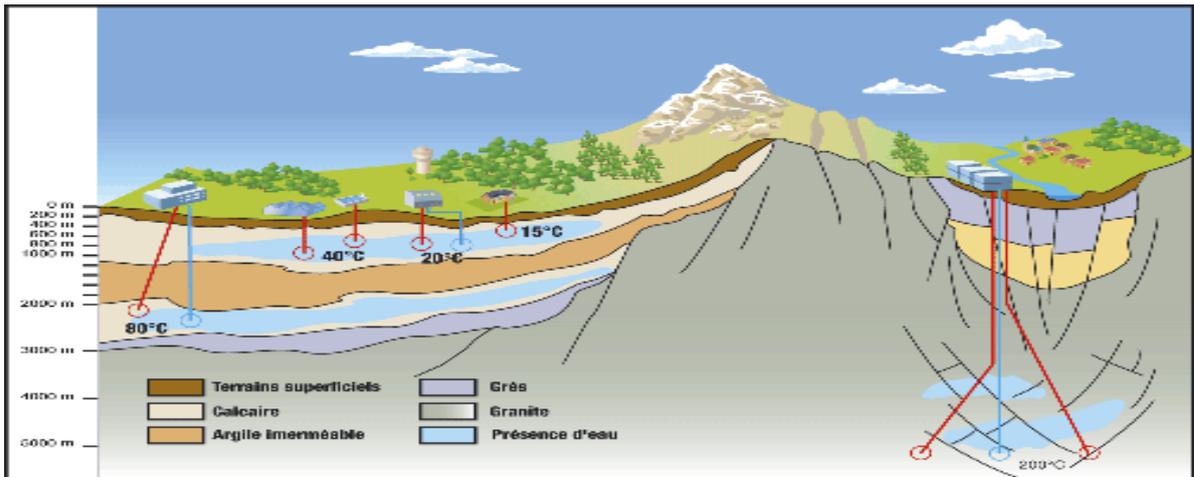


Fig. 65 - Camadas geológicas e temperaturas em profundidade na exploração geotérmica.  
Fonte: [www.leroymerlin.fr](http://www.leroymerlin.fr) acedida em 5/2/2011

A figura 65 ilustra as temperaturas que às diversas profundidades se podem explorar para uns e outros fins, cuja captação pode ser feita por três formas:

- Captação por sondas na vertical até uma profundidade, em cerca de 200 m.
- Captação com sondas na horizontal, numa profundidade até 1,40 m.
- Captação com sondas mergulhadas em aquíferos (poços ou furos, lagos, ribeiros, rios ou mar), a qualquer profundidade, de forma livre ou em circuito fechado.

### 3.2 - Geotermia de baixa profundidade, ou de superfície

O desenvolvimento geotérmico está a evoluir para além das tradicionais reservas hidrotermais e produção de eletricidade, para sistemas de climatização através do aproveitamento da temperatura mais baixa desta Energia Geotérmica. Este desenvolvimento está a fazer com que haja um número crescente de países a apostar ativamente no desenvolvimento geotérmico em áreas que anteriormente se presumia serem de recursos pouco exploráveis. Isto é especialmente verdadeiro entre os países europeus, nomeadamente os que atualmente exploram e desenvolvem grandes projetos empregando energia geotérmica de superfície como um potencial local. Estes desenvolvimentos são normalmente acompanhados por políticas governamentais, introduzindo mecanismos de comparticipação que incentivam por um lado a realização destes projetos e minimizam por outro os riscos que lhe estão associados.

### 3.2.1 - Descrição de energia geotérmica de baixa profundidade ou de superfície

A temperatura existente no interior da terra, que vai desde o primeiro metro de espessura do solo até 200 m de profundidade, é a denominada geotermia de superfície ou superficial (também denominada Geotermia de temperaturas baixas). Neste espaço são enterradas sondas permutadoras ou dissipadoras de calor ligadas às bombas de calor geotérmicas (que se referem a seguir), que de forma simplificada não fazem mais que

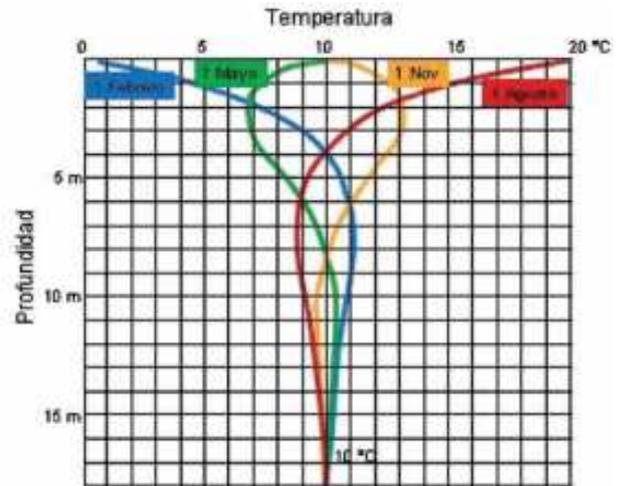


Gráfico 5 - Temperaturas do solo a baixa profundidade  
Fonte: Guillermo Llopis Trillo e Carlos López Jimeno .  
Drs. Ing de Minas E.T.S.I. Minas - Univ. Pol.de Madrid

introduzir o acréscimo de temperatura que é necessário para proporcionar conforto de Verão ou de Inverno, conforme a estação do ano em que nos situemos. Ou seja, as sondas enterradas no solo e as bombas de calor no exterior são usadas para aquecer casas, escritórios, hotéis e estufas durante os meses de Inverno, e para as refrescar no verão, através de um processo inverso, fazendo com que o excesso de calor seja transferido para o subsolo, através das mesmas sondas. Esta energia, aproveitada diretamente com apenas a intervenção de uma simples bomba de calor, vai-nos permitir criar condições de conforto térmico de Verão e Inverno no interior de qualquer espaço, sendo nesta tese especialmente recomendada nos espaços destinados a Museus e centros culturais. A Geotermia utilizada para a produção de energia elétrica não está facilmente acessível em qualquer lugar, nem de igual modo em todos os países, e por isso nem sempre é possível termos os museu servidos com energia desta proveniência. Pelo contrário, em todos os locais a partir de poucos metros de profundidade a temperatura é constante ao longo de todo o ano potenciando a utilização da Geotermia de superfície. Esta temperatura existente no solo e em águas subterrâneas pode ser explorada em qualquer país para aquecer e arrefecer o interior dos edifícios, associando bombas de calor ligadas a um circuito de fluido, posto a circular em sondas enterradas até aos referidos 200 m, e ligadas na superfície, às chamadas bombas de calor geotérmicas, as quais, por troca de um pequeno consumo de energia elétrica necessária para operar o sistema, podem capturar a temperatura, e aumentá-la a partir da origem o suficiente para se obter o respectivo conforto de verão e de inverno no interior dos edifícios.

Tendo em consideração que a temperatura obtida do solo nos é “oferecida”, consegue-se uma grande economia nos custos de climatização térmica em todos os tipos

de edifícios, incluindo museus e centros culturais, públicos ou privados. Essa economia pode representar entre 30% e 70% quando comparada com os sistemas de AVAC convencionais, e atinge ainda maior significado por se constatar que os maiores consumos de energia elétrica se verificam, atualmente, com os sistemas de climatização, sobretudo nos países mais desenvolvidos. O ar condicionado é hoje indispensável para atender às necessidades térmicas de conforto de Verão e Inverno na maioria das habitações, comércios, indústria ou serviços, em boa parte dos países, sendo a Suécia e a Suíça quem detêm o recorde na exploração deste calor do interior da terra e também são estes os países com maior densidade de centrais geotérmicas do mundo. Para além destes dois, a maior parte dos países do norte e centro da Europa, como a França, a Alemanha, a Holanda, a Dinamarca, a Finlândia, e a Noruega já utilizam Bombas de Calor há várias décadas como meio preferencial de aproveitamento de energias renováveis para a climatização de edifícios. A situação em termos percentuais dos países em que a instalação de Bombas de Calor Geotérmicas está mais implantada é de 48,7% na Suécia, 18,3% na Alemanha e 12% na França; só a Suécia tem atualmente 95% das casas novas e 50% das casas em reabilitação equipadas com sistemas geotérmicos<sup>87</sup>.

A Islândia, muitas vezes considerada o modelo de desenvolvimento na energia geotérmica, continua a crescer nessa modalidade. Com uma população pequena, o país gera atualmente a sua energia proveniente de fontes renováveis em 25% da sua eletricidade e 90% do seu aquecimento a partir de recursos geotérmicos.

Salienta-se ainda que nos últimos cinco anos, o número de sondas geotérmicas mais que duplicou, segundo informação de Daniel Pahud, responsável pelo Centro do Ticino de promoção da Energia Geotérmica situado na Islândia. Em Portugal, só há meia dúzia de anos é que se faz o aproveitamento desta energia e o primeiro edifício de serviços (com cinco pisos, cave e mezanine) onde se instalou pela primeira vez este sistema foi na Universidade Lusófona, em Lisboa, no ano de 2007, tendo esta universidade repetido a experiência no ano seguinte, aplicando energia geotérmica em salas de aula, anfiteatros e laboratórios.

Em Paris pretende-se investir em energia geotérmica, tendo-se já iniciado a perfuração do solo para alcançar esse potencial energético. Paris tem um grande potencial em energia geotérmica, não tanto como a Islândia, mas o suficiente para aquecer hoje 170 mil casas, e seis vezes esse valor em 2020<sup>88</sup>. O projeto que agora começou pode abranger uma nova área residencial de cerca de 12.000 apartamentos, que serão construídos até

---

<sup>87</sup> [http://www.swissinfo.ch/por/especiais/a\\_suica\\_dos\\_recordes/recordes\\_mundiais/Suica\\_e\\_recordista\\_em\\_usinas\\_geotermicas\\_.html?cid=7864706](http://www.swissinfo.ch/por/especiais/a_suica_dos_recordes/recordes_mundiais/Suica_e_recordista_em_usinas_geotermicas_.html?cid=7864706) acedida a 2011-06-07

<sup>88</sup> Artigo no Greenoptimistic.com – em 2009/02/17.

2011, reduzindo drasticamente as emissões de CO<sub>2</sub>, e até 54% das suas necessidades de eletricidade.

Em Roma, cientistas italianos descobriram um grande rio subterrâneo que corre por baixo do rio Tibre, o qual poderá, com a sua temperatura média de 20 °C, ser usado para produzir energia geotérmica. É um enorme rio subterrâneo, completamente separado, que corre entre o cascalho e a areia do antigo curso do Tibre, limitado acima e abaixo por duas camadas de terra impermeáveis, constituindo uma fonte de energia geotérmica suficiente para aquecer e arrefecer a maior parte das casas na capital, com grande economia de custos no consumo de combustíveis e substancial redução da poluição.



Fig. 66 - Roma, Itália – rio subterrâneo sob o Tibre.  
Fonte: [www.biodisol.com/.../descubren-un-rio-subterraneo-en-roma-que-podria-producir-energia-geotermica-energias-alternativ-acedido-em-2011-06-07](http://www.biodisol.com/.../descubren-un-rio-subterraneo-en-roma-que-podria-producir-energia-geotermica-energias-alternativ-acedido-em-2011-06-07)

Segundo relata o jornal *Corriére della Sera* em 11/02/2009, a equipa do vulcanólogo e geoquímico italiano Franco Barberi reconstruiu o curso do aquífero através da exploração de mais de 200 poços ao longo da capital italiana. Através das amostras recolhidas e analisadas pela equipa de cientistas conhecidos, a água desse rio subterrâneo, situado entre 30 e 60 m abaixo da cidade, tem ph neutro e nenhuma poluição, e a sua temperatura varia entre 18 e 21 °C, tornando-a capaz de ser usada para produzir energia geotérmica. A esse propósito, o presidente do Instituto Nacional de Geologia e Vulcanologia, Enzo Boschi, garantiu que “Roma pode, assim, conseguir a independência dos hidrocarbonetos, tornando esta capital a mais limpa da Europa”<sup>89</sup>.

Com estas descobertas e o conhecimento já consolidado acerca das vantagens da obtenção e utilização desta energia geotérmica, esperamos contribuir com o estudo desta tese para que também os edifícios destinados aos museus ou Centros de Cultura passem a usufruir dela, na rede de distribuição da sua climatização interior.

### 3.2.2 - Bombas de calor geotérmicas e seu funcionamento

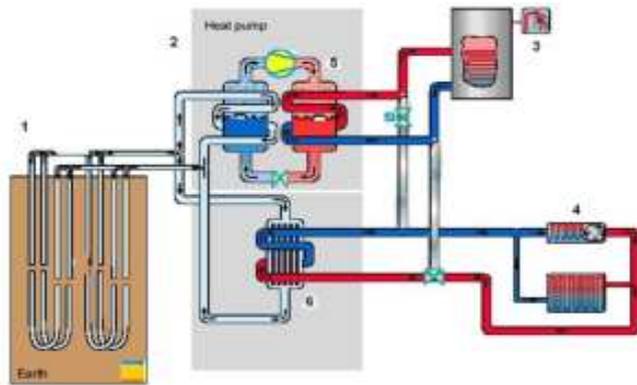
Como já foi referido, a temperatura da Terra até cerca de 200 metros abaixo da superfície do solo é relativamente constante em todos os locais, situando-se aproximadamente entre 12 e 15°C, enquanto a temperatura do ar pode mudar

<sup>89</sup> Tradução livre. Afirmações referidas em 10-02-2009 no “*Corriere della Sera*” após ter a equipa do vulcanólogo e geoquímico italiano Franco Barberi tornado publica a descoberta.

aproximadamente entre os extremos +50 e -50 °C de Verão e Inverno, no equador ou pólos, de acordo com o local do globo onde nos situemos. As bombas de calor geotérmicas acrescentam a temperatura necessária para aquecer ou refrescar o interior de qualquer edifício, incluindo os museus e centros de cultura em qualquer parte do mundo.

Uma bomba de calor funciona por compressão e expansão de vapor de água; é um sistema que realiza um ciclo termodinâmico entre duas fontes de energia, uma a baixa temperatura, fonte fria, e outra a alta temperatura, fonte quente, transferindo o calor da fonte fria para a fonte quente graças ao fornecimento de uma certa quantidade de trabalho. Os seus elementos principais são quatro: evaporador, compressor, condensador e elemento de expansão. De uma forma simplificada, podemos descrever as bombas de calor como equipamentos receptores de água glicolada à temperatura do solo existente na zona onde o circuito das sondas foi instalado e mediante certa operação de funcionamento incrementam essa temperatura na graduação adequada de acordo com as necessidades dos espaços a climatizar, de Inverno ou de Verão (Fig. 67;68;69 ). A partir daí o sistema faz passar esse líquido pelos convetores ou circuito radiante dos pisos de cada compartimento a climatizar, aquecendo ou arrefecendo o ar aí existente. No regresso à rede após a passagem pelos compartimentos, a temperatura em excesso é arrastada novamente através daquela água glicolada para a bomba de calor, que por sua vez a faz regressar às sondas implantadas no exterior, acumulando ou dissipando temperatura naquela zona envolvente. Novamente recomeça o ciclo que vai passar pela bomba de calor e assim sucessivamente num circuito fechado perfeito.

Em suma, o processo da bomba de calor através dos seus quatro principais elementos processa-se da seguinte forma: a água misturada com glicol ao percorrer o trajeto das sondas fica à temperatura do solo; a essa temperatura quando na passagem pela bomba de calor, é-lhe imputado um acréscimo proveniente do gás ali existente, que por compressão aumenta de calor; ao continuar o seu percurso pela rede de tubagens passa pelos ventilo convetores colocados nos compartimentos, que fazendo circular o ar transmitem a temperatura desejada aos espaços. No retorno à bomba de calor, processa-se o inverso, o gás sofre uma expansão por descompressão, arrefece, passa do estado gasoso ao estado líquido, e a água glicolada do circuito segue para as sondas continuando mais um ciclo termodinâmico.



- 1 – Circuito exterior, neste caso captação vertical em que circula um fluido composto por água e glicol etílico.
- 2 – Bomba de calor, segundo a norma VDI 4640.
- 3 – AQS
- 4 – Aquecimento do interior. Ventilador convetor. Pavimento radiante. (aquecimento/arrefecimento)
- 5 – Compressor e válvula de expansão
- 6 – Permutador de placas

Fig. 67 - Esquema de funcionamento do circuito

Fonte: Portal das Energias Renováveis.

### Esquemas de movimento das temperaturas nas sondas

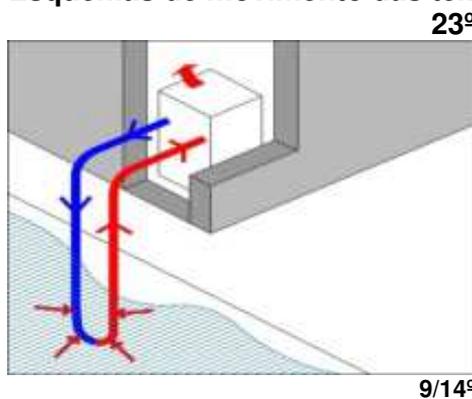


Fig. 68 - Movimento de Inverno.

Fonte: Desenho próprio.

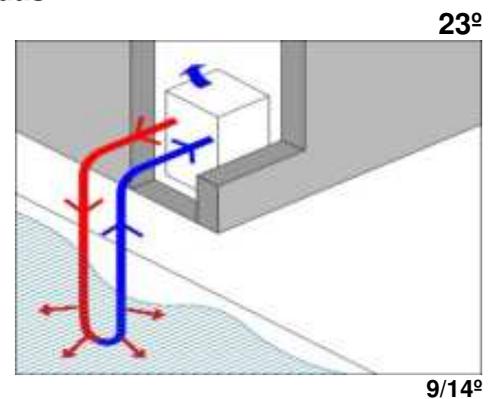


Fig. 69 - Movimento de verão.

No interior da bomba de calor, o fluido que pode ser o gás (R407C) aquece por convecção, através do permutador de placas, o líquido que chega das sondas composto normalmente por 33% de refrigerante glicol etílico, antes deste passar ao circuito das tubagens.

Como se depreende pela descrição feita, a bomba de calor constitui uma tecnologia que gere energia renovável e disponibiliza mais energia que aquela que necessita para o seu funcionamento, com o consumo de eletricidade proveniente de fontes primárias de combustíveis fósseis, ou idealmente associando eletricidade gerada por fontes renováveis não poluentes. Por este facto a bomba de calor pode ser um importante meio para alcançar o objectivo europeu de realização dos “três vintes” em 2020<sup>90</sup>, isto é, a redução de 20% nas emissões dos gases com efeito de estufa, a contribuição de 20% das energias renováveis no share do consumo final e o aumento de 20% na eficiência energética. No caso português, o objectivo para as energias renováveis aponta para os 31%, pois atualmente já ultrapassámos os 20%.

As bombas de calor podem trabalhar de formas diversas, não só no circuito terra/água a que atrás nos referimos mas também ar/ar, ar/água, água/ar, água/água, sol/ar,

<sup>90</sup> <http://www.climatizacao.pt/edicoes/marco-2010/estudos-2.aspx> acedida a 20/6/2009

sol/água, salientando-se que ressaltam as diferenças de temperatura das respetivas fontes de calor, uma vez que, no sistema de funcionamento, o problema é idêntico para todos os tipos.

No caso da utilização do ar como fonte de energia, quando mais necessitamos de calor é quando a sua temperatura é mais baixa. Os equipamentos, que usam o ar como fonte de energia estão sujeitos a temperaturas de evaporação variáveis ao longo do dia e da estação do ano, podendo oscilar entre  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Aquelas que utilizam a água (aquíferos) como fonte de energia, trabalham com temperaturas de evaporação praticamente constantes, temperaturas entre  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  aproximadamente. Ainda para o caso das bombas de calor que utilizam o ar como fonte energética, a sua capacidade calorífica e o seu coeficiente de desempenho, COP (Coefficient of Performance), quociente entre a potência calorífica fornecida pela unidade e a potência elétrica consumida, diminui com a temperatura do ar exterior, isto é, o seu COP varia ao longo da estação do ano e até período do dia. Assim, para avaliação ou comparação de todo o tipo de parâmetros de funcionamento, o que interessa fundamentalmente analisar não é o COP mas sim o designado SCOP, (Seasonal Coefficient of Performance), o qual representa o quociente, agora, entre a energia fornecida pela unidade, durante todo o período de aquecimento e a energia elétrica consumida durante o mesmo período. Para este efeito considera-se que são as bombas de calor, cujo aproveitamento geotérmico é obtido através de sondas implantadas no solo, lago, albufeira, rios, e aquíferos em geral, que maior economia nos trazem, por a temperatura se manter estável ao longo do ano e ainda com a vantagem dessa temperatura, relativamente à temperatura do ar exterior, ter um valor superior no Inverno e inferior no Verão, tal como é de interesse para a satisfação das atuais exigências de conforto térmico.

A Comissão Europeia 2007/742/CE, em 9 de Novembro de 2007, fez sair um documento estabelecendo os critérios para a atribuição do rótulo ecológico comunitário às bombas de calor elétricas, a gás ou de absorção a gás. Nesse documento,(ver anexos) para além dos conceitos atrás mencionados, são definidos o EER, (Energy Efficient Ratio) e o SEER, (Seasonal Energy Efficient Ratio) bem como um factor relacionado com a energia primária, PER (Primary Energy Ratio). No caso do EER e do SEER as definições resultam semelhantes às feitas para o COP e SCOP substituindo as palavras, respetivamente, calorífica e aquecimento por frigorífica e arrefecimento. O PER obtém-se multiplicando o COP por 0,4 no caso do acionamento elétrico e por 0,91 no caso do acionamento com motores a gás. Os valores 0,4 e 0,91 representam, respetivamente, as eficiências médias de produção europeia, de energia elétrica incluindo as perdas na rede, e de gás incluindo as perdas na distribuição. Para o cálculo destes valores, os fabricantes devem disponibilizar

programas, instrumentos e recomendações para que os cálculos necessários sejam efetuados. Os dados climáticos a utilizar devem corresponder à localização geográfica da instalação. E como já foi referido, na maior parte dos países do norte da Europa, tais como a França, Suíça, a Alemanha, a Holanda, a Dinamarca, a Finlândia, a Noruega e Suécia, as Bombas de Calor são utilizadas há varias décadas como fonte preferencial de aproveitamento de energias renováveis para o conforto térmico dos utilizadores de diferentes tipos de edifícios.

Como se referiu atrás, os países europeus onde a instalação de Bombas de calor Geotérmicas estão mais implantadas são<sup>91</sup>: Suécia, com 48,7% do total europeu, Alemanha, com 18,3% e França, com 10,4%. Em Portugal, como já foi referido, a utilização de bombas de calor neste tipo de aproveitamento energético é relativamente recente mas o crescimento anual tem vindo a intensificar-se. Para a captação de energia geotérmica podem ser utilizadas sondas, quer sejam dispostas na horizontal (Fig. 71 e Fig. 72), quer sejam dispostas na vertical (Fig. 73 e Fig. 74), enterradas ou em contacto com grandes massas de água ou ainda recorrendo aos aquíferos. No caso de sondas enterradas e dispostas na horizontal, estão mais sujeitas às flutuações da temperatura do ar exterior, sendo por isso utilizadas em aplicações de baixa potência. As sondas verticais colocam-se em furos que podem ir até os 250 m de profundidade e distânciados entre si na ordem dos 6 m, pelo que não estão sujeitas às variações da temperatura do ar exterior.

Atualmente é tema quase obrigatório em todos os eventos ligados à climatização dos edifícios a apresentação da geotermia de superfície, como uma das tecnologias mais eficazes e mais limpas para a satisfação das exigências de conforto térmico em todo o tipo de edifícios, sendo agora uma prioridade incluir nesses edifícios os destinados a museus e centros de cultura.

Em Portugal reconhece-se que as obras de remodelação das escolas incluem muito timidamente algum aproveitamento geotérmico. Só após a experiência levada a cabo pela Universidade Lusófona (com a implantação de climatização por aproveitamento geotérmico num edifício do seu campus do Campo Grande), outras instituições têm vindo a implementar este sistema, como é o caso da Universidade de Évora, que apesar de estar sediada num antigo mosteiro classificado, já instalou esta climatização em parte do seu espaço interior.

---

<sup>91</sup> Fonte: GEA-International Market Report-2010.

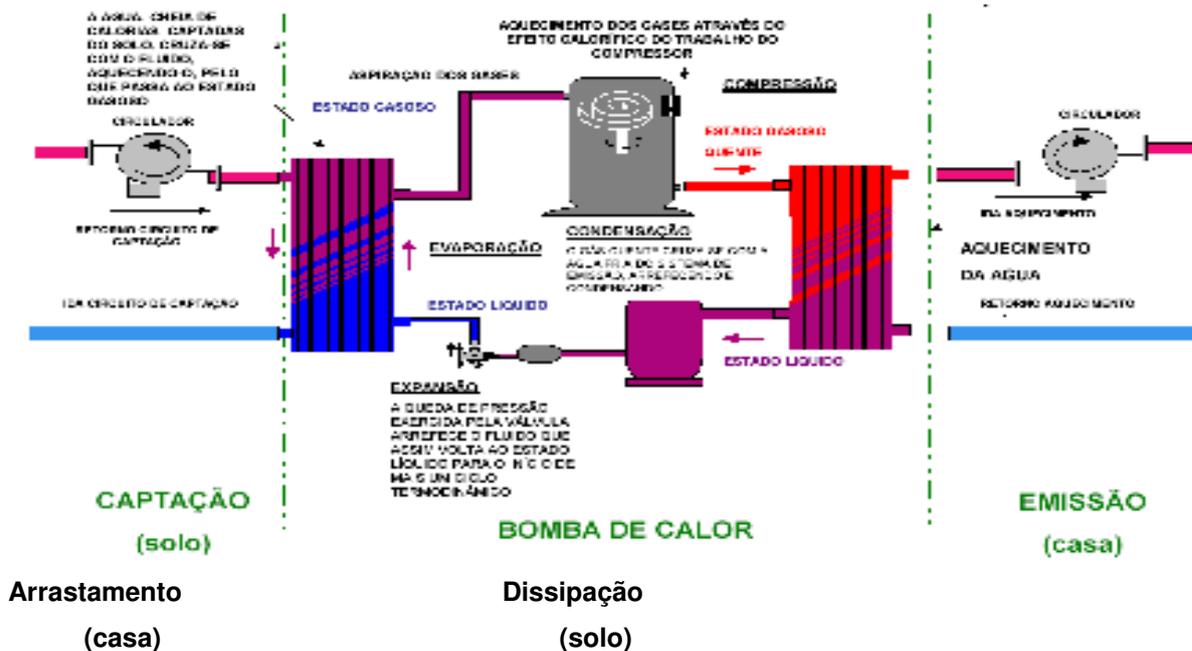


Fig. 70 - Aquecimento ou arrefecimento

- Como vantagens na utilização de bombas de calor salientamos:

- A evolução tecnológica está todos os dias a acontecer e em termos de rendimento o COP (coeficiente of performance) que era até 1982 de 2,2 chega a estar neste momento em 8. Isto significa que para um consumo de energia elétrica de 1 kW obtemos 8 kW oferecidos pela Terra, podendo-se assim, em média considerar um COP entre 4 e 5.

- Ao nível dos compartimentos o sistema é mais silencioso que o AVAC tradicional e além disso o ar que é aquecido ou arrefecido não circula por correntes com diferenças de temperatura em função da posição dos ocupantes, evitando reações físicas negativas aos mesmos e também por se tratar de ar natural sem incorporação de qualquer tipo de gás.

- Permitem toda a gestão de energia térmica de um edifício de uma forma económica (aquecimento central, arrefecimento, águas quentes sanitárias, aquecimento de piscinas).

- São sistemas ecológicos e seguros porque fazem uso de um recurso natural inesgotável, a energia da terra, onde apenas circula água a baixa pressão misturada com um fluido denominado glicol.

- São sistemas não poluentes, sem combustões, sem fumos nem cheiros, e sem os problemas de aprovisionamento de combustível.

- São sistemas estéticos porque estando as tubagens de captação enterradas no solo, não existem componentes visíveis no edifício.

- Como desvantagens consideradas na utilização de bombas de calor, temos:

- Estes equipamentos ainda terão que evoluir muito mais, porque apesar de já serem recomendados pelo facto de trazerem grandes benefícios económicos e ambientais, ainda necessitam de um grande espaço para se instalarem e o compressor produz um certo ruído e vibração que por vezes obriga a criar sistemas de correção ou protecções acústicas suplementares. Para minimizar estes inconvenientes, é prudente sempre que possível criar uma casa de máquinas na cave, introduzindo portas com boa capacidade de proteção acústica, e isolar se necessário as paredes e tetos dessa casa com manta apropriada ao amortecimento daquele ruído.

- Atenção especial com a instalação, sobretudo com a rede de tubagens, pela formação de condensações se os tubos do frio não forem devidamente isolados.

- Ainda tem uma dimensão considerável que obriga a ter disponível um compartimento com uma área significativa, naturalmente maior ou menor em função da necessária quantidade de bombas a instalar.

- Quando está em funcionamento para o acréscimo de temperatura faz um certo ruído e vibração. E ainda exige maior investimento inicial que os restantes sistemas tradicionais.

### 3.2.3 - Formas de captação desta Energia Geotérmica

A captação da energia geotérmica pode ser feita através de sondas instaladas na vertical (até uma profundidade de aproximadamente 200 m), na horizontal (até uma profundidade de 1,40 m) ou mergulhadas em aquíferos (poços ou furos artesianos, lagos, ribeiros, rios ou mar).

Para definir o tipo de captação é necessário conhecer o espaço disponível para a implantação das sondas, e decidir se são colocadas na vertical ou na horizontal, sendo que no caso da colocação horizontal é necessário ter disponível uma área de 1,5 vezes a área a climatizar, caso se aplique uma só camada; caso se opte por duas camadas o valor de referência desce para 0,85 vezes a área a climatizar. Se a decisão passar por captação vertical necessitamos de cerca 0,75 m de profundidade para cada m<sup>2</sup> de área útil a climatizar e de uma distância mínima de 6m entre cada sonda. No caso da instalação de sondas dentro de aquíferos (abaixo do nível freático, em poços, lagos, albufeiras, cursos de água), estas podem atingir menor profundidade, e se for necessário, far-se-à a bombagem da água desse aquífero, transferindo para o chamado poço perdido um caudal em cerca de 15 l/h por cada m<sup>2</sup> a climatizar.

Como se depreende, conhecendo-se a área total a climatizar é possível calcular facilmente o número de sondas a instalar; considerando o distanciamento entre sondas igual

ou superior a seis metros já referido, determina-se também facilmente o espaço necessário a disponibilizar para instalação de todas as sondas. Este espaço poderá ser contíguo ao edifício, quer no logradouro no jardim ou num pátio (Fig. 72), quer na área de implantação do próprio edifício, sob as fundações ou introduzindo as sondas na própria estrutura de base da fundação (Fig. 74). A solução de captação por sondas na vertical tem vantagens relativamente à solução das sondas na horizontal, pelo facto de se necessitar de menos espaço para instalar as ditas sondas. Por outro lado tem como inconveniente o maior custo na perfuração do solo, por exigir a utilização de máquina própria com mão de obra especializada (Fig. 75).

### 3.2.3.1 - Captação Horizontal



Fig. 71 - Circuito de sondas de aproveitamento horizontal.  
Fonte: Geotermia de Portugal



Fig. 72 - Exemplo de colocação das sondas horizontais em obra

Para o tipo de captação horizontal, se for instalada apenas uma camada de sondas a 0,6 m de profundidade implica, como já foi dito, uma ocupação do solo em cerca de 1,5 vezes a área útil a climatizar. Se optarmos por instalar duas camadas a partir de 1,4 m de profundidade, implica uma ocupação em cerca de 0,85 vezes a área útil a climatizar. A distância mínima entre tubos é de 30 cm, e o fluido de transferência é água glicolada em circuito fechado. O terreno terá que ser obrigatoriamente permeável e possuir boa inércia térmica mesmo a baixa profundidade, garantindo assim elevado rendimento energético e baixos consumos. A resistência e qualidade da tubagem é desenvolvida especificamente para este tipo de captação, o que confere ao sistema elevada durabilidade e fiabilidade. Como inconveniente temos o facto de ser necessário dispôr de uma grande superfície de terreno para implantar as sondas.

### 3.2.3.2 - Captação Vertical



Fig. 73 - Captação Vertical  
Fonte: Geotermia de Portugal



Fig. 74 - Captação vertical - sondas sob estrutura do edifício

Esta captação faz-se de acordo com critérios pré-estabelecidos, complementados com as decisões tomadas pela observação de alguns parâmetros que se vão obtendo ao longo do desenrolar do trabalho in-situ. Em primeiro lugar, começa-se por determinar a resposta de inércia térmica do solo no local onde se pretende instalar as sondas; seguidamente, procura-se obter alguns elementos sobre a constituição desse solo, para se seleccionar a máquina e os acessórios de perfuração - perfuração esta que pode atingir 250m de profundidade, mas normalmente fica pelos 150m, por razões económicas (custo/benefício). Com os furos executados e a sua secção mantida intacta em toda a profundidade com a utilização de bentonites ou tubagem PVC, instalam-se finalmente as sondas geotérmicas. A quantidade de sondas a instalar pode ser estimada pela razão de 0,7 a 0,8 m de comprimento por cada  $m^2$  de área a climatizar, dividindo pela profundidade dos furos. O fluido da chamada transferência que circula nas sondas é água glicolada em circuito fechado. A profundidade de cada furo de captação, somada à sua quantidade, vai constituir o comprimento necessário a percorrer pelo fluido, que é dependente apenas da inércia térmica do solo, medida com equipamento específico (Fig. 76), uma vez que as variações de temperatura ambiente não têm qualquer influência no rendimento do sistema.

Por este processo de captação vertical, a área de terreno a mobilizar é menor, e no caso das sondas ficarem sob as fundações do edifício não se ocupa mesmo espaço nenhum para além da sua implantação. Sabendo que a resposta geotérmica in situ, da condutibilidade térmica efetiva do solo na região de Lisboa, não vai além dos 150,00 m de profundidade, cada sonda pode climatizar 200,00  $m^2$ . Desta forma, com a área total que necessitamos climatizar, calculamos facilmente o número de sondas a instalar. Contudo, como já foi referido, a execução dos furos (Fig.73;74) para a instalação das sondas na

vertical fica mais cara do que a abertura da caixa para a colocação do sistema na horizontal (Fig. 71;72)



Fig. 75 - Máquina perfuradora para introdução das sondas térmicas no solo.



Fig. 76 - Aparelho para medição da inércia do solo.

Estas sondas também podem ser instaladas nas estacas de betão Fig.77 e 78 que se aplicam sob os edifícios quando o terreno não está disponível ou não tem resistência suficiente.



Fig. 77 - Sondas nas estacas da fundação do edifício após a betonagem.  
Fonte: fig.76,77,78 e79 catálogo da REHAU



Fig. 78 - Sondas nas estacas da fundação do edifício, antes da betonagem.

### 3.2.3.3 - Captação em meio Freático ou Aquífero

Para este tipo de aproveitamento direto da energia contida na água dos lençóis freáticos (Fig. 79) é necessário bombear cerca de 15 l/h de caudal de água por cada m<sup>2</sup> de área a climatizar. Se o lençol freático (que é uma ótima fonte de calor desde que possua temperaturas constantes entre +8 °C a +15 °C) estiver disponível a uma profundidade até aos 200 m e em quantidade suficiente, então podemos atingir as mais altas performances.

Este sistema é garantido através da bombagem da água subterrânea para a bomba de calor onde é absorvida a energia calorífica contida nessa água e transferida para o circuito, sendo a mesma água posteriormente colocada a jusante, num segundo furo ou local a 15 m de distância. O fluido de transferência será neste caso a água do lençol freático em circuito aberto, cuja condutibilidade térmica é maior do que a do solo, pelo que este sistema é aquele que apresenta os maiores rendimentos e menores

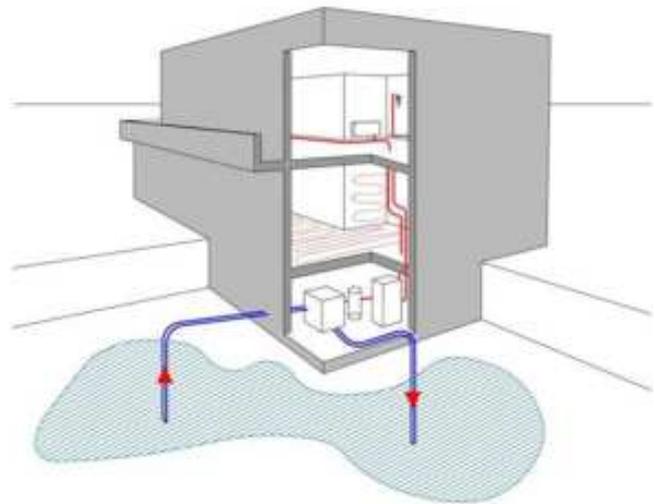


Fig. 79 - Sondas verticais, para captação em aquífero.  
Fonte: Desenho próprio

consumos para além de não ocupar áreas de terreno, o que poderá ser ideal para obras de reabilitação de edifícios. No entanto, este sistema tem necessidade de um caudal constante de água, o que o torna excessivamente dependente das condições naturais, embora se possam utilizar furos e poços já existentes, o que reduz o custo de instalação.

Importa também salientar que para o manuseamento de água há que ter em conta as disposições legais, os testes de caudal, a sua composição química, os sólidos suspensos, o isolamento do circuito da água subterrânea no circuito do edifício, a pressurização do circuito e a estratégia de retorno da água ao aquífero.

### 3.2.4 - Sistemas de Emissão

Os sistemas de emissão, ou seja a forma como o calor ou frio é transmitido ao espaço a climatizar são essencialmente dois. O primeiro processa-se através dos próprios pavimentos, piso radiante, (Fig. 80 e 81); o segundo processa-se através de máquinas ventiladoras “ventilo convetores”, colocadas junto aos tetos ou junto aos pavimentos (Fig. 82 e Fig. 83). Apresenta-se de seguida a descrição mais pormenorizada de cada um desses sistemas, nomeadamente o seu princípio de funcionamento.

#### 3.2.4.1 - Piso Radiante, princípio de funcionamento

O princípio básico do sistema consiste na impulsão da água a uma temperatura amena (à volta dos 40 °C), através de circuitos de tubos de polietileno reticulado com barreira anti-difusão de oxigénio. Segundo o sistema tradicional de aquecimento pelo piso radiante, os tubos envolvem-se numa camada de argamassa sobre o pavimento que

absorve a energia térmica dissipada pela corrente do líquido aquecido que percorre os tubos, transferindo-a para toda a argamassa envolvente e material de acabamento, que por sua vez emite a energia para o volume de ar local por convecção e por radiação. Segundo o sistema de aquecimento por piso radiante com difusores, os tubos emissores colocam-se em placas de alumínio (difusores), sendo estas a fornecer a energia necessária ao pavimento do local a aquecer. Os circuitos emissores partem dos colectores de alimentação e retorno. Estes circuitos equilibram-se hidraulicamente, sendo o caudal regulado através de cabeças electrotécnicas e impulsionado em função das necessidades térmicas de cada local. A regulação dos sistemas de aquecimento por piso radiante permite enviar água à temperatura desejada e controlar de forma independente a temperatura ambiente de cada compartimento a aquecer.

Este sistema consiste na implantação das tubagens de circulação da água glicolada sob os revestimentos dos pavimentos a aquecer ou a arrefecer. Como toda a superfície útil é emissora a distribuição de calor é uniforme, permitindo o máximo conforto térmico, sem desconfortáveis deslocamentos de ar. Assim, as principais vantagens deste sistema são as seguintes:

- Aquecimento sem movimentação de ar: a velocidade de deslocação das camadas de ar quente para as zonas frias é proporcional à diferença de temperatura do ar entre ambas as zonas. Como a temperatura da superfície emissora (pavimento) de um sistema de aquecimento por piso radiante é baixa (inferior a 30 °C), essa diferença de temperatura é muito reduzida, o que faz com que a deslocação do ar seja imperceptível. Uma ausência de movimento do ar evita o movimento de pó e resulta num ambiente envolvente mais higiénico e saudável.

- Poupança energética: um local aquecido por piso radiante consegue garantir uma sensação térmica igual a um espaço aquecido por outro sistema (radiadores, convetores de ar), ainda que com uma temperatura ambiente inferior. Isto acontece porque, ao aquecer através de outros sistemas, a temperatura nas zonas mais altas do local é maior (com a desvantagem de ser uma temperatura não sentida pelo utilizador). Sendo a temperatura ambiente interior menor, também serão menores as perdas energéticas, perdas pelos isolamentos, por ventilação e por infiltração, já que estas são proporcionais à diferença de temperaturas entre o exterior e o interior. Outro factor importante de poupança energética, é constituído pela diminuição de perdas de calor nas zonas das caldeiras e nas condutas até aos colectores, devido à temperatura da água de impulsão e retorno serem menores em comparação com outros sistemas de aquecimento.

- Compatibilidade com a maioria das fontes de energia: a moderada temperatura de impulsão da água que o sistema necessita faz com que este seja compatível com quase

todas as fontes energéticas. Particularmente, é o único sistema de aquecimento que pode ser alimentado diretamente por painéis solares.

- Aquecimento invisível: é um sistema de aquecimento que oferece uma total liberdade de utilização interior, uma vez que os emissores de calor não são visíveis. Pode-se mesmo dizer que este é um "aquecimento invisível". O espaço habitável é superior porque não existem os aquecedores à vista, evitando-se igualmente o risco de pancadas ou queimaduras, típicas no contacto com os radiadores.

Podemos ainda destacar mais algumas vantagens, tais como:

- 1- Instalação compatível com qualquer tipo de pavimento.
- 2-Baixa temperatura de aquecimento (35 °C), possibilitando um elevado rendimento.
- 3-Possibilidade de arrefecimento, embora menos eficaz que para o aquecimento.
- 4- Impacto estético nulo, porque a instalação está completamente invisível.
- 5-Temperatura superficial do piso instalado de aproximadamente 26°C, garantindo conforto sem danificar os materiais.

Salienta-se apenas como inconveniente o tempo de reação demorado, devido à elevada inércia térmica do sistema.



Fig. 80 - Circuito de tubagem de piso radiante  
Fonte: Geotermia de Portugal



Fig. 81 - Circuito de tubagem de piso radiante com termoplaca.

#### 3.2.4.2 - Ventiló-convetores

Este sistema de emissão consiste na implantação da tubagem de circulação da água glicolada pelos tetos, paredes, junto aos tetos ou junto aos pavimentos, conforme ficar mais próximo dos ventiló-convetores, que por sua vez transmitem calor ou frio para o interior dos compartimentos, através de uma grelhagem idêntica aos sistemas AVAC tradicionais.



Fig. 82 - Difusor de tecto  
Fonte: [www.geotermiadeportugal.pt](http://www.geotermiadeportugal.pt)



Fig. 83 - Ventiloinvector junto ao pavimento  
Fonte: [www.geotermiadeportugal.pt](http://www.geotermiadeportugal.pt)

Como caraterísticas principais salientam-se as seguintes:

- 1-Elevada eficiência de emissão em arrefecimento, permitindo uma óptima solução de climatização.
- 2-Inércia térmica muito baixa, permitindo uma elevada reatividade do sistema e um arrefecimento e aquecimento rápido.
- 3-Baixa temperatura de aquecimento (45 °C), possibilitando um bom rendimento.
- 4-Possibilidade de colocação em tetos falsos com impacto estético reduzido ou nulo.
- 5-Controlo individual da temperatura, alimentação elétrica e tubo de drenagem de condensados em cada aparelho.
- 6-Controlo individual de temperatura, permitindo o arrefecimento/aquecimento autónomo de outros compartimentos.
- 7-Rápida resposta térmica, devido às elevadas temperaturas de funcionamento 65 °C.



Fig. 84 - Ventiloinvector junto ao pavimento  
Fonte:[www.geotermiadeportugal.pt](http://www.geotermiadeportugal.pt)



Fig. 85 - Irradiador junto ao pavimento  
Fonte:[www.geotermiadeportugal.pt](http://www.geotermiadeportugal.pt)

- Princípio de funcionamento dos ventilo-convetores

Os ventilo-convetores são os aparelhos que difundem o calor no interior da casa, permitindo realizar a climatização do ar ambiente. Estes equipamentos são instalados no interior dos compartimentos, suspensos na parede, junto ao teto, ou junto aos pavimento.

O aquecimento/ arrefecimento ocorre mediante a ventilação das lâminas onde circula a água quente ou fria no aparelho, proveniente do sistema de climatização central geotérmico, após ter passado pela bomba de calor.

### 3.2.5-Exemplos de Edifícios já climatizados à base da energia geotermica

#### 3.2.5.1- Edifícios de Museus

Em Portugal ainda não há exemplos na aplicação desta tecnologia em edifícios de museus, ao contrário de alguns países, como os Estados Unidos da América, Alemanha e Canadá, conforme os exemplos que a seguir se descrevem.

- Museu infantil de Brooklin, Nova Iorque, E.U.A.

O “Brooklyn Children Museum” (Fig.86) é considerado como o primeiro museu sustentado à base de energias limpas; foi distinguido como o primeiro museu "verde" de Nova York, certificado pela Liderança em Energia e Design Ambiental (LEED), e procura a certificação “prata” atribuída pela mesma instituição. Este museu, em consonância com o compromisso de educar o público sobre opções na utilização de energia verde, tem integrados muitos dos mais recentes materiais de construção ambientalmente ecológicos e sistemas ou práticas de gestão na sua conceção e instalação, programada com o objetivo claro de reduzir custos de energia com base em sistemas saudáveis e sustentáveis. O edifício possui um inovador sistema geotérmico que utiliza a temperatura da água estável nos aquíferos subterrâneos de Brooklyn, que através de uma série de bombas de calor controla a temperatura do ar no interior do edifício. Este sistema oferece melhorias significativas na eficiência energética em relação aos sistemas tradicionais de caldeiras e chiller, e para além de ser mais económico é menos ruidoso e evita os tradicionais equipamentos volumosos no telhado.



Fig. 86 - Museu da Criança em Brooklyn, New York.  
Fonte: foto pessoal

O museu utiliza também o sistema de Energia Solar Fotovoltaica (PV), através de sistemas integrados no projeto de construção que convertem energia solar em energia elétrica. A energia solar captada através dos painéis fotovoltaicos tem uma compensação de ordem económica e oferece uma forte demonstração visual de um sistema de energia alternativa, servindo como exemplo para as famílias e crianças em idade escolar.

O edifício foi ainda apetrechado com sensores de diferentes tipos (de dióxido de carbono, de ocupação), com a função de controlar o desempenho dos sistemas de aquecimento e iluminação, garantindo o conforto, a segurança dos visitantes, e uma grande economia pela redução do consumo de energia. Em complemento com a instalação de sensores de dióxido de carbono, controlados por sofisticados sistemas informáticos, o sistema de ventilação do Museu é automaticamente ajustado para acomodar o número de visitantes em cada espaço a qualquer momento - como o ar exalado pelos seres humanos contém dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o nível de  $\text{CO}_2$  numa sala aumenta quando as pessoas estão em maior número. Quando isso acontece, o sinal dos sensores do sistema de ventilação dá ordem para aumentar a circulação de ar, enriquecendo esse espaço com mais oxigénio. Inversamente, quando estão menos visitantes no museu, o sistema de ventilação irá desacelerar, reduzindo ainda mais os custos de energia. A aplicação de sensores de ocupação (sensores que detetam a presença de calor do corpo ou movimento) irá controlar as luzes nos gabinetes, salas de aula e instalações sanitárias - não havendo pessoas não há luz – uma solução que reporta para o sistema domótico instalado (que trataremos no capítulo seguinte). Além disso, a iluminação geral do museu usa lâmpadas de baixo consumo, renováveis e de materiais recicláveis.

Por último, refira-se que a sustentabilidade foi uma das principais preocupações na escolha dos materiais de acabamento do edifício, sendo dada especial atenção aos materiais com elevados níveis de conteúdo renovável ou reciclável, incluindo o bambu,

cortiça, linóleos e borrachas apropriadas.

A grande vantagem do Brooklyn Children Museum relativamente a outros edifícios "verdes" é a sua função educativa: uma das suas preocupações como espaço museológico é educar o público sobre a crescente necessidade de se optar por construções respeitadoras do ambiente e divulgar as suas características de alto desempenho, através de uma variedade de programas e pela colaboração dos técnicos entre si. São frequentemente planeados programas especiais e exposições para demonstrar como o museu está preparado para obter da energia solar e geotérmica a sua sustentabilidade, quer na iluminação como no conforto térmico e ambiental. Os visitantes podem também obter informações sobre o bambu, a cortiça, e outros materiais escolhidos para os revestimentos do museu (por serem produtos naturais, renováveis extremamente fáceis de adquirir e aplicar).

Em termos financeiros, para além da redução dos custos operacionais de utilização, a instalação do sistema geotérmico, dos equipamentos e outras características de alto desempenho do edifício foram subsidiados em 500.000 dólares pelo The New York State Energy Research and Development Authority (NYSERDA).<sup>92</sup> O Museu estima uma poupança para a cidade de Nova York - a proprietária do edifício - em cerca de 100.000 dólares por ano em custos de energia.

- Kolumba Art Museum, em Colónia e Emil-Schumacher-Museum, em Hagen

O Kolumba Art Museum em Colónia, do arquiteto Peter Zumthor e o Emil-Schumacher-Museum em Hagen, do arquiteto M. Lindemann, são também apresentados como integrando tecnologias avançadas, com superfícies térmicas radiantes, climatização do ar a baixa temperatura, ventilação, e refrigeração geotérmica, iluminação natural e seu controlo. No caso do Kolumba, é utilizada a capacidade térmica de superfície da



Fig. 87 - Kolumba Art Museum. Sala de exposições.  
Fonte: Müller, Helmut F.O. 2012-01-25.

sala interior (piso radiante) em combinação com tetos refrigerados ou aquecidos (ventilo convectores), incluindo a climatização das paredes, obtendo um controlo climático globalmente estabilizado (Fig.87). Neste caso, com o sistema de piso radiante, as superfícies da sala mantêm-se com a necessária temperatura durante todo o tempo

<sup>92</sup> Pesquisa Energética do Estado e Autoridade para o Desenvolvimento. Criada em 1975, é uma instituição de utilidade pública localizada em Albany, Nova York.

pretendido. Através deste sistema, todo o calor é distribuído uniformemente, evitando os tradicionais radiadores ou convetores (melhorando a imagem estética dos espaços). Os materiais de revestimentos das paredes e tetos, como o gesso, a cal, ou a argila também têm uma elevada capacidade de absorção da taxa de humidade relativa, o que permite armazenar o excesso de humidade quando por exemplo, a frequência de visitantes é alta, colaborando com os sistemas instalados de controlo da eficiência energética que avaliam e controlam o comportamento térmico, o fluxo de ar e a ventilação através de imagens standard tais como as visualizadas nas figuras 88 e 89.

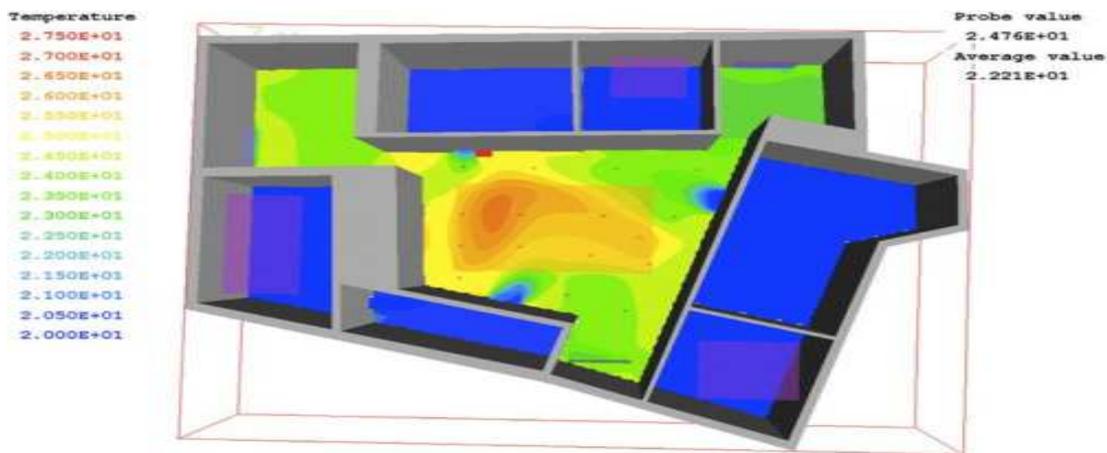


Fig. 88 - Kolumba Art Museum. Distribuição da temperatura em salas de exposições.

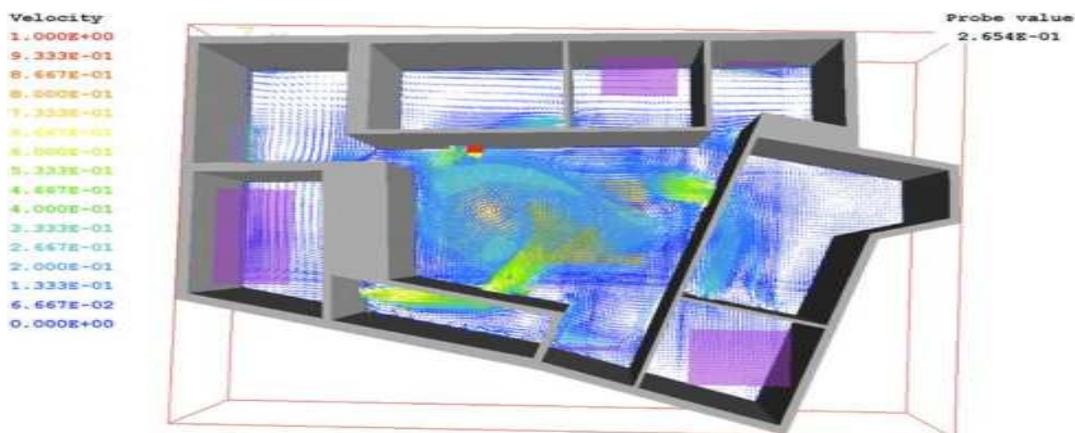


Fig. 89 - Kolumba Art Museum. Distribuição e velocidade do ar nas salas de exposição.  
Fonte: Müller, Helmut F.O.(2010) museu energeticamente eficientes, Energias Renováveis.

No caso do Emil-Schumacher-Museu, a energia geotérmica é captada através de sondas verticais e respetiva bomba de calor, com furos a uma profundidade de 100 m, conforme se mostra no corte longitudinal do edifício (Fig. 90).

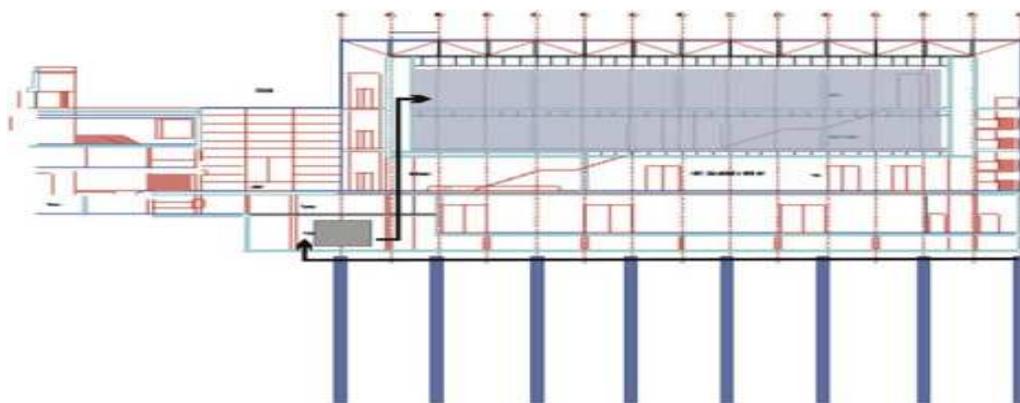


Fig. 90 - Climatização por sondas verticais. Emil-Schumacher-Museum, Hagen.  
Autor Architect: M. Lindemann. Energy concept: Kahlert Eng. and greenarchitecture

Na figura 91 apresenta-se uma comparação entre os custos anuais de energia do Emil-Schumacher (com e sem instalação de energia renovável) e do Osthaus-Museum (um museu mais antigo, sem utilização

de energia renovável, localizado ao lado do primeiro). De acordo com este gráfico, os custos anuais de energia do ESMH poderão ser reduzidos de 29,67 €/m<sup>2</sup> para 11,85 €/m<sup>2</sup>, através de melhorias construtivas e controlo da eficiência energética, podendo ainda baixar para 2,71 €/m<sup>2</sup> se também se incorporarem energias renováveis.<sup>93</sup>

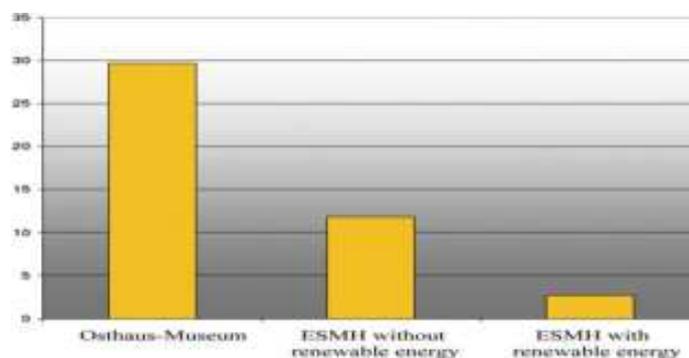


Fig. 91 - Comparação dos custos anuais de energia (€/m<sup>2</sup>) para Osthaus-Museum (OMH) e Emil-Schumacher-Museum (ESMH)

- O Museu Canadiano da Civilização (CMC) e o Canadian War Museum (CWM)

O Museu Canadiano da Civilização (CMC), aberto em 1986, é também um projeto de arquitetura com uma prestação de sustentabilidade ambiental. O sistema aplicado de aquecimento e arrefecimento faz uso da água do rio, tendo sido uma das primeiras aplicações geotérmicas na capital deste país.

Seguiu-se mais recentemente o Canadian War Museum (CWM), que abriu em Maio de 2005, com características de construção que lhe proporcionam uma sustentabilidade ambiental muito eficaz. Por um lado, tem soluções de arquitetura que procuram dar-lhe condições naturais eficientes de conforto interior de verão e inverno e por outro tem meios complementares para o mesmo fim utilizando a água do rio em sistema aberto de geotermia.

<sup>93</sup> Energy efficient museum buildings - Helmut F.O. Mueller.  
a) Department of Environmental Architecture, Faculty of Building Sciences, Technische Universität (TU) Dortmund, Dortmund, Germany. b) Green Building R&D, 4greenarchitecture, Duesseldorf, Germany

- Museu da Ciência de Minnesota, E.U.A.

O complexo do museu da ciência (Fig.92) inclui um edifício com 1.200 m<sup>2</sup> – a Casa da Ciência – que funciona como um laboratório público, salas de aulas, e área de exposição. Este edifício foi projectado para funcionar como uma construção de consumo de energia zero, com zero emissões de CO<sub>2</sub>. A sua estrutura inclui uma torre de 30 pés, com cerca de 9,2 m revestida a alumínio galvanizado. O edifício caracteriza-se por um desenho de vãos que permite uma iluminação natural máxima, e pela colocação de sensores que automaticamente aumentam ou diminuem a intensidade luminosa do sistema de iluminação (conforme as necessidades), entre outras tecnologias ativas ou passivas de fácil implementação, possíveis inclusivamente de servir como referência para outros projetos.



Fig. 92 - Museu da Ciência em Minnesota.

Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:ScienceMuseumOfMinnesota.jpg> acedida a 8/9/2009

Este museu Casa da Ciência pretende contribuir para um diálogo sobre cidadania e mostrar como os edifícios também podem beneficiar os seus habitantes e o meio ambiente, incorporando um conjunto de tecnologias de energias renováveis e demonstrando na prática como as casas podem ser construídas de forma a suprirem as suas próprias necessidades de energia, mesmo em clima como o do Minnesota.

Para cumprir a meta de emissões de CO<sub>2</sub>, a Casa da Ciência é servida por painéis fotovoltaicos colocados na cobertura, que geram eletricidade a partir da luz solar, complementados pela energia geotérmica de quatro poços de 250 m de profundidade, com bomba de calor para aquecimento e arrefecimento. Quando a energia solar não se produz, (no período nocturno, por exemplo), o edifício utiliza a energia acumulada durante o dia – procurando cumprir o objectivo de produzir toda a energia que consome durante o ano.

### 3.2.5.2-Outros exemplos

- Eco-Cidade de Tianjin, na China

Com a vulgarização das bombas de calor e das técnicas de controle, especialmente após o sucesso dos testes de reinjeção<sup>94</sup> em 1990, os recursos geotérmicos têm sido também utilizados no planeamento económico de algumas cidades, cujo caso de maior sucesso a registar é o de Tianjin, designada como Eco-cidade de Tianjin (Fig.93). Neste



Fig. 93 - Cidade Chinesa toda climatizada por energia Geotermica  
Fonte:<http://www.arquitetonico.ufsc.br/a-eco-cidade-chinesa> acedida a 15/04/2010

caso, a utilização da energia geotérmica para aquecimento de edifícios residenciais e públicos permite economizar em investimentos e custos de funcionamento, assim como aproveitar evidentes benefícios ambientais. De acordo com estatísticas provisórias, a extensão do aquecimento geotérmico corresponde à substituição de 215.600 t de carvão standard, reduzindo a descarga de pó de carvão em 1552 t, de dióxido de enxofre em 6653 t, de dióxido de azoto em 1996,3 t e de monóxido de carbono em 171.400 m<sup>3</sup>.

- IKEA de Karlstad, Suécia

<sup>94</sup> A reinjeção consiste na utilização da água aquecida pelo magma num tipo de circuito fechado. Isto é, depois de a fazer passar pela bomba de calor volta a ser injectada até à proximidade de onde saiu para novamente aquecer e voltar ao circuito.

A multinacional sueca IKEA inaugurou em 2007 o centro comercial de Karlstad (Suécia), com uma superfície total de 24.000 m<sup>2</sup>, no qual trabalham 197 empregados. O edifício tem instalado um sistema de climatização baseado na energia geotérmica, com o qual tem conseguido importantes ganhos energéticos. Os resultados obtidos neste edifício foram determinantes para que a empresa tomasse a decisão de instalar sistemas de climatização baseados em energia geotérmica em todos os novos centros a construir. Aqui foram feitas 100 perfurações de 120 m de profundidade cada uma, tendo sido possível:

- a) Ganho de 76% de energia em relação ao gasóleo.
- b) Redução de CO<sup>2</sup> ao ano 2.200 t.
- c) Potência para calor: 1.200 kW.
- d) Potência para frio: 800 kW.
- e) Apoio elétrico para picos de consumo.

### **Edifício da Universidade Lusófona no Campo Grande em Lisboa**



Fig. 94 - Edifício da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias  
Fonte. Foto pessoal, tirada em 1998.

O edifício “L” da Universidade Lusófona é uma obra de referência arquitetónica na cidade de Lisboa e em todo o país no que diz respeito ao processo de climatização instalado, porque utiliza pela primeira vez no nosso país, num edifício de grande dimensão, um sistema de aproveitamento da energia geotérmica de superfície para climatização.

O projeto de arquitetura é da autoria do arquiteto/professor Amâncio (Pancho) Guedes, reconhecido entre os seus pares como a figura mais brilhante da arquitetura portuguesa dos anos 50/60, com uma vasta obra construída em Moçambique e África do Sul. A co-autoria do projeto é da responsabilidade do atelier Posto 9 Arquitetos Lda., que coordenou o projeto de execução de arquitetura, a gestão das especialidades e o

acompanhamento da obra. A fiscalização da obra esteve a cargo do gabinete de infra-estruturas da ULHT.

Como se referiu antes, a tecnologia da climatização através da energia geotérmica, tem algumas variantes de funcionamento e implantação de acordo com as características específicas do local e do edifício a climatizar. Neste caso, optou-se pela recuperação da energia do solo através de sondas verticais, com a instalação de doze sondas em furos de profundidade média, em cento e quarenta metros, onde se verifica uma temperatura permanente situada entre catorze e quinze graus. Através destas sondas circula o líquido, que após passagem pelas bombas de calor instaladas na cave do edifício, é encaminhado para todos os pisos, fornecendo ar quente ou frio (conforme a estação do ano) através de convetores instalados em todos os compartimentos. No circuito de retorno do líquido/vapor, a temperatura quente ou fria dos compartimentos é arrastada e dissipada na terra, mobilizada pelos 1680 m de sondas aí instaladas. Este sistema desenvolve-se em circuito fechado sem que se prevejam quaisquer perdas ao longo do tempo.

O consumo de energia elétrica, para manter as bombas de calor e compressores a trabalhar (Fig.95) foi reduzido para cerca de 65% por comparação como um sistema tradicional, o que significa que se aproveitam sem custos os restantes 35%, como “oferta da crosta terrestre” (casos há em que o aproveitamento chega a ser superior).



Fig. 95 - Bombas de calor e compressor instalada na ULHT.  
Fonte: Geotermia de Portugal

**Aeroporto de Orly em Paris** – Este aeroporto irá utilizar a energia geotérmica para suprir um terço das suas necessidades de consumo energético. Foram executados dois poços até uma profundidade de 1.700 m cada um no perímetro do aeroporto, que aquecem a água a essa profundidade, e pelo efeito da pressão atinge a superfície e é injectada no sistema de aquecimento do aeroporto. De acordo com a profundidade dos furos e o método de utilização, não se trata de geotermia de superfície. De qualquer modo, constitui um aproveitamento do calor da terra usado da forma mais natural possível como energia limpa, renovável e sustentável.

**As estações do Metro do Pacífico em Madrid** (Fig. 96) passaram a incluir o sistema Geotérmico com bombas de calor, instalado desde 2009. Este sistema envolveu a implantação de uma central de energia geotérmica com três bombas de calor para a climatização dos futuros escritórios do metro e das duas plataformas da estação. Em função do grande volume de recursos disponível, o Metro de Madrid está a planear alternativas para o seu aprovisionamento energético, com o duplo objectivo de aumentar a eficiência no uso de energia e de aumentar a segurança do aprovisionamento.

As fases iniciais do projeto consistiram em estudos de hidrogeologia da área, para determinar a viabilidade da terra e as suas características em termos de temperatura média, de condutividade térmica e profundidade do nível freático. Esta informação foi obtida através de uma perfuração exploratória e análise de resposta térmica.



Fig. 96 - Sistema de bombas de calor. Estação do metro de Madrid. Fonte: D. G. E. y M. C. Madrid "Proyectos Emblemáticos en el Ámbito de la Energía Geotérmica",

O alternador de calor no solo é composto por 32 sondas com uma profundidade média de 145 m, que são conetadas em 8 grupos de acordo com o sistema Tichelmann.<sup>95</sup> A troca de calor é realizada através destas sondas de polietileno de alta densidade (HDPE), PEAD 100 SRD 11 ligadas à bomba de calor e ao solo por meio de um circuito fechado<sup>96</sup>. As sondas estão devidamente instaladas e seladas com uma argamassa de cimento-bentonítica, feita especialmente para o preenchimento de perfurações geotérmicas. O sistema utiliza ainda 2 bombas de calor irreversível e uma bomba de calor reversível com uma potência total de refrigeração de 120 kW, e saída de calor total de 20 kW. Uma vez que esta potência não é auto-suficiente para suprir as necessidades de aquecimento do Metro de Madrid a alternativa necessária e suficiente foi aproveitar o excesso de calor, salientando-se que a rentabilidade oferecida com o fornecimento de energia através da energia geotérmica permite a adaptação aos objectivos planeados para 2008-2012 na Estratégia de Eficiência Energética Espanhola (E4).

O investimento total desta instalação geotérmica foi de 700.000€, aproximadamente, incluindo a gestão das máquinas de perfuração.

### **Palacete de Chamberí, Madrid, Espanha**

A climatização geotérmica na reabilitação integral deste palácio património classificado, (Fig.97) construído no início do século passado e utilizado atualmente para

<sup>95</sup> Albert Tichelmann, que era o coordenador na área do aquecimento de água.

<sup>96</sup> Fonte: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Proyectos-Emblematicos-en-el-ambito-de-la-geotermia-2010.pdf>

escritórios da Administração Pública<sup>97</sup>, foi promovida pelo Ministério das Finanças Espanhol, proprietário do edifício. Corresponde ao primeiro exemplo nesta região de Espanha de reabilitação e eficiência energética, incorporando um sistema de climatização de ar interior com base na captação de energia geotérmica com a utilização do método de captação horizontal.

A utilização deste sistema num processo de reabilitação global é extremamente coerente, não apenas pela poupança de energia conseguida - que neste caso pode atingir 75% de redução no consumo em comparação com o sistema de AVAC tradicional - mas também sob



Fig. 97 - Climatização de um palacete, para escritórios da função pública. Fonte: Fernández Molina

o ponto de vista da integração na estrutura do edifício dos dispositivos necessários ao seu funcionamento, diminuindo de forma significativa o impacto negativo dos equipamentos e condutas sobre a arquitetura interior e exterior.

**Parque de estacionamento, Madrid, Espanha** - Na construção de um parque de estacionamento robotizado encostado a uma parte de um edifício já existente foram instaladas 14 sondas na vertical, a 150 m de profundidade. De acordo com o equilíbrio termodinâmico entre a carga de utilização de edifícios e terrenos, a capacidade do alternador resolveu a 100% da demanda de energia para o aquecimento do edifício, e 70% da demanda de energia para o arrefecimento.



Fig. 98 - Parque de estacionamento climatizado com energia geotérmica.  
Fonte: Fernández Molina Obras y Servicios· Eneres Sistemas Energéticos Sostenibles

Neste caso, a implementação conjunta de alternadores termoativos e sondas verticais respeitando a estrutura das paredes periféricas do edifício constituiu um desafio à seleção de equipamentos, à colocação de máquinas para perfuração e ao desenvolvimento de procedimentos de construção.

<sup>97</sup> Fonte: Projectos Emblemáticos no campo da Energia Geotérmica", apresentado no II Congresso da energia geotérmica em edifícios e na indústria - GeoEner 2010.

**Edifício Residencial em Madrid, Espanha** – este exemplo corresponde a um edifício comum destinado a habitação e parque de estacionamento, propriedade da Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo de Madrid (EMVS). A construção foi promovida pelo Município de Madrid, e corresponde ao primeiro caso de edifício residencial coletivo com geotermia naquela cidade, e um dos primeiros em Espanha, sendo caracterizado por um sistema misto de coletor solar e energia geotérmica com bomba de calor, que resolve 100% das suas necessidades de ar condicionado, refrigeração, aquecimento e produção de água quente.

Este é mais um exemplo de como Espanha está a desenvolver um modelo de construção sustentável de energia, baseado na eficiência energética e energias renováveis. A própria sede das Engenharías Geo-ambientais de Madrid tem instaladas sondas verticais para recuperar energia geotérmica para a sua climatização.



Fig. 99 e Fig. 100 - Edifício dotado com solução mista de climatização solar e geotérmica.  
Fonte: Congresso GeoEner- Madrid, Outubro 2008

### 3.3- Climatização Geotérmica nos Museus -

A climatização dos edifícios assume atualmente uma importância que outrora se desprezava. Todos os edifícios, desde habitações, serviços, comércio e indústria reclamam por uma boa climatização interior, tanto para o conforto de inverno como de verão. As habitações à medida que vão evoluindo em qualidade vão aumentando a capacidade de proporcionar bem estar aos seus utentes e estes por questões que também relacionadas com a melhoria do seu nível de vida aumentam em proporção as suas exigências. Da mesma forma, os edifícios ou locais de serviços, para aumentar o bem estar dos seus funcionários e particularmente dos seus clientes, também não podem dispensar nos dias de hoje um bom sistema de climatização, e o mesmo acontece com os edifícios da indústria.

Nesta classificação incluem-se os edifícios dos Museus, ainda com maiores exigências de rigor climático dada a sua obrigação de possuir as melhores condições não só para os seus funcionários e clientes/ visitantes, como especialmente para os acervos que exponham ou conservem. Os museus têm particulares necessidades que suplantam as dos outros edifícios, especialmente por terem que manter a todas as horas do dia e da noite

temperaturas constantes, graus de humidade, seguranças especiais às várias contingências, com diferenças em relação aos locais onde se encontram os diferentes Objetos expostos, em função dos seus diferentes materiais, diferentes origens históricas e realidades diversas.

Para a qualidade no conforto ambiental de um edifício contribuem vários aspetos, nomeadamente os seguintes: fazer a construção com a maior exigência de qualidade, implantar o edifício com a melhor orientação cartesiana em relação ao posicionamento solar, usar isolamento térmico criando boa capacidade térmica das superfícies, fazer as aberturas com dimensões apropriadas e devidamente localizadas, com regulação das janelas, portas, claraboias para que possam proporcionar a melhor captação de luz natural e ventilação. Nos edifícios de museus, dada a sua maior exigência, este conforto ambiental só é plenamente alcançado se aliarmos à otimização das condições naturais eficientes sistemas mecanizados com energias renováveis e sustentáveis, com reduzidos consumos e mínima ou nula produção de gases de efeito estufa. Sabemos hoje que o tradicional AVAC (Aquecimento, ventilação e ar condicionado) feito por grandes máquinas, normalmente situadas na cobertura (“Chillers”), com insuflação por radiadores e ventilosconvetores alimentados através de condutas localizadas nos tetos ou com aparelhos pontuais (“split’s”) e máquinas condensadoras localizadas nas paredes, não garantem totalmente estas exigências. No entanto, ainda é frequente na grande maioria dos casos a aplicação do AVAC tradicional para o frio ou calor, e sistemas de pisos radiantes ou serpentinas nas paredes com a circulação de água quente para o conforto de inverno, utilizando caldeiras a gás ou eletricidade para fazer o aquecimento daquela água. Estes sistemas têm alguns inconvenientes difíceis de ultrapassar: ocupam normalmente grandes espaços, por necessitarem de condutas de grandes dimensões, e têm significativos consumos de energia elétrica ou de gás. Por outro lado, o fluxo de calor ou frio não é uniforme, produzindo efeitos de maior ou menor perceção de acordo com o local onde se esteja relativamente à posição das grelhas difusoras.

Com a utilização da energia geotérmica para a climatização, parte dos inconvenientes referidos nos sistemas tradicionais são desprezáveis, e por outro lado estamos em presença de um sistema de energia renovável e limpo, onde os efeitos climáticos mais perniciosos estão minimizados. Trata-se de aproveitar a energia existente a baixa profundidade no solo e transferi-la para o interior dos espaços a climatizar, adequando as temperaturas através da incorporação do equipamento designado por bombas de calor que consomem uma pequena quantidade de energia elétrica. Além disso, a climatização feita através da geotermia transmite-se por convecção e condução, desta forma todo o

volume de ar é aquecido ou arrefecido progressivamente e em simultâneo por todos os compartimentos criando uma estabilidade confortável em todos eles.

Resumindo a descrição de todo este sistema geotérmico já feita anteriormente, temos que a utilização da energia geotérmica de superfície para climatizar o interior dos museus pode ser usada ou aplicada por todos os métodos individualmente ou conjugados entre si. Isto é, podemos ter um museu climatizado com um único sistema ou com vários em simultâneo. Por exemplo, para a captação vertical podem ser instaladas sondas na base das fundações do edifício e se o número aí instalado não for suficiente poderá ser usada outra área contígua como por hipótese o jardim ou logradouro para aí instalar sondas na horizontal. O mesmo pode ser feito com a captação horizontal e até se pode admitir incluir os tres métodos de captação para o mesmo imóvel. Se o método for por captação em aquífero de forma idêntica é possível instalar as sondas em poços, lençóis freáticos ou furos cartesianos, tendo sempre em atenção que por um lado é necessário bombear a água captando-a, e por outro de forma inversa, rejeitando-a.

Relativamente à forma de emissão pode ser usado qualquer dos métodos separadamente ou em conjunto; por exemplo, alguns compartimentos podem ter difusores de parede junto aos pavimentos, outros poderão ter esses difusores junto ao teto e outros poderão ainda ter os pisos radiantes. Tudo depende do estudo que naturalmente se deve fazer na fase de projeto, conjugando todos os parâmetros de uma forma racional, à luz de uma maximização de eficiência e rendimento, com minimização de custos.

Neste tipo de climatização, além das tubagens, sondas, bomba hidráulica e acessórios diversos temos um equipamento indispensável e fundamental que é a bomba de calor. As bombas de calor existentes no mercado são de modelos e de potências diversas, indicadas para piso radiante (para funcionar com temperaturas até 40°C), para ventiloconvetores, radiadores ou sistemas mistos piso radiante/ventiloconvetores (para funcionar com temperaturas até 50°C), e para sistemas tradicionais de radiadores (para funcionar a temperaturas que atingem 60°C e 65°C). As bombas de calor são selecionadas e quantificadas de acordo com as potências necessárias, que resultam dos cálculos efetuados para cada caso e instaladas num local reservado, protegido, insonorizado, ventilado e de fácil acesso para vigilância e manutenção.

Bombas de calor são equipamentos que muitos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) também utilizam, para retirar o máximo de calor do ar, da água ou da terra, incrementando esse calor e transformando-o em fonte de climatização para o interior dos edifícios, consumindo cerca de 1/3 de energia elétrica para produzir os restantes 2/3 captados do meio utilizado. O rendimento de uma bomba de calor ou “eficiência nominal” é definido pelo seu COP (coeficient of performance) para aquecimento e

EER (energy efficiency rating ) para arrefecimento. Esse rendimento tem a ver com o meio de captação, que será maior se for o geotérmico e menor se for o ar livre exterior; principalmente porque a temperatura do ar exterior está, em princípio, mais quente que a do ar interior que se pretende arrefecer ou mais fria que a do mesmo ar interior que se pretende aquecer.

- **As características dos vários sistemas de captação e emissão consistem resumidamente no seguinte:**

A **captação** do calor da terra e dissipação da temperatura proveniente do espaço climatizado através das sondas colocadas na horizontal é uma solução aconselhável quando existe uma grande área disponível junto ao edifício a climatizar e não seja previsível fazer qualquer escavação desse espaço que possa atingir as sondas ali enterradas. Como a relação de área a climatizar para a área de implantação das sondas é de 1,5 ou 0,85, conforme se trate de uma só camada ou duas, temos sempre que dispor de um grande espaço livre, sendo esse facto só por si, um inconveniente.

Enquanto que se a captação e dissipação for feita com as sondas instaladas na vertical a área a ocupar já é menor, e como já foi referido se for possível implantá-las na base das fundações do próprio edifício essa área já não conta para nenhum outro qualquer aproveitamento. Contudo, sabendo que a área a climatizar necessita de 0,7 a 0,8m de comprimento de sonda por  $m^2$  e tendo estas que se situar a uma distância mínima de 6m entre si, basta medir a resposta de inercia do solo para determinar a sua profundidade; sabendo a área que há para climatizar e multiplicando-a pela média 0,75m obtemos o comprimento total para as sondas a implantar.

A captação e dissipação através das sondas colocadas num aquífero é de todos o mais favorável, embora ainda possamos ter um meio onde as sondas ficam instaladas de forma idêntica ao do solo, por exemplo, quando se atinge o nível freático e estas ficam envolvidas em água a partir desse nível, ou ser um aquífero suficientemente volumoso que permita captar por bombagem cerca de 15 litros por hora, por cada  $m^2$  de área a climatizar e em circuito aberto fazer passar essa água pela bomba de calor, devolvendo-a de seguida ao mesmo aquífero, a cerca de 15m de distância de onde foi recolhida.

Relativamente aos sistemas de emissão através do piso radiante ou através de ventilo convetores temos como principais diferenças o facto de um ser implantado sob o revestimento dos pavimentos e os outros serem equipamentos instalados nas paredes ou tetos e transmitirem a climatização por grelhas de insuflação e absorção. No primeiro caso, para o aquecimento (conforto de inverno), este sistema é muito eficiente, já para o arrefecimento (conforto de verão), é pouco eficaz. Por isso, são vulgarmente instalados os

dois sistemas e utiliza-se um para a estação do inverno e o outro para o verão. Como sempre, há vantagens e desvantagens em quaisquer das soluções, como já foram anteriormente referidas, mas destaca-se a favor do piso radiante a sua ausência na interferência estética do espaços, para além das qualidades funcionais.

Quanto à utilização dos ventiloincutores, já foi praticamente tudo dito, não havendo grandes diferenças de estética, dimensão ou posicionamento relativamente aos sistemas energéticos que os acionam.

- Comportamento térmico do edifício e forma de medição dos parâmetros associados

As transferências de temperaturas entre o exterior e interior do edifício

processam-se da seguinte forma: na passagem da temperatura do exterior ( $T_e$ ) para o interior ( $T_i$ ), cujo diferencial é designado por "Gradiente térmico", as paredes desempenham funções de vedação, proteção climática e acústica. Com efeito, as paredes dos edifícios atuais são construídas de forma a impedir, tanto quanto possível, a penetração da humidade exterior e das altas ou baixas temperaturas, razão pela qual se executam cortes de capilaridade junto às fundações, se fazem paredes duplas com caixa de ar, revestimentos impermeabilizantes,

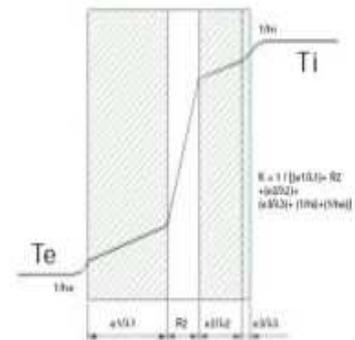


Fig. 101 - Corte construtivo de uma parede dupla.

caixilharias estanques com corte térmico e vidros duplos, triplos ou mais, com coberturas isoladas à base de fibras ou espumas apropriadas. A diferença de temperatura entre o exterior e interior provoca um fluxo que procura atravessar a parede na direção onde se situa a temperatura mais baixa, visando o equilíbrio. Mas o período de tempo necessário para se efetivar esse atravessamento, até que o equilíbrio se estabeleça, é de acordo com a carga térmica do local superior ao período de tempo em que do lado de dentro ou de fora predomina essa temperatura, pela oscilação da mesma durante as horas do dia e da noite. Assim, ao longo das vinte e quatro horas de um dia, o respetivo fluxo de temperatura mais elevada vai mudando de direção, do exterior para o interior e vice versa, sem causar grandes efeitos do lado de dentro.

Torna-se então necessário conhecer as cargas térmicas do interior de cada um dos locais a climatizar como um passo prévio para o dimensionamento da instalação. Para isso temos de considerar os processos de cálculo especificados no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE) os quais "estabelecem as

regras a observar no projeto de todos os edifícios de habitação e de serviços com e sem sistemas de climatização centralizados, para que sejam cumpridos dois objectivos: em primeiro lugar, para que as exigências de conforto térmico (aquecimento e arrefecimento), ventilação e necessidades de água quente sanitária possam vir a ser satisfeitas com o mínimo dispêndio possível de energia; em segundo lugar, para minimizar possíveis patologias nos elementos construtivos, com potencial impacto negativo na durabilidade das construções ou na qualidade do ar interior”, tendo em conta a carga térmica dos espaços interiores do edifício a climatizar de acordo com a zona climática em que o edifício vai ser ou está instalado, e dos parâmetros regulamentares definidos para aquela zona, de acordo com os regulamentos aprovados pelo Ministério das Obras públicas respetivamente pelos Decretos-Lei n.º 79/2006, e n.º 80/2006 de 4 Abril.

A partir dos resultados de cálculo obtém-se a potencia necessária a exigir ao equipamento que teremos de seleccionar para compensar as condições existentes de arrefecimento ou aquecimento no verão ou inverno e torná-las regulamentares ou aconselháveis para os fins desejados. Para melhor exemplificarmos a teoria até aqui descrita, criamos um hipotético museu para servir de base ao caso de estudo referido, cujo modelo passa a ser apresentado a partir de agora.

### 3.3.1 - Implantação dos sistemas de sondas

Os métodos de cálculo e parâmetros associados são independentes dos sistemas e comuns para as três hipóteses possíveis de captação desta energia, ou seja, para o sistema de sondas verticais, horizontais ou em aquíferos, exemplificados esquematicamente nas plantas que se seguem.

Estas plantas dizem respeito a um espaço imaginado para um museu na cidade de Lisboa com todos os serviços principais e abituais, pretendendo-se que corresponda a uma fase de estudo prévio, capaz de servir de modelo demonstrativo à implantação dos sistemas de climatização geotérmica, podendo inclusivamente constituir um elemento de avaliação aproximada, ao cálculo dos custos destes sistemas de climatização para casos concretos.

Este modelo como se pode ver, apenas sugere com uma determinada área uma compartimentação e distribuição sem comprometer quaisquer ideia arquitetónica que venha a ser projetada para casos reais.

### Sistema de sondas verticais

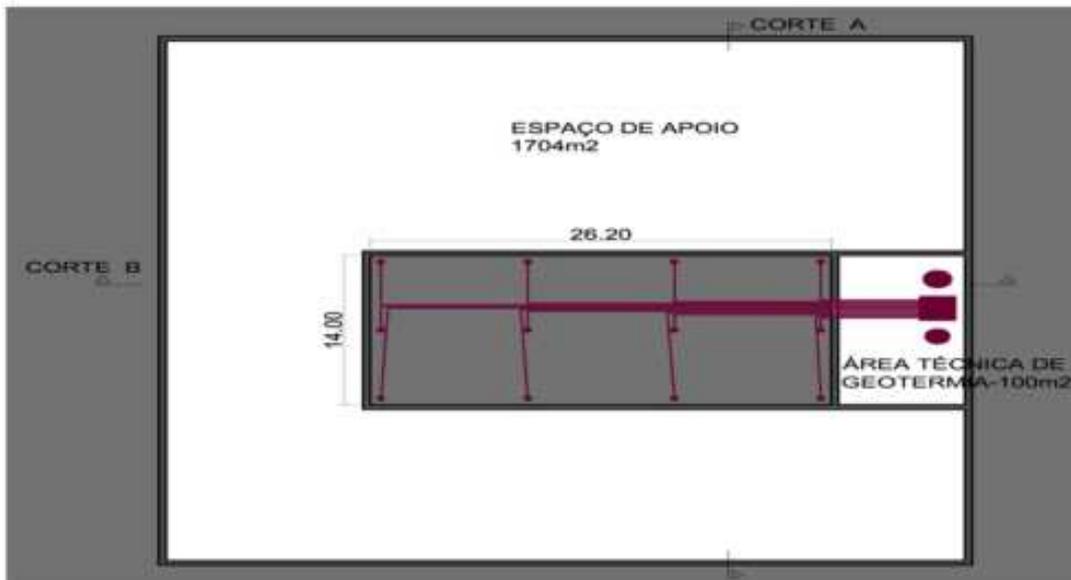


Fig. 102 - Planta da cave do museu tipo

A planta da cave corresponde a um espaço enterrado, que muitas vezes se usa como arrecadação ou arrumos, e que neste caso também contém uma área técnica, assim chamada por incluir os vários equipamentos da rede térmica, nomeadamente as bombas de calor. Os doze pontos situados no interior do espaço definido pelos 26,20 \*14,00 m ligados entre si por linhas que vão dar à área técnica, correspondem às sondas verticais enterradas no pátio interior do museu e que ligam à máquina de calor instalada naquela área técnica.



Fig. 103 - Planta do R/C, com todos os serviços admitidos para este museu

Este é o piso nobre deste museu-tipo (Fig.103), onde se voltam a mostrar as sondas geotérmicas instaladas no pátio interior descoberto, que pode funcionar como jardim interior. Neste desenho, as sondas que estão representadas por pontos bem visíveis, na verdade não são visíveis quando todo o trabalho está executado e a funcionar, dado que a ligação entre elas e daí para a bomba de calor é feita numa vala enterrada a partir de cinquenta centímetros, com todo o espaço à superfície livre para usar como se melhor entender.

### Sistema de sondas horizontais

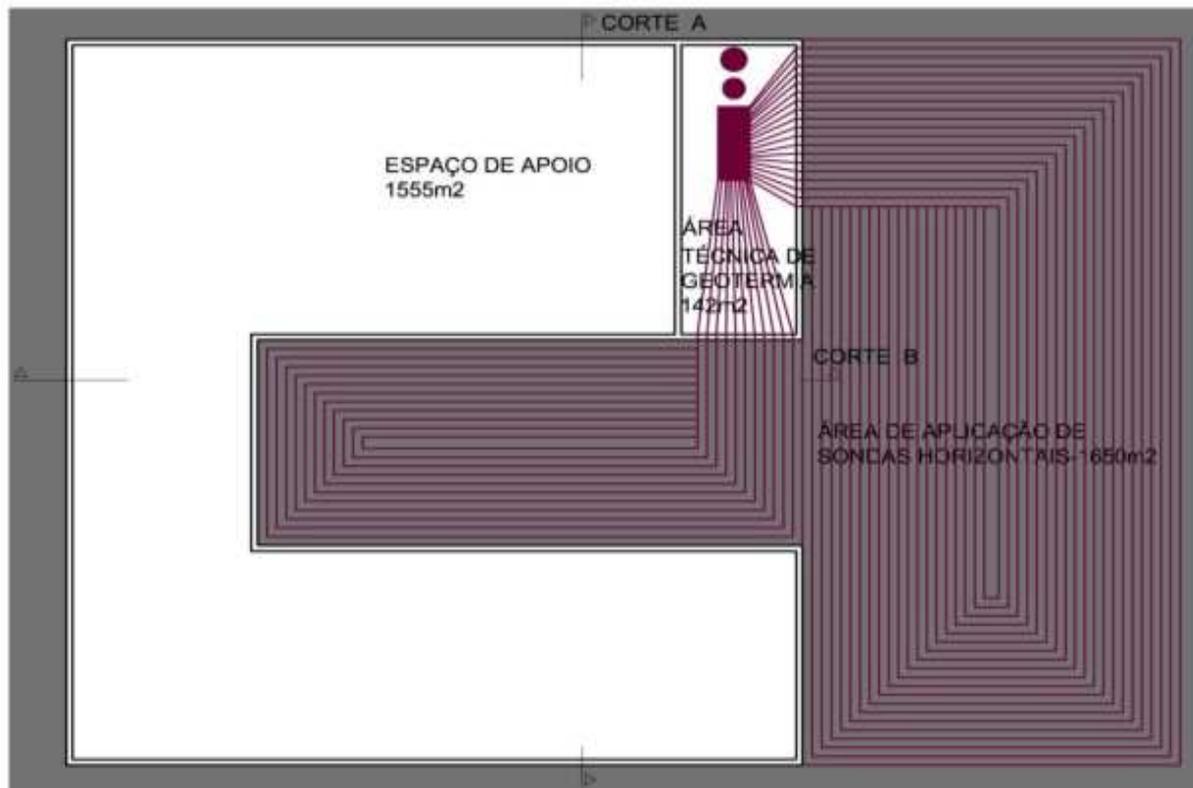


Fig. 104 - Planta a 1,40 m da superfície do solo ( profundidade das sondas horizontais)

Este desenho (Fig.104) pretende mostrar o espaço da possível instalação das sondas horizontais, aproveitando a área do pátio interior e outra área externa ao edifício do museu, que pode ser um jardim contíguo. Todas as linhas visíveis na área de aplicação das sondas correspondem à tubagem que fica enterrada entre 0,80 e 1,40 m e que se ligam na área técnica à bomba de calor. Também aqui a representação é esquemática e visível, mas na realidade após concluído o trabalho só fica à vista o equipamento na área técnica e algumas tampas das caixas de visita que se coloca no exterior para acesso de manutenção à rede do circuito.



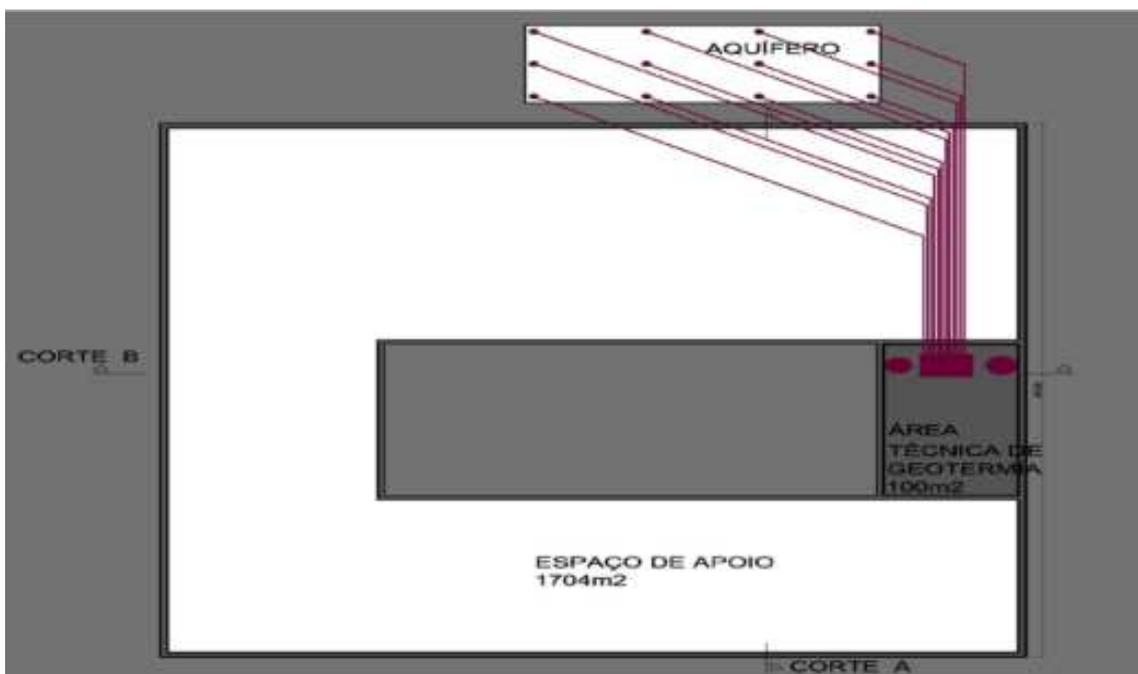


Fig. 106 - Planta da cave e localização das sondas no meio aquífero

O desenho anterior (Fig. 106) demonstra que neste sistema de sondas em aquífero, não há ocupação no interior do museu com exceção da área técnica. Os comprimentos das sondas ou a profundidade das mesmas têm a ver somente com as áreas a climatizar e a resposta térmica do meio onde estão inseridas. Neste caso, os valores calculados são:

- Na captação vertical, 15 furos de 120m cada um.
- Na captação horizontal, duas camadas numa área de 1425 m<sup>2</sup>
- Na captação do meio freático, o caudal da bomba do captador é 3\*12,1 m<sup>3</sup> / h.

### 3.3.2 - Cálculo da climatização. Museu imaginado para a cidade de Lisboa

Apresenta-se neste caso de estudo um exemplo de museu tipo, com a aplicação de todas as condições já descritas, obedecendo aos parâmetros a considerar no dimensionamento, incluindo dimensões volumétricas e áreas do projeto, implantação geográfica, classificação patrimonial do local, espaços disponíveis para implantação das sondas, resposta térmica do solo local, decisão sobre o método de captação, definição das características de perfuração, número de sondas e a sua respetiva profundidade.

Consideraram-se como pressupostos para este exemplo que todos os compartimentos são climatizados, com exceção da zona de circulação e das instalações sanitárias (IS), e que a instituição em estudo tem um horário de funcionamento das 09h00 às 19h00, o que implica que a iluminação funcione durante um período de dez horas, impondo assim uma determinada carga por iluminação nos recintos condicionados. De igual

modo, considerou-se que as unidades de tratamento de ar (ventilo-convetores) utilizadas nesta instalação têm que controlar a humidade relativa no interior dos recintos.

Apresentamos as formas de recuperação do calor da terra de acordo com os métodos anteriormente descritos, e o resumo de cálculo para a instalação da climatização geotérmica, a sua distribuição esquemática e a coleção das bombas de calor. Também se apresenta a implantação das máquinas e das redes de distribuição do ar condicionado e ventilação, em desenho esquemático de arquitetura (ver anexos).

No cálculo deste projeto, além das condições regulamentares a observar já referidas, temos que projetar todos os circuitos e equipamentos, tendo em conta os seguintes parâmetros base estabelecidos para a cidade de Lisboa:

- Latitude (graus): 38.72 graus
- Altitude sobre o nível do mar: 21 m
- Condições exteriores de projeto: (I1-V2) –LISBOA
- Temperatura seca de verão: 32 °C
- Humidade Específica Absoluta: 11g(mist)/m<sup>3</sup>(ar seco)
- Temperatura húmida Verão: 22.10 °C
- Amplitude Térmica Diária: 11 °C
- Inverno: Temperatura de Projeto 3,5 °C
- Humidade Específica Absoluta: 4g(mist)/m<sup>3</sup>(ar seco)
- Amplitude Térmica Diária: 11°C
- Oscilação média anual: 26.8 °C
- Temperatura seca de Inverno: 5.00 °C
- Humidade relativa de Inverno: 90 %
- Velocidade do vento: 1 m/s
- Temperatura do terreno: 8 °C
- Verão: Condições Temperatura Interna: 25 °C
- Humidade Relativa Interior: 45/50%
- Inverno: Condições Temperatura Interna: 22 °C
- Percentagem de majoração devida à orientação N: 20 %
- Percentagem de majoração devida à orientação S: 0 %
- Percentagem de majoração devida à orientação E: 10 %
- Percentagem de majoração devida à orientação W: 10 %
- Suplemento de intermitência para aquecimento: 5 %
- Percentagem de cargas devido à própria instalação: 3 %

- Percentagem de majoração de cargas (Inverno): 5 %
  - Percentagem de majoração de cargas (Verão): 5 %
- Interiores Humidade Relativa 60%

De acordo com o Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE) são apresentados os cálculos que resultaram da utilização do programa automático **CYPETERM**.

Edifício: Fração autónoma - museu em Lisboa

**Valores nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento do edifício.**

Zona climática I1- V2; Altitude 21m; Graus-dia 1190°C ; Aquec.5,3meses; Arref.4meses.Temp. de verão 23°C

Ap (m <sup>2</sup> )	Taxa ren. (RPH)	Nic (kWh/m <sup>2</sup> ) ano	Ni (kWh/m <sup>2</sup> ) ano	Nvc (kWh/m <sup>2</sup> ) ano	Nv (kWh/m <sup>2</sup> ) ano	Nac (kWh/m <sup>2</sup> ) ano	Na (kWh/m <sup>2</sup> ) ano	Ntc (kgep/m <sup>2</sup> ) ano	Nt (kgep/m <sup>2</sup> ) Ano
1778.86	0.85	51.27	51.51	21.17	32.00	13.48	17.10	1.74	3.06

Principais parâmetros:

- Necessidades nominais de aquecimento, Nic [kWh/m<sup>2</sup>.ano]
- Eficiência nominal do equipamento utilizado p/ o sistema de aquecimento,  $\eta_i$ : 4.000
- Conversão de energia útil para energia primária,  $F_{pui}$ : 0.290
- Necessidades nominais de arrefecimento, Nvc [kWh/m<sup>2</sup>.ano]
- Eficiência nominal do equipamento utilizado p/ o sistema de arrefecimento,  $\eta_v$ : 3.000
- Conversão de energia útil para energia primária,  $F_{puv}$ : 0.290
- Necessidades nominais para preparação de AQS, Nac [kWh/m<sup>2</sup>.ano]
- Conversão de energia útil para energia primária,  $F_{pua}$ : 0.086
- Necessidades globais de anuais nominais de energia primária, Ntc [kgep/m<sup>2</sup>.ano]:
- Necessidades nominais de aquecimento máximas, Ni [kWh/m<sup>2</sup>.ano]
- Necessidades nominais de arrefecimento máximas, Nv [kWh/m<sup>2</sup>.ano]
- Necessidades máximas nominais para preparação de AQS, Na [kWh/m<sup>2</sup>.ano]
- Neces. máximas globais anuais nominais de energia primária, Nt [kgep/m<sup>2</sup>.ano]
- Neces. globais anuais nominais de energia primária, Ntc [kgep/m<sup>2</sup>.ano]: 1.74

### Valores de cálculo da Inércia térmica interior do edifício

Elemento da construção	M <sub>si</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	S <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	Factor de correção (r)	M <sub>si</sub> · r · S <sub>i</sub> (kg)
<b>A - Paredes exteriores ou em contacto com o solo</b>				
Ext_3	150	841.94	1.00	126291.57
<b>B – Coberturas</b>				
Acessíveis - Cobertura (Acessíveis)	150	1775.95	1.00	266393.12
<b>C - Pavimentos exteriores, de separação com espaços não úteis ou solo</b>				
Pavimento Térreo Piso -2	150	708.69	1.00	106304.21
Pavimento Térreo Piso -2	150	1070.16	0.50	80261.89
<b>D - Paredes entre frações</b>				
Int_1	101	11.87	1.00	1202.36
<b>E - Paredes e pavimentos interiores</b>				
Int_1	203	815.07	1.00	165056.31
<b>Total</b>				<b>745509.47</b>

Área útil de pavimento (m<sup>2</sup>) = 1778.9

Massa superficial útil por m<sup>2</sup> de área de pavimento = 419.09

Classe de Inércia Térmica<sup>98</sup>

**FORTE**

**Calculado o desempenho energético do edifício chegamos aos seguintes resultados:**

**Para a Climatização e Aquecimento de águas:**

Necessidades nominais de energia útil para aquecimento: 51.27 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento: 21.17 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Idem, para a preparação das águas quentes sanitárias: 13.48 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

As necessidades anuais de energia útil para aquecimento são de 91206.80 kWh/ano.

As necessidades anuais de energia útil para arrefecimento são de 37650.82 kWh/ano.

As necessidades anuais de energia útil para AQS são de 23973.13 kWh/ano.

### Resumo dos resultados de cálculo da carga térmica dos compartimentos

#### No sistema de ventiloconvetores (para arrefecimento)

Conjunto: Museu												
Recinto	Planta	Subtotais			Carga interna		Ventilação			Potência térmica		
		Estrutural(W)	Sensível interior(W)	Total interior(W)	Sensível(W)	Total(W)	Caudal(m <sup>3</sup> /h)	Sensível(W)	Carga total(W)	Por superfície(W/m <sup>2</sup> )	Sensível(W)	Total(W)
Sala de	R/Chão	1872.42	6836.65	7010.65	9405.80	9588.50	144.00	203.00	641.70	47.13	9608.80	10230.20
Escritório	R/Chão	469.39	2469.76	2952.32	3174.29	3680.97	317.29	807.33	1789.52	86.21	3981.61	5470.49
Area de trab.	R/Chão	1316.07	5013.61	5187.61	6836.05	7018.75	144.00	319.36	707.13	49.41	7155.41	7725.89
Loja/Cafetaria	R/Chão	786.72	4403.52	6169.26	5605.46	7459.49	519.59	1322.04	2930.44	107.98	6927.50	10389.92
Auditório	R/Chão	1925.08	21046.41	27728.01	24809.21	31824.89	5760.00	14655.83	32486.02	257.43	39465.04	64310.91
Foyer	R/Chão	8653.31	5361.07	6057.07	15135.53	15866.33	576.00	1584.41	3244.12	140.15	16719.94	19110.45
Serviço	R/Chão	1107.39	3922.19	3991.79	5431.94	5505.02	57.60	137.15	303.73	45.97	5569.10	5808.75
Exposição	R/Chão	4193.56	16413.57	17109.57	22255.70	22986.50	576.00	812.01	2566.80	50.67	23067.71	25553.30
<b>Total</b>							<b>8094.5</b>					
<b>Carga total simultânea</b>												<b>146415.6</b>

<sup>98</sup> Classificação dada no processo de certificação energética.(ver anexos)

Quadro 7 - Cálculo dos compartimentos para arrefecimento

**No sistema de ventiloconvetores (para aquecimento)**

Conjunto: Museu						
Recinto	Planta	Carga interna sensível(W)	Ventilação		Potência	
			Caudal(m³/h)	Carga total(W)	Por superfície(W/m²)	Total(W)
Sala de Restauro	R/Chão	4301.83	144.00	742.69	23.24	5044.52
Escritório	R/Chão	1736.44	317.29	1745.57	54.87	3482.01
Area de trabalho	R/Chão	3231.14	144.00	742.69	25.41	3973.83
Loja/Cafetaria	R/Chão	2698.47	519.59	2679.82	55.90	5378.29
Auditório	R/Chão	5838.63	5760.00	29707.76	142.29	35546.39
Foyer	R/Chão	5060.04	576.00	2970.78	58.89	8030.81
Serviço Pedagógico	R/Chão	2490.56	57.60	297.08	22.06	2787.63
Exposição	R/Chão	8966.20	576.00	2970.78	23.67	11936.98
<b>Total</b>			<b>8094.5</b>			
<b>Carga total simultânea</b>						<b>76180.5</b>

Quadro 8 - Cálculo dos compartimentos para aquecimento

Arrefecimento			Aquecimento		
Conjunto	Potência por superfície(W/m²)	Potência total (W)	Conjunto	Potência por superfície(W/m²)	Potência total(W)
Museu	82.3	146415.6	Museu	42.8	76180.5

Quadro 9 - Resumo dos resultados para conjuntos de compartimentos

Em função destes resultados vamos à tabela das bombas de calor da marca que usarmos e selecionamos uma ou várias bombas de calor, cuja potência somada seja igual ou superior à carga máxima simultânea do conjunto de compartimentos, acrescentando um coeficiente de segurança. Neste caso, foram selecionadas três bombas ISARA (uma marca ao acaso disponível no mercado), cujas características individuais são de potência para aquecimento 61 kW e para arrefecimento 42kW, o que dá um total de 183.000 W e 126.000 W (valores que satisfazem as necessidades, acrescentando um coeficiente de segurança acima do valor mínimo, que não deverá ser inferior a 20% dos valores de cálculo).

Na tabela de bombas de calor disponíveis da marca ISARA temos os modelos ISARA 45 Tri C HE com as características seguintes:

Para Captador horizontal ou vertical	0°/-3°C	0°/-3°C	0°/-3°C	0°/-3°C
Temperaturas da água no circuito	30°/35°C	40°/45°C	47°/55°C	55°/65°C
Potencia calorífica (W)	46900	48120	48310	49500
Consumo de Energia (W)	12000	14310	16210	19410
Intensidade (A)	20.3	23.3	25.7	30.1
Capacidade de refrigeração (W)	36830	35040	33370	31470
COP (W/W)	3.91	3.36	2.98	2.55
Caudal no circuito interior (m3/h)	8.08	8.35	5.26	4.33
Pressão no circuito interior (bar)	0.052	0.054	0.023	0.014
Caudal no circuito captação (m3/h)	11.55	10.95	10.48	9.89

Pressão no circuito captação (bar)	0.280	0.254	0.24	0.21
<b>Para Captação num aquífero</b>	<b>10°C/7°C</b>	<b>10°C/7°C</b>	<b>10°C/7°C</b>	<b>10°C/7°C</b>
Temperaturas da água no circuito	30°C/35°C	40°C/45°C	47°C/55°C	55°C/65°C
Potencia calorífica (W)	59660	61040	61000	61480
Consumo de Energia (W)	13040	15600	17870	21150
Intensidade da corrente (A)	20.9	24.6	27.9	32.6
Capacidade de refrigeração (W)	48810	46930	44540	42200
COP (W/W)	4.58	3.91	3.41	2.91
Caudal no circuito interior (m3/h)	10.29	10.59	6.64	5.38
Pressão no circuito interior (bar)	0.083	0.086	0.037	0.023
Caudal no circuito de captação (m3/h)	13.95	13.42	12.73	12.06
Pressão no circuito de captação (bar)	0.304	0.282	0.256	0.231

Tabela 2 - Modelos de bombas de calor da marca ISARA  
Fonte: Manual France Géothermie.

Para o sistema de piso radiante o procedimento é idêntico, a partir de novo cálculo das cargas térmicas dos compartimentos e do cálculo da instalação, como se segue. No caso de dispor de uma instalação de arrefecimento, a carga térmica calculada considera-se uma percentagem de 70% da carga térmica instantânea para a hora e o dia mais desfavorável. Uma vez calculadas as cargas térmicas descreve-se a informação necessária para realizar a definição da instalação, para cada conjunto de compartimentos:

Edifício tipo	Compartimentos	Planta	Q <sub>N,f</sub> aquecimento (W)	Q <sub>N,f</sub> arrefecimento (W)	S(m <sup>2</sup> )	q aquecimento(W/m <sup>2</sup> )	q arrefecimento (W/
	Exposição	R/Chão	9852.87	17502.74	504.28	19.5	34.7
	Serviço Pedagógico	R/Chão	2672.38	4066.13	126.36	21.1	32.2
	Foyer	R/Chão	79606.72	13377.31	136.36	58.0	98.1
	Auditório	R/Chão	33867.32	44836.41	249.82	135.6	179.5
	Sala de Restauro	R/Chão	4451.75	7074.00	217.06	20.5	32.6
	Escritório	R/Chão	3041.65	3757.63	63.46	47.9	59.2
	Área de Trabalho	R/Chão	3534.54	5341.25	156.37	22.6	34.2
	Loja/Cafetaria	R/Chão	4125.60	7113.29	96.22	42.9	73.9
	Inst. Sanitárias	R/Chão	2432.55	83.85	83.85	29.0	
	Corredor	R/Chão	15010.73	10682.37	145.39	103.2	73.5
TOTAL			86896.11	11375.13			
Abreviaturas Utilizadas							
Q <sub>N,f</sub>	Carga térmica de aquecimento para cálculo de piso radiante			q arrefecimento	Densidade de fluxo térmico para aquecimento		
Q <sub>N,f</sub>	Carga térmica de refrigeração para cálculo de piso radiante			q arrefecimento	Densidade de fluxo térmico para refrigeração		
S	Superfície do compartimento						

Quadro 10 - Carga térmica para o sistema do piso radiante.

Para realizar o cálculo da instalação de piso radiante deve-se partir de uma temperatura máxima da superfície do pavimento segundo o tipo de utilização.

Piso radiante para aquecimento:

Tipos de Compartimentos	$\theta_{i, \max}$ (°C)	$\theta_i$ (°C)	$q_G$ (W/m <sup>2</sup> )
Zona de permanência (ocupada)	29	20	100
Casas de banho similares	33	24	100
Zona periférica	35	20	175
Abreviaturas Utilizadas			
$\theta_i$ Temperatura máxima da superfície do pavimento		Densidade de fluxo térmico limite	
$\theta_i$ Temperatura do compartimento			

Quadro 11 - Temperatura do piso aquecido.

Piso radiante para arrefecimento:

Tipos de Compartimentos	$\theta_i, \max$ (°C)	$\theta_i$ (°C)	$q_G$ (W/m <sup>2</sup> )
Zona de permanência (ocupada)	20	24	40
Casas de banho similares	18	24	60
Abreviaturas Utilizadas			
$\bar{T}$ Temperatura máxima da superfície do pavimento		Densidade de fluxo térmico limite	
$\bar{T}$ Temperatura do compartimento			

Quadro 12 - Temperatura do piso arrefecido.

A temperatura média da superfície do pavimento tanto para aquecimento como arrefecimento, é calculada através da utilização do programa informático CYPETERM.

Além disso é necessário definir e calcular:

- a) A localização dos coletores.
- b) Circuitos e cálculo dos seus comprimentos.
- c) Cálculo da temperatura de impulsão da água.
- d) Cálculo do caudal de água dos circuitos.
- e) Dimensionamento do circuito hidráulico.
- f) Seleção da bomba de calor, em função das máximas necessidades.
- g) Fluxo de calor procedente das tubagens.

(Todos estes cálculos estão desenvolvidos no anexo.)

### 3.3.3 - Implantação dos circuitos das redes e bombas de calor<sup>99</sup>

A Fig. 107 apresenta a rede de condutas, grelhas e máquinas que se devem posicionar junto aos tetos para a climatização por ventiloconvetores e tratamento de ar. É um desenho esquemático, como se faz habitualmente, informando os técnicos e instaladores sobre onde e como devem distribuir toda a rede, tanto de condutas como das grelhas e máquinas. As condutas são normalmente feitas com chapa zincada ou com tubo spiro e no início da rede têm geralmente uma secção de dimensões consideráveis. Isso

<sup>99</sup> Efetuado por projetista de redes AVAC

complica bastante no interior da obra, pois como muitas vezes se pretendem esconder essas condutas com tetos falsos, temos que baixar muito o pé-direito dos compartimentos. Neste caso de climatização pelo sistema geotérmico, a tubagem é de reduzidas dimensões, e nesse aspeto deixa de haver problema. Porém, para a ventilação ou renovação de ar o problema mantém-se, a não ser que na opção arquitetónica inicial se preveja deixar as condutas à vista - há muitos museus onde isso está patente e até é possível tirar um boa imagem visual e agradável dessa solução. O posicionamento das grelhas também exige certos cuidados, não só para manter boa imagem do conjunto como principalmente para evitar que o posicionamento da insuflação fique demasiado próximo da extração, impossibilitando o ar insuflado de varrer o espaço convenientemente sem ser de imediato aspirado, não permitindo a renovação desejada. Estes desenhos devem preferencialmente ser apresentados à escala, para permitir a medição com uma régua. No nosso exemplo, cujo objetivo é puramente académico, todos os desenhos que se apresentam estão fora de escala.

### Rede de tubagem

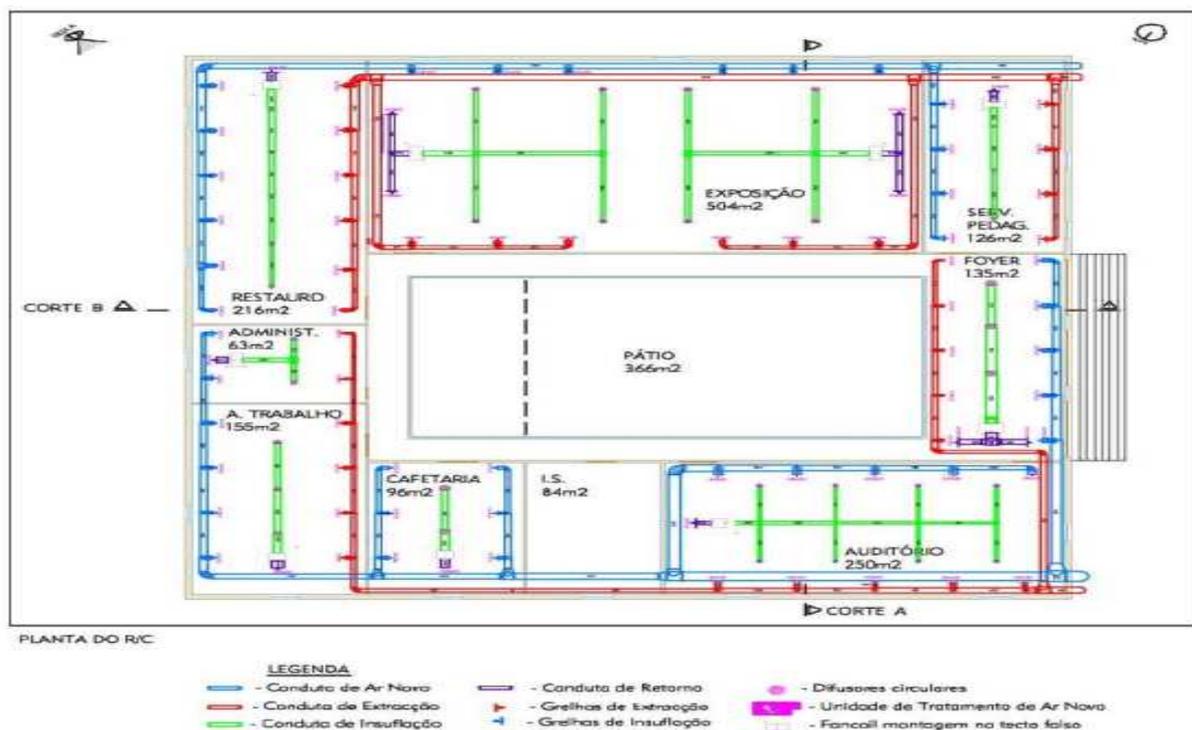


Fig. 107 - Implantação das condutas da rede de ventiloconvetores  
Fonte: empresa especializada

Esta planta indica as condutas situadas e distribuídas pelo tecto do r/c. Qualquer que seja o sistema de sondas de captação utilizado, será sempre este o processo de distribuição e posição das condutas a instalar no interior do museu para os ventiloconvetores, salvo para o caso do piso radiante que terá de ter a rede de distribuição sob o revestimento do próprio piso, como a seguir (Fig. 108) se exemplifica.

### Piso radiante

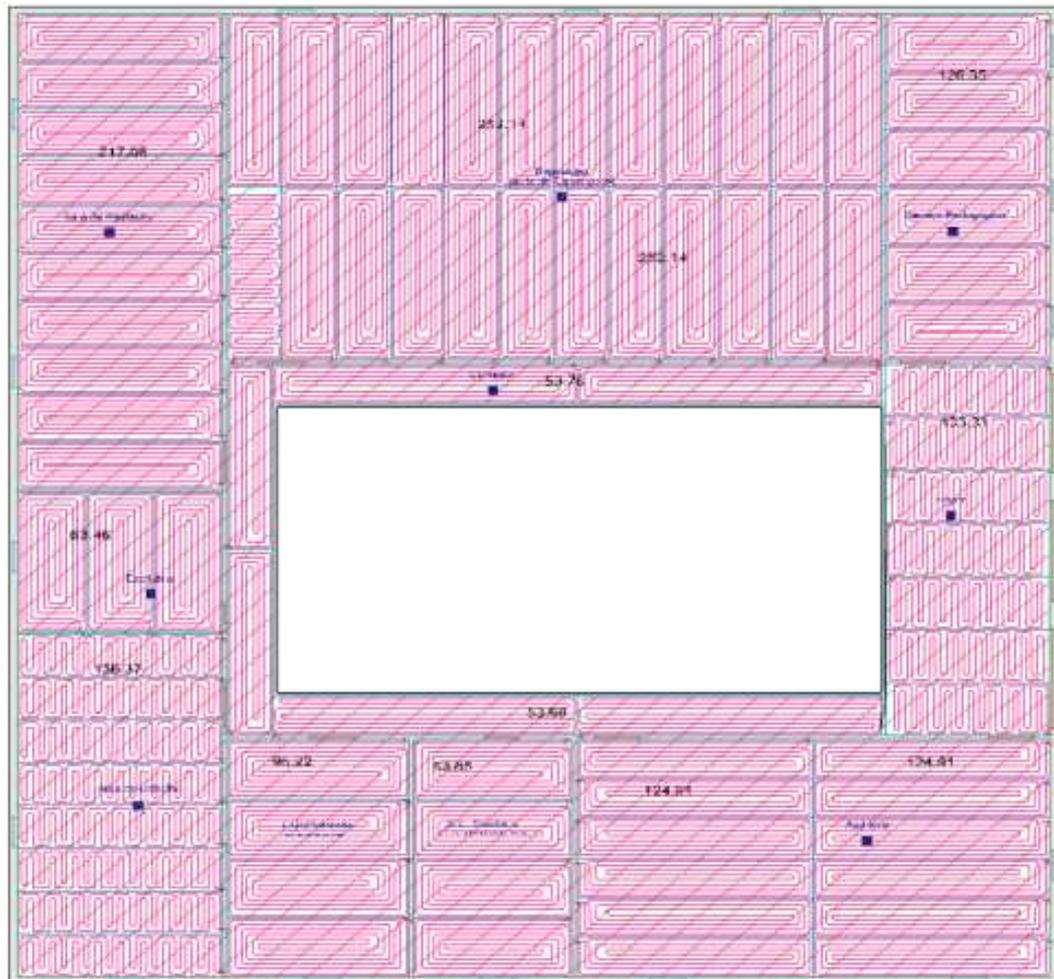
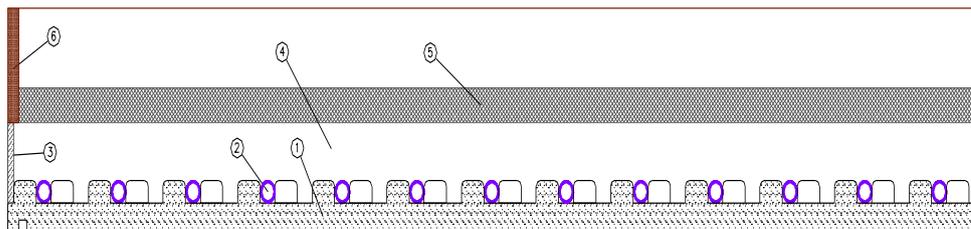
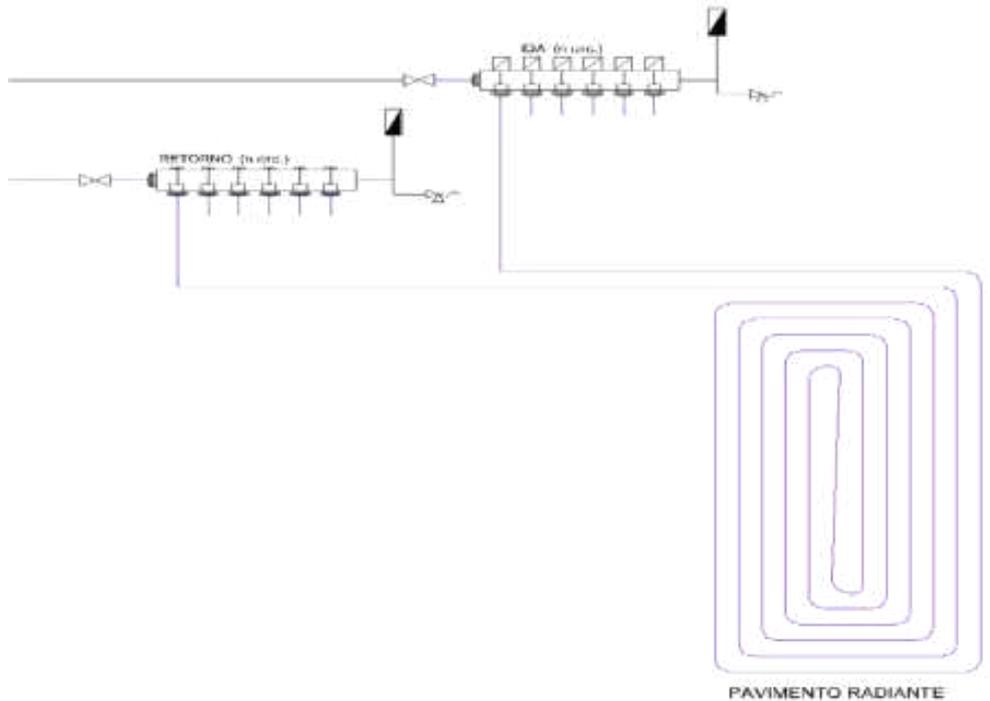


Fig. 108 - Rede de tubagem no pavimento para o sistema do piso radiante  
Fonte: empresa especializada

Esta planta apresenta a distribuição que deverá ter a tubagem do circuito de água glicolada sob o revestimento do pavimento e que será aquecido à temperatura de conforto de verão nas condições definidas no cálculo hidráulico.

Para uma melhor compreensão, os desenhos que se seguem (Fig.109) indicam o pormenor de execução e o pormenor de ligação da espiral aos coletores.



**LEGENDA:**

- 1 - Isolamento térmico c/ sistema de fixação do tubo em poliestireno de alta densidade
- 2 - Tubo de Polietileno reticulado c/ película barreira anti-oxigénio
- 3 - Banda perimetral
- 4 - Argamassa aditivada
- 5 - Revestimento final
- 6 - Rodapé

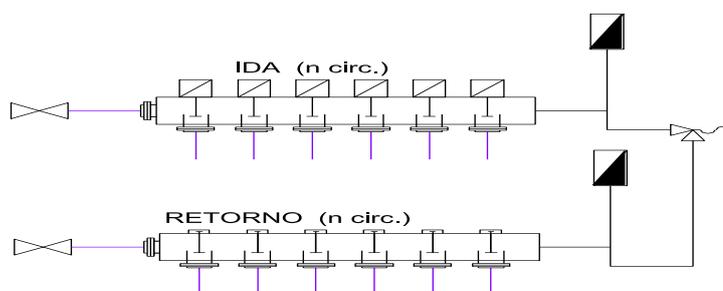


Fig. 109 - Pormenor da espiral no pavimento, de ligação e constituição do piso radiante.

### Implantação das sondas e equipamentos

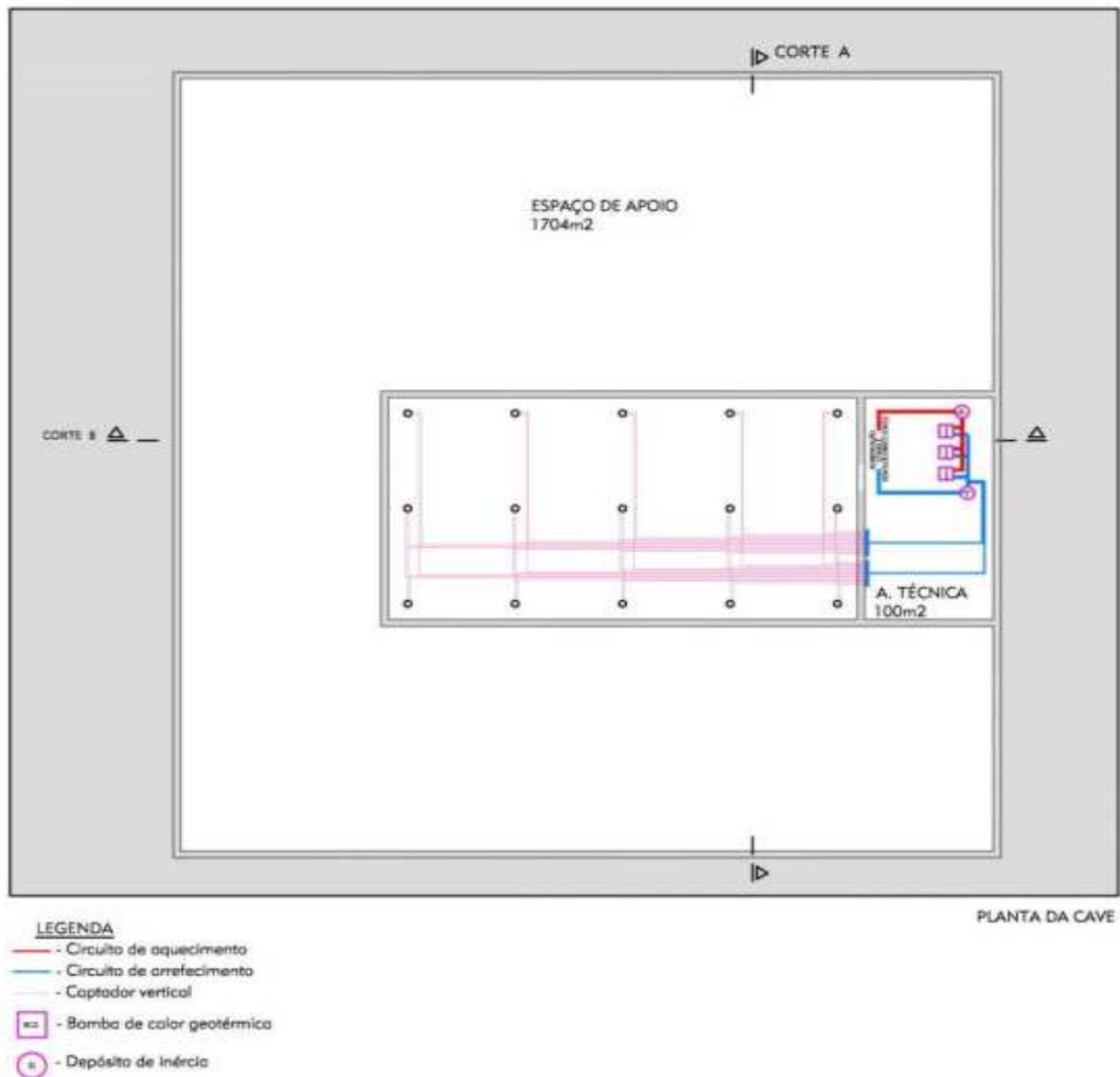


Fig. 110 - Sondas verticais no pátio interior e bombas de calor na área técnica

Este desenho (Fig.110) procura mostrar a localização das sondas verticais e bombas de calor no alinhamento do pátio existente ao nível da cave. Os quinze pontos ao centro correspondem às sondas ali cravadas, e as figuras na área técnica correspondem às bombas de calor. Naturalmente que tanto as sondas como a sua ligação às bombas de calor se faz debaixo do solo sem visibilidade externa. Antes de darem entrada na casa das máquinas é feita uma caixa de visita com as válvulas de união e regulação, sendo visível apenas a tampa dessa caixa, se daí não houver inconvenientes.

### Localização das máquinas exteriores

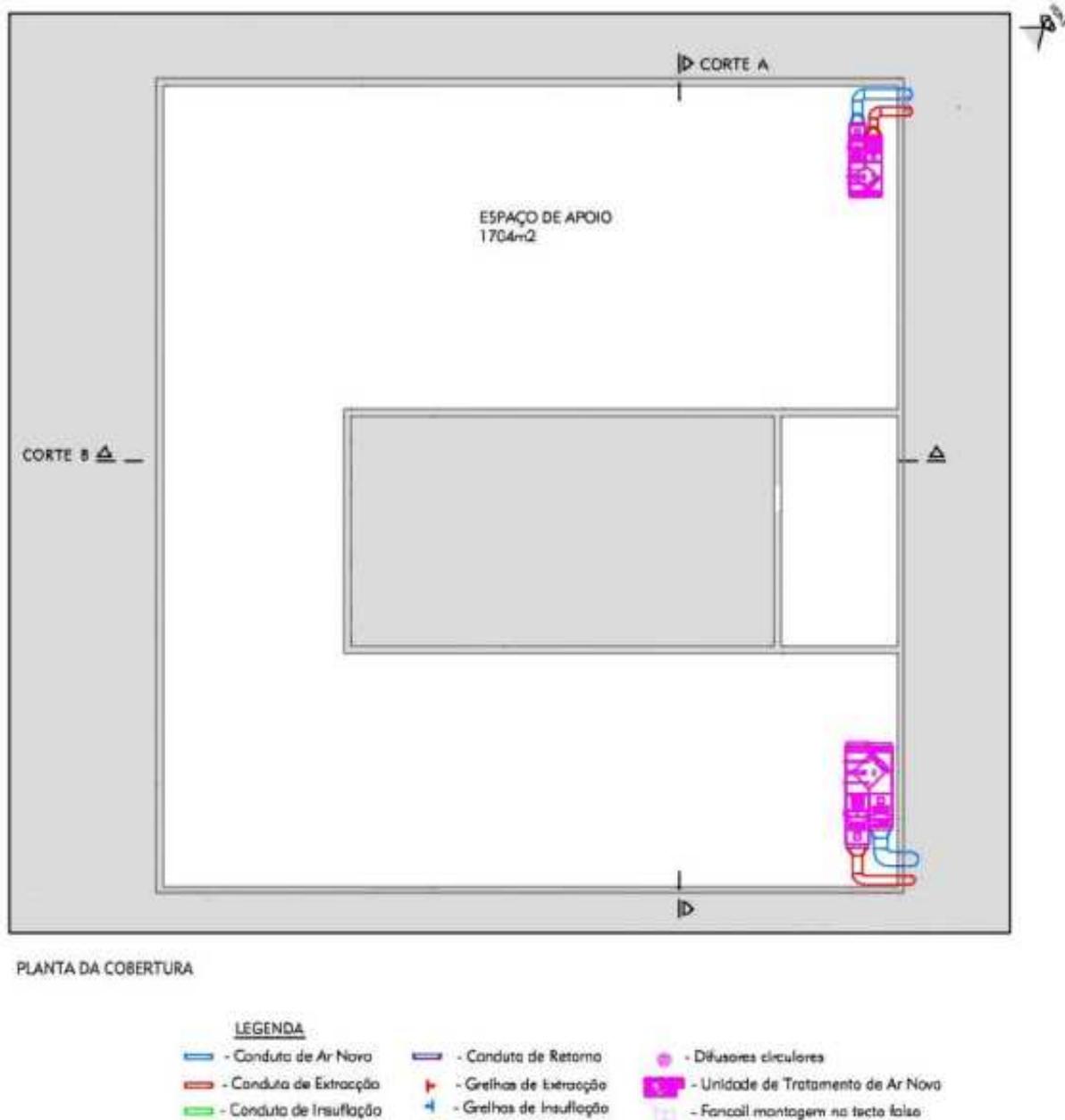


Fig. 111 - Cobertura (terraço), com máquinas de condensação da ventilação

As máquinas para a ventilação, que ocupam geralmente um espaço de grandes dimensões, podem ficar localizadas no terraço da cobertura, como é sugerido para este caso, na planta que a seguir se apresenta. Estas máquinas terão de ficar com espaço livre à sua volta para poderem aspirar o ar do exterior e expelirem o ar que vem do interior. É conveniente terem apoios de borracha ou outro material anti-vibrático para absorverem as respetivas vibrações.

### Localização das bombas de calor e sondas horizontais

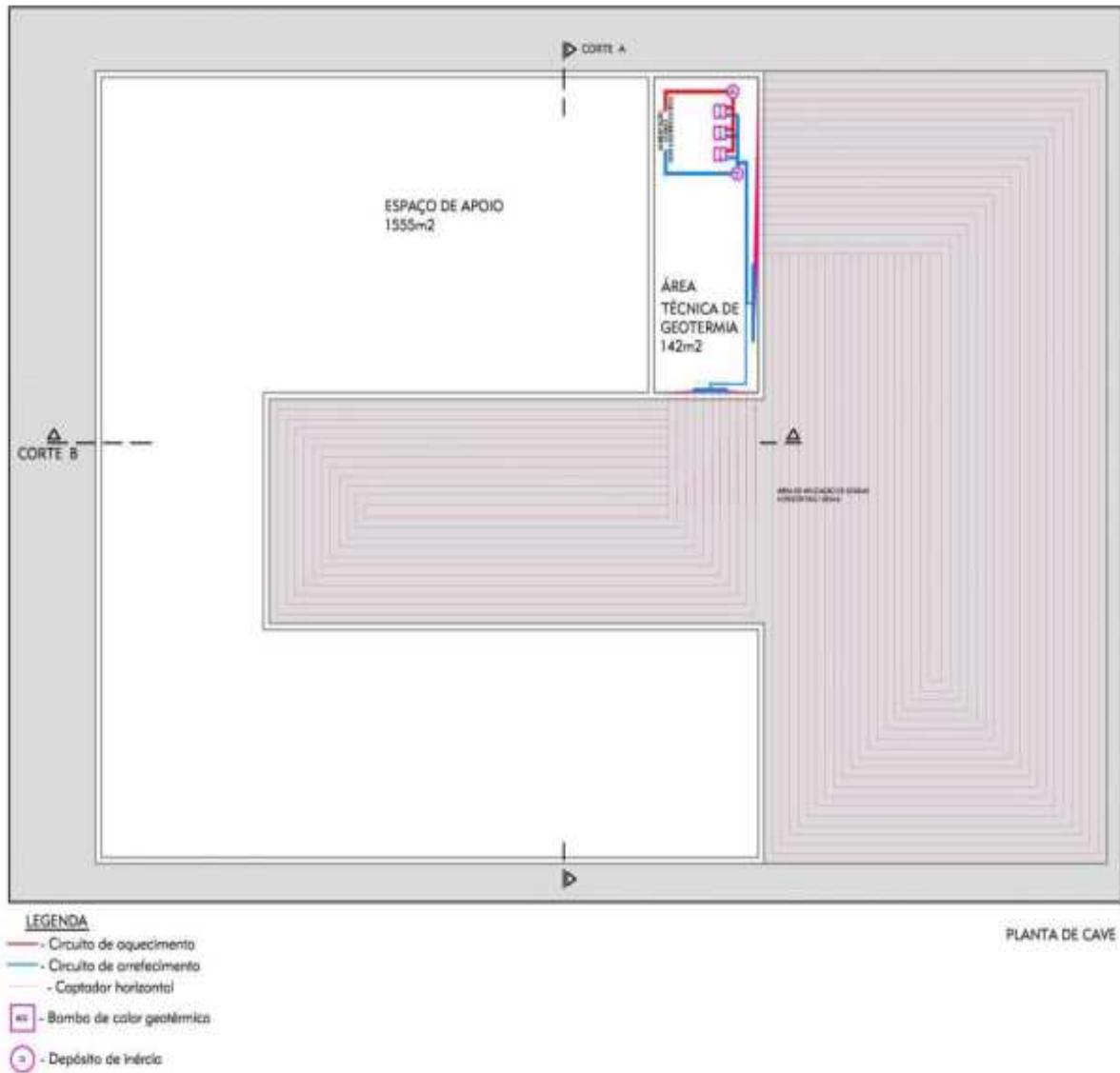


Fig. 112 - Alternativa caso se pretenda instalar sondas horizontais

Este desenho (Fig.112) pretende mostrar que as sondas enterradas no pátio central e numa área à frente do edifício, quando colocadas na horizontal, ficam enterradas no solo e o que se vê será a ligação das mesmas à área técnica. As bombas de calor estão na área técnica. A cave fica também livre para se usar naquilo que for necessário.

### Localização das bombas de calor e sondas em aquífero

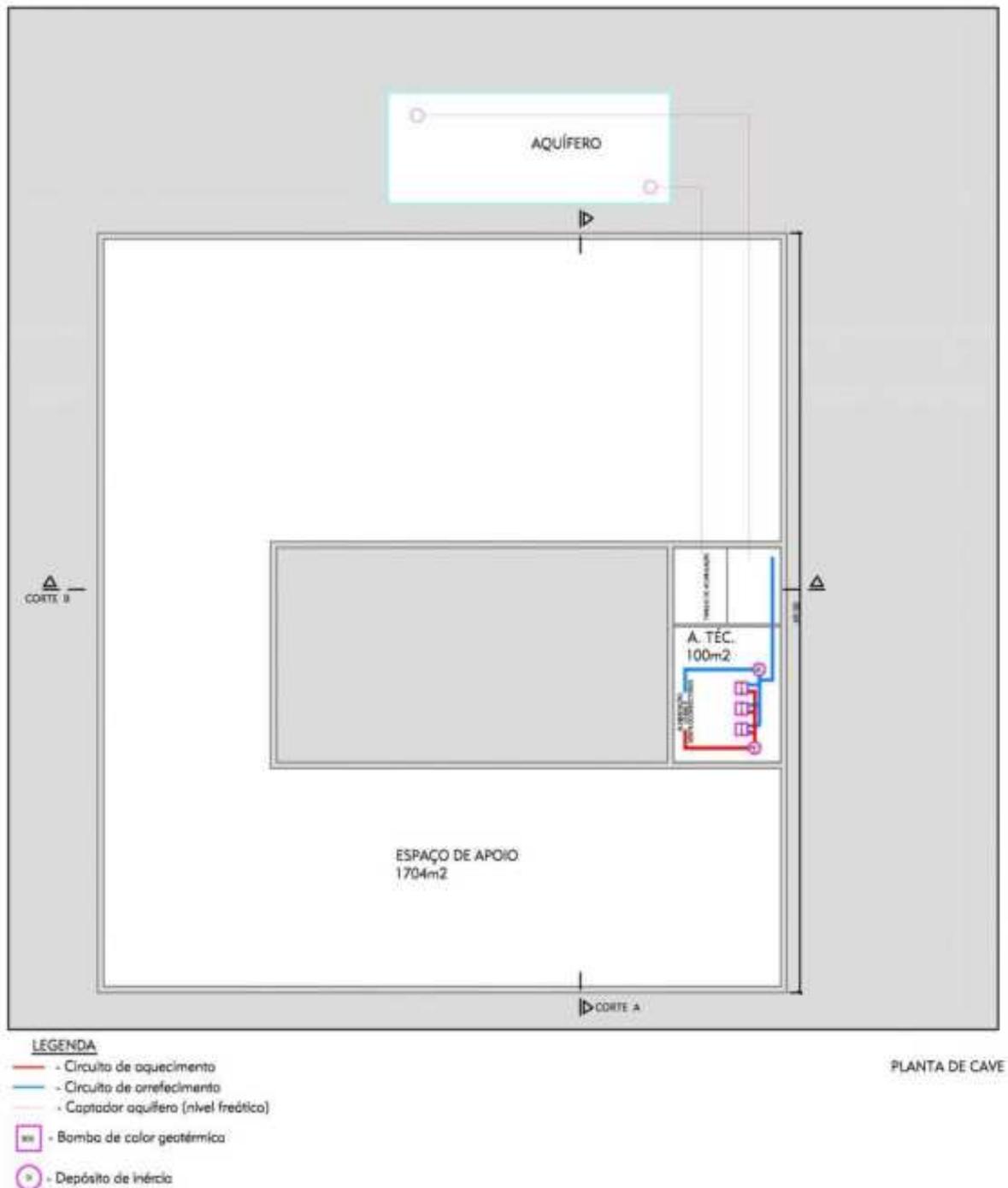


Fig. 113 - Sondas num aquífero, situado fora da área de implantação do edifício

Neste caso (Fig.113) são apenas duas sondas, uma para bombear a água do aquífero e fazê-la passar pelas bombas de calor, situadas na área técnica, e a outra para a despejar novamente após ter sido utilizada, a uma distância de pelo menos seis metros do ponto de sucção/ aspiração.

### Esquema de princípio do sistema de climatização

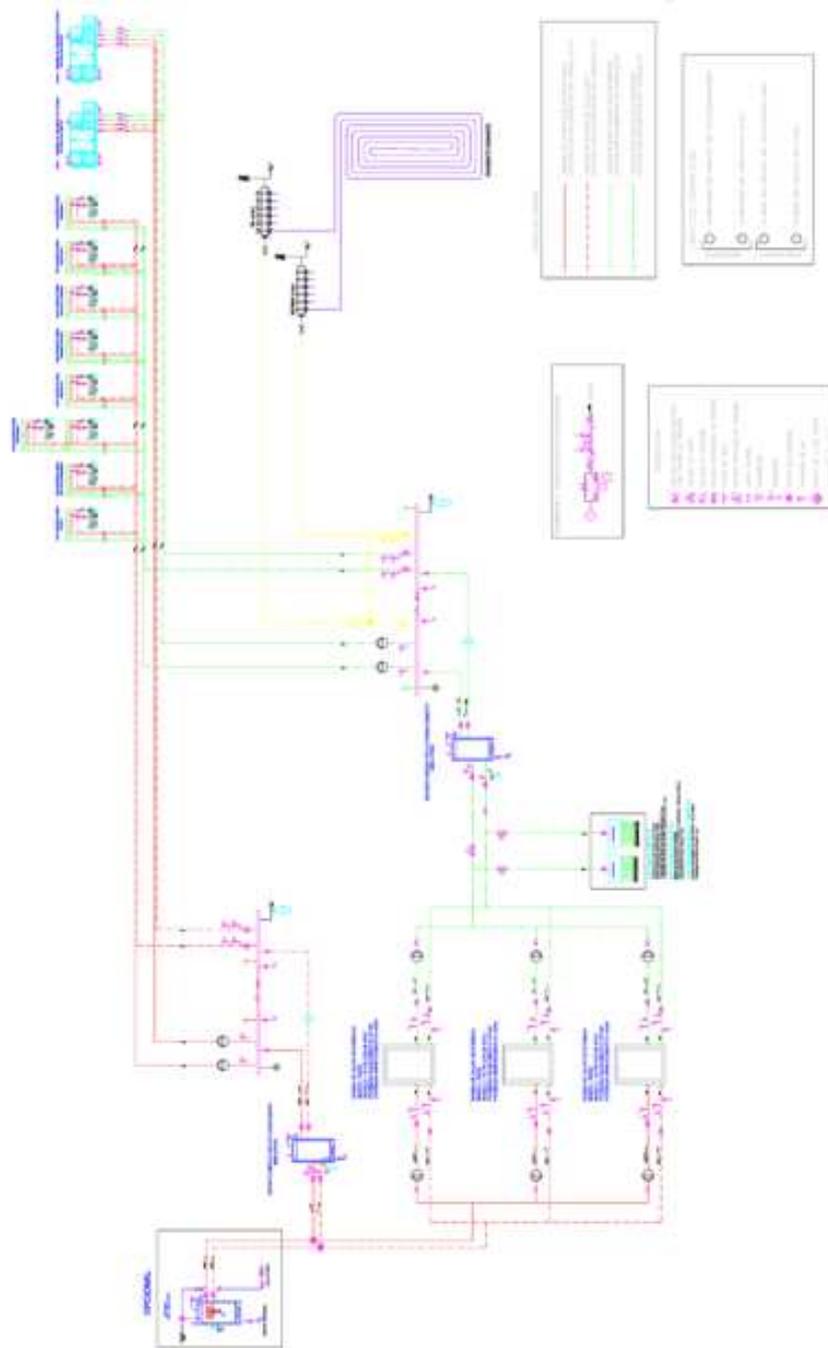


Fig. 114 - Esquema geral da instalação dos sistemas de climatização geotérmicos

Para aumentar a escala de visualização segue o mesmo esquema subdividido em três partes distintas (Figs.115;116;117). Com toda a rede incluindo ventiloconvetores, bombas de calor e sondas de captação.



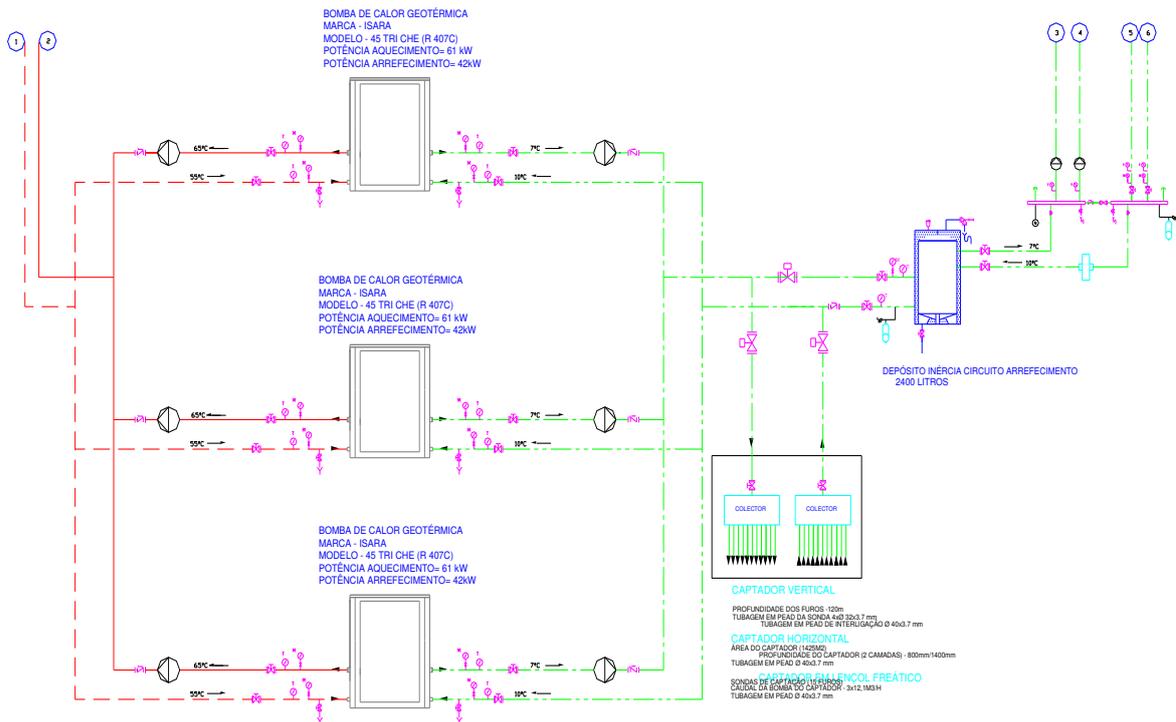


Fig. 117 - Esquema; Bombas de calor Geotérmicas, e sondas de captação da energia

### 3.3.4 - Análise económica diversa

#### ULHT - Edifício L- Comparação de um sistema AVAC tradicional com o Geotérmico

Descrição	Áreas	Lotação	Calculo BTU	Calculo W	Cap. Maq. kW	Consumo Hora AVAC	Consumo Hora GEOT.	Dif AVAC GEOT.
Diferença AVAC/GEOT (V. Mínimo)						57,64	38,60	-19,04
Diferença AVAC/GEOT (V. Máximo)						62,62	38,60	-24,02
Máq. AVAC 10 Kwh consumo 3,1 Kwh Bomba Geot 10 Kwh consumo 2,71 Kwh								
Consumo 10H Ativo Cheia						7.320	0,0844	618
Consumo 14H Ativo Ponta						10.248	0,1164	1193
<b>Ganho Mês C/Geotermia (Euros)</b>								<b>1.811</b>
<b>Ganho Ano C/Geotermia (Euros)</b>								<b>21.728</b>
<b>Totais</b>	<b>1318,87m<sup>2</sup></b>	<b>Un. 117</b>	<b>585293</b>	<b>198637</b>	<b>217,00</b>			

Quadro 13 - Comparação de um sistema AVAC tradicional com o sistema geotérmico

Verifica-se neste estudo que o sistema de climatização pelo recurso à geotermia reduz entre 32 a 39% o consumo de eletricidade.

### Comparação de custos entre várias fontes de energia

Fonte de Energia	Tarifa Energética <sup>100</sup>	Poder Calorífico	Rendimento Médio	Custo Energético	Consumo Anual
Gás Propano – GPL	1,94 €/kg	12,7 kWh/kg	0,90	0,167 €/kWh	15.231,54 €
Gás Natural	0,85 €/m <sup>3</sup>	10,3 kWh/m <sup>3</sup>	0,90	0,090 €/kWh	8.208,61 €
Gasóleo de Aquecimento	1,32 €/L	10,5 kWh/L	0,90	<b>0,144</b> €/kWh	13.133,78 €
Eletricidade	0,114 €/kWh	0,98	0,116 €/kWh		10.579,99€
Geotermia	<b>0,16 €/kWh</b>	<b>3,70</b>	<b>0,043 €/kWh</b>		<b>3.922,00 €</b>

Tabela 3 - Estimativa de consumos e análise comparativa para as hipóteses assumidas

### Custos totais de exploração de climatização num período de 15 anos

Fonte de Energia	Manutenção Anual	Consumo ano 1	Benefícios Fiscais	Custo total de exploração
Gás Propano - GPL	250,0 €	15.223,39 €	0,00 €	232.100,85 €
Gás Natural	250,0 €	8.204,22 €	0,00 €	126.813,30 €
Gasóleo de Aquecimento	250,0 €	13.126,75 €	0,00 €	200.651,25 €
Eletricidade	0,0 €	10.574,33€	0,00 €	158.614,95€
Geotermia	0,0 €	<b>3.919,80 €</b>	0,00 €	58.797,00 €

Tabela 4 - Custos de exploração com várias fontes de energia

### Conclusões

O caso de estudo aplicado aqui a um edifício de museu foi feito num modelo teórico imaginado pelo próprio autor desta tese, que procurou incluir dimensões volumétricas e restantes características que correspondem a uma franja muito abrangente de casos reais.

Como se pode verificar, o sistema de climatização através da geotermia começa pela observação das condições locais e das correspondentes ao tipo de construção e materiais usados pelo próprio edifício, como se faz para todos os outros sistemas de climatização. Seguidamente, fazem-se as observações do solo para determinar a sua resposta térmica e com isso decidir a posição das sondas e calcular o seu comprimento. Obtidos os totais das potências necessárias para todos os compartimentos, tanto para o conforto de verão como de inverno, é feita a seleção da bomba ou bombas de calor a

<sup>100</sup> O preço do tarifário de energia eléctrica é uma média ponderada entre a tarifa de ponta (0,133/kWh) e a tarifa cheia (0,095/kWh) em média utilização.

instalar. A distribuição de toda a rede de tubagens e circuitos de comando, assim como o posicionamento das bombas de calor é feito em função da própria arquitetura interior do edifício, e das eventuais decisões dos responsáveis pela sua utilização.

Neste exemplo, podemos constatar que o edifício tem classificação “Forte” em relação ao comportamento térmico “inércia térmica”; de acordo com essa classificação, vai necessitar de 91.206,80 kWh/ano para aquecimento, 37.650,82 kWh/ano para arrefecimento e 23.973,13 kWh/ano para aquecimento de águas. Em função disso, as potências totais necessárias para aquecimento e arrefecimento de todo o interior do museu (de acordo com a opção que foi tomada para utilização de todos os espaços e a sua localização) são de 76.180,05 W e 146.415,6 W respetivamente.

Assim sendo, optou-se por seleccionar três bombas de calor de características ISARA 45 Tri C HE, as quais consomem 15.600 W de energia elétrica cada uma no seu funcionamento. Ao compararmos este consumo com o consumo que seria necessário para outros sistemas de combustíveis, concluímos que há uma economia de cerca de 75% em relação ao gás natural e de 46% relativamente ao gás propano. A tabela 4 mostra esses valores comparativos (entre o sistema geotérmico e os outros sistemas energéticos) ao longo do tempo. De acordo com a tabela, a partir do 15º ano as economias resultantes em relação às cinco fontes de energia consideradas variam entre 68.000,00€ e 173.000,00 €. Se considerarmos que o investimento inicial com a aplicação do sistema de climatização geotérmica é superior a qualquer outro na ordem dos 20%, esta diferença é recuperada em cerca de cinco anos. A partir daí começa a distanciar-se favoravelmente, com ganhos significativos em relação aos restantes sistemas.

### **3.4 - Produção de energia elétrica a partir da energia geotérmica**

#### **3.4.1 - Produção de energia elétrica ou eletricidade**

Em centrais geotérmicas, o vapor, calor ou água quente provenientes de reservatórios geotérmicos fornecem a energia que move os geradores de turbinas para estes produzirem eletricidade. A água geotérmica, depois de usada é devolvida ao reservatório de origem por injeção, para ser reaquecida, manter a pressão do solo, e sustentar o reservatório. Existem três tipos de centrais geotérmicas, sendo que cada uma depende das temperaturas e pressões do reservatório, como a seguir se pormenoriza:

Um “reservatório de vapor seco” produz vapor mas muito pouca água. Este vapor é enviado por condutas diretamente até à central, fornecendo a energia para mover o gerador de turbina. O maior campo de vapor seco no mundo é o Geysers, a cerca de 90 milhas a norte de São Francisco.

Um reservatório geotérmico que produza maioritariamente água quente é designado por “reservatório de água quente”. Neste caso, a água varia a temperaturas entre 300 e 700 °F, sendo trazida até à superfície por processos de bombagem. Devido à redução da pressão, parte dessa água é transformada em vapor, sendo este devidamente controlado e dirigido para acionar as turbinas dos geradores que vão produzir a eletricidade. Como exemplo deste tipo de reservatórios destaca-se a central da Ribeira Grande (Fig. 119).

A utilização da água para usos termais (comum em vários pontos do país), também é oriunda de grandes profundidades e a diversas temperaturas. Exemplos deste tipo existem vários, localizados do Minho ao Algarve, desde as Caldas do Gerês, Termas do Luso, Castelo de Vide, até às Termas de Monchique, além das que se situam nas ilhas dos Açores e Madeira.

No nosso país, os aproveitamentos mais interessantes da geotermia para a produção de eletricidade estão a ser realizados nas ilhas dos Açores, estando atualmente inventariados 235,5 MW, distribuídos da seguinte forma:<sup>101</sup>

S.Miguel	Terceira	Faial	Pico	S. Jorge	Graciosa	Flores	Corvo	<b>Total</b>
173,0	25,0	8,9	12,0	8,0	5,0	2,5	1,1	235,5

Quadro 14 - Produção de eletricidade nos Açores através da Geotermia.

Atualmente, a produção combinada da central geotérmica da Ribeira Grande (S. Miguel), com uma potência de 173 MW, e da central geotérmica do Pico, com uma

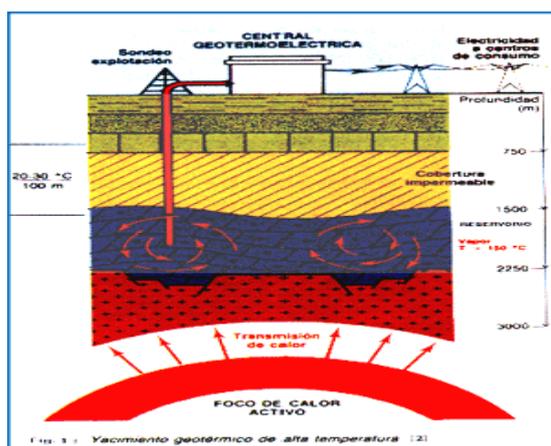


Fig. 118 - Captação da temperatura no magma e elevada à central geotérmica.



Fig. 119 - Central geotérmica da Ribeira Grande, Açores.

Fonte:cm-ribeiraarande.azoresdigital.pt 2010/3/18

capacidade produtiva de 12 MW, contribuem já com cerca de 40% na estrutura de produção do arquipélago, e este número continua a aumentar. De acordo com o relatório da GEA está

<sup>101</sup> <http://aproveitarenergia.no.sapo.pt/em%20portugal.htm> acedido a 15-02-2010

também previsto um investimento de cerca de € 200 milhões direccionados para a expansão da central da Ribeira Grande, e decorrem extensas sondagens na ilha do Pico, prevendo-se que em 2018 75% da energia elétrica naquela ilha possa vir a ser gerada por este sistema.

Refira-se ainda que a central geotérmica da Ribeira Grande, situada no sector de Cachaços-Lombadas do Campo, é servida por um parque de quatro poços de produção (CL1, CL2, CL3 e CL5) que produzem para um colector comum que alimenta os permutadores de calor, para além de um poço de injeção CL4 destinado a receber o caudal total de efluente líquido. O sistema de funcionamento desta central pode ser descrito da seguinte forma:

1. O fluido geotérmico bifásico proveniente dos poços entra no separador, que decompõe a fase líquida (brine) do vapor saturado e gases não condensáveis.
2. Depois de separado, o vapor geotérmico entra no vaporizador, sendo uma pequena percentagem expelida para a atmosfera conjuntamente com gases não condensáveis, através de uma válvula de descarga.
3. Em resultado da transferência de energia calorífica para o fluido intermédio ocorre a condensação do vapor geotérmico, que é conduzido para a entrada do pré-aquecedor juntando-se ao brine e participando na transferência de calor entre a fase líquida e o fluido intermédio.
4. O fluido intermédio no nível mais elevado de entalpia, sob a forma de vapor, é dirigido para a turbina onde se expande, acionando-a acoplada ao alternador.
5. O fluido intermédio é condensado por arrefecimento a ar, através dos aerocondensadores que funcionam como a fonte fria, após ter permutado calor no recuperador com o próprio fluido de trabalho no início de um novo ciclo.

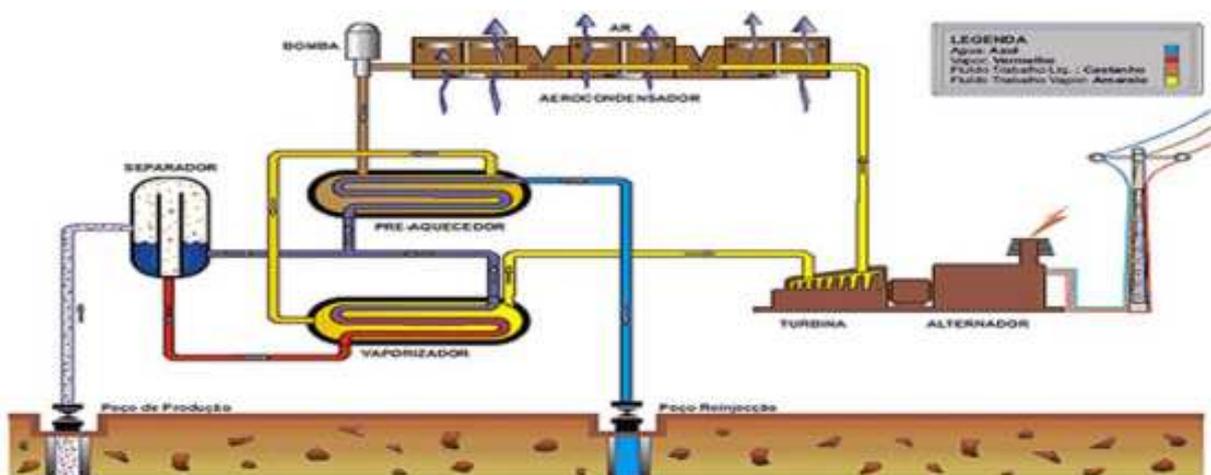


Fig. 120 - Esquema de funcionamento da central geotérmica da Ribeira Grande  
Fonte: [http://www.slidefinder.net/g/geot\\_a9rmicasa\\_a7ores/10645479](http://www.slidefinder.net/g/geot_a9rmicasa_a7ores/10645479) acedido a 15-02-2010

O fluido orgânico funciona em circuito fechado, nunca entrando em contacto direto com o fluido geotérmico ou com a atmosfera. O fluido geotérmico, após passar pelo pré-aquecedor, é conduzido numa linha de descarga para uma caixa em betão, que por sua vez está ligada por uma conduta ao poço de reinjeção CL4, onde são reinjetados os fluidos captados com temperaturas máximas compreendidas entre 235 °C e 240 °C, cujas formações de maior produtividade surgem entre 500 e 1200m de profundidade.

No sentido de maximizar o aproveitamento do potencial geotérmico da Ribeira Grande, a Sogeo<sup>102</sup> desenvolveu em 2009 uma campanha de execução de sete sondagens profundas, tendo em vista a saturação da central da Ribeira Grande e a expansão da central do Pico Vermelho. Já na Ilha Terceira, a Geo terceira<sup>103</sup> (empresa detida pela EDA e pela EDP) desenvolve o projeto geotérmico, que compreende a execução dos poços de produção e de reinjeção e a construção de uma central geotérmica de 12 MW. Com a exploração desta central, prevista para o final de 2011, estimou-se que esta fonte de energia contribuisse no ano seguinte, com 38% na estrutura de produção da ilha.

Segundo refere Leonilde Vargas, para além dos benefícios de índole ambiental e de uma poupança anual de cerca de 40 000 t de combustível derivado do petróleo, a produção geotérmica ao nível do arquipélago contribui com 21% na estrutura de produção, o que somado à produção hídrica e eólica, proporciona uma autonomia energética de cerca 27%, factos que demonstram a importância que o aproveitamento da energia geotérmica tem na economia dos Açores.

Em Chaves, também estão a ser explorados os recursos geotérmicos, através da empresa Kernow Resources and Development Inc., numa operação conjunta com a Bull Green Energy.

Para avaliar e desenvolver projetos geotérmicos na Península Ibérica (englobando Espanha e Portugal) foi assinado um memorando de entendimento entre as empresas Petratherm e Enel Green Power.

Por tudo o que se referiu, conclui-se que a energia elétrica obtida a partir da geotermia abastece através da rede pública todo o tipo de edifícios, incluindo naturalmente os museus e centros de cultura. E para todos os casos, o facto da eletricidade consumida ser proveniente do aproveitamento deste recurso ou de outro qualquer não influencia os equipamentos instalados.

---

<sup>102</sup> Sociedade GEOTÉRMICA DOS AÇORES, S. A.

<sup>103</sup> Sociedade Geoelectrica da Terceira, S. A.- Leonilde Vargas, Presidente da empresa.

### 3.4.2 - Situação mundial com a exploração dos recursos geotérmicos

Os relatórios de análise sobre a situação internacional de desenvolvimento geotérmico publicados entre 2005 e 2010 pelas Associações de Energia Geotérmica dos EUA (GEA), Internacional de Energia Geotérmica (IGA) e pela DGEG apresentam uma visão mundial do mercado assente na energia geotérmica, que permite identificar as tendências desse mercado e o potencial de recursos geotérmicos utilizados para transformar essa energia limpa, renovável e sustentável em termos nacionais e internacionais. O número de países produtores de energia elétrica a partir da energia geotérmica e a capacidade de produção total desta energia no mundo em desenvolvimento parece estar a aumentar significativamente. Em 2005, havia 8.933 MW de potência instalada em vários países, gerando 55.709 GW.h por ano de energia verde, de acordo com a Associação Internacional de Energia Geotérmica; em 2010 o valor aumentou para 10.715 MW em 24 países, gerando 67.246 GW.h. Isto representa um aumento de 20% no aproveitamento de energia geotérmica entre 2005 e 2010. Segundo os projetos da IGA, esta produção irá aumentar para 18.500 MW até 2015, tendo por base o grande número de projetos em análise. De acordo com Bertani/IGA, os países que tiveram maior aumento da capacidade instalada (MW) entre 2005 e 2010 foram: 1) EUA - 530 MW, 2) Indonésia - 400 MW, 3) Islândia - 373 MW, 4) Nova Zelândia - 193 MW e 5) Turquia - 162 MW. Em termos de aumento percentual, os cinco países com maior aumento foram: 1) Alemanha - 2.774%, 2) Papua-Nova Guiné - 833%, 3) Austrália - 633%, 4) Turquia - 308% e 5) Islândia - 184%.

Enquanto este potencial cresceu 20% entre 2005 e 2010, os países com projetos em desenvolvimento cresceram num ritmo muito maior: foram registados em 2007 46 países com desenvolvimento da energia geotérmica. Em 2010, este relatório identifica 70 países com projetos em desenvolvimento ou consideração ativa, o que significa um aumento de 52% desde 2007.

O desenvolvimento geotérmico parece estar cada vez mais apoiado pelo mercado financeiro global. Um número crescente de países, incluindo Austrália, China, Alemanha, Islândia, Itália, Japão e os EUA, estão a incentivar diferentes projetos de desenvolvimento geotérmico, aprovando igualmente formas de apoio complementares ao financiamento, incluindo a partilha de tecnologia, formação e estudos geológicos.

Os reservatórios geotérmicos que se encontram próximos da superfície, mais facilmente alcançáveis pela perfuração, existem em lugares onde os processos geológicos permitiram que o magma subisse pela crosta até à proximidade da superfície, ou onde se derrama como lava. A crosta da Terra é composta por enormes placas, que estão em movimento constante mas muito lento relativamente umas às outras. O magma pode chegar

perto da superfície onde as grandes placas do oceano e da crosta da terra colidem e uma desliza por baixo da outra. O melhor exemplo destas regiões quentes em volta das margens das placas é o Anel do Fogo<sup>104</sup>, composto pelas áreas que fazem fronteira com o Oceano Pacífico: os Andes Sul-americanos, América Central (México), Estados Unidos (Alasca) e Canadá, a península de Kamchatka (Rússia), o Japão, as Filipinas, a Indonésia e a Nova Zelândia. Os países que atualmente produzem a maior parte de eletricidade através de reservatórios geotérmicos são os seguintes:

- O Quênia, com uma produção expectável de 490 MW de energia geotérmica em 2012 e 4.000 MW em 20 anos.
- A Alemanha, com mais de 150 projetos de centrais de energia geotérmica em desenvolvimento, e de acordo com a Comissão Europeia, com mais 280 projetos em curso até 2020.
- A Turquia, que espera alcançar uma meta de 550 MW de energia geotérmica em produção até 2013.
- As Filipinas, que se destacam como segundo maior produtor de energia geotérmica no mundo (logo após os Estados Unidos da América), com um total de 1.904 MW, correspondendo a aproximadamente 18% da geração de eletricidade do país.
- El Salvador, com 26% da eletricidade interna produzida a partir de centrais geotérmicas.
- A Indonésia, que de acordo com a National Energy Blueprint estabeleceu uma meta de 9.500 MW de produção de energia geotérmica, correspondendo a um aumento de 800% relativamente à situação atual.
- A Islândia, que obtém 25% de sua eletricidade e 90% de seu aquecimento a partir de recursos geotérmicos.
- Os EUA, que continuam a liderar o mundo na produção de energia geotérmica, com aproximadamente 3.086 MW de capacidade instalada em 77 centrais.<sup>105</sup>
- Por outro lado, a Índia promove o uso direto da energia geotérmica, com uma capacidade de 203MW, embora não tenha ainda produção de eletricidade pela via da geotermia. O Serviço Geológico da Índia identificou mais de 300 localidades termais, e as estimativas apontam para um potencial de cerca de 10.600 MW de energia geotérmica.<sup>106</sup>

---

<sup>104</sup> Este anel é rodeado por inúmeros vulcões. Estão aqui três quartos dos vulcões ativos da terra.

<sup>105</sup> <http://www.grupoescolar.com/pesquisa/energias-alternativas.html> acedida a 2010/05/10

<sup>106</sup> Segundo, Chandrasekharam Professor e Chefe do departamento de Ciências da Terra. Indian Institute of Technology, Bombay, na Índia IBC Conferência "Energia Geotérmica da Ásia 2000", Manila, Filipinas, Feb. 2000.

### Ranking dos Países produtores de energia elétrica através de geotermia

Países	Capacidade instalada (MW)	Classificação
Estado Unidos da América	3,086	1
Filipinas	1,904	2
Indonésia	1,197	3
México	958	4
Itália	843	5
Nova Zelândia	628	6
Islândia	575	7
Japão	536	8
El Salvador	204	9
Quênia	167	10
Costa Rica	166	11
Nicarágua	88	12
Rússia	82	13
Turquia	82	14
Papua Nova Guine	56	15
Guatemala	52	16
Portugal	29	17
China	24	18
França	16	19
Etiópia	7.3	20
Alemanha	6.6	21
Áustria	1.4	22
Austrália	1.1	23
Tailândia	0.3	24

Quadro 15 - Países produtores através da Energia Geotérmica realizado até 2010  
Fonte: GEA\_International\_Market\_Report\_Final\_May\_2010

A França tem atualmente uma capacidade instalada de 16,5 MW, dos quais 15 MW são produzidos nas Antilhas Francesas, na ilha de Guadalupe, tendo desenvolvido uma série de políticas de apoio às energias renováveis na expansão da sua exploração geotérmica, incluindo o processo de “Grenelle do Ambiente” (2007) e da Lei da Energia Francesa (2005). A base de recursos geotérmicos do país é diversificada, destacando-se na exploração do seu potencial a central de Soultz-sous-Forêts, que entrou em operação no final de 2008, produzindo atualmente 1,5 MW de energia geotérmica. No caso de Guadalupe, destaca-se a central de Bouillante, de 15 MW, que já está operacional e gera 8% da energia consumida na ilha.

Este país aprovou em 2006 um investimento a longo prazo no plano da eletricidade, que definiu objectivos de capacidade de 90 MW adicionais a partir da energia geotérmica em 2010 e 200 MW até 2015/ 18.

Na Itália as principais áreas geotérmicas de Larderello-Travale/Radicondoli e Monte Amiata têm tido um desenvolvimento sustentado desde o início do século XX. Duas outras unidades de energia geotérmica foram encomendadas na Toscana em 2009, elevando a potência total de energia geotérmica instalada para 843 MW. Em 2010, o país assistiu à criação do projeto de perfuração Flegrei Campi Deep. Este projeto, além de avaliar o potencial regional para a exploração da energia geotérmica, corresponde a um amplo programa de pesquisa a ser realizada em conjunto pelo Departamento de Nápoles do Instituto Italiano de Geofísica e Vulcanologia e várias instituições internacionais, incluindo a Pesquisa Geológica dos EUA. Segundo algumas estimativas, "dada a vontade política, a fração da eletricidade do país gerada por energia geotérmica pode aumentar em cinco vezes, tanto quanto 10% ao ano nos próximos 10 anos". A empresa Enel Green Power, integralmente detida pelo Grupo Enel, opera todos os campos geotérmicos no país.

Em Espanha, a produção de eletricidade a partir da energia geotérmica foi uma das mais recentes tecnologias a entrar no país, tendo o sector das Energias Renováveis Espanholas incorporado iniciativas inovadoras de âmbito científico e tecnológico. Raul Hidalgo, diretor da delegação espanhola da empresa australiana Petratherm, explica que algumas das empresas associadas com a divisão geotérmica na Associação de Produtores de Energias Renováveis (Appa) começaram a discutir a possibilidade da criação de um consórcio de empresas para a produção de energia geotérmica em Espanha, e promoverem o desenvolvimento de uma regulamentação específica para este tipo de energias<sup>107</sup>.

Em muitas zonas da Europa há falta de recursos de energia geotérmica, sendo a que existe para produção rentável de eletricidade habitualmente utilizada em sistemas hidrotermais; no entanto, há um interesse significativo entre as nações europeias para desenvolver a tecnologia EGS (sistema de energia geotérmica) de modo a explorar o potencial enorme de temperatura quente disponível. A União Europeia (UE) desempenha um papel centralizador na promoção e desenvolvimento da energia proveniente de fontes renováveis, contribuindo para o crescimento sustentado no sector geotérmico, tanto para o aquecimento natural, como para a produção de eletricidade. O Banco Europeu de Investimento (BEI) tem sido (e provavelmente continuará a ser) fundamental na prossecução dos objectivos da UE em termos de desenvolvimento da energia geotérmica, especialmente no financiamento para a pesquisa e desenvolvimento do EGS. O Conselho Europeu de Energia Geotérmica (EGEC) fixou metas para instalação de energia elétrica a partir da

---

<sup>107</sup> Fonte | Expansão | 25/11/2008

capacidade geotérmica total de 5.000 MW para toda a Europa até 2020, aumentando para 15.000 MW até 2030. A meta para o sector de energia geotérmica é contribuir com 5% da produção total de energia na Europa em 2030.

O continente africano, com o seu enorme potencial geotérmico, poderia assistir a um crescimento sem precedentes no desenvolvimento desta energia para a próxima década se se concretizar o apoio regional previsto para a energia geotérmica, decorrente do compromisso financeiro de ajuda ao desenvolvimento estabelecido pelos governos internacionais, com o objectivo de garantir energia viável para populações em crescimento. De facto, a energia geotérmica constitui um enorme recurso para os países africanos, sobretudo nas regiões ao longo do vale do Rift, do sistema do leste Africano, uma região vulcânica com um potencial estimado em 7.000 MW de produção de eletricidade.

Na Austrália, existem vários projetos em curso. Neste país, a aprovação de uma central geotérmica requer cerca de cinco anos e aproximadamente 30 milhões de euros de investimento, desde a proposta e o início dos processos administrativos até à fase de efectiva produção. A investigação preliminar sobre a superfície requer entre 1 milhão e 1,5 milhões, mas aumenta entre dois e três anos e oito ou nove milhões de euros de custo se for necessário levar as sondagens a elevadas profundidades.

Os Estados Unidos da América continuam a liderar o mundo na produção de energia geotérmica, com aproximadamente 3.086 MW de capacidade instalada, dividida por 77 centrais. "Houve um salto de cerca de 1.500 MW em novos projetos de energia geotérmica", observa Kara Slack, o autor deste relatório.<sup>108</sup> "O interesse no desenvolvimento da energia geotérmica continua a crescer, estando em curso vários novos projetos em desenvolvimento pela Marinha dos EUA." Este relatório indica também que o número de estados produtores de energia geotérmica aumentou 7-8 com a adição do Estado do Wyoming. "Os Projetos de energia geotérmica continuam a avançar a um ritmo crescente", segundo Karl Gawell, Diretor Executivo da GEA. O relatório identifica um total de 126 projetos em desenvolvimento, com o potencial de 15.000 MW, os quais somados a 20.000 MW de origem eólica produzem energia suficiente para cinco mil e quinhentas casas na Califórnia. De acordo com a GEA, foram identificados novos projetos de energia geotérmica no Alasca, Arizona, Califórnia, Colorado, Flórida, Havaí, Idaho, Nevada, Novo México, Oregon, Utah e Washington, e o interesse no desenvolvimento da energia geotérmica continua a crescer.

A indústria da energia geotérmica nos EUA também está a desenvolver projetos e a implementar tecnologias que tornam a produção de eletricidade a partir de sistemas geotérmicos mais eficientes. No seu recente relatório, o GEA identificou sete projetos deste

---

<sup>108</sup> Fonte-Renewable Energy World-04/03/09.

género financiados pelo governo federal, a serem desenvolvidos em cinco estados diferentes.

Os investimentos para a produção desta energia são compensadores, segundo o último relatório do banco Internacional de investimentos Credit Suisse, que refere que os custos da energia geotérmica são 3,6 centavos de dólar por kWh, contra 5,5 centavos de dólar por kilowatt-hora do carvão. Apesar de tudo, a construção das centrais geotérmicas exige elevados investimentos e no clima económico atual nem sempre é fácil obter o necessário crédito bancário, além dos juros também serem altos. O gás natural ainda é muito popular e exige menor investimento inicial, refere Kevin Kitz, um engenheiro da empresa Boise, em Idaho, EUA, que possui e opera três unidades geotérmicas.

- Situação na Indústria Americana. Crescimento e Desenvolvimento Futuro

A indústria da energia geotérmica dos EUA continuou a crescer em 2010, com um número considerável de novos projetos em desenvolvimento.<sup>109</sup> No entanto, os relatórios dos analistas afirmam que a crise económica tem retraído os investidores, atenuando assim o crescimento da indústria geotérmica. Contudo, se a economia recuperar e as políticas federais e estaduais de incentivos se mantiverem para que os investidores retomem a confiança, espera-se um aumento significativo nos próximos anos. Na sua publicação de Abril de 2010 “*US Geothermal Power Production and Development Update*” a GEA identificou 188 projetos em diferentes estágios de desenvolvimento, em quinze estados, que poderiam produzir 7.875 MW de energia elétrica. Este aumento no número de projetos em desenvolvimento representa um crescimento de 25% entre Maio de 2009 e Abril de 2010. A Energia Geotérmica Association (GEA) e o seu patrocinador Gold Level, o Islandsbanki, organizaram o Geothermal Energy Finance Forum no dia 9 de fevereiro de 2011, no Ritz-Carlton em Nova York. Este fórum reuniu a comunidade de financiamento e de investimento da cidade, em conjunto com os melhores especialistas e os principais intervenientes no desenvolvimento da energia geotérmica e das finanças, no sentido de patrocinar o investimento em energia geotérmica. A agenda do dia incluiu apresentações e discussão de painéis sobre geotermia, desenvolvimento do projeto geotérmico, financiamento e investimento, mitigação de riscos, emprego, finanças públicas e de incentivos, questões jurídicas e regulamentares, estudos de casos de promotores e financiadores com histórias de sucesso recente. Além de reunir a comunidade geotérmica com as comunidades do financiamento e investimento, este evento destacou o crescimento global da produção geotérmica e sua utilização.

---

<sup>109</sup> Segundo By Dan Jennejohn, Alison Holm and Karl Gawellem 22 de Outubro de 2010.

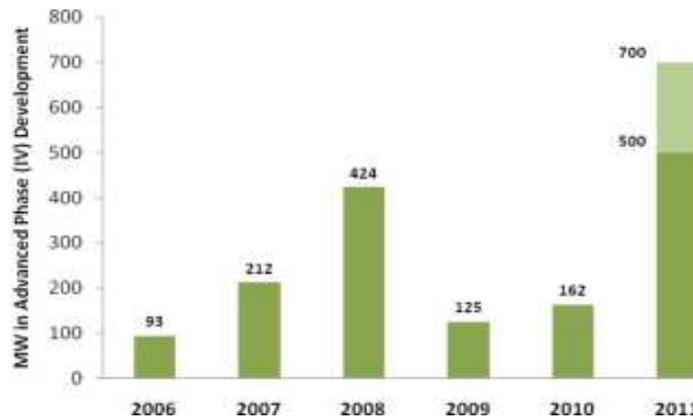


Gráfico 6 - Projetos em fase de desenvolvimento avançado entre 2006-2011

Fonte: GEA

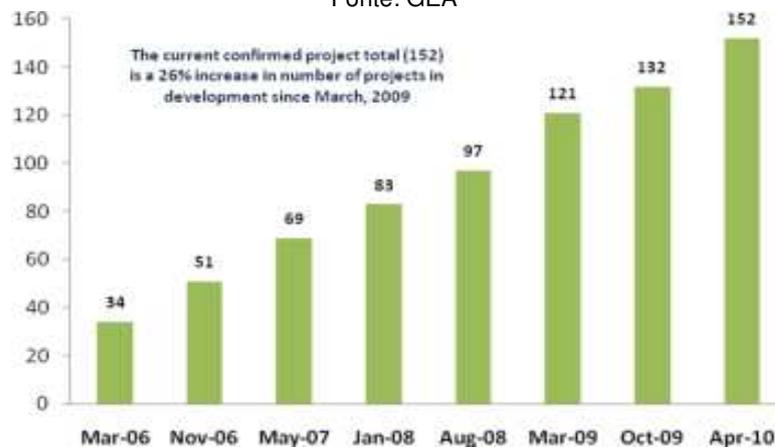


Gráfico 7 - Total de projetos confirmados entre 2006-2010

Fonte: <http://www.geo-energy.org/> acedida a 2010/5/15

A produção de eletricidade a partir de centrais geotérmicas que necessitem obter a energia geotérmica de profundidade, recorrendo a perfurações entre 3.000 e 4.000 metros, ainda é dispendiosa. A solução é muito mais simples quando se recebe o vapor de água de modo natural, injectado pela natureza (Fig. 121), para mover as turbinas que produzem a eletricidade, com a vantagem adicional de ainda se poder tirar proveito do calor residual para outros fins. Desde a primeira experiência em Larderello (Itália) no ano de 1904, de geração de energia elétrica a partir de vapor geotérmico, com um motor inventado pelo príncipe Piero Ginori,<sup>110</sup> e posteriormente com a construção da primeira central geotérmica naquele local (Fig.123), que o uso da energia geotérmica para produção de eletricidade não tem parado de crescer em todo o mundo. Só os Estados Unidos produzem 2700 MW de eletricidade a partir da energia geotérmica, o equivalente à queima de sessenta milhões de barris de petróleo por ano.



Fig. 121 - Piero Ginori e o seu invento de gerar eletricidade com vapor geotérmico.

<sup>110</sup> Fonte: Dickson fanelli geothermal energy- <http://www1.eere.energy.gov/geothermal/history.html>. 12-03-24



Fig. 122 - Central Nesjavellir, Pingvellir, Islândia

Autor da fotografia: Gretar Ívarsson;

[http://en.wikipedia.org/wiki/Renewable\\_energy\\_in\\_Iceland](http://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy_in_Iceland) acedido a 16-05-2010



Fig. 123 - Primeira central geotérmica, em Larderello

### 3.4.3 - Vantagens e desvantagens na exploração desta Energia

- Vantagens

- As centrais geotérmicas não têm de queimar combustíveis para produzir o vapor que faz mover as turbinas. A geração de eletricidade através da energia geotérmica ajuda a conservar combustíveis fósseis não renováveis. Reduzindo o uso desses combustíveis, reduzimos emissões do gás que prejudica a atmosfera.

- Não se prejudica a terra; a área de terreno necessária para centrais geotérmicas é a mais pequena por megawatts comparando com praticamente todos os outros tipo de centrais. Para além disto, são muito flexíveis, podendo ser expandidas ou subdivididas para um melhor enquadramento no edifício e conseqüentemente, um melhor aproveitamento de energia.

- As instalações geotérmicas não precisam de barrar rios ou de abater florestas, e não há cabos de minas, túneis, covas abertas, pilhas de lixo ou derramamentos de óleo.

- As centrais geotérmicas são projectadas para funcionar 24 horas por dia, durante todo o ano.

- Uma central geotérmica pode situar-se diretamente por cima da sua fonte de combustível.

- As centrais geotérmicas podem ter desenhos modulares, com unidades adicionais instaladas em incrementos quando necessário para se ajustar à crescente procura de eletricidade.

- Não se exportam as divisas do país para importar combustível para centrais geotérmicas. O “combustível” geotérmico - como o sol e o vento – está sempre onde a central está; os benefícios económicos permanecem na região e não há nenhum choque de preços de combustível.

- Ao contrário de outras energias renováveis, a geotermia não está dependente das condições atmosféricas (sol, chuva, vento), revelando-se uma fonte estável e duradoura.

Os projetos geotérmicos podem oferecer todos os benefícios acima mencionados para ajudar os países em desenvolvimento a crescer sem poluição. E as instalações em localizações remotas podem levantar o nível e qualidade de vida, trazendo eletricidade a pessoas longe dos centros demográficos "electrificados".

- Desvantagens

- De um modo geral, todos os fluxos de água geotérmicos contêm gases dissolvidos, sendo estes gases enviados à central de geração de energia juntamente com o vapor de água. De um modo ou de outro estes gases acabam por ser dissipados para a atmosfera (embora a sua descarga não tenha grande significado na escala apropriada das centrais geotérmicas).

- O odor desagradável, a natureza corrosiva, e as propriedades nocivas do ácido sulfídrico ( $H_2S$ ) são causas que preocupam. Nos casos onde a concentração de ácido sulfídrico ( $H_2S$ ) é relativamente alta, o cheiro do gás causa náuseas, e em concentrações elevadas pode causar sérios problemas de saúde.

- É igualmente importante que haja o tratamento adequado da água vinda do interior da Terra, que invariavelmente contém minérios prejudiciais à saúde. Não deve ser despejada simplesmente para os rios locais sem o devido tratamento para não prejudicar a fauna local.

- Quando uma grande quantidade de fluido aquoso é retirado da Terra, há sempre a possibilidade de ocorrer algum abatimento na superfície. O mais drástico exemplo de um problema desse tipo aconteceu numa central geotérmica em Wairakei, Nova Zelândia, em que o nível da superfície afundou 14 m entre 1950 e 1997, continuando a deformar-se a uma taxa de 0,22 m por ano, após alcançar uma taxa de 0,48 m por ano em meados dos anos 70. Este problema só pode ser atenuado com reinjeção de água no local.

- Há ainda o inconveniente de alguma poluição sonora que afetará toda a população vizinha do local aquando da instalação da central, uma vez que para a perfuração do poço será necessário usar máquinas pesadas, semelhantes às utilizadas na perfuração de poços de petróleo.

Apesar desta listagem desvantajosa, parece-nos evidente que as vantagens são francamente superiores.

## Conclusões

Obedecendo às características de energia renovável e sustentável, todas as formas de aproveitamento desta energia são de eleger como saudáveis e sustentáveis para todos os fins, e como uma boa opção com benefícios incomensuráveis particularmente em relação à sua utilização nos edifícios dos museus. Referindo-nos à geotermia de superfície, estamos perante um sistema inovador e muito recente na climatização de espaços, porque a energia geotérmica “clássica”, correspondente ao aproveitamento direto do calor da terra já se conhece e aplica há muito tempo, tendo o seu potencial energético começado a ser explorado na pré-história, continuando nos nossos dias a proporcionar formas de acrescentar mais valia a esse potencial.

Até à data são conhecidos e explorados dois tipos de energia ou de aproveitamento dessa energia, a geotermia de alta temperatura (que pode produzir eletricidade) e a de baixa temperatura (que pode produzir conforto térmico). Há países que utilizam ambos os tipos de uma forma corrente, enquanto que outros aproveitam o primeiro há muitos anos e o segundo está ainda no começo da sua exploração e utilização.

Desde o início dos tempos que o calor que brota do solo causa estranheza ao ser humano, mas como ser inteligente que é soube aproveitá-lo para vários fins, como por exemplo no tratamento da pele ou de algumas doenças do foro respiratório ou alérgico. Ainda hoje são conhecidos muitos locais, em vários países, que fazem desses tratamentos bandeiras turísticas, dando-lhes grande utilidade e rentabilidade. Também na culinária se aproveita esta energia de forma natural, como é o caso das furnas da ilha de São Miguel, nos Açores. Esta geotermia de grandes profundidades foi também utilizada desde a era antes de Cristo para o aquecimento de casas e até cidades, como se constatou em Pompeia.

Porém, com a evolução das sociedades, foram-se perfilando novas exigências que rapidamente se transformaram em necessidades, impulsionando a descoberta de novas formas de aproveitamento desta energia primária, permitindo extrair maior proveito deste calor transformado em vapor capaz de acionar ou movimentar equipamentos produtores de energia elétrica. Apareceram então as primeiras centrais de produção de eletricidade, sobretudo impulsionadas após Swan e Edison terem descoberto a iluminação, por volta do ano 1870. Posteriormente, a indústria de geração e distribuição dessa eletricidade fez com que se inventassem as centrais de produção a vapor através do uso de combustíveis fósseis (entretanto descobertos) e de outras formas de produção, sem excluir as centrais de aproveitamento do calor geotérmico de profundidade, embora estas ainda pouco relevantes por não poderem competir com os preços do carvão, petróleo ou o gás, inicialmente

abundantes e baratos. Nesta demanda, a distribuição foi feita para consumo não só da indústria e serviços como também para habitações e casas de cultura, incluindo museus.

Mas chegados ao final do século XX, com a crise mundial provocada pela inflação dos preços dos combustíveis fósseis e com a tomada de consciência sobre os efeitos negativos destes produtos para a sustentação do nosso planeta, todos os conceitos de desenvolvimento são postos em causa e viramo-nos novamente para o aproveitamento de formas de energia mais limpas, mais baratas e sustentáveis, como é o caso da energia geotérmica. Estamos assim perante uma realidade confirmada por cientistas ou especialistas de todos os países, através dos meios de divulgação disponíveis, incluindo a publicação de vários artigos científicos ou de opinião em revistas e órgãos de comunicação social, como é o caso dos extratos retirados de quatro artigos sobre Geotermia publicados em 2009 no Ashrae Journal – publicação mensal distribuída pelos mais de 50 mil membros da Associação Americana dos engenheiros de AVAC, espalhados por todo o mundo - dois dos quais referem exemplos de utilização, num complexo desportivo com um ringue de gelo no Québec e num centro de investigação de sementes alimentares no Canadá. Os outros dois artigos têm em comum o apelo à simplicidade, terminando um deles com a máxima de Einstein *“Everything should be as simple as possible, but not simpler”* (*Tudo deve ser tão simples quanto possível, mas não simplista*). No fascículo de Novembro da mesma publicação, num pequeno artigo em que Steve Kavanaugh,<sup>111</sup> Ph.D. e Fellow Ashrae<sup>112</sup> relatam várias experiências de aplicações de aproveitamento geotérmico através de bombas de calor, refere-se que Bob Lawson, um responsável pela manutenção de escolas em Austin, Texas, nos anos 80, implementou para substituição das unidades convencionais utilizadas nas salas de aulas, unidades bomba de calor água/ar, do tipo consola (com o topo inclinado para que não servisse de prateleira de livros na saída de ar), com baixas necessidades de manutenção mas com potência suficiente para vencer as cargas térmicas das salas. Cada uma destas unidades era ligada a um circuito fechado com dois ou três furos verticais efetuados junto às paredes das salas. Atualmente, em Austin e noutras cidades próximas, existem mais de 125 escolas que utilizam o princípio de simplicidade de Lawson - uma bomba de calor e um circuito geotérmico com um único circulador. Refere-se também o exemplo de Mike Green, um engenheiro mecânico do Texas, que impulsionou muitas experiências no início da instalação dos sistemas em Austin, em que a principal contribuição foi de aumentar a separação entre os furos verticais em pelo menos seis metros.

---

<sup>111</sup> Dr. Steve Kavanaugh é um membro da ASHRAE que esteve envolvido na pesquisa das bombas de calor geotérmico. É co-autor do livro ASHRAE, Ground Source Heat Pumps: Design de Sistemas Geotérmicos de Edifícios Comerciais e Industriais.

<sup>112</sup> Organização técnica Internacional para o estudo e regulação das condições térmicas e energéticas nos edifícios.

No atual processo de desenvolvimento científico-tecnológico, na busca do bem estar e sustentação saudável de todos os seres vivos (biodiversidade), estão a surgir novas tecnologias, novos equipamentos e outras exigências que por sua vez aumentam as necessidades quantitativas de produção de todo o tipo de energias, agora com preocupações acrescidas sobre a sua renovação, sustentação, e não poluição. Destaca-se neste âmbito a bomba de calor, uma máquina desenvolvida para fornecimento de calor em termos idênticos aos frigoríficos na produção de frio. É um equipamento essencial para aproveitar a energia geotérmica de superfície, com menores consumos de eletricidade, que permite a utilização na climatização de espaços interiores de forma mais saudável, mais económica e sustentável. Em Portugal é muito recente o aproveitamento desta energia<sup>113</sup>, e é ainda reduzido o número de edifícios a usar este sistema nas suas necessidades de conforto; muito menos se conhecem exemplos de edifícios destinados à cultura, nomeadamente os museus, que a aproveitem. Até à data, não se conhece em Portugal nenhum que use este sistema de climatização. Assim, por tudo quanto foi investigado e demonstrado neste trabalho, acredita-se que os edifícios dos museus deverão doravante ser construídos ou readaptados sem receio de incluir no seu programa as energias renováveis e as novas tecnologias. E através disso, devido ao seu estatuto de instituições de utilidade pública com objectivos socioculturais ao serviço do público, constituirão um exemplo de informação e formação acerca destas novas tecnologias, num alertar de consciência que a todos nos é hoje exigida, que não nos podemos alhear dos problemas que afetam o mundo em que vivemos, com particulares repercussões nas gerações que nos irão suceder.

---

<sup>113</sup> Ver legislação aplicável referida nos anexos.

## **CAPÍTULO 4**

# **Edifícios Inteligentes**

## **CAPÍTULO 4 - Edifícios Inteligentes**

No presente capítulo procura-se demonstrar e exemplificar o que são edifícios inteligentes,<sup>114</sup> particularmente os edifícios destinados aos museus, no âmbito da aplicação dos sistemas de automação e controlo. Estes sistemas, baseados em tecnologias de informação e comunicação, permitem executar desde o simples movimento de abrir e fechar portas, até ao controlo, programação e gestão completa dos sistemas elétricos e eletrónicos do edifício (gestão energética, controlo, conforto e segurança), de forma automática, através de acionamento local ou por controle remoto. Pelas suas aplicações, estes equipamentos, designados no seu todo por “domótica” - que mais à frente descreveremos – ganharam a denominação de sistemas inteligentes, tendo passado por analogia essa designação também para os edifício onde estão instalados.

### **4.1 - Definição de edifícios inteligentes**

Um edifício inteligente é um imóvel residencial ou de serviços que utiliza materiais, processos construtivos e soluções integradas baseadas nas tecnologias da informação, numa estrutura tecnológica avançada que permite a quem o usa ou visita usufruir de uma vasta gama de aplicações e serviços de utilização cómoda, segura, fiável, agradável e confortável, energética e ecologicamente sustentáveis. De acordo com Arkin & Paciuk, em 1995,<sup>115</sup> o termo “edifício inteligente” começou a ser usado há algumas décadas atrás, provavelmente associado a conceitos de alta qualidade que garantissem o retorno rápido de capitais investidos. Apareceu nos EUA, por volta da década de 80, o conceito de “smart building”, definindo edifício inteligente como sendo aquele que utiliza a tecnologia para diminuir os custos operacionais, eliminar os desperdícios e integrar uma infra-estrutura adequada para aumentar a produtividade, comodidade, sustentabilidade e segurança dos seus utilizadores.

Anos mais tarde, o mercado da Construção Civil acabou por associar o termo “edifício inteligente” a duas designações “oficiais”: a primeira designação foi estabelecida pelo Intelligent Buildings Institute (IBI), referindo que um prédio inteligente é aquele que fornece um ambiente produtivo e de custo viável através da optimização dos seus quatro elementos básicos – estruturas, sistemas, serviços e gestão – além de garantir a inter-relação entre eles, característica fundamental que todo o prédio inteligente deve ter em

---

<sup>114</sup> Renato Nunes: (1995) “Integração de serviços para Edifícios Inteligentes”. Tese de Doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, IST.

<sup>115</sup> Fonte: Tese de mestrado em Eng<sup>a</sup> Electrica de Everton Lopes da Silva, Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia

comum. A segunda definição foi dada pelo European Intelligent Building Group (EIBG), indicando que um prédio inteligente é aquele que cria um ambiente que permite às empresas atingirem os seus objetivos de negócios e maximizar a produtividade de seus utilizadores, ao mesmo tempo que permite uma gestão eficiente dos recursos com obtenção de receitas, num prazo mínimo para cobrir com margem os respectivos custos.

A primeira definição corresponde basicamente à visão da filosofia norte-americana para prédios inteligentes, relacionando a construção deste tipo de edifícios com aspectos económicos e de organização. Nesta mesma linha filosófica estão os japoneses, que na verdade buscam informatizar tudo aquilo que seja possível para daí obterem maior rentabilidade. Já o pensamento europeu para este tema está ligado não só a objetivos económicos e técnicos mas também à saúde e bem-estar dos seus utilizadores, além de se preocupar também com o valor ecológico destas aplicações tecnológicas.

A aplicação prática desta “inteligência” nos edifícios faz-se através da instalação de uma rede tecnológica a que se passou a chamar Domótica, cujo know-how é partilhado pelas empresas ligadas à eletrónica, informática e comunicação (vídeo, TV ou rádio), incluindo as de produção de eletrodomésticos, tais como a Microsoft, Cisco, Nokia, Ericsson, Sun, Compaq, Miele, Ariston, Zanussi, Fagor, Siemens, Electrolux, Sony, Philips, Panasonic, Fujitsu, entre muitas outras. A evolução do mercado da domótica é muito veloz, chegando ao consumidor todos os meses produtos novos, cada vez mais interativos e a preços mais concorrenciais. Esta dinâmica indica que a domótica se está a implantar a grande velocidade, como também se comprova pela observação da quantidade de edifícios que já a utilizam em todo o mundo.

A figura 124 apresenta o exemplo da casa inteligente que esteve representada na feira “Concreta 2002”, no Porto.<sup>116</sup> Este edifício inteligente propôs-se integrar todos os sistemas técnicos da comunicação e informação através da computação e gestão programada dos subsistemas de aquecimento, ventilação, ar condicionado e todos os vetores energéticos.

---

<sup>116</sup> Autoria de António Manuel Luzano de Quadros Flores.



Fig. 124 - Edifício inteligente apresentado na feira Concreta no Porto, em 2002.  
Fonte: <http://www.engenhariacivil.com/edificios-inteligentes> acedido a 12-05-2010

Também este edifício em Pamplona (Fig.125) é designado como inteligente, por integrar todos os sistemas associados à domótica, incluindo ainda algumas tecnologias relacionadas com as energias renováveis.



Fig. 125 - Edifício "Inteligente" construído em Pamplona  
Fonte: [http://www.flickr.com/photos/fran\\_hi/2487122643/](http://www.flickr.com/photos/fran_hi/2487122643/) acedido a 12-05-2010

A imagem seguinte (Fig. 126) apresenta o Centro de Ciência da Computação Thomas M. Siebel, na Universidade de Illinois, Estados Unidos da América, considerado um dos primeiros edifícios inteligentes do mundo, graças, principalmente, ao seu sistema de automação e à interação entre os cerca de 1.600 estudantes e a tecnologia aplicada à arquitetura.



Fig. 126 - Centro de ciência da computação Thomas M. Siebel  
Foto: Divulgação/Nic Lehoux.

#### 4.1.1 - Edifícios inteligentes destinados aos museus

Da mesma forma que se começou a designar um edifício de habitação ou de escritórios como edifício inteligente, por incorporar o sistema eletrónico associado às tecnologias de informação de gestão e controlo centralizado a que chamamos domótica, também podemos designar como “museus inteligentes” os edifícios dos museus que incorporem estas tecnologias.

A domótica consiste no uso simultâneo da eletricidade, eletrónica e informática, tendo em vista a gestão do ponto de vista funcional dos edifícios durante o seu tempo de vida. Quando estes conceitos são aplicados ao mundo dos escritórios, indústria ou serviços, pode empregar-se o termo “inmótica” em vez de domótica - como já é adoptado em alguns países nomeadamente em Espanha. O termo domótica junta as palavras “domus” (“casa” em latim) e “robótica”; inmótica junta as palavras “in” (indústria) e “robótica”.

Para além da origem latina atrás referida, a palavra domótica é uma transposição do francês “domotique”, que podemos identificar com “casa” (domus) “automática” (imotique). O dicionário Larousse definia em 1988 o termo domótica como “o conceito de casa que integra todos os automatismos em matéria de segurança, gestão de energia, conforto e comunicações.”

No caso dos museus ou centros de cultura, como pode ser considerada qualquer uma das três situações – casa, serviços e indústria - ou as três em conjunto, vamos simplificar a designação, mantendo o termo inicial de domótica. A domótica aplicada aos

museus é entendida como a integração dos sistemas elétricos e eletrónicos através das tecnologias da programação e informação no ambiente museal.

A designação “automação”, referida à utilização de equipamentos e sistemas automáticos na fabricação de produtos que exigem pouca ou nenhuma intervenção humana na sua operação terá sido utilizado pela primeira vez em 1887, quando o construtor William Penn Powers criou um dispositivo para controlar a temperatura do ambiente regulando o fornecimento de energia para os aquecedores. Este homem foi melhorando o sistema e em 1891 fundou em Chicago a *Power Regulator Company*, que se tornaria na empresa mundialmente famosa *Siemens Building Technology*.

Nas primeiras décadas do século XX foram projectados edifícios como o *Empire State Building* com o intuito de aplicar as melhores e mais desenvolvidas tecnologias da época. Apenas 50 anos depois, um grupo de engenheiros produziu o primeiro dispositivo prático para controlar vários edifícios, chamado *System 320*. Esse dispositivo já usava o *LCD* (tela de cristal liquido), através do qual todos recebiam informações em tempo real. Em 1966, o engenheiro colaborador da *Westinghouse Corporation*, Jim Sutherland, criou o primeiro dispositivo dedicado à automação doméstica, o *Electronic Computing Home Operator* ou *ECHO IV*.

Em 1970, um grupo de engenheiros escoceses criou a empresa *Pico Electronics*, que daria origem mais tarde ao protocolo X10, um dos padrões mais usados na domótica atual para enviar sinais pela rede elétrica, assim como o CEBus, que é utilizado quando também se pretende enviar dados. A principal diferença está na sua velocidade, pois enquanto o X10 apenas envia 60 bits por segundo o CEBus pode enviar 10.000 bits por segundo. Em França e restante continente europeu foi na 2ª metade da década de 80 do século passado que esta tecnologia mais se implantou, em parte pela aplicação de sistemas com origem nos Estados Unidos da América, ou por eles impulsionados, como o X-10, o ISIS, o ATETRIX, o DIACE o DOMISSIMO o CEBus o EIB o EHS o LonWorks o KNX entre outros. Destes sistemas, os que demonstram uma maior penetração no mercado habitacional e que de alguma forma competem entre si são o CEBus, o EIB, o LonWorks e o X-10.

O sistema X-10 é o protocolo mais antigo usados nas aplicações domésticas. Foi desenvolvido entre 1976 e 1978 com o objectivo de transmitir dados por linhas de baixa tensão (110V nos EUA e 230V na Europa); é um sistema pouco fiável pois é facilmente afetado pelo ruído elétrico.

O sistema CEBus é uma norma Americana produzida pela EIA (*Electronics Industries Association*). O comité CEBus foi criado em 1984 com o objectivo de normalizar os sinais de infravermelhos utilizados pelos comandos remotos dos aparelhos domésticos.

O Sistema EIB é uma marca registada da EIBA (*European Installation Bus Association*) e apareceu como solução para a integração dos vários sistemas existentes num edifício inteligente, congregando a gestão de iluminação, controlo de persianas e sistemas AVAC (Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado) num único sistema global. O EIB assume-se como a solução Europeia para o mesmo problema que o CEBus tenta resolver nos Estados Unidos, e foi desenvolvido para concorrer com os sistemas de domótica oriundos do Japão e EUA.

O sistema EHS (*European Home System*) foi desenvolvido pela indústria europeia de microprocessadores, com o devido suporte da Comissão Europeia, criando uma tecnologia económica que iria permitir a implantação da domótica no mercado residencial. O EHS vem assim a cobrir, com funções e objetivos, o mercado que tem o CEBus nos Estados Unidos da América e o HBS no Japão.

O sistema LonWorks surgiu em 1980, desenvolvido pela *Echelon Corporation*, tendo como principal objetivo o desenvolvimento de uma plataforma universal ao nível das redes de controlo. O LonWorks é atualmente a norma ANSI/EIA 709.1 *Control Networking Standard* e permite um processamento distribuído, realizado por dispositivos inteligentes com capacidade de comunicação e de processamento. É utilizado em diversas áreas, nomeadamente em automatização fabril, controlo de processos, automatização de edifícios, automatização doméstica, equipamento automóvel e sistemas de transportes. Implementa uma rede de dispositivos com a capacidade de comunicação entre eles, não necessitando de um dispositivo supervisor para efetuar essa mesma comunicação. Cada dispositivo tem a capacidade de tomar decisões e decidir o envio de informação para a rede.

O sistema KNX agrupa as três associações europeias (EIBA, BCI e EHSA) com o objetivo de concentrar toda a experiência e conhecimento dos principais standards europeus num único standard comum, aberto aos vários dispositivos, capaz de competir com os sistemas americanos LonWorks e CEBus. Pode ser utilizado para todas as aplicações de domótica, adequando-se à utilização em diferentes tipos de edifícios e suportando diferentes modos de configuração.

A tecnologia KNX foi aprovada pela ISO/IEC como norma internacional ISO/IEC 14543-3 em 2006, e a ANSI/ASHRAE como norma dos EUA ANSI/ASHRAE 135 em 2005. O impulso dado a estes sistemas deu-se pela existência de um sistema telemático como o Minitel em praticamente todas as casas (fossem edifícios de habitação ou de serviços, como é o caso dos museus), demonstrando o contributo que as telecomunicações vieram trazer às áreas da eletrotecnia, permitindo a sua integração na envolvente arquitetónica com respeito pelo meio ambiente e pela total satisfação em termos de conforto, segurança,

comunicações e poupança de energia, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da sociedade.

Quando a domótica surgiu em Portugal, a partir da aplicação em alguns edifícios nos anos 80, o objectivo foi controlar a iluminação, as condições térmicas e a segurança, interligando estes três elementos num conceito de gestão técnica centralizada. Porém, já desde os anos 60 começaram a ser ensaiados equipamentos localizados em diversos pontos do edifício,<sup>117</sup> com pequenos automatismos (termostatos e ralés)<sup>118</sup> que mais tarde deram lugar aos eletrónicos.

Com a permanente monitorização das condições ambientais e das condições de utilização dos espaços interiores e exteriores dos edifícios, utilizando sistemas de controlo informatizados, permite-se a tomada de uma série de decisões, das quais poderão resultar poupanças energéticas significativas. Agora, todos os sistemas ou equipamentos instalados podem ser geridos ou programados desta maneira centralizada, tanto localmente como de forma remota (utilizando a Internet), com mais garantias de eficiência, comodidade e estabilidade. Falamos dos seguintes sistemas de dados ou equipamentos:

- Energia eléctrica, iluminação e tomadas
- Redes de comunicação e telefones
- Videoprojetores e equipamento multimédia
- Sistemas de computação
- Sistemas de conforto térmico e ambiental
- Regulação das condições de salubridade
- Níveis de oxigenação
- Grau de humidade ou medição da saturação do ar
- Medição dos níveis de monóxido ou dióxido de carbono
- Temporização de sistemas de desparasitação
- Sistemas de prevenção, segurança, sinalização e vigilância
- Inventariação e gestão patrimonial
- Manutenção do edifício
- Acionamento de meios primários de combate
- Alarmes de intrusão ou temperatura e fuga de gás
- Avisos de manutenção, interruptores de pressão diferencial
- Avisos de alerta sobre avarias nos diversos equipamentos
- Movimentação de portas, janelas, estores, gelosias, clarabóias, etc.

---

<sup>117</sup> Segundo: Nunes Renato edifícios inteligentes e domótica IST

<sup>118</sup> Termóstatos para controlo nas caldeiras e sistemas de refrigeração e aquecimento. Ralés temporizadores da iluminação e da automação de elevadores.

- Equipamentos de ascensão e escadas, rampas, ou passadeiras
- Consumos, energéticos, hídricos, e de gás
- Temporização de equipamentos eletrodomésticos
- Regulação acústica ou sonorização musical
- Aquecimento/refrigeração de águas, ou outros líquidos
- Temporização e controlo dos sistemas de rega dos espaços exteriores

#### 4.2 - Tipo de equipamentos e dispositivos

De acordo com a sua operacionalidade, podemos simplificarmente dizer que um sistema de Domótica atua com três grandes tipos de equipamentos essenciais - os sensores, os atuadores e os controladores - em três configurações típicas de instalação: configuração linear, em estrela ou em árvore (Figs. 127, 128 e 129).



Fig.127-Configuração em árvore



Fig. 128 - Configuração linear



Fig.129-Configuração em estrela

Fonte: Manual ilustrado para instalação Domótica (Gewiss Ibérica S.A.).

Os sensores são os elementos encarregados de captar diferentes parâmetros físicos tais como a temperatura ou o som, por exemplo, e transformá-los num sinal elétrico que o sistema domótico possa entender. Estes sensores capturam valores e informações do local tais como presença de pessoas, temperatura, falta de energia, fugas de água ou gás, incêndio, intensidade da luz, contraste de luz, uniformidade, luminosidade, tempo, vento, humidade, etc. Estes parâmetros físicos estão vinculados diretamente com o acontecimento que se deseja detetar (por exemplo, o aumento brusco da temperatura pode estar associado ao início de um incêndio); deste modo podemos detetar um determinado incidente sempre que exista um parâmetro físico que possamos medir e que esteja diretamente associado ao dito incidente. Os sensores têm de ser distribuídos e instalados nos pontos adequados para cumprir corretamente com a sua funcionalidade, e requerem naturalmente verificação ou manutenção periódica.

Nos edifícios dos museus são particularmente úteis os sensores de ocupação, para ativar em tempo real e de forma proporcional as necessidades de condicionamento térmico, iluminação e ventilação (entre outras) à quantidade de visitantes existente. No caso do

sensor de temperatura, por exemplo, este fornece constantemente o feedback da zona onde está instalado para o controlador, para que possa acionar o aquecimento ou arrefecimento, conforme for necessário. A proteção controlada da luz do sol também é essencial para prevenir o excesso de transmissão solar no Verão. Contudo, deverá ser capaz de permitir a transmissão da luz solar para minimizar o uso de luz artificial sob condições de céu nublado. Assim, através da quantidade de radiação solar, presença dos ocupantes e temperatura da sala detetada pelos sensores poderão ser acionados os sistemas de controlo térmico e lumínico tais como cortinas, toldos, gelosias e persianas.

Os atuadores atuam no controlo de elementos tais como eletroválvulas (água e gás), motores de estores, toldos, portões, iluminação, ar condicionado ou sirenes de alarme. Em museus distribuídos por vários edifícios, falhas de energia momentâneas podem provocar centenas ou milhares de alarmes dos equipamentos que tenham sido desligados. Os atuadores podem ainda fazer outras tarefas, como por exemplo:

- Relatórios detalhados da temporização e consumo de energia.
- Horários de funcionamento escalonados dos equipamentos.
- Diagnóstico de problemas no sistema elétrico.
- Controlo automático de todos os ocupantes e gestão do edifício.
- Controlar a iluminação, ventilação, etc., por zonas predefinidas do edifício, minimizando os custos de consumo, onde as taxas de utilização de energia são baseadas em picos de procura a preços diferenciados, em tempo real.

Os controladores gerem a instalação, recebendo a informação dos sensores e transmitindo-a aos atuadores. Os controladores são essencialmente computadores de pequeno porte, com recursos de entrada e saída, o que significa ter o hardware e o software dos computadores distribuídos como uma rede de microprocessadores baseados em módulos de controlo e computadores pessoais (PCs). Por exemplo, o SCGE (*Spatial computable general equilibrium*) pode ser utilizado para monitorizar e controlar várias operações, de modo a alcançar uma óptima eficiência de vários componentes e sistemas. Também podemos programar o controlador para automaticamente estabelecer as condições que se pretendem durante as vinte e quatro horas do dia (incluindo feriados e fins de semana), optimizando os recursos e introduzindo fatores mais criteriosos. Este sistema é muito adequado para edifícios destinados a museus, que possuem variadíssimas zonas a controlar em diferentes condições e horários de operação.

A variedade de tamanhos e capacidades dos controladores existentes permite controlar todos os dispositivos e sub-redes habitualmente instalados, com entradas através das leituras de temperatura, humidade, pressão, corrente ou fluxo de ar (entre outros

fatores), e em simultâneo enviar sinais de comando e controle dos dispositivos “escravos” para outras partes do sistema, num processo de entradas e saídas (inputs e outputs).

Os controladores utilizados para automação de edifícios podem ser agrupados em três categorias: controladores lógicos programáveis (PLCs), controladores de rede e controladores de terminal unitários. A sua escolha deverá ter em conta critérios funcionais, considerando as diferentes características de cada um (por exemplo, os controladores de unidade terminal são geralmente adequados para o controle de iluminação ou painéis solares instalados na cobertura, bombas de calor, caixa VAV ou fan-coil). O instalador deverá selecionar um dos pré-programados disponíveis, de acordo com o dispositivo a ser controlado.

Temos ainda que considerar os equipamentos acessórios ou periféricos fundamentais como:

- Interfaces do utilizador: facilitam a troca de informação entre o utilizador e o sistema (teclados, painéis alfanuméricos ou táteis, TV, PC, PDA, webpad, telefone, telemóvel, radiofrequência ou internet).
- Dispositivos Específicos: elementos necessários ao funcionamento do sistema, tais como modems ou routers, que permitem o envio de informação entre os diversos meios de transmissão por onde viaja a mensagem.

Como se vê, a domótica utiliza vários elementos, compatibilizando as vantagens dos meios eletrónicos e dos meios informáticos, por forma a obter uma utilização e uma gestão integrada dos diversos locais e equipamentos do edifício. A domótica veio tornar a vida mais confortável, mais segura (e até mais divertida). O manuseamento do sistema poderá fazer-se de acordo com as suas reais capacidades, podendo optar-se por um manuseamento mais ou menos automático. Por outro lado, existe a distinção entre sistemas ativos ou passivos. Os sistemas ativos são aqueles que reagem automaticamente, recebendo ordens internas previamente programadas, funcionando como um “sistema centralizado”. Nos sistemas passivos o elemento só reage quando lhe é transmitida uma ordem, dada diretamente pelo utilizador ou por um comando externo que poderá ser uma ordem ou um conjunto de ordens. Os sistemas mais avançados, com mais inteligência, não só interpretam parâmetros como reagem às circunstâncias da informação que é transmitida pelos sensores. Por exemplo, ao detetarem que uma janela está aberta fecham-na e avisam o utilizador, ou se detetam que a temperatura está a diminuir ligam automaticamente o aquecimento.

No início desta tecnologia, a única maneira de construir uma instalação domótica era através do uso de sensores e atuadores unidos por uma arquitetura centralizada a um autómato ou controlador, que continha toda a capacidade de processamento que se exigia

ao edifício. Tratava-se quase sempre de sistemas unitários, muito pouco flexíveis e muito difíceis e dispendiosos para qualquer aumento de capacidade. Com a evolução galopante entretanto ocorrida, já alguns fabricantes de materiais de construção estão a experimentar a incorporação de circuitos integrados diretamente nos seus materiais, de forma discreta<sup>119</sup>, de que é exemplo o “tijolo inteligente”<sup>120</sup> criado na Universidade de Illinois. Este tijolo – um material básico de construção civil – distingue-se simplesmente por incorporar sensores com processamento de sinais em tecnologia de rede sem fios. O resultado é uma unidade sensorial num pacote compacto, capaz de monitorizar as condições de um edifício e enviar os resultados para um operador remoto (LNEC, março de 2005); disfarçado como um simples tijolo comum utilizado na construção de qualquer edifício, é capaz de monitorizar temperatura, vibração e/ou movimento<sup>121</sup>.

Desde há alguns anos, graças à drástica redução dos preços no hardware eletrónico, já é possível construir sensores e atuadores com inteligência suficiente para implementar "uma rede local" pelo sistema de controlo descentralizado, apoiando-se em tecnologias ou padrões como o X-10, EIB, Lonworks, CEBus, Echelon, EHS e KNX entre outros. Com esta possibilidade, a domótica ganhou em facilidade de uso e de instalação, flexibilidade, modularidade e possibilidades de interligação, tendo sido reduzido o seu custo e aumentada a gama de produtos, fabricantes e instaladores que trabalham no ramo. Nas arquiteturas descentralizadas, as redes de controlo podem trocar entre si telegramas através de cabos de pares entrançados com correntes portadoras sobre a mesma rede de baixa tensão (*powerline communication*), via rádio, fibras ópticas, cabos coaxiais, etc. As duas primeiras são as mais frequentemente utilizadas, sendo as restantes usadas nas situações em que alguma das suas prestações é imprescindível devido aos requisitos da instalação.

---

<sup>119</sup> Duarte, José Pinto - A Casa do Futuro. In Brito, J.M.; Heitor, M.; Rollo, M.F. – A Engenharia em Portugal no século XX. Forthcoming 2003. P.

<sup>120</sup> Tijolos inteligentes para monitoramento de edifícios. Inovação tecnológica – Notícias. 28.01.2004, Disponível em URL <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/010110040128.html> (acedido em 10.03.2010).

<sup>121</sup> Extraído de um artigo de Sara Eloy e Isabel Plácido (Novas tecnologias da informação e comunicação na habitação) LNEC Março de 2005.

### 4.3 - Instalação e gestão da domótica nos edifícios dos museus

Num museu é fundamental a instalação do sistema integrado de domótica. Antes porém de seleccionar o tipo de sistema e a sua abrangência, é necessário definir os parâmetros de conservação adequados para cada objecto, de acordo com as suas necessidades específicas, metodologia e etapas lógicas dentro do processo museal, de acordo com os seguintes passos:

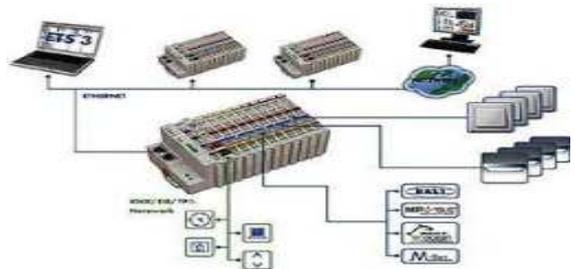


Fig. 130 - Equipamentos e sistemas de domótica.  
Fonte: <http://www.mkti.pt/domtica-c-21.html> acedido em 2012-01-21

1. Análise de todas as atividades que ocorrem no museu e agrupamento de espaços com as mesmas exigências ambientais.
2. Seleção de valores de conforto humano (programa de desempenho do conforto dos ocupantes para cada grupo de espaços).
3. Classificação por exigências de conservação das peças do museu.
4. Seleção dos valores para o programa de desempenho dos equipamentos.
5. Seleção dos melhores valores de microclima para conservação preventiva e avaliação da escala de compatibilidade.
6. Comparação entre os valores de microclima para a conservação preventiva e conforto dos ocupantes nas áreas de exposição.
7. Comparação entre valores de conservação e avaliação da compatibilidade com resultados monitorizados.
8. Definição e adaptação e/ ou prioridades de conceção e possíveis cenários de design.

A domótica recorre a uma variedade de dispositivos que podem ser distribuídos por todo o edifício em função dos resultados desta programação e respetivas necessidades. Basicamente, estes dispositivos dividem-se (como já foi dito) em sensores, atuadores e controladores, e a sua gestão deve basear-se numa óptica empresarial, recorrendo aos meios de computação disponíveis e de maior eficiência. Como vimos, o principal objectivo dos sensores é fornecer ao sistema de controlo os dados em tempo real; não apenas os dados da intensidade da luz, contraste ou brilho, mas também de todos os outros fatores ambientais, tais como temperatura, humidade, qualidade do ar e níveis de acústica. Assim, o sistema de controlo será então capaz de comparar estes dados com padrões de conforto e instruir os atuadores a ordenar as correções necessárias aos vários dispositivos associados a cada um dos parâmetros em questão. Esta gestão automatizada é importante para todos

os edifícios, mas ainda mais importante para os destinados aos museus, dadas as suas específicas necessidades ou exigências.

#### 4.4 - Capacidade dos sistemas de domótica

A domótica é um sistema de equipamento insuperável para cumprir um conjunto de funções que no passado se consideravam de realização utópica. A conjugação das tecnologias de informação com sistemas de gestão, de controlo e redes de comunicação permitem obter de forma sustentável bons resultados, a todos os níveis incluindo os económicos. E o melhor de tudo é que para alcançar esses resultados, basta simplesmente vontade e capacidade de investimento, dispondo para isso de algum capital ou crédito. Atualmente, o sistema domótica já está suficientemente desenvolvido e acessível a preços suportáveis, mantendo portas abertas à constante necessidade de atualização (dada a permanente evolução na inovação) em todas as áreas em que se move,<sup>122</sup> nomeadamente nas que se apresentam de forma abrangente na Fig. 131.

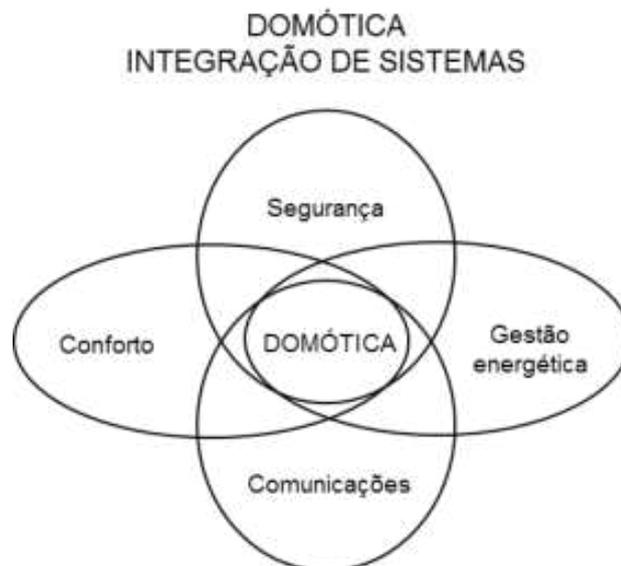


Fig. 131 - Abrangência da domótica

Fonte: <http://www.domoticaviva.com/noticias/020070902/inmotica1.htm> acedida a 4/3/2010. Adaptação própria

- Segurança
- Apoio à portaria
- Incêndio, fugas de gás, inundações, intrusão, simulação de ocupação
- Controlo de acessos
- Controlo de estacionamento de veículos
- Detecção de situações de emergência
- Detecção de avarias nos elevadores e/ou escadas rolantes

<sup>122</sup> Fonte: [http://www.cristianocarvalho.net/Introducao\\_a\\_Domotica.html](http://www.cristianocarvalho.net/Introducao_a_Domotica.html). Acedida a 04/03/2010.

- Gestão energética
  - Gestão de cablagem e corrente elétrica
  - Gestão pró-ativa da manutenção
  - Optimização do factor energético
  - Gestão e administração de sistema
  - Optimização dos valores de oxigénio, anidrido carbónico e outros gases em função das propriedades dos artigos expostos e em reserva
  - Diagnóstico de falhas e manutenção de sistema
  
- Comunicações
  - Capacidades de comunicação (in/out)
  - Comunicações e distribuição de audio e video
  - Gestão remota da climatização e iluminação
  
- Conforto
  - Controlo da temperatura ambiente, humidade, qualidade do ar, luz, ventilação
  - Facilidade de utilização, flexibilidade e adaptabilidade
  - Fatores ecológicos e ambientalmente saudáveis
  - Gestão remota da climatização e iluminação
  - Controlo de bioconforto

#### 4.4.1 - Atuação dos sistemas de segurança na sinalização e prevenção

A domótica pode atuar a diversos níveis de prevenção: o sistema, auxiliado por sensores, permite detetar fugas de gás, inundações e incêndios em fase inicial, cortando imediatamente as entradas e avisando os responsáveis, os profissionais da manutenção ou bombeiros do sucedido, de forma a serem tomadas as devidas providências. A segurança ao nível de deteção de intrusos também é relevante, e possível de ser levada a cabo pelo sistema. Através de completos sistemas de segurança (mas de instalação simples) poderá detetar-se preventivamente quem se encontra nas imediações do edifício com intenções duvidosas, e poderão criar-se programas que desincentivem possíveis intrusos; em casos de intrusão, existem também mecanismos que alertam os responsáveis, ou a quem estes delegarem, acerca do que se está a passar na sua zona interventiva. Ainda se podem comandar todos os estores, portões e portas elétricas para acionarem o modo "fechado" em períodos pré-programados, para que de forma prática e fácil se possa aumentar a segurança durante a noite, ou sempre que o edifício esteja desocupado. Outra hipótese a implementar pode passar pela programação dos movimentos de ascensores, escadas,

rampas e passadeiras rolantes de um edifício de acordo com o volume de tráfego, e também os equipamentos eletrodomésticos ou de alguns serviços internos, fazendo com que liguem a horas determinadas para antecipar ou retardar o começo do seu funcionamento e desligando sempre que se justifique. Todas estas ações podem ainda estar interligadas a outros sistemas; por exemplo, ao ativar o modo noite, para além de fechar todas as portas e estores, poderá ativar o alarme contra intrusão e desligar todas as fichas não prioritárias, poupando energia e aumentando a segurança.

Para se poder transferir todo o controlo para os componentes que fazem parte da gestão técnica do imóvel, é necessário um sistema que resolva os problemas de equipamentos isolados, garantido que todos os equipamentos comuniquem através da mesma linguagem, como por exemplo o sistema de deteção de situações de emergência, que tem a seu cargo tarefas de deteção e combate de situações de emergência tais como incêndio, fugas de gases tóxicos, inundações e tudo o que se relaciona com os itens seguintes:

- Integração com câmaras de videovigilância
- Deteção de intrusão e sabotagem
- Deteção de fuga de água ou de fluido refrigerante
- Deteção de fuga de gás
- Monóxido de carbono e dióxido de carbono para além do permitido
- Deteção de incêndio
- Chaves e níveis de acesso configuráveis
- Simulação de presença
- Chaves de acesso por proximidade
- Sistemas de rastreamento
- Alarme médico
- Alarme de pânico/emergência
- Corte automático de fornecimento de água
- Corte automático de fornecimento de gás
- Interruptores de pressão diferencial
- Sinalização acústica ou luminosa de alarme sobre avarias
- Deteção de falta de energia elétrica

#### 4.4.2 - Atuação dos sistemas de gestão e controlo energético

- Controlo da iluminação e tomadas

A iluminação pode afetar muitos Objetos expostos à intensidade da luz e radiação ultravioleta, em função da sua sensibilidade:

- Objetos muito sensíveis (têxteis, aquarelas, guaches, obras de papel, pergaminho, fotografias a cores, couro pintado, grande parte dos Objetos etnográficos e de história natural): Lux(Lm/m<sup>2</sup>) <50 Ultravioletas (μ W/Lm) <30 com exposição diária máxima de 7 horas.
- Objetos sensíveis (pinturas a óleo e tempera, couro não pintado, laca, mobiliário, osso, marfim, corno, fotografia a preto e branco): Lux(Lm/m<sup>2</sup>) <200 Ultravioletas (μ W/Lm) <75 com exposição diária máxima de 7 horas.
- Objetos pouco sensíveis (metais, pedra, cerâmica e vidro): Lux(Lm/m<sup>2</sup>)<300 Ultravioletas(μ W/Lm) <75 com exposição diária máxima de 7 horas.

Em função destes dados, observa-se como é importante controlar a iluminação geral e a iluminação dirigida aos objetos, para não causar estragos nas obras e objetos expostos. Estes sistemas de controlo podem induzir a um significativo aumento de custos iniciais e de manutenção, mas a sua presença confere alguma tranquilidade aos responsáveis dos museus, com a garantia da conservação de todo o seu valioso acervo.

As tecnologias e sistemas utilizados para controlar a iluminação e tomadas são também importantes para o processo da estrutura laboral e operação dos edifícios do museu, no que diz respeito às poupanças de energia elétrica. Assim, o uso de controlos automáticos de iluminação tais como temporizadores, sensores ocupacionais com fotosensores ajudam a poupar energia e reduzir a deterioração causada pela iluminação desnecessária nas exposições. Os sistemas existentes não avançaram muito além do conceito de iluminação suplementar, isto é, medição de níveis de luz natural e complemento com luz artificial. Um sistema baseado neste conceito torna possível manter uma intensidade luminosa na sala a um nível desejável consoante a variação da luz natural e o coeficiente de uniformização a um valor pré-seleccionado, ou por exemplo, focar uma cena onde as luzes deverão ter 100% de intensidade por oposição às restantes luzes da mesma sala, com apenas 10% de intensidade, ou incluindo ainda luzes que incidam sobre os quadros e esculturas a 80% de intensidade. Um sistema baseado neste conceito deve ficar incorporado no conjunto da rede domótica e associar alguns periféricos nomeadamente:

- Unidades de controlo de iluminação contínua
- Painéis computadorizados para interruptores on/off de um largo número de unidades
- Central de computadores para gerir um grande número de sub-painéis computadorizados

- Sistemas de interruptores controlados com temporizadores
- Sensores de iluminação, fotosensores e sensores de ocupação
- Câmaras termográficas de controlo energético

Grande parte da poupança de energia produzida por um sistema de automatização de um edifício é conseguida com a redução dos horários das operações de cargas elétricas, como por exemplo, pela programação que garanta que apenas os espaços ocupados sejam iluminados. No caso de um museu, podem ser programados diferentes horários para circuitos individuais ou grupos de circuitos (zonas), sendo que cada zona diferente pode também ter um horário único para dias da semana, fins-de-semana, ou eventos especiais. Alguns sistemas podem ajustar automaticamente o horário de iluminação de uma zona às variações de estação, à disponibilidade de horário ou em função da exposição presente em dado momento. Um sistema automatizado de iluminação num museu pode ajustar dinamicamente os horários e intensidades baseando-se nos fluxos e padrões de ocupação.

Em relação às tomadas de corrente elétrica, estas podem ser concebidas para possibilitar o funcionamento automatizado de projetores, candeeiros, ou equipamentos específicos. No caso de exposições temporárias, por exemplo, pode ser útil ligar um ponto de luz numa tomada próxima da posição de um determinado objecto que se pretenda realçar com determinado foco luminoso, de modo a garantir que esse ponto de luz seja controlado através de um telecomando ou por um controlo à distância. Nas salas podem ser criados diferentes tipos de iluminação ligando os candeeiros a estas tomadas.

A gestão dos edifícios na óptica da sua manutenção, utilização, comunicação e sustentabilidade, passa ainda por um conjunto de tarefas e ações que a rede domótica pode e deve programar e controlar, nomeadamente:

- Manutenção do edifício

Este serviço tem a seu cargo a supervisão de todas as tarefas relacionadas com ações de manutenção (preventiva ou corretiva) associadas ao próprio edifício e às suas instalações técnicas. De entre as suas funções possíveis destacam-se as associadas à supervisão de pedidos de reparação e indicações de falhas, ao processamento desses pedidos (agrupamento por especialidades, atribuição de prioridades, estimativa de tempos de execução), à coordenação e escalonamento de ações de manutenção (incluindo a atribuição de tarefas às pessoas adequadas, contabilização da duração das operações executadas, registo das ações realizadas, contabilização de custos), ao controlo e gestão de contratos de manutenção, etc.

- Aspiração centralizada

Através de uma central de aspiração instalada num local específico (casa de máquinas, área de serviço, garagem, etc) interligada a tomadas de aspiração espalhadas pelo edifício através de condutas, pode-se aspirar cada piso ou divisão específica, contando com um terminal da mangueira específica para cada finalidade (pavimento ou mobiliário) e podemos acoplar à rede domótica a utilização de equipamentos robóticos com esta finalidade. Este processo de aspiração purifica efectivamente o ar, porque o pó aspirado entra pela tubagem e é transportado para fora do ambiente que se limpou, através da exaustão do equipamento. Assim, ao contrário do sistema convencional, onde o ar aspirado, depois de passar pelo filtro, retorna ao ambiente, no sistema centralizado o pó é literalmente aspirado para fora do edifício. Além disso, o sistema centralizado permite uma aspiração silenciosa, pois o motor está noutra ambiente, o que também evita a necessidade de arrastá-lo pelos espaços.

Mais uma vez, e como se tem referido até aqui, o sistema de domótica pode regular, controlar, gerir, prevenir e assegurar todas as atividades existentes no interior dos edifícios, incluído os dos museus, de uma forma automatizada, gerida localmente ou por controlo remoto.

- Gestão de presenças e de acessos

A colocação de sensores devidamente localizados permite controlar o sistema de iluminação, ligando ou desligando as luzes em função da ocupação do espaço. O seu método de funcionamento funciona por deteção de movimento de massa através da percepção de feixes reflectidos, sendo comuns os raios infra-vermelhos. A energia consumida pode ser reduzida substancialmente com este sistema de deteção de presenças, eliminando a possibilidade das luzes ficarem ligadas através de pequenos movimentos devido à ação do vento, mesmo quando a sala não está ocupada. Os sensores de ocupação usam infra-vermelhos passivos, ultra-sónicos ou a combinação de ambas as tecnologias.

O controle de acessos tem um significado muito especial nos edifícios públicos, particularmente naqueles dedicados aos museus. Para a regulação necessária de todos os recursos humanos afectos ao museu, fornecedores ou pessoal esporádico dedicado à manutenção ou emergências até aos visitantes em número e proveniência diversa, este controlo é não só importante como imprescindível. No entanto, deve ser o mais discreto quanto possível e não interferir com a normal fluência de movimentos. Deve ainda eliminar qualquer tipo de burocracia instalada, como o preenchimento de questionários, o exercício

de revistas explícitas ou muitos condicionamentos de circuitos. Já existem várias formas e sistemas de controlo de acessos que vão ao encontro dos requisitos referidos, como sejam os sistemas de biometria, chaves e níveis de acesso configuráveis, simulação de presença ou chaves de acesso por proximidade.

O sistema biométrico atua através da leitura de padrões biométricos (impressão digital, padrão retinal, padrão de voz), possibilitando assim controlar o acesso às entradas do edifício além de "personalizar" o ambiente segundo alguns perfis cadastrados para os usuários habituais. Os sistemas eletrónicos de controle e registo de acesso chamados biométricos baseiam o seu funcionamento no registo das características singulares do corpo humano, como os olhos (retina ou íris), a palma da mão, as papilas dactilares (digitais), a leitura das veias nas palmas das mãos ou dos dedos e leitores faciais (detalhe facial). A premissa fundamentada é a de que cada indivíduo é único, com características físicas e de comportamentos distintos.

Os sistemas Biométricos constituem os mais modernos métodos de conferência de identificação em todo o mundo, (Fig.132) sendo utilizados em larga escala nos principais aeroportos, como um eficiente método de controlo de identidade dos passageiros com margem de erro zero. Os museus também podem usufruir destes sistemas de controlo, integrando-os na vigilância mais geral e completa que a seguir se identifica.

- Sistemas completos de CFTV digital



Fig. 132 - Várias formas de utilização biométrica.

Fonte: <http://www.makeitidentity.com/?gclid=CP2Sm7zm4a0CFUkMtAod7mw17Q> acedida a 15/4/2011

Utilizam os mais variados recursos de deteção, gravação e monitorização remota de imagens, através de câmaras capazes de enviar imagens pela Internet, com alta nitidez e excelente profundidade de campo, de curto, médio e de longo alcance, através da recepção dos seguintes equipamentos: canhão de emissão de raios infravermelho para captação de imagens, faixa de luminosidade impercetível ao olho humano, central de monitorização remota alerta 24 horas nos 7 dia da semana (Fig. 133).



Fig. 133 - Equipamentos de vigilância. Deteção, Gravação e Monitorização remota.

Fonte: [http://www.protecnos.com.br/dvr\\_geovision.htm](http://www.protecnos.com.br/dvr_geovision.htm) acedido a 5-04-2010

- Gestão hídrica

O Sistema de gestão hídrica, segundo Tosi e Rosseti<sup>123</sup>, tem como objectivo gerir e otimizar o consumo de água. Este sistema deve ser dotado de contadores volumétricos, sensores de vigia relativos à pressão e à capacidade da rede, controlo de abertura e fecho de válvulas de distribuição, controlo dos eventuais depósitos de reserva, sistema de memorização e arquivo de dados recolhidos de reserva e sistema de memorização e arquivo de dados recolhidos sobre previsões, e o consumo efectivo deve ser relacionado, eventualmente, a um determinado período de tempo.

É igualmente importante a capacidade do sistema para detetar anomalias e gastos excessivos, sobretudo perdas, de modo a permitir uma rápida intervenção. Este sistema pode ainda gerir a drenagem de águas domésticas, ou ainda a captação e tratamento de águas pluviais, quando existam sistemas que reintroduzam essas mesmas águas no circuito doméstico.

Dentro do Sistema de Gestão Hídrica, podemos considerar o controlo da irrigação de espaços verdes interiores e exteriores e do funcionamento de fontes e repuxos. Este sub-sistema tem como funções a definição de programas horários e a coordenação das suas ações, tendo em conta as condições atmosféricas relacionadas com as estações do ano. “Também a introdução de adubos líquidos pode ser automática em função de um programa semanal, mensal ou anual, com o registo histórico de todos os doseamentos por tipo de produto, de forma a auxiliar a tomada de decisões relativas à dosagem dos produtos”<sup>124</sup>.

Através de sistemas de domótica é possível seleccionar a capacidade de desinfecção e filtragem da água, ajustando-a às necessidades de cada momento, em função do tipo e intensidade de utilização. Também a monitorização e o controlo da temperatura da água e dos níveis de ph e de cloro podem ser programados de modo a atuar como reparadores dos níveis pré-estabelecidos e gerando um alarme nas consolas de supervisão.<sup>125</sup>

---

<sup>123</sup> Tosi, Francesca; Rosseti, Fabio – op. Cit. P. 161.

<sup>124</sup> Alves, José Augusto; Mota, José – op. cit. P. 72.

<sup>125</sup> Fonte: Sara Eloy e Isabel Plácido (Novas tecnologias da informação e comunicação na habitação) LNEC Março de 2005.

#### 4.4.3 - Atuação dos sistemas de Comunicação

O projeto de automação prevê todos os pontos de comunicação: internet, telefone vídeo/ TV, todos os pontos de áudio ou som ambiente, todas as situações que interessem ser controladas, luzes, cortinas, a posição de todos os quadros parcelares de controle, lógicos e de automação, a posição de todas as tomadas e centrais de comando, entre muitos outros itens que forem estabelecidos com base na pesquisa de interesses e orientação dos responsáveis, realizada no desenvolvimento do projeto e andamento da obra. Este tipo de tecnologia torna-se de maior importância sempre que o objectivo seja o controlo total de um edifício ao longo de muitos anos. O sistema proposto, deve incluir uma central de segurança própria, que cumpra a norma europeia EN50131, a única que certifica sistemas de segurança profissionais<sup>126</sup>. Sendo a domótica seguramente um sistema aberto a múltiplos protocolos<sup>127</sup>, poderá dizer-se que as suas características e funcionalidades são praticamente ilimitadas. Como já foi referido, esta sua característica de expansão quase ilimitada é concretizada não somente pelos múltiplos interfaces possíveis como também pela forma de programação, que utiliza regras de lógica booleana (com condicionantes “se”, “e”, “ou”...) - embora a programação de raiz seja de elevada complexidade são disponibilizados ao utilizador diversos interfaces de fácil e prática utilização, nomeadamente interfaces de comunicação interna e externa por exemplo, comunicação áudio, videoprojetores e equipamento multimédia.

A criação de um espaço pré-programado para usar um sistema de cinema pode ser conseguida através da utilização de sistemas simples compostos por TV (ecrã plasma ou

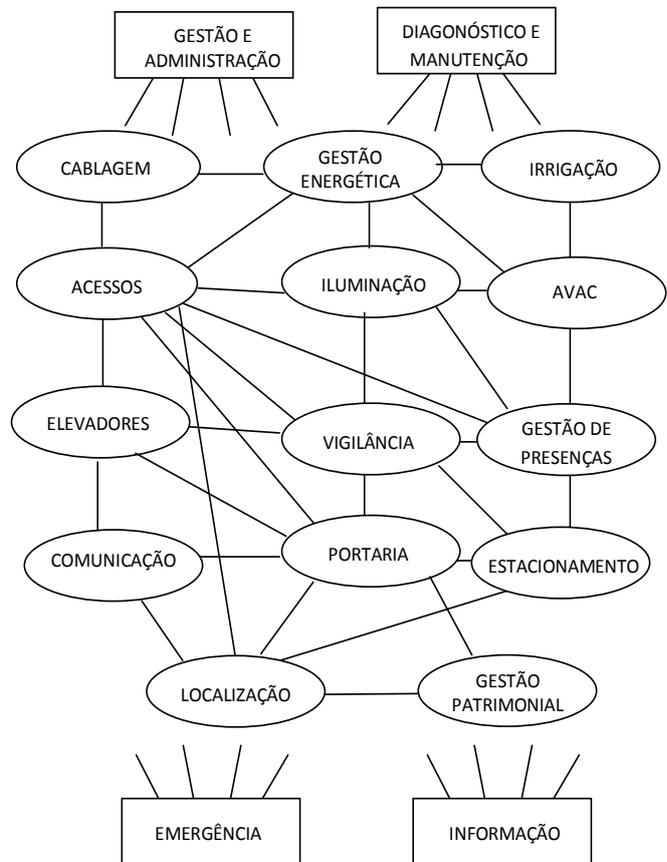


Fig. 134 - Interação entre os vários serviços  
Fonte: Prof. Renato Nunes, Carlos Sêro. DEEC, IST/INESC(adaptação)

<sup>126</sup> Fonte: [http://users.isr.ist.utl.pt/~pjcro/cadeiras/api0304/pdfs/SEM\\_AC.pdf](http://users.isr.ist.utl.pt/~pjcro/cadeiras/api0304/pdfs/SEM_AC.pdf) acedido a 18-6-2011

<sup>127</sup> Estabelecimento de comunicação, entre todos os dispositivos sem desentendimento ou perda de dados.

LCD) ou através de sistemas baseados em videoprojetor montado num elevador de precisão recolhido no teto suspenso, associado a uma tela elétrica com elevado ganho de luminosidade. O objectivo é recriar num auditório o conceito de uma sala de cinema, podendo através da domótica ser preparado um cenário base a partir do qual se podem desencadear vários outros, para além de se estabelecer o nível de luminosidade adequado por comando dos pontos de luz, ou baixar a tela e o elevador de precisão automaticamente com o vídeo projetor, ou ligar automaticamente a TV. Se se dispuser de uma central multimédia, esta pode ser comandada para abrir a gaveta do DVD, esperar um tempo previamente definido e iniciar a projecção do filme, ou projectar o filme a partir de um ficheiro armazenado neste equipamento.

Através da ligação de câmaras de vigilância por controlo remoto, a domótica permite inclusivamente o controlo visual de qualquer parte do edifício através da internet, para além de permitir a interação com o sistema, podendo em qualquer momento confirmar como estão os serviços e todos os níveis pré-programados para todas as situações, efectuando à distância as medidas de correção necessárias e convenientes.

O sistema que possibilita a conectividade de redes computacionais pode ser sem fios (*wireless*), o mais adequado quando se deseja mobilidade ou quando existam dificuldades em montar uma nova central de conectividade. Graças à tecnologia de banda larga já existente no mercado e assistimos ao aparecimento de uma grande variedade de fabricantes e fornecedores que estão a desenvolver novos produtos e serviços que conjugam o melhor da Internet com baixos custos, ampla difusão, e com tecnologias de redes de dados e controlo acessíveis e standartizadas, que poderão dar o impulso definitivo para a generalização do uso da domótica. Embora os profissionais do sector saibam que o conceito da domótica tem implícito o telecontrolo e a telemetria do imóvel, talvez seja mais interessante empregar, a partir de agora, o termo "teledomótica", para reforçar a atenção para as sinergias que estão a surgir entre a internet, o telemóvel e a domótica em si. Neste ponto, convém referir que as portas de conversão residenciais e o acesso à internet de banda larga (*Always-On*), possuem um papel muito importante ou mesmo imprescindível para que o mercado da teledomótica adquira consolidação. As portas de conversão e os fluxos de dados das redes permitirão que vários PCs partilhem ficheiros, impressoras e um acesso único, uma vez que adaptam os dados das redes de controlo aos protocolos típicos da internet. Além disso, deverão atuar como *firewalls*, impedindo que terceiros possam aceder às redes internas do edifício. Estas portas de conversão residenciais permitirão oferecer ao proprietário não só a teledomótica, mas também entretenimento (transferência de ficheiros áudio e vídeo), interfaces para o comércio eletrónico, alarmes diversos e apoio a pessoas incapacitadas, entre outros.

O acesso à internet de banda larga (*Always-On*) permite a ligação permanente do museu às redes públicas de dados. Com este acesso e com tarifas estabelecidas de acordo com o tráfego de dados, em vez do tempo das chamadas telefónicas, os responsáveis poderão controlar o edifício à distância praticamente em tempo real, receber correio eletrónico ou mensagens nos telemóveis sempre que ocorram determinadas situações ou alarmes.

Um dos principais benefícios da automação é a possibilidade de integrar sistemas diversos, incluindo os sistemas de dados, voz e imagem. Hoje, através de uma única central, pode-se controlar com muito mais flexibilidade a distribuição dos sinais de software local, internet, telefone e televisão, comutando qualquer uma das tomadas de comunicação do edifício entre essas quatro funções. Um edifício automatizado proporciona uma distribuição inteligente e interativa dos pontos de comunicação entre os vários serviços. E as funções desempenhadas por esses serviços beneficiam se houver a respetiva cooperação entre todos eles. Como se pode deduzir pela análise da Fig.134 verifica-se a existência de quatro serviços que interagem com todos os restantes - gestão, manutenção, emergência e informação. Os restantes estão interligados através de uma complexa rede específica. Como tal, podemos dizer então que num quadro global da domótica em edifícios temos dois tipos de interações: interações genéricas e interações específicas. As primeiras são as que se devem relacionar com todos os serviços de forma individual ou colectiva; as segundas são as que se relacionam de acordo com a necessidade específica de cada um, implicando a relação obrigatória de alguns entre si, mas não entre todos, por não haver necessidade nem conveniência.

Os diferentes tipos de comunicações compreendem :

- Rede de telecomunicações
- Painéis de controlo alfanuméricos e táteis (LCD)
- Mensagem de voz
- Avisos telefónicos falados
- Telecontrolo por PC local e remoto
- Telecontrolo via internet
- Telemanutenção do sistema
- Bus local para a ampliação do sistema
- Comunicação com a central receptora de alarmes (Protocolo ID – Contact)
- Expansão do sistema por BUS RS485
- Telecontrolo e telemetria
- Correio eletrónico

#### 4.4.4- Atuação dos sistemas de conforto.

A integração de automatismos que permitem detetar e controlar níveis ideais de habitabilidade, sustentabilidade e flexibilidade na utilização, estabelecem regras para que, de forma automatizada e programada, várias ações sejam tomadas. Nestes casos, a energia é usada apenas onde e quando for necessária, no momento exacto e pré-definido da ativação do ar condicionado, do aquecimento, da iluminação, ou outros serviços, eliminando os gastos desnecessários, o que se traduz numa maior sustentabilidade financeira - não só pela diminuição das despesas mensais como pelo aumento da vida útil de alguns equipamentos e aparelhos de iluminação. Por exemplo, pode-se configurar o fecho de todos os estores sempre que o sistema de aquecimento estiver ligado ou quando o sol estiver com determinada intensidade, por forma a aumentar o isolamento térmico, minorando as perdas ou excesso de calor, e desta forma poupar energia;

- Controlo energético da Climatização e/ou Temperatura

Para manter o clima interior desejado, devemos recorrer aos meios de compensação artificial conhecidos, utilizando preferencialmente energias renováveis e limpas conforme foi descrito nos capítulos anteriores. Com a tecnologia domótica, é possível controlar todos os equipamentos para cada situação, como é o caso da climatização que não será necessária nas mesmas condições durante as vinte e quatro horas do dia, e assim podemos programar os horários para ativar/desativar o aquecimento, ventilação, ar condicionado e outros, de forma a manter o nível de conforto adequado e ao mesmo tempo poupar energia. Por outro lado, os responsáveis por cada área podem ser avisados de algum motivo de alarme, ou poderem os próprios certificar-se, em caso de dúvida do estado esperado para cada objecto sob a sua guarda, podendo corrigir o erro localmente ou à distância por controlo remoto.

O controlo de temperatura no ambiente de um museu é uma parte crucial da conservação; temperaturas do ar inapropriadas podem causar, por exemplo, reações químicas nos artefatos. Os sensores, posicionados dentro e fora do edifício, enviam dados da temperatura para o controlador interpretar, regulando o sistema de ar condicionado e ventilação através de atuadores programados que ajustam as condições ambientais de acordo com as características de cada local. Podem



Fig. 135 - Controlo remoto



Fig. 136 - Imagem termográfica mostrando deficiente isolamento da fachada.

ainda ser interligadas câmaras de termografia para mostrar exactamente as áreas aonde estão os problemas e diagnosticar as perda de energia, por visualização de imagens infravermelhas<sup>128</sup>. Essas perdas podem corresponder à falta ou deficiência no isolamento, sistemas de calefação deficientes, ventilação e ar condicionado inadequado, fugas de temperatura pela envolvente do edifício ou trabalhos mal executados. As câmaras de imagem térmica identificam os locais onde ocorre a perda de calor que não são visíveis a olho nu; analisados e diagnosticados os problemas facilmente se buscam as soluções adequadas. Por exemplo na imagem termográfica (Fig.136) observa-se em tons de cor amarelo e vermelho os locais com deficiências no isolamento da fachada e que estão a causar perdas consideráveis de energia. Esses locais são identificados pelas temperaturas na superfície de menor e maior grau conforme a cor amarela ou vermelha, respetivamente.

Os reguladores inteligentes do sistema que operam nos edifícios verificam e mudam de acordo com o que é requerido no ambiente interno. Os otimizadores são um recurso mais avançado, que uma vez ligado aos sensores internos e externos pode operar com interruptores horários, para avaliar as condições anteriores e determinar o momento ideal para ligar o sistema de aquecimento, por exemplo, para alcançar a temperatura específica desejada no interior a um determinado período, tendo em conta o gradiente térmico.

- Controlo da humidade

Pensa-se frequentemente que a solução mais importante para a preservação das exposições nos museus é um sistema de ar condicionado para regular a temperatura. Mas a humidade relativa e a velocidade/ qualidade do ar em cada sala de acordo com as diferentes necessidades das exposições e ocupantes são tão ou mais importantes. Muitas das peças de museu são mais sensíveis às variações de humidade do que às variações de temperatura, mesmo nos casos em que a temperatura seja de extrema importância, por exemplo, para filmes e artefatos de cera. Todos os materiais tendem a expandir com o aumento da temperatura, mas para materiais higroscópios a expansão térmica é menor comparada com as causadas pelo aumento da humidade relativa.

Os sistemas para controlo de humidade constituem uma das grandes despesas em projetos de reequipamento. Os edifícios adaptados para museus têm uma flexibilidade restrita e os espaços expositivos em edifícios não pensados para esse uso podem ser bem

---

<sup>128</sup> Tiago Miguel Dias Oliveira -Tese de mestrado na FEUP.  
Análise de Sistemas de Energia e Máquinas Elétricas com recurso a termografia  
Fonte: <http://paginas.fe.up.pt/~ee01125/files/dissertacao%20versao%20provisoria%20tiago%20oliveira.pdf>  
Acedido a 14-06-2011

diferentes quanto às características estruturais pré-existentes. Para ultrapassar os constrangimentos são por vezes utilizados aparelhos *stand-alone*, que controlam as condições locais de microclima, particularmente a humidade relativa; ou seja, para manter os valores de humidade requeridos, pode ser necessário introduzir vapor de água no espaço da maneira mais imediata possível, e para isso existem alguns aparelhos individuais (cuja utilização só se recomenda nos casos em que não seja possível instalar os sistemas já referidos da rede doméstica). Estes aparelhos podem trabalhar a energia elétrica ou a óleo e serem programados e controlados individualmente:

- Humidificadores com evaporação
- Humidificadores com aquecimento e rápida ventilação
- Humidificadores com atomizadores
- Desumidificadores por condensação
- Desumidificadores por absorção

As medições e controlo de humidade são fundamentais para os museus, especialmente em instalações que usam sistemas de ventilação variáveis. Os dados da humidade podem ser obtidos através de sistemas de medição mecânica, de modo a ajustar os dados dos sistemas operativos de acordo com as condições interiores exigidas, garantindo acima de tudo os valores mínimos dos níveis requeridos ao processo de conservação.

Não podemos esquecer outras condições que no interior de um museu se revelam de extrema importância, como sejam:

- Níveis de oxigenação, grau de saturação do ar e gases diversos
- Medição dos níveis de monóxido ou dióxido de carbono
- Aplicação de produtos de desparatização, seu doseamento e regulação temporizada automaticamente

Tudo isto pode e deve estar automaticamente controlado pela doméstica.

- Controlo da ventilação e da qualidade do ar

O objectivo da ventilação é manter as concentrações de contaminantes interiores, como os poluentes gasosos, poluentes sólidos e poluentes químicos, em níveis aceitáveis. Isto pode ser alcançado na maioria dos casos através do aumento da taxa de ventilação do ar. Geralmente, em edifícios destinados a museus, os agentes poluidores da qualidade do ar estão relacionados com a diversidade do acervo e com a própria concentração e quantidade dos visitantes. É um facto que muitos edifícios de museu, tanto novos como remodelados, são deficientemente ventilados. No sentido de manter uma boa qualidade do ar interior e

conforto no verão ou inverno sem ambientes poluídos, é importante que seja utilizado um sistema de controlo de ventilação inteligente: devem ser utilizados sensores de vento, para o controlo automático da ventilação natural através da abertura de janelas, grades e condutas ou para evitar estragos nas persianas e toldos. Além disso devem existir sensores de medição da concentração de CO<sub>2</sub> e sensores de medição da poluição dos restantes gases.

Os sensores para o controlo da qualidade do ar são preparados para serem sensíveis a uma alta gama de gases tais com COVs (Compostos Orgânicos Voláteis), solventes, vapores e muitas outras toxinas.

Pode ser detetada a necessidade de seleccionar cada sensor individualmente, com vista à sua optimização para um determinado odor alvo da qualidade geral do ar. Estes sensores estabilizam em menos de 1 minuto e depois disso, o desvio é inferior a 1% ao ano. Fisicamente pequenos, estes sensores são constituídos por uma camada fina de material sensível com um substrato de alumínio, incorporando um aquecedor de película fina. Para obter resposta ao gás pretendido, o chip sensorial é constantemente aquecido até atingir aproximadamente 400°C.

O sistema de controlo automático do edifício-museu deve ser naturalmente complementado por medidas passivas de proteção, nomeadamente em relação aos parâmetros seguintes:

- Ventilação natural, através da abertura e encerramento de vãos, respiradores ou grelhas situados a grande altura
- Ventilação noturna, incluindo a abertura e encerramento de janelas, e ventiladores com arrefecimento assistido, e regulação da ventilação mecânica
- Movimentação de vãos, estores e gelosias
- Regulação de sistemas energéticos, hídricos e gás
- Regulação acústica ou sonorização musical
- Regulação de temperaturas de águas e outros líquidos

#### **4.5 - Tecnologias de transmissão/ comunicação e deteção**

- Os vários meios físicos de transmissão

Linha de energia elétrica (PL -Power Line); cabo de par entrançado (TP -Twisted Pair); cabo coaxial (CX -Coaxial), preferencialmente para dispositivos que utilizam sinais de áudio e vídeo; rádio frequência (RF-Radio-Frequency), utilizando uma portadora nos 915MHz; infravermelhos (IR -Infra-Red); fibra óptica, ainda não especificado pela norma.

- Tecnologia de infra-vermelhos passivos (IVP)

Neste caso, a seleção depende da cobertura da linha de visão para a deteção de ocupação. Estes sensores utilizam um detetor piroelétrico localizado por trás da lente do transmissor de infra-vermelhos para detetar movimento através da diferença de calor emitido pelos seres humanos. A lente, gravada com um padrão ótico divide o campo do detetor piroelétrico em segmentos sob a forma de cunha. O sensor de ocupação é ativado quando deteta a travessia de uma fonte de calor de um segmento para outro. O funcionamento correto destes sensores de infra-vermelhos obriga a que haja uma linha direta de visão para a movimentação, não devendo haver mobiliário ou outros objetos posicionados entre o sensor e a área de movimento. Sempre que o sensor detete o movimento de um ocupante, o temporizador do circuito que mantém a iluminação ativada é reiniciado. Passado o período definido pelo temporizador sem que haja nova deteção de movimento, o sensor desliga automaticamente as luzes. Cada sensor pode ser configurado para fornecer um tempo de ligação ajustável às realidades desejadas.

- Tecnologia ultra-sónica

Esta tecnologia utiliza o princípio de Doppler<sup>129</sup> para detetar a ocupação, emitindo ondas sonoras ultra-sónicas através do espaço. Os sensores UT transmitem ondas de pressão nas frequências de 25-40 kHz. Estas ondas ultra-sónicas são similares às ondas de som (com excepção das que se emitem a uma maior e inaudível frequência). Os valores de ultra-sons transmitem-se pelo ar e são reflectidos através das superfícies das paredes e objetos, regressando ao receptor instalado no sensor de ocupação. Qualquer movimento dentro do espaço altera a frequência das vibrações reflectidas, sendo essa alteração detetada pelo receptor, ligando ou mantendo as lâmpadas desse espaço ligadas. Ao contrário dos sensores de ocupação de infra-vermelhos passivos, os sensores de ocupação ultra-sónica são sensíveis ao movimento de objetos inanimados, tais como cortinas sopradas pelo vento.

- Dupla tecnologia (DT)

Estes sensores empregam ambas as tecnologias atrás referidas (PIR e ultra-sónica). Os sensores DT ativam a iluminação apenas quando a deteção de ocupação é

---

<sup>129</sup> O efeito Doppler ou Doppler-Fizeau, é um fenómeno observável através de um comprimento de onda maior ou menor, quando a fonte de luz ou som e o observador, se afastam ou se aproximam.

registada pela ação combinada das duas tecnologias sensoriais, embora mantenham a iluminação ativada enquanto pelo menos uma das tecnologia detete ocupação contínua.

Para a avaliação das características destes sistemas, os técnicos devem estar familiarizados com as seguintes características físicas do espaço a intervir:

- Espaço da divisão, tamanho e forma
- Localizações da atividade e inatividade do ocupante
- Altura do teto (pé-direito)
- Localização das paredes, portas, janelas e cortinas
- Altura e localização de partições
- Localização de grandes objetos que possam obstruir ou alterar a área de cobertura do sensor, isto é, prateleiras ou grandes equipamentos
- Localização das condutas e ventiladores do AVAC
- Áreas com altos níveis de iluminação natural
- Localização dos obstáculos

Deve ser atribuída especial atenção a altos níveis de vibração ou fluxo de ar, condições de temperatura extrema e invulgares baixos níveis de atividade – se existirem algumas destas condições poderão ser aconselháveis soluções tecnológicas alternativas.

Este sistema também pode ter como missão registar os tempos de presença dos funcionários das várias organizações existentes no edifício ou fornecer informação pormenorizada sobre os mesmos. Estas tarefas poderão ser úteis para a confirmação de justificações de faltas ou ausências, para a marcação de férias e para o processamento estatístico de informação e controlo de assiduidade. Para além destas funções, o sistema pode ser útil no registo de reclamações e de sugestões, na recolha de solicitações diversas (por exemplo, pedidos de reparações, de instalação de equipamentos, de resolução de problemas), no armazenamento e acesso a documentação diversa (manuais de equipamentos, procedimentos vários, estatutos, legislação, contratos de manutenção, etc), e na gestão de recursos comuns do edifício, tais como salas de reunião, auditórios e áreas de lazer ou outras. Como se observa, este é um serviço com múltiplas funções, que se caracterizam na sua generalidade por permitir o acesso a informação útil sobre o edifício e sobre as pessoas ou organizações que o ocupam, e oferecer facilidades de gestão de determinados recursos associados ao edifício.

- Foto sensores

Um foto sensor é um dispositivo elétrico de controlo que ajusta a saída de luz de um sistema de iluminação, baseado na iluminação captada. Existem tipos de foto sensores mais simples, que apenas alternam entre off e on, e outros mais complexos, capazes de provocar o escurecimento do reactor eletrónico para ajustar a saída de luz dos sistemas de iluminação fluorescentes ao longo de um intervalo contínuo. Estes foto sensores são utilizados mais frequentemente em aplicações durante a luz do dia, para escurecer a iluminação elétrica quando esta excede um nível pré-definido.

O primeiro tipo, mais simples, é utilizado para a comutação de um sinal binário para a rede de controlo digital direto, quando a quantidade de luz que deteta atinge um certo limite. Nesse caso, o sistema de automatização irá desligar as luzes ou ajustá-las para um nível mais baixo. O segundo tipo de foto sensor, utilizado para escurecimento, envia um sinal contínuo variável indicando a quantidade de luz detetada. Com esta informação, o sistema de automatização de um edifício pode escurecer gradualmente as lâmpadas à medida que a luz do dia aumenta ou diminuir gradualmente a intensidade das lâmpadas à medida que envelhecem para manter uma iluminação constante (nível de iluminação).

A principal vantagem na utilização destes sensores fotoelétricos é alcançar um balanço ótimo entre a iluminação do dia e o uso da iluminação elétrica. Se tal sistema não estiver incorporado, as luzes elétricas irão tender a permanecer ligadas mesmo quando não se justifica, ou provocar excessiva iluminação, que pode deteriorar os objetos mais rapidamente e causar problemas na reprodução de cores e brilho.

Em resumo, a utilização dos sensores fotoelétricos permite controlar automaticamente qualquer circuito de iluminação (ligar, desligar, regular o fluxo de luminosidade) sem utilizar para tal interruptores; basta digitar no teclado, nos comandos remotos, no telefone, em ecrãs táteis, na internet, em programas temporizados ou ainda na informação proveniente de sensores de eventos.

- Tecnologia via rádio (RFID) Security System

Esta tecnologia pode ser utilizado em museus, galerias de arte<sup>130</sup> ou escritórios. O sistema de RFID (*Radio Frequency Identification*) de longo alcance proporciona uma proteção na envolvente do edifício, formando uma barreira ativa contra qualquer movimentação não autorizada do bem protegido. Este sistema pode também ser utilizado como prevenção de perdas em controle de stocks, evitando fraudes e desvios de ativos.

---

<sup>130</sup> [http://www.trofalarmes.com/website/index.php?conteudo=domotica\\_seguranca](http://www.trofalarmes.com/website/index.php?conteudo=domotica_seguranca) acedido a 06-10-2011

Principais características e vantagens na sua utilização:

- Gráfico de alarme em tempo real no desktop
- Uso simples e fácil
- Alarme de sensibilidade programável
- Completo registo de todos os alarmes e movimentação
- Registo em tempo real (24 hs x 7 dias por semana x 365 dias do ano)
- Registo rápido do Tag/recurso
- Usuário em modo de segurança
- Conjunto alargado de ferramentas de análise e interpretação de eventos



Fig. 137 - Quadro de Cézanne “Auvers-sur-Oise” protegido pelo sistema RFID.  
Fonte: [http://www.isisasset.com/products/prd\\_arts\\_collections.htm](http://www.isisasset.com/products/prd_arts_collections.htm) 06-10-2011

Certos sistemas projectados para galerias e coleções privadas operam num sistema de rádio transmissor sem fios, com capacidade para proteger objetos individuais tais como telas, troféus, objetos em exposição, pessoas e acessos. O sistema funciona normalmente durante o dia, quando os demais sistemas de proteção perimetral são desativados, e possui um alcance médio de 20 a 30 metros através da rede wireless, funcionando através dos seguintes tipos de sensores:

- Sensores de vibração para quadros (ativam o alarme se uma pintura for movida)
- Sensores de pressão para esculturas (ativam o alarme se o objeto for retirado do seu local de exposição)
- Sensores de abertura de vitrines (ativam o alarme se a vitrine for aberta ou forçada)
- Sensores de pânico, de uso pessoal (ativam o alarme se o botão for pressionado)

Ao ocorrer um incidente, é disparado um sinal audível e os dados do alarme são imediatamente transmitidos à unidade central, às unidades portáteis ou ao software de controle. Esta unidade pode ainda ser conetada a unidades de relés para ativação de um comando, como por exemplo, o acionamento de um interruptor para encerramento de uma porta, ou o acionamento de um alarme externo audível. Os múltiplos leitores podem também ser conetados a uma única central e transmitir uma mensagem de “batimento cardíaco” a cada 15 segundos, estando esta programada para acionar o alarme após um tempo determinado caso o sinal preliminar não seja recebido. Este método permite a proteção efectiva para exposições de objetos de valor (obras de arte, quadros valiosos – Fig. 137) ou até acervos particulares, com discreta prevenção de segurança mas elevada eficiência, permitindo que o objecto exposto tenha contato com o público apreciador sem colocar em



Fig. 138 - Comando e TAG ativo da ISIS, montado na parte traseira da moldura.

risco a sua permanente proteção. A gama disponível de sensores inclui sensores sísmicos, sensores por aproximação, por toque (*touch-alarm*) ou gravitacionais, oferecendo proteção contra a remoção de objetos de valor como jóias, pratos, cristais, obras de arte, barras de ouro, diamantes, moedas raras ou esculturas. A fiabilidade deste tipo de proteção eletrónica com tecnologia RFID (*Rádio Frequency Identification*) é comprovada pela sua utilização generalizada em museus de várias partes do mundo, certificando a sua legítima capacidade de proteção ativa e eficaz diante todas as ameaças.

- Tecnologia de Rastreamento

Com o sistema de rastreamento pessoal é possível saber onde se encontra uma determinada pessoa (ou obra de arte, no caso dos museus), garantindo a segurança de familiares, idosos, pacientes com Alzheimer, crianças e adolescentes, com discrição e fiabilidade. Este sistema é altamente recomendado para proteção de crianças e idosos porque permite aliar a liberdade por si exigida com a segurança desejada por todos (o idoso ou a criança que possui o sistema de rastreamento movimenta-se livremente, mantendo ao mesmo tempo tranquila a comunidade que lhe está afeta).

Principais vantagens na utilização do sistema de rastreamento:

- Algumas empresas de seguros oferecem até 20% de desconto a possuidores do rastreador instalado
- Monitoramento 24 horas em Central de Segurança especializada
- Portal de internet disponível 24 horas
- Visualização com opções de mapas
- Posição atualizada periodicamente
- Recebe comandos em tempo real na área de cobertura (bloqueio e sirenes)
- Instalado de forma impercetível, sem fios ou antenas aparentes
- Cobertura em todo o território nacional
- Redução significativa dos custos

#### **4.6 - As globais capacidades da domótica e seus benefícios**

A domótica utiliza vários elementos, que normalmente são independentes, de uma forma sistémica. Para isto ser possível, todos os sistemas técnicos do edifício estão

interligados através de uma linha de BUS comum<sup>131</sup>, instalada paralelamente à linha de 230V, onde ficam ligadas as cargas a controlar. Ficamos assim com a vantagem de permitir que dispositivos com diferentes funções possam comunicar entre si e trocar informações. As funções a atribuir podem ser atribuídas e modificadas via software, no local ou remotamente (tele-assistência), sem necessidade de abrir paredes ou passar novos cabos. Deste modo, o controlo remoto dos museus deixa de ser uma utopia, com o acesso às funções vitais do edifício através de um comando remoto, da Internet ou do telemóvel, podendo-se programar tarefas diárias (individuais ou em conjunto) de uma forma automática. Isto permite reduzir o tempo gasto em rotinas, garantindo igualmente mais proteção a todos os níveis, a programação e controlo das mais diversas atividades em qualquer horário, a transmissão de alertas pessoais ou coletivos para qualquer parte do mundo, a máxima qualidade das atividades programadas, economia de energia (por possibilitar a ativação dos equipamentos só nas horas ou momentos necessários), economia de tempo e de recursos humanos e maior qualidade e fidelidade dos serviços prestados.

Usando a simbologia do Manual ilustrado para a *Instalación domótica da Paraninfo*, S.A., Madrid, apresenta-se como exemplo o Museu de Arte Moderna do Médio Oriente no Dubai, com todas as globais condições permitidas pelos sistemas domótica, que estarão distribuídos por todo o edifício em função das necessidades de cada compartimento, nas quatro áreas de abrangência que se descrevem (Fig.139):



Fig. 139 - Museu de Arte Moderna do Médio Oriente, em Dubai.  
Fonte. <http://www.webluxo.com.br/menu/museus/fotos-museu-momema-dubai.htm> Adaptação do próprio.  
Acedida a 22/11/2011

## SEGURANÇA



**A)** Alarme de fuga de água - deteção de inundação e envio de sinal de alarme, para fecho da instalação hídrica através de eletroválvula.

<sup>131</sup> Fonte: [http://linkuti.com/web/index.php?option=com\\_content&task=view&id=20&Itemid=34&lang=pt](http://linkuti.com/web/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=34&lang=pt)  
Acedida a 22/11/2011



**B)** Alarme de fuga de gás - deteção de fuga de gás e envio de sinal para ativar medidas de segurança.



**C)** Alarme de vento - deteção da velocidade do vento e ativação de sinais e/ou ações de resposta programada.



**D)** Sistema anti-intrusão - sistema que protege o edifício, ativando meios de segurança contra a intrusão.



**E)** Ativação de sistemas de segurança - ativação automática de diferentes ações para a proteção do edifício em caso de necessidade.



**F)** Simulação de presença - automatização de várias ações que simulam a presença de pessoas dentro da casa, função de “alarme preventivo” contra intrusos.



**G)** Rearme automático - reativação automática do diferencial em caso de disparo intempestivo.



**H)** Autoteste - controlo automático da integridade do interruptor diferencial.



**I)** Proteção contra sobretensões - proteção da instalação contra variações da tensão, potencialmente perigosas, em particular para os dispositivos eletrónicos.

## GESTÃO ENERGÉTICA



**J)** Gestão da climatização “multi-zona” - regulação da temperatura em função das modalidades de uso e de forma independente para cada ambiente e local do museu.



**K)** Ativação automática da iluminação - iluminação on-off automática, dependendo da presença ou ausência de pessoas.



**L)** Desativação da climatização por janela aberta - desativação do aquecimento ou ar-condicionado em cada sala em caso de abertura de janelas e portas.



**M)** Aquecimento em modo “económico” com ausência de pessoas - automatização da instalação de aquecimento em função da presença ou ausência de pessoas.



**N)** Ventilação automática - automatização do sistema de ventilação, programável por período horário como em função do uso de cada espaço.



**O)** Temporização de eletrodomésticos - ativação automática dos eletrodomésticos em determinados períodos horários, mais necessários e/ou económicos.



**P)** Gestão automática de estores, cortinas e toldos - automatização destes elementos de forma temporizada em função da intensidade de radiação solar.



**Q)** Gestão de cargas - controlo de consumo, corte da carga não prioritária para prevenir a sobrecarga.

## CONFORTO



**R)** Regulação da intensidade luminosa - regulação do nível de iluminação em função das exigências do usuário.



**S)** Controlo de estores, toldos e cortinas - abertura e fecho automáticas destas barreiras solares, de forma programada.



**T)** Gestão remota da climatização - função que permite ativar/desativar e controlar a instalação de aquecimento e ar-condicionado em modo remoto (via GSM).



**U)** Ambiente personalizado - possibilidade de memorizar e ativar com uma única instrução várias funções para alcançar o ambiente ideal para um determinado uso.



**V)** Temporização e gestão de rega automática - temporização ligada a uma eletroválvula aplicada diretamente na rede de rega.



**W)** Bioconforto - redução do efeito de campo eletromagnético com prolongados períodos de inatividade (ex: reservas técnicas).

## COMUNICAÇÕES



**X)** Gestão remota de alarmes via sms - função que permite receber informação relativa à instalação através de telefones móveis (GSM).



**Υ)** Difusão de áudio e vídeo - possibilidade de difusão dos sistemas em várias salas ao mesmo tempo.



**Z)** Comando e controlo sem fios - possibilidade de instalar novos elementos de comando sem necessidade de ligação por cabo.



**α)** Gestão remota da portaria - possibilidade de receber chamadas deste sistema e gerir a abertura de portas e acessos através do telefone móvel.



**β)** Video controlo do edifício através da internet - função que permite o controlo visual através da internet a partir de qualquer parte do mundo.



**δ)** Fecho centralizado - possibilidade de realizar de forma automática todas as operações que usualmente se executam quando se fecha o edifício.



**ε)** Abertura centralizada - possibilidade de ativar e desativar de forma automática todas as funções necessárias para o acesso ao edifício.



**λ)** Écran tátil “Master” - permite visualizar a informação e gerir as funções de domótica existentes no edifício, incluindo o vídeo porteiro, através do ecrã tátil ou da internet.

Enumeram-se de seguida as principais vantagens e desvantagens na utilização na domótica em edifícios de museus:

- Vantagens
  - Flexibilidade e segurança da infraestrutura
  - Segurança do imóvel e do acervo
  - Rentabilização máxima dos recursos
  - Conforto e poupança energética
  - Facilidade de manutenção
  - Comunicação local e remota
  - Valorização do imóvel
  - Economia a médio e longo prazo

- Desvantagens

- Maior custo de investimento inicial
- Necessidade de recorrer a técnicos muito especializados
- Maiores custos de manutenção

No caso da aplicação da domótica deve também ser garantido que os atuadores obedecem a fluxogramas organizados segundo critérios hierárquicos, para além de se prevê a instalação de UPS, estabilizadores e temporizadores de corrente, para evitar que quando ocorra um incidente num determinado local, este faça disparar respostas em vários locais ao mesmo tempo, como sirenes ou outros alarmes, de modo desnecessário ou até inconveniente.

#### 4.7 - Aplicação num museu tipo.

Utilizamos novamente o desenho do museu-tipo que serviu de exemplo para a climatização geotérmica aplicada no sub-capítulo 3.3, aqui representado nas figuras 140 a 144. As plantas do edifício-tipo apresentam os diferentes espaços do programa (foyer, sala de exposição, sala de restauro, auditório, loja, área de trabalho e pátio central), e indicam a distribuição dos equipamentos de domótica, de acordo com a repartição das quatro áreas envolvidas (segurança, gestão energética, conforto e comunicações).

### DESENHO EM PLANTA DO MUSEU TIPO

#### Segurança, Gestão Energética, Conforto e Comunicações

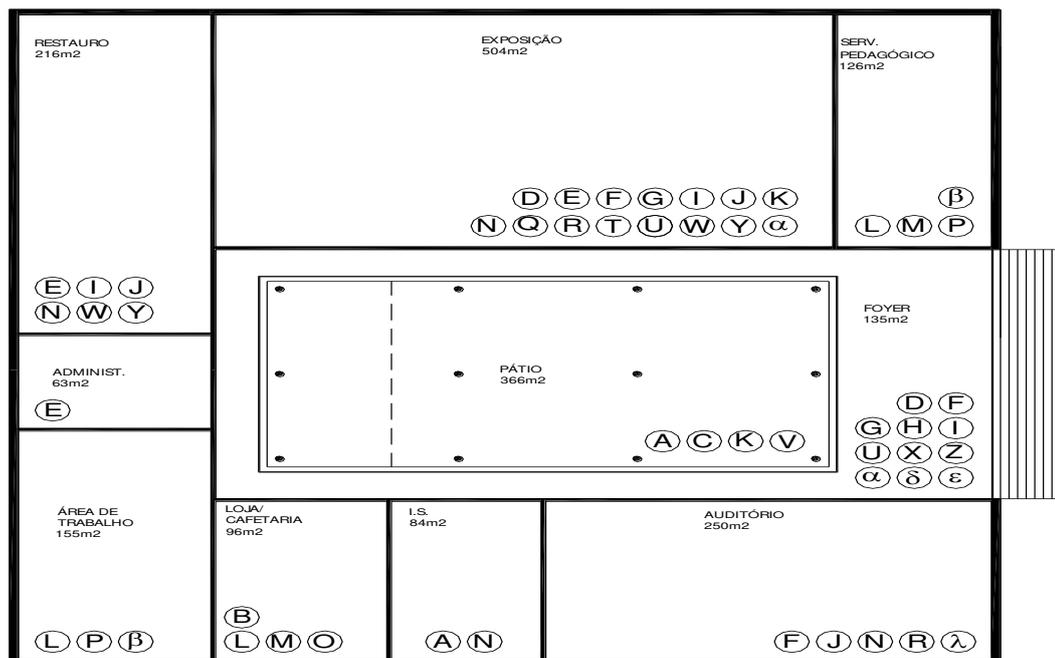


Fig. 140 - Implantação integral do sistema domótica - simbologia geral.

Este desenho representa a planta geral dos espaços interiores do museu onde em cada um dos espaços, se aplicam os aparelhos domótica para a segurança, gestão energética, conforto e comunicação. Nas páginas 244, 245, 246 e 247 estão todos os símbolos relativos às funções desempenhadas por cada aparelho e escalonados numa sequência alfabética de A a Z e  $\alpha$  a  $\lambda$ . No interior de cada pequeno círculo estão as letras que correspondem à função a inserir a cada espaço de acordo com as suas reais exigências de funcionamento. Por exemplo, no foyer (entrada) temos as letras D,F,G,H,I,U,X,Z,  $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$  o que significa que naquele local estará instalado equipamento para proteção à intrusão (sistema anti-intrusão) e também para a simulação de presenças, para o rearme automático do diferencial, para controlo automático da integridade do interruptor diferencial, para proteção contra as sobretensões potencialmente perigosas aos dispositivos eletrónicos, para o comando e controlo sem fios, para a gestão remota de alarmes via sms, para a gestão remota da portaria gerindo a abertura e fecho de portas por telemóvel, para visualizar o edifício em todos os pontos de interesse através da internet, para poder realizar o fecho centralizado de todo o edifício e para abrir todos os acessos ao edifício também de forma centralizada.

Seguindo o mesmo critério temos no salão de exposições as letras D,E,F,G,I,J,K,N,Q,R,T,U,W,Y, $\epsilon$  cujo significado é: anti-intrusão, ativação dos sistemas de segurança, simulação de presenças, rearme automático do diferencial, proteção contra sobretensões, gestão da climatização “multi-zona”, ativação automática da iluminação, automatização da ventilação automática, gestão de cargas para controlo de consumo, regulação da intensidade luminosa, difusão de áudio e vídeo, comando de controlo sem fios, bioconforto (redução do efeito de campo eletromagnético), gestão remota da climatização, e vídeo controlo do edifício através da internet. Todos os restantes espaços têm indicada segundo o mesmo critério a aparelhagem domótica adequada a cada função.

As plantas que se seguem apresentam a aplicação dos mesmos aparelhos, agora não com a indicação pelas letras que correspondem a cada um, mas pelos respectivos símbolos e de acordo com os quatro grandes grupos do sistema domótica, nomeadamente:

## Segurança

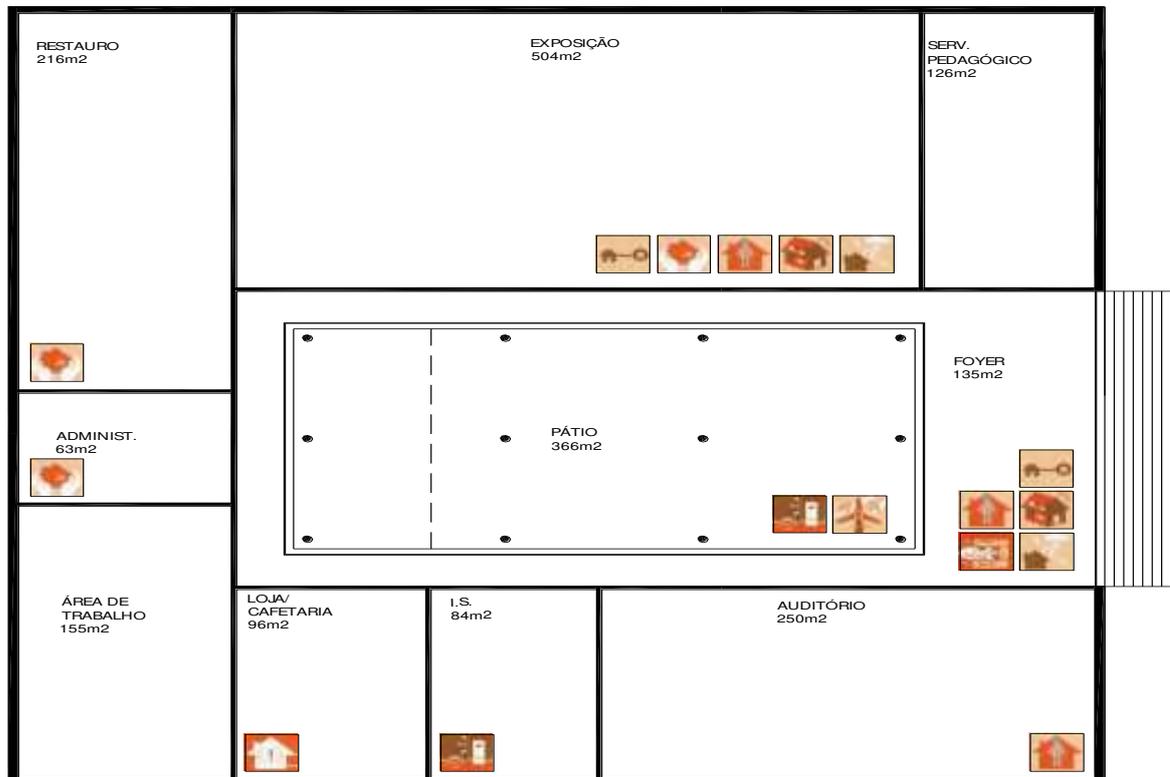


Fig. 141 - Implantação por simbologia do sistema domótica - grupo Segurança.

Nesta planta que diz respeito à segurança, temos por exemplo no salão de exposições os símbolos correspondentes ao sistema anti-intrusão, a ativação do sistema de segurança, simulação de presenças, rearme automático e a proteção contra sobretensões. Para os restantes espaços segue-se o mesmo critério cobrindo assim todo o edifício em relação à segurança.

## Gestão energética

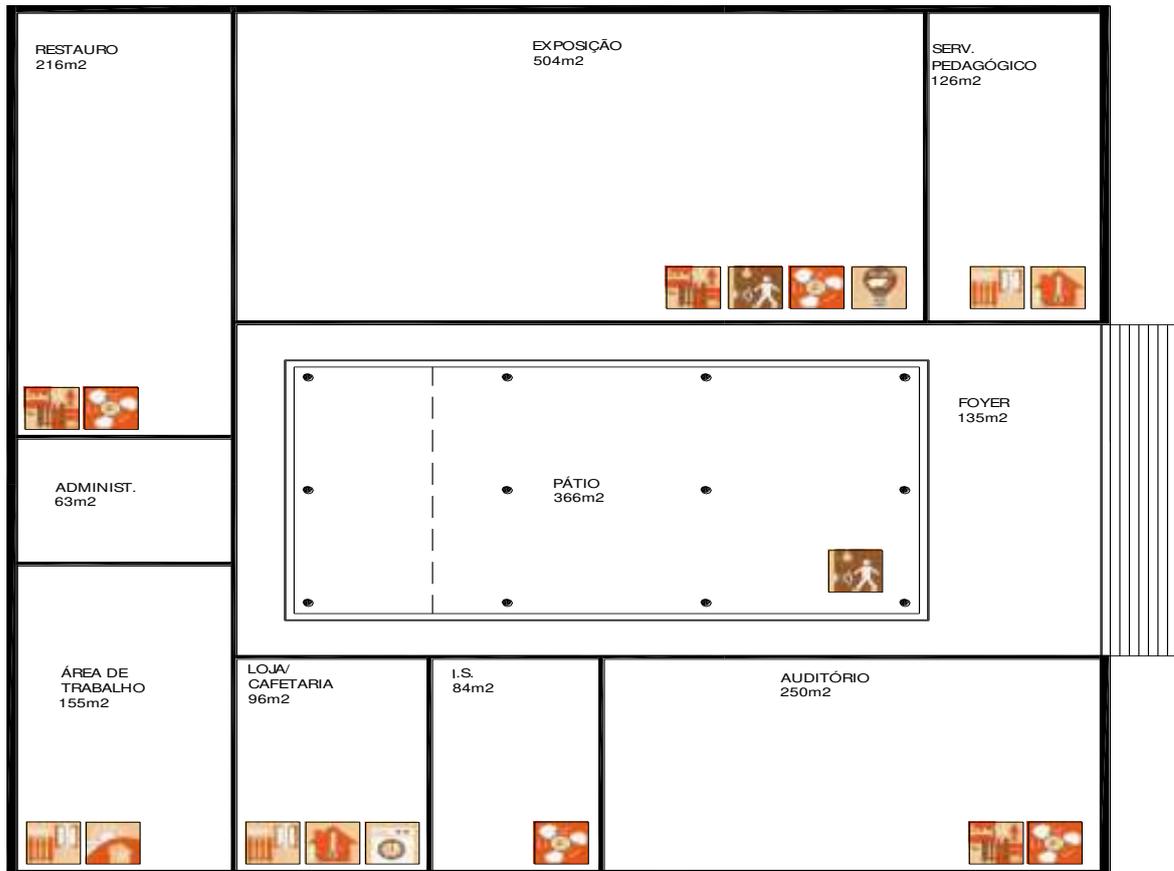


Fig. 142 - Implantação por simbologia do sistema domótica - grupo Gestão energética.

Nesta planta que diz respeito à gestão energética temos por exemplo, no auditório, a automatização do sistema de ventilação automática e a gestão da climatização. Já no salão de exposições temos a gestão da climatização, a ativação automática da iluminação, a ventilação automática, a gestão de cargas e o controlo de consumos. Para os restantes espaços segue-se o mesmo critério, cobrindo assim todo o edifício em relação à Gestão energética.

## Conforto

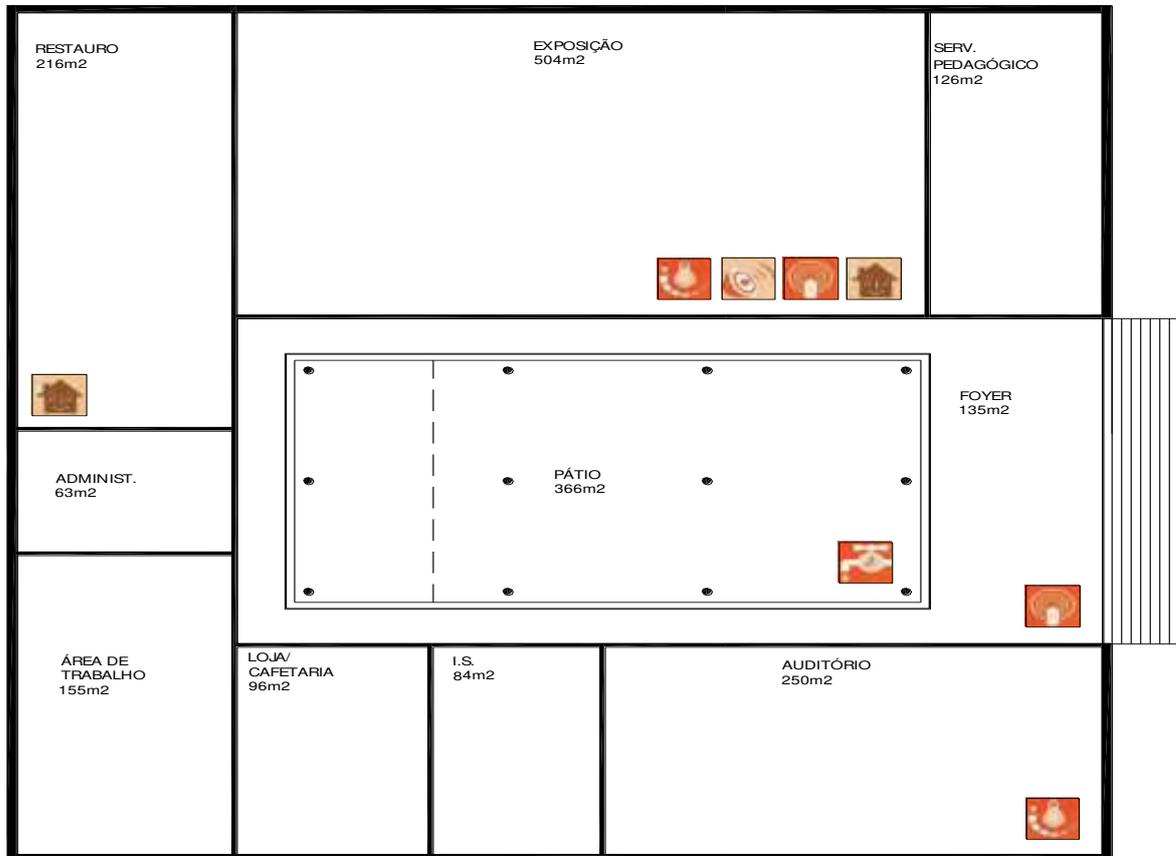


Fig. 143 - Implantação por simbologia do sistema domótica - grupo Conforto.

Esta planta diz respeito ao Conforto, onde temos por exemplo, no pátio interior, a temporização e gestão da rega automática. Por sua vez, no salão de exposições temos a regulação da intensidade luminosa, a difusão de áudio e vídeo, o comando de controlo sem fios, o bioconforto e a redução do efeito de campo eletromagnético com prolongados períodos de inatividade. No foyer temos o comando e o controlo sem fios. No auditório temos a regulação da intensidade luminosa e na zona de restauro temos instalado o regulador do bioconforto. Porventura as condições de conforto podem ser ampliadas e abrangerem todos os espaços, ficando ao critério dos responsáveis pelos serviços do museus a decisão sobre onde e quais os sistemas querem ver instalados.

## Comunicações

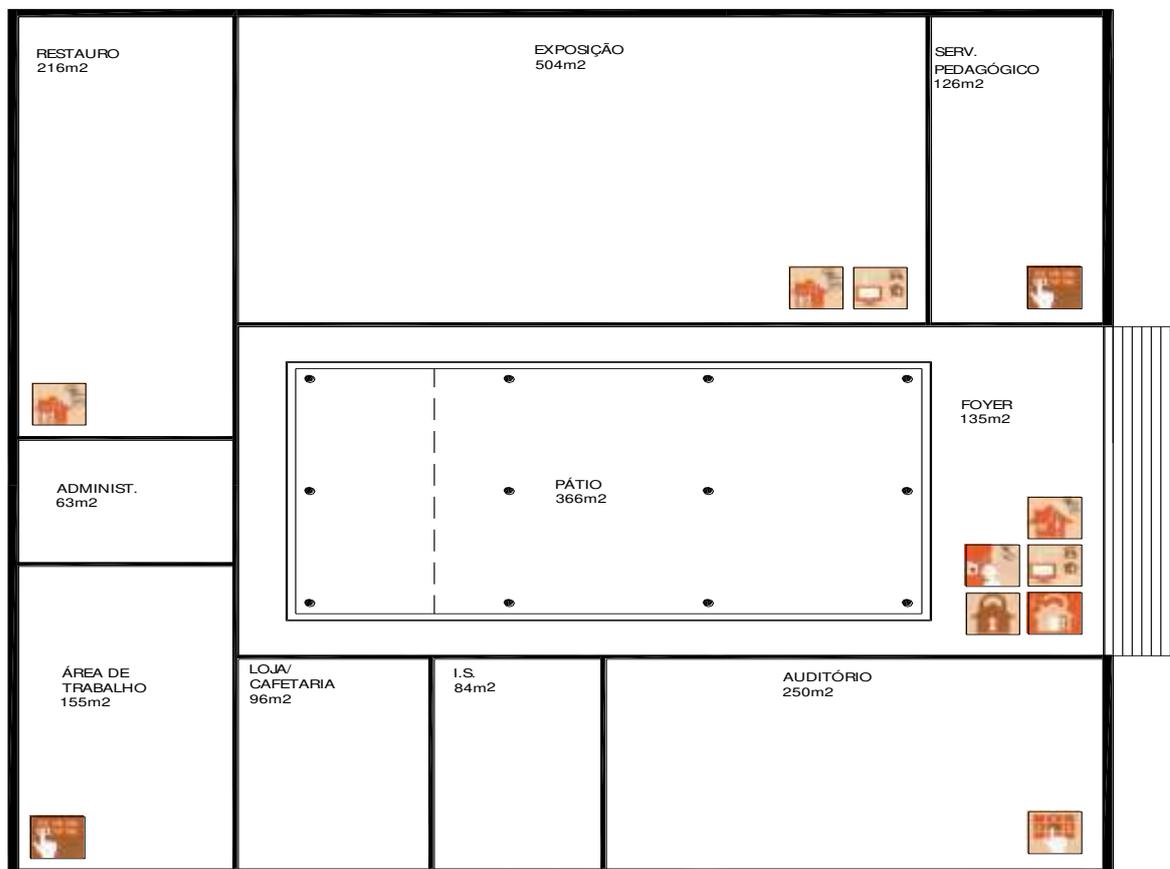


Fig. 144 - Implantação por simbologia do sistema domótica - grupo Comunicações.

Por último temos esta planta que corresponde às Comunicações, em que pela simbologia podemos constatar, por exemplo, que no auditório apenas instalamos o tipo de ambiente personalizado por memorização digital, enquanto que na entrada “foyer” instalamos a gestão remota de alarmes via sms, a gestão da portaria, o fecho e abertura centralizados e o vídeo controlo do edifício através da internet. Os outros espaços apresentam os sistemas de comunicação designados pelos símbolos colocados em cada um.

### 4.8 - Exemplos de referência

- **Museu Arqueológico de Delphi, Grécia**

Este museu foi inaugurado em 1903, cumprindo na época com os requisitos habituais de conforto, segurança, comunicação e gestão; mais tarde, no início deste século, por necessidade de adaptação aos novos tempos, foram programadas obras de beneficiação que permitiram a introdução de redes técnicas mais atualizadas, incluindo

nomeadamente energias renováveis, controlo remoto e equipamento geral de maior qualidade, capacidade e versatilidade. Esta transformação permitiu atingir benefícios de ordem qualitativa e quantitativa, tais como:

- Melhor organização espacial, facilitando o fluxo de visitantes e melhorando a exibição de exposições.
- Melhores condições de conforto em relação à qualidade térmica, qualidade do ar, luz natural e acústica.
- Controlos inovadores e flexíveis das condições ambientais.
- Novas normas para o consumo de energia do edifício.
- Promoção dos resultados conseguidos, divulgando o museu como exemplo a seguir.
- Demonstração de que é possível compatibilizar tecnologias sustentáveis com um bom projeto arquitetónico, de modo técnica e economicamente fiável e seguro.

A partir dos resultados de simulações e do trabalho de monitorização feito, conseguiu-se ainda verificar que os consumos totais anuais de energia da área reabilitada do edifício (para o aquecimento e arrefecimento, eletricidade e condições de poluição do ar) diminuíram consideravelmente face aos valores iniciais. Por comparação das diferenças entre o total inicial (301,8 kWh/m<sup>2</sup>) e o final (116,9 kWh/m<sup>2</sup>) dos resultados de consumo de energia, torna-se evidente a enorme poupança de energia proveniente da implementação dos vários recursos incluídos no projeto:

- Redução do consumo de energia para aquecimento em 60%
- Redução do consumo de energia para arrefecimento em 75%
- Redução do consumo de energia para iluminação em 60%
- Redução do consumo total de eletricidade em cerca de 60%
- Redução das emissões de CO<sub>2</sub> em 55%

De um modo mais detalhado, a generalidade dos trabalhos e melhorias executados no edifício foram os seguintes:

- Instalações elétricas:
  - Substituição de todas as instalações elétricas e de iluminação
  - Utilização de lâmpadas fluorescentes de baixo consumo energético para a iluminação geral, e utilização de haleta de metal para soluções de iluminação “natural” (simulando a iluminação proveniente de clarabóias)
  - Instalação de iluminação de alta eficiência (100 lumen/W) e balastros de alta frequência
  - Optimização e compensação da luz natural através do seu controlo

Antes da intervenção e da aplicação das medidas referidas, o consumo anual de energia para a iluminação do museu foi calculado e confirmado em cerca de 118,3 kWh/m<sup>2</sup>. Após a intervenção, foram simulados os resultados e os consumos energéticos para a iluminação, constatando-se uma redução para 47,3 kWh/m<sup>2</sup>, o que resulta numa poupança de energia na ordem dos 60%.

- Sistemas de Ventilação e Ar condicionado:

O sistema de ar condicionado existente foi substituído por um novo sistema baseado na aerotermia (ar/ar), um tipo de sistema, conforme descrito no capítulo 3, que é caracterizado pela instalação de uma bomba de calor para recuperar a temperatura oferecida pelo ar exterior. Foi também instalado um sistema híbrido de ventilação, consistindo no controlo automático da abertura e fecho de janelas de acordo com as necessidades de ventilação; sistema este que se encontra coordenado com o sistema AVAC, de modo a garantir que o segundo entre em funcionamento apenas quando as necessidades de aquecimento e ventilação não conseguem ser cumpridas a 100% pelo primeiro.

Para minimizar a utilização do sistema AVAC foram ainda executadas escotilhas nas coberturas, de abertura controlada automaticamente e coordenada com o trabalho dos ventiladores. Com a possibilidade de abertura destas escotilhas, o ponto de arrefecimento do sistema AVAC aumentou dos 26°C para os 29°C no verão, resultando em consideráveis poupanças energéticas.

Por outro lado, como forma de arrefecer a massa térmica do edifício, foram aplicadas técnicas de ventilação noturna através da abertura automática e programada de janelas.

Todas estas instalações - ar condicionado, recuperadores de calor, ventilação noturna, demanda de controle da ventilação, tetos ventiladores, níveis de iluminação, dispositivos de sombra, proteção contra incêndios, segurança - são controladas por um avançado sistema de gestão do edifício.

Antes destas intervenções foram efetuados vários ensaios e simulações que constituíram a base de comparação antes e depois da intervenção, sendo também úteis para a tomada de decisões. No âmbito destes ensaios, foram realizadas análises térmicas às condições existentes no edifício e simulações energéticas às propostas de alteração, de forma a confirmar as temperaturas existentes no interior de cada zona bem como as cargas de arrefecimento e aquecimento para os períodos de verão e inverno, e estimar as condições que iriam ocorrer com as soluções propostas. Como etapa final, todos os recursos de poupança energética alvo de renovação (tais como a ventilação controlada, os dispositivos de sombra, a ventilação noturna natural, os tetos de ventilação, etc) foram incluídos no estudo de resultados realizado globalmente.

- **Monitorização e ensaios:**

Para o acompanhamento das renovações construtivas e técnicas do Museu Delphi foi efetuada uma monitorização preliminar e a tempo inteiro do edifício, realizada no contexto do projeto MUSEUMS. Esta monitorização teve início em 2003 e continuou até ao fim de 2004, por um período dividido em 2 fases: Fase I e Fase II.

Devido às operações e ajustamentos em curso nos sistemas eletromecânicos do museu, o controlo BMS não estava totalmente operacional durante a Fase I, obrigando à utilização em paralelo de instrumentos adicionais para registo de dados e referências comparativas. Até ao final da Fase II, o BMS prosseguiu o registo de dados a tempo inteiro (em 5 zonas de edifício), numa base horária, controlando valores de temperatura, humidade relativa, consumos elétricos, entre outros. Finalmente, em Dezembro de 2004, foi realizada uma auditoria energética, cujos resultados permitiram confirmar que o conforto térmico interior, o conforto visual e acústico e as condições da qualidade do ar interior se encontravam em condições totalmente satisfatórias.

A remodelação do Museu Arqueológico de Delphi permitiu assim demonstrar e provar que é possível incluir tecnologias inovadoras e energias renováveis, mesmo em edifícios existentes. Este projeto permitiu o alargar de conhecimentos existentes no âmbito da remodelação museológica, fornecendo a todas as autoridades envolvidas um bom exemplo de uma renovação energeticamente eficiente.

- **Museu de Évora, Portugal**

As obras de remodelação do museu, concluídas em 2011 sob a coordenação e orientação do arquiteto Raúl Hestnes Ferreira, incluíram a instalação de sistemas de controlo da iluminação interior e exterior por programação computadorizada, com automatização por calendário, de acordo com o horário de funcionamento. Estes sistemas permitem a regulação automática de fluxo luminoso, o deslastre de circuitos e a ativação automática da iluminação de emergência, apoiada por grupo gerador.



Fig. 145 - Vista da fachada do Museu de Évora.  
Fonte: <http://ligo.pt/site/?i=portfolio&l=0>  
acedido a 23-2-2012

Em termos práticos diários, o funcionamento deste sistema é visível do seguinte modo: às 7h55m é ativada uma parte da iluminação do edifício, para permitir os trabalhos de limpeza. Às 9h55m, pouco antes dos visitantes entrarem, é ativada a totalidade da iluminação nas zonas públicas, permanecendo ligada até à hora de encerramento.

Relativamente à iluminação das fachadas, esta é ativada com o cair da noite, sendo desativada a partir do horário em que deixa de haver movimento de pessoas na rua. No interior das salas de exposição, as peças que devem ser protegidas da luz por razões de salvaguarda, só são iluminadas quando se deteta a aproximação de um visitante. Todas estas operações são efetuadas de forma computadorizada e automatizada, sem qualquer intervenção humana.

- **Museu em Vila Nova de Foz Côa, Portugal**

Neste museu de construção recente, foram já incluídas de origem algumas das tecnologias que temos vindo a referir, nomeadamente para a visualização e controlo da iluminação interior e exterior através de PC ou controlo remoto, a automatização por calendário de acordo com horário de funcionamento, o alerta de disparos e estados de diferenciais, a medição de consumos de energia ativa e reativa, e a garantia de automatizações coordenadas com os dados meteorológicos (exposição solar, velocidade do vento, pluviosidade, luminosidade, etc). Num edifício com dimensões e arquitetura fora do normal, só existe uma maneira fácil de garantir o seu controlo: através de um ponto único, que centralize e monitorize toda a vigilância, segurança e iluminação, detetando imediatamente qualquer deficiência de funcionamento.



Fig. 146 - Vista do Museu de Foz Côa.  
Fonte [http://ligo.pt/site/?i=portfolio\\_detalhe&l=0&p=16](http://ligo.pt/site/?i=portfolio_detalhe&l=0&p=16); acedida a 2011-10-26

Pela apresentação destes exemplos concluídos em Portugal, podemos afirmar que a nossa aposta na aplicação das novas tecnologias em edifícios de museus ainda é muito tímida, embora se esteja a dar passos importantes, sobretudo nos edifícios novos (como é o caso do novo museu dos Coches, em Lisboa, que se encontra em fase de construção).

Impõe-se generalizar a preocupação na sustentabilidade energética e ambiental e introduzir novas tecnologias de regulação e controle. Em 2000, Suzanne Greub, diretora do Art Centre de Basel organizou a exposição “Museus para um Novo Milénio”, que foi apresentada até 2005 em 17 museus ou centros culturais por todo o mundo (incluindo na

Culturgest em Lisboa). Esta exposição veio no seguimento de uma apresentação anterior, relativa aos 27 mais interessantes projetos de edifícios museológicos acabados, em construção ou previstos para o período de 2000 a 2014. São projetos muito diversos, que revelam diferentes pontos de vista sobre o conceito de museu, o seu papel na sociedade contemporânea e as suas relações com a arquitetura, as novas tecnologias e as energias. Em certa medida podemos dizer que esta discussão trouxe o reconhecimento implícito da Sociomuseologia, ao qual devemos atualmente acrescentar e aliar o papel das energias renováveis e sustentáveis, assim como a inteligência edificada com a inclusão da tecnologia “domótica”.

## **CONCLUSÕES FINAIS**

## Conclusões finais

Todas as energias renováveis, como ficou demonstrado, serão mais sustentáveis economicamente que as de origem fóssil se tiverem uma gestão eficiente e controlada; além disso, a segurança também pode estar aliada à sustentabilidade dos edifícios se da mesma forma for eficiente e a custos controlados. Para se conseguir atingir todos esses objectivos, há necessidade de introduzir, de uma forma permanente, as novas tecnologias em todos os serviços. Ou seja, para ser possível e economicamente suportável manter uma estrutura que abrace globalmente estes pressupostos, é necessário recorrer a meios técnicos programados e automatizados com controlo local ou remoto. Por este motivo, se abordou no quarto capítulo o estudo destes meios técnicos, particularmente no que diz respeito ao sistema domótica, um sistema imprescindível para o controlo programado e automatizado das diversas atividades ou tarefas inerentes à vida dos edifícios, particularmente a dos museus.

Como vimos, trata-se de tecnologias com alguma complexidade mas que já estão suficientemente ensaiadas para nos merecerem toda a confiança. De facto, o seu uso já foi testado ao longo de vários anos, permitindo avanços na optimização dos sistemas, ao ponto de se tornarem de fácil utilização e com custos de aquisição e instalação acessíveis. Em Portugal, apercebemo-nos que a utilização da domótica no controlo abrangente das redes gerais e especiais dos edifícios está a merecer grande “simpatia” e desenvolvimento tecnológico, embora ainda esteja muito aquém do que seria desejável, particularmente no que toca à sua aplicação em edifícios destinados aos museus. No entanto, já podemos encontrar exemplos bem conseguidos de edifícios “inteligentes”, como os que aqui foram apresentados; inclusivamente, já existem alguns museus equipados com as mais avançadas tecnologias de informação, aplicadas sobretudo na área multimédia (como é o caso do museu da Língua Portuguesa, em São Paulo). Essa utilização ainda não está generalizada, mas a vulgarização do computador e da internet na gestão corrente das nossas vidas particulares, nomeadamente no contacto com bancos, finanças, serviços públicos em geral, redes profissionais e todo o tipo de comunicação e transmissão de documentos, vai-nos conduzir, inevitavelmente, para a utilização generalizada destas tecnologias na gestão dos edifícios, não só nas nossas casas como em todos os edifícios de serviços, incluindo aqueles de que nos temos ocupado neste trabalho que são os dedicados aos museus.

O próprio sistema de domótica tem vindo a evoluir para uma maior simplicidade, fiabilidade, economia e capacidade, apesar dos exemplos existentes ainda requerem mão de obra muito especializada para a sua instalação e manutenção. Esta desvantagem é no

entanto um mal menor, se comparada com as inúmeras vantagens de que se pode já tirar partido com a aplicação destas tecnologias: grandes economias nos consumos de electricidade, maior conforto em todos os espaços em função das suas características, mais segurança tanto para os acervos como para o edifício, maior facilidade na gestão geral e maior qualidade na climatização, tanto no conforto de verão como de inverno.

Neste trabalho procuramos descrever a investigação feita às condições de alguns edifícios de museus, essencialmente sobre a aplicação das energias renováveis e novas tecnologias, obedecendo aos conteúdos programáticos deste percurso de doutoramento, e aproveitando simultaneamente a formação de base do doutorando em Engenharia Civil, com o intuito de incrementar o conhecimento sobre matérias que podem ser transversais para todos aqueles que de uma forma ou de outra tenham, ou venham a ter responsabilidades na sustentabilidade geral e em particular neste contexto da museologia. Assim, dar-se-à a incorporação de uma “área científica nova”, como referimos na início deste trabalho, na interdisciplinaridade que apresenta e representa a Sociomuseologia. Para a investigação sobre as matérias abordadas nesta tese, foi necessário recolher vasta informação bibliográfica e efectuar visitas ou contactos pessoais com alguns responsáveis da construção e direcção dos serviços dos museus, tanto nacionais como internacionais. Procurou-se, de forma sintética, reunir também nestas páginas matérias já publicadas de forma dispersa, metodologicamente escolhidas como relevantes para este trabalho, assim como outras inéditas, cujo conteúdo científico se pretendeu que fosse perceptível, não só para os técnicos a que estão ligadas mas, fundamentalmente, sempre com a preocupação de as tornar entendíveis para as outras áreas do conhecimento, com a maior objectividade para a Museologia.

Relativamente aos temas desenvolvidos, nomeadamente na abordagem histórica e evolução dos museus, ao olhar o seu “estado de arte” actual, relativamente aos edifícios, concluímos, por um lado, que o museu é uma instituição representativa do ser humano, tanto no passado como no presente, adaptando as suas condições de acordo com a dinâmica do poder dominante, com bons e maus resultados. Concluímos também que os edifícios dos museus constituem, hoje, uma escala de medida do desenvolvimento cultural e do conhecimento, assumindo-se cada vez mais, além de atrativos turísticos, como modelos de referência para a sociedade.

Também as condições de manutenção e sustentabilidade do edifício do museu e seus acervos são preocupações que vêm desde a sua origem. Mas, no momento presente, ao contrário de tempos passados, dentro das preocupação da Sociomuseologia – em que se destaca a preocupação do desenvolvimento e a ligação do museu, ao território e à

população – temos várias opções que garantem não só a sustentabilidade do imóvel como a dos acervos, sem danificar o meio ambiente, de acordo com os vários tipos de energias renováveis disponíveis. Verificamos porém, que a grande maioria dos museus atuais ainda não utiliza qualquer tipo de energia renovável, salvo a que lhe possa ser fornecida pela rede geral.

Para melhor se entender quais são essas energias e o seu estado de desenvolvimento, fez-se uma descrição técnica de todas as que cientificamente estão testadas e em produção regular, nomeadamente a solar térmica, a fotovoltaica, a eólica, a hidroelétrica, a dos mares e ondas, a bioenergia e a geotérmica. Relativamente a todas as energias concluímos que a sua aplicação traz grandes vantagens. Concluímos ainda que, de um modo geral, existe uma forte preocupação a nível mundial em utilizar energias renováveis, por vários motivos, nomeadamente os que se prendem com a proteção do meio ambiente e a sua sustentabilidade. Verificámos também que nesta demanda há países que lideram num ou noutro tipo de energia, e que o nosso país também está bem posicionado nos rankings, nomeadamente em relação às energias hidroelétrica e eólica.

Não podemos ignorar as atuais preocupações da humanidade, no que diz respeito à defesa do meio ambiente. No entanto, pelo que se analisou neste trabalho, conclui-se que qualquer análise que se pretenda fazer com vista ao planeamento da questão energética e ambiental para o futuro da humanidade deve-se sempre apontar a uma distância de cerca de 50 anos. Porque, as novas tecnologias energéticas levam anos para serem desenvolvidas, e as próprias mudanças políticas demoram também muitos anos para começar a surtir efeito. Esta conclusão bastava, por si só, para imputarmos aos edifícios dos museus a necessidade de incluírem na sua programação de construção ou adaptação a condição *sine qua non* de utilização de meios energéticos provenientes de fontes não poluentes. Mas há ainda outras razões, entre elas está o facto dos museus poderem ser veículos exemplares de sensibilização e de consciencialização para o problema ecológico e para a sustentabilidade ambiental, devendo naturalmente ser um bom exemplo na construção ou na adaptação de edifícios provenientes de outros usos.

A descrição que se fez neste trabalho sobre as energias renováveis, procurou tornar evidente a importância da sua utilização, podendo traduzir-se em benefícios para o meio ambiente, para a economia, para a saúde e para a sustentabilidade em geral. Deu-se particular importância ao tema da climatização interior dos museus, apresentando a energia geotérmica como uma fonte natural inesgotável e com benefícios muito elevados quanto à sua aplicação, especialmente no caso da geotermia de superfície, um sistema muito recente de climatização de espaços (já que a energia geotérmica “clássica”, ou calor da terra, é desde há muito amplamente conhecida e difundida em diversas aplicações). Como vimos, o

potencial energético da geotermia começou a ser explorado na pré-história, continuando-se nos nossos dias a descobrir novas formas de acrescentar mais valia a esse potencial. Assim, o grande objectivo desta tese (com particular interesse no terceiro capítulo) é dar a conhecer e, de certo modo, consciencializar os promotores e projetistas dos edifícios destinados aos museus a incluírem nas suas soluções técnicas “esta velha energia de recente exploração”, ajudando assim os responsáveis pelos museus e técnicos envolvidos no projeto (de construção ou reconstrução) ou na manutenção destes edifícios a olharem-nos de forma diferente. Deste trabalho resulta uma nova “maneira de estar” na museologia em relação ao edifício, promovendo a sua ligação ou integração com as energias e tecnologias renováveis, saudáveis e mais amigas do ambiente.

Nos capítulos sobre a energia geotérmica e sobre a domótica foram apresentados dois exemplos, baseados no mesmo desenho de “museu-tipo”, equipado em cada um dos casos com a instalação de uma rede de climatização à base da energia geotérmica e com a implantação simbólica do sistema completo da domótica.

Em relação à climatização (terceiro capítulo), os cálculos efetuados permitiram desmonstrar resultados com significativas poupanças de energia e redução de custos. Como exemplo de aplicação real foi também apresentada, neste capítulo, a experiência do sistema geotérmico instalado no edifício da Universidade Lusófona, que garante uma economia na ordem dos 30% em relação a um sistema tradicional de AVAC.

No caso da rede domótica (quarto capítulo), como forma de provar algumas das vantagens que anteriormente foram referidas, apresentámos o exemplo real do museu de Arqueologia de Delphi, na Grécia, onde foram contabilizadas reduções nos consumos de energia na ordem dos 60%, e nas emissões de CO<sub>2</sub> de 45%, comparando o edifício antes e depois da intervenção de reabilitação e inclusão das novas tecnologias. Realçamos, no entanto, que muitos outros benefícios só serão mensuráveis por comparação de resultados a médio e longo prazo.

Por tudo quanto foi investigado e desenvolvido neste trabalho, sintetizando-o mais possível, responde-se às preocupações iniciais da sustentabilidade das estruturas museais:

1. Esperando contribuir para a modernização dos edifícios;
2. Torná-los fator de exemplo para a sociedade, especialmente no mundo da cultura dos museus;
3. Fornecer aos técnicos e gestores públicos ou privados recursos teóricos para a boa tomada de decisão;
4. Contribuir na sua escala para a sustentabilidade do planeta;
5. Promover melhores condições de utilização, conforto e bem estar nos museus;

6. Economizar custos na manutenção de atividades básicas, libertando recursos financeiros para outras atividades dos próprios museus.

Assim, acredita-se que os edifícios dos museus poderão ser construídos ou readaptados sem receio de incluir nos seus programas objectivos de sustentabilidade a partir das energias renováveis, particularmente a “geotérmica” e a nova tecnologia “domótica”. Desta forma, serão mais saudáveis, mais confortáveis, mais sustentáveis e mais amigos da natureza.

E através disso, devido ao seu estatuto de instituições de utilidade pública com objetivos socioculturais ao serviço do público, constituirão um exemplo de informação e de formação acerca da sustentabilidade, com a introdução destas novas energias e tecnologias, sobretudo num alertar da consciência colectiva, para alguns problemas que hoje já afectam a humanidade, prevendo-se ainda maiores repercussões para as gerações que nos irão suceder.

É obvio que este trabalho, tendo por “objecto real” “museus, energias renováveis e novas tecnologias” e por “objecto de estudo” a “sustentabilidade ambiental e energética”, dá respostas dentro da definição destes “objectos”. Fora deste âmbito, existem outras preocupações importantes para a sustentabilidade dos Museus, e que carecem de outros trabalhos de investigação.

## BIBLIOGRAFIA

- Adams, W.G. & R.E. Day,(1877) *The action of light on selenium*, in Proceedings of the Royal Society, A25, 113.
- ALVES, José Augusto & MOTA, José. (2003) Casas Inteligentes. Lisboa: Centro Atlântico,. Associação Brasileira de Automação Residencial.
- Abreu, R., Chagas, M. S. & Santos, M. S. dos (2007). *Museus, Coleções e Patrimônios: Narrativas Polifônicas*. Brasil: Coleção Museu Memória e Cidadania/Garamond Universitária.
- ADENE (2011). *Guia da Eficiência Energética*; Agência para a Energia. Miraflores
- Adams, W.G. & R.E. Day,(1877) *The action of light on selenium*, in Proceedings of the Royal Society, A25, 113.
- Aguiar, R., Viana, S. C. & Joyce, A. (2002). Estimativas Instantâneas do desempenho de Sistemas Solares Fotovoltaicos para Portugal Continental. In *XI Congresso Ibérico / VI Congresso Ibero Americano de Energia Solar*. Albufeira.
- Alderson, William T., Low, Shirley Payne (1985). Interpretation of Historic Sites.
- Alonso Fernández, Luis (2001). *Museologia e museografia*. Barcelona: ediciones del Serbal.
- Amaral, Luis Mira (março/abril 2011) Políticas Energéticas e Energias Renováveis. *INGENIUM*, II Série, N.º 122, p.22.
- Anais do II Encontro Internacional de Ecomuseus (1991) Rio de Janeiro: IX ICOFOM. *A nova museologia: da teoria às práticas*.
- Antunes, J. L. (2003). *Conferência Globalização, Ciência, Cultura e Religiões*. Lisboa: Dom Quixote.
- ARC : Revista Brasileira de Arqueometria Restauração Conservação*, Edição Especial, N.º 1, MARÇO 2006
- Arte&Construção :Revista da Construção e dos Novos Materiais*, N.º 178; agosto 2005.
- Becquere A.E. (1839) *Memoires sur les effets electriques produits sous l'influence des rayons*, 561 & *Des causes d'altération des métaux (1864)Paris*
- Baptista João do Nascimento (2011). Gás re-injetado. *Revista INGENIUM*, nº122.
- Barbosa, L. A. G. (n.d.). *Iluminação de museus, galerias e objectos de arte, projectos de iluminação – Museus e Galerias de Arte*.
- Bedekar, V. H. (2000). The ecomuseum projects in the Indian context. *Museologia. Cadernos do Minom*, 1.
- Brigola, João & Trindade, M. B. (2003). *Iniciação à Museologia, Coleções, Gabinetes e museus em Portugal no século XVIII*.

- Brigola, João, Teixeira, Madalena, Nabais, António (2003). Perspetiva histórica da evolução do conceito do museu em Portugal. *Lugar em Aberto*, nº1. Lisboa: Apom.
- Brito, Miguel C. & João M. Serra (2005). Células solares para a produção de energia eléctrica. In *As Energias do Presente e do Futuro*. Lisboa: Departamento de Física da FCUL.
- Bruno, Cristina (1997). Museologia e Museus: Princípios, Problemas e Métodos. *Cadernos de Sociomuseologia*, 10. ULHT-Lisboa.
- Bruno, Cristina (1999). Museologia Teoria e Prática. *Cadernos de Sociomuseologia*, 16. ULHT-Lisboa
- Bruno, Maria Cristina Oliveira (1986). *O Despertar do Espírito Científico através dos Museus : Novos enfoques educativos para a atividade Museu : Participação-Criatividade-Comunicação*. Rio de Janeiro: OREALC/UNESCO : CINEDUC.
- Bruno, Maria Cristina Oliveira (1996). Museologia e Comunicação. *Cadernos de Sociomuseologia*, 6 .ULHT-Lisboa
- Bruno, Soares C. Brulon (2008). O Meio Ambiente entra no Museu. Revista eletrónica Jovem Museologia. UNIRIO, Rio de Janeiro.
- Camacho, C. (2007). *Temas de Museologia, Plano de Conservação Preventiva*. Lisboa: Instituto dos Museus e da Conservação.
- Canhoto, Paulo, & Marques, João Monteiro. *Texto elaborado no contexto do projecto PETER : Parque Experimental Transfronteiriço sobre Energias Renováveis : Projeto INTERREG SP6.E53/03*.
- Carvalho, de Martins (1996). Portuguese Geothermal Operations, a Review. *European Geologist*, pp. 21-26.
- Carvalho, J. Martins (1995). Recursos Geotermicos de Portugal Continental: da Utopia à Realidade. *Memória*, 4, pp. 851-856.
- Casanovas, L. E. E. (1992). Conservação e Condições Ambiente. Segurança. In *Iniciação à Museologia*. Lisboa: Universidade Aberta.
- Casanovas, Luís Efrem Elias (2008). *Conservação preventiva e preservação das obras de arte*. Lisboa: Edições Inapa/Santa Casa da Misericórdia de Lisboa.
- Chagas, Mário & Santos, Myriam Sepúlveda (2002). Museu e políticas de Memória. *Cadernos de Sociomuseologia*, 19.
- Chagas, Mário & Santos, Myriam Sepúlveda (2007). *Museus, colecções e património: narrativas polifónicas*. Rio de Janeiro: Garamond Universitária.
- Chagas, Mário (1994). Novos rumos da museologia. *Cadernos de Sociomuseologia*, 2.
- Chagas, Mário (1999). Há uma gota de sangue em cada museu: a óptica museológica de Mário de Andrade. *Cadernos de sociomuseologia*, 13.

- Chagas, Mário(1994). O campo de actuação da museologia. *Cader. de Sociomuseologia*, 19.
- Chivelet Martin, Nuria & Fernández Solla, Ignacio (2007). *La envolvente fotovoltaica em la arquitectura*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Chivelet, N. M. & Solla, I. F. (2007). *La envolvente Fotovoltaica en la arquitectura : criterios de diseño y aplicaciones*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Ciências e Técnicas do Património-revista da Faculdade de Letras (2003) *Uma via para a Europa*, I Série vol.2, pp.311-333.
- Climatização*, nº68 Março/Abril 2010 & n.º 76, julho/agosto 2011.
- Coelho, Margarida, Farias Tiago & Roupail, Nagui (janeiro/fevereiro 2008). Avaliação do impacto rodoviário nas emissões poluentes. *INGENIUM*, II Série, N.º 103, p.70.
- Comissão N.P. do ICOM (2003). *Código Deontológico para os Museus*. Lisboa: ICOM.
- Congresso do Instituto Internacional de Conservação (1994) Ottawa.
- Congresso GeoEner (2008 e 2010). *Energia Geotermica en la Edificacion y la Industria*.
- Constância, J.P. (1993). A evolução de conceitos entre as Declarações de Santiago e de Caracas. *Cadernos de Sociomuseologia*, 1.
- Cristina, Bruno (2007). V Encontro do ICOM Brasil : Fórum dos Museus de Pernambuco.
- Culturgest (2008). *Museus do Século XXI : Conceitos, projetos, edifícios Exp.8/12 a 3/2*.
- Decisão da Comissão Europeia 2007/742/CE de 9 de Novembro de 2007.
- Dias, Mineiro, C. & M. (2007). *Temas de Museologia : Plano de Conservação Preventiva : Bases orientadoras, normas e procedimentos*. Lisboa: Ministério da Cultura : Instituto dos Museus e da Conservação.
- Dipippo, Ronald (2008). *Geothermal Power Plants (Second Edition)*. In *Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact*. UK: Elsevier.
- Duby ,Georges (1976). *O Tempo das Catedrais: a Arte e a Sociedade*.
- Duby ,Georges (1978). *As Três Ordens ou o imaginário do Feudalismo. Effects on Library and Archives Collection*. Austin : Commission on Preservation and Access.
- Fernández, Alonso Luís (1988). Arquitetura de museos y funciones museológicas. *Encontro das Comissões Nacionais Portuguesa e Espanhola*. ICOM, pp. 91-95.Vila Viçosa.
- Ferreira, C. S. F. M. (2008). *Importância da inércia higroscópica em museus*.
- Ferreira, Victor Zago Gomes (2010). *A Domótica como instrumento para melhorar a qualidade de vida dos deficientes*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba João Pessoa.
- Foddy, W. (2002). *Como Perguntar : Teoria e Prática da Construção de Perguntas em Entrevistas e Questionários*. Oeiras: Celta Editora.
- Fonseca, Tojal Amanda Pinto da (2007). *Políticas Públicas Culturais de Inclusão de Públicos Especiais em Museus*. Tese. Universidade de São Paulo.

- Fortin, Marie-Fabienne (2009). *O processo de Investigação; da concepção à realização*. Lusociência. Loures.
- Fórum Energias Renováveis em Portugal (2001). *Relatório síntese*. Lisboa Agência de Energia e Instituto de Engenharia e Tecnologia Industrial-ADENE & INETI.
- Françoise André, Wasserman (Dir.). (1994). *Vagues: une anthologie de la nouvelle muséologie*. Paris: MNES.
- Fundação Calouste Gulbenkian. Centro Nacional de Cultura (20 de Novembro de 2009). *Colóquio Património Cultural "Ir mais além"*.
- Fundamentos da Museologia Teórica e Aplicada (n.d.). Lisboa: ULHT. Texto policopiado.
- Gaspar, Alberto (1993). *Museus e centros de ciências: conceitualização e proposta de um referencial teórico*. Tese de Doutoramento, São Paulo : FE/USp.
- Georges, Henri Rivière (1989). *La Muséologie selon*. Tours, Dunod, pp. 334-335.
- Gevorkian, P.(2006). *Alternative Energy Systems in Building Design*. New York: McGraw Hill.
- Gevorkian, Peter (2007). *Solar Power in Building Design The Engineer's Complete Design Resource*. New York: Mc Graw Hill
- Gevorkian,P. (2008). *Solar Power in Building Design-The engineers complete design resource* . New York: Mc Graw Hill.
- Gil, José Moreno, Diéguez, Elias & Tárraga, David (1999). *Instalaciones automatizadas en viviendas e edificios*. Ed. Paraninfo.
- Gil, António Carlos (1999). *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. S. Paulo: Editora Atlas.
- Gonçalves, H. Joyce, A. & Silva L., (2002). *Uma Contribuição para os Objetivos de Política Energética e Ambiental*. Lisboa: ADENE/INETI.
- Gouveia, H. C. (1985).Conceito e Evolução dos Museus Regionais Portugueses desde finais do século XIXao regime do Estado Novo. *Bibliotecas, Arquivos e Museus*,vol,I, nº1.
- Guillermo, Llopis Trillo & Jimeno, Carlos Lopez (2009). *E.T.S.I. Minas : Universidade Politécnica de Madrid*. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.
- Gunter, G. Seip (1995). *Técnica inteligente para viviendas e edificios*, Ed. Marcombo.
- Hernández, Francisca (1994). *Manual de Museologia*. pp.197-200 Madrid: Sintesis.
- Hernández, Francisca (1998). *Manual de Museologia*. Cap. VII, pp. 166-189.Madrid:Sintesis.
- Huidobro, J.M. & Millán, R. (2004). *Domótica : Edif. Inteligentes*. Ed. Creaciones Copyright.
- Helmut, Müller F.O.(2010) museu energeticamente eficientes, Energias Renováveis.
- Izard, Jean-Louis e Guyot, Alain (1983), *Arquitectura Bioclimática*. Edi. G. Gili S.A. Mexico.
- ICTOP Annual Conference, Lisboa (2008). *Efficiency and Social Inclusion:Implications for the Museum Profession*.
- II Encontro Transfronteiriço MOUSEION (11 a 13 de Dezembro 2008). *A função social dos Museus da Raia Luso Espanhola*. Cáceres: Museu de Cáceres.

- II Seminário de Investigação em Sociomuseologia (22 de Janeiro de 2010). Lisboa: ULHT.
- IMC/RPM- XIX Jornadas sobre a Função Social do Museu (13,14 e 15 de Novembro de 2009). *Ciclo de Conversas "Museus em Rede"*. Sanfins: Museu Arqueológico da Citânia de Sanfins, Paços de Ferreira.
- Imperato, Ferrante (1599). Gabinete de curiosidades. In *Dell'Historia Naturale*. Nápoles.
- Julião, Letícia. *Apontamentos sobre a História do Museu 1995-1996 e 1999-2000*.
- Jiménez, Carlos, (1999). *Manual de Luminotecnia : Museos y exposiciones*. Barcelona: Ediciones CEAC, SA.
- Le Moigne, Jean-Louis (1999). O Construtivismo. Vol. I. Dos Fundamentos. Lisboa: Instituto Piaget.
- Kavanaugh, S. (2009). GCHP: Simple is Better. *Ashrae Journal*, Vol. 51, No. 11.
- King, Steve & Pearson, Colin (2001). Controle Ambiental para Instituições Culturais : planejamento adequado e uso de tecnologias alternativas. In *Conservação. Conceitos e Práticas*, pp.41-64 Editora UFRJ
- Leibowitz, (1978) *Metropolitan Life*, Dutton, Social Studies , Random House. 1981 EUA.
- Lopez-Yepes, J. (1996). *La Aventura de la Investigacion Científica : Guia del Investigador y del Director de Investigación*. Madrid: Editorial Síntesis, S. A.
- Laughlin, Robert B. (2005). *Reinventing Physics from the Bottom Down*.
- Lorenzo, E., (2006). *Radiación Solar y Dispositivos Fotovoltaicos*. Sevilla: Universidad Politecnica de Madrid.
- Luciano, Canfora (1998). *La biblioteca desaparecida*. Gijón: Ediciones Trea,
- Magalhães, Andreia (2007). Preservação da Arte Contemporânea. *@pha.Boletim*, nº5.
- Magalhães, Andreia (2007). Filmes e Videos de Artistas : características gerais dos suportes e problemas de conservação relacionados. *Contemporânea. @pha.Boletim*, nº5.
- Manual de Orientação Museológica e Museográfica. (1987) Secretaria de Estado da Cultura Departamento de Museus e Arquivos Sistemas de Museus-São Paulo.
- Mattheus, Geoff (1986). *One-pipe*. Amsterdam.
- Maure, Marc-Alain (1994). Identité, écologie, participation. In *VAGUES : une anthologie de la nouvelle muséologie*, vol. 2, pp.85.
- Mayrand, P. (1991). A Nova Museologia; da teoria as práticas : resumo da comunicação In *Textos de Museologia*. Lisboa: MINOM.
- Mendes, Manuel Furtado (2011). *O uso de energias renováveis em edifícios de Museus*. Tese de Doutoramento, ULHT/Faculdade de Ciências Sociais e Humanas.
- Mescher, K. (2009). One-pipe Geothermal design : Simplified GCHP system. *Ashrae Journal*, Vol. 51, Nº 10.

- Middleton, Victor (1998). Irresistible demand forces. In *Museum Management*. New York: Routledge.
- Ministério da Economia, Instituto Geológico e Mineiro (1998). *Recursos Geotermicos em Portugal Continental : Baixa Entalpia*. Lisboa: LNEG.
- MINOM – Movimento Internacional para uma Nova Museologia (2006). *Atas das XVI Jornadas sobre a função social do museu*. Montalegre: Câmara Municipal de Montalegre e Ecomuseu de Barroso.
- Morais, J. L. (2009). *Sistemas fotovoltaicos : da teoria à prática*. Porto: Weidmüller.
- Morales Cristóbal, Romero, Vázquez Serrano, Francisco & Castro Lozano, Carlos de (2005). *Domótica e Inmótica: Viviendas e edificios inteligentes*. Ed. RA-MA.
- Moutinho, Mário (1989). Museus e sociedade. In *Cadernos de património*, 5. Museu Etnográfico do Monte Redondo.
- Moutinho, Mário (1991). Museologia e economia. In *Textos de Museologia* do MINOM.
- Moutinho, Mário (1993). Sobre o conceito de museologia social. *Cadernos de Sociomuseologia*, 1.
- Moutinho, Mário (1994). A construção do objecto museológico. *Cadernos de Sociomuseologia*, 4.
- Moutinho, Mário (1996). Museologia Informal. *Boletim da Associação Portuguesa de Museologia*, 3.
- Moutinho, Mário (2000). 20 anos de museologia : um caminho de dúvidas e opções. In *Anais do II Encontro Internacional de Ecomuseus/ IX ICOFOM LAM*. Rio de Janeiro.
- Moutinho, Mário (2000). Autonomia Ritmo e Criatividade na Museologia Contemporânea. *Encontros “Linguagens e Processos Museológicos”*. S. Paulo: USP.
- Moutinho, Mário (2007). Definição Evolutiva de Sociomuseologia : proposta para Reflexão. In *XII Atelier Internacional do MINOM*. Lisboa: ULHT.
- Moutinho, Mário (2007). *Definição evolutiva de Sociomuseologia, proposta para reflexão*. Lisboa: XIII Atelier Internacional do MINOM.
- Moutinho, Mário (2008). Os museus como instituições prestadoras de serviços. In *Revista Lusófona de Humanidades e Tecnologias*, n.º 12.
- Moya, J. M. H. & Tejedor, R. J. M. (2008). *Domótica – Edificios Inteligentes (3ª Reimpresión actualizada)*. España: Creaciones Copyright.
- Muffler, L. J. Patrick (1978). *USGS Geothermal Resource Assessment*. U. S. Geological Survey Menlo Park.
- MUSAS-Revista Brasileira de Museus e Museologia*, Nº 3, 2007. Rio de Janeiro: Inst. do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional Dep. de Museus e Centros Culturais.
- Museologia : teoria e prática (1999). *Cadernos de sociomuseologia*, 14.

- Museus e acção cultural (1996). *Cadernos de sociomuseologia*, 5.
- Mustafá, El-Abbadí (1994). *La antigua biblioteca de Alejandría : vida y destino*. Madrid.
- Nunes, Renato (1995) "Integração de serviços para Edifícios Inteligentes". Tese de Doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, IST.
- Neves, Luís (2011). Geotermia. TSF.
- Nichols, L., Giroud, P. & Julien, C. (2009). Geothermal for Community Center. *Ashrae Journal*, Vol. 51, No. 12.
- Nieves, Valentin, et al. *Microbial control in Archives, Libraries an Museums by Ventilation Systems*, Restaurator, pp. 85-107.
- Norwich, John Julius. (1991). Museum Management and Curatorship. In *Tourist Pollution*.
- Oliveira, Antonio Carlos dos Santos. *Prognóstico de ventilação para preservação e conservação em Museus Casa*. Rio de Janeiro: Universidade Federal.
- Oechslin, Werner (2008) A arquitetura de Museus e a reedição de "os Elementos de Euclides" de Oliver Byrne em 1847 (2010). *Festschrift*
- Pettenkofer Max Joseph von (1858). Mudança de ares em Construção de casas, &" Die Atmos-pharische Luft em Wohngebauden"(ar atmosférico em Construção de casas"), Brunswick,
- Park, S.C. (1999). HVAC For Historic Buildings. *ASHRAE Journal*, Abril-1999, pp. 91-98.
- Pedro, Aguado Bleye (1935). *Curso de Historia*, 2ª edición, tomo I. Madrid.
- Pires, A. Ramos (2000). Sistema de gestão ambiental. In *Qualidade : sistemas de gestão da qualidade*. Lisboa: Sílabo, cap. 5, pp. 229-230.
- Pinto, Duarte José - (2003) A Casa do Futuro. In Brito, J.M.; Heitor, M.; Rollo, M.F. – A Engenharia em Portugal no século XX.
- Planning Successful museem building Projects (2009). USA: AltaMira Press.
- Primo, Judite (2008). Património, política cultural e globalização em contexto museal. *Revista Lusófona de Humanidades e Tecnologias*, 12.
- Primo, Judite (Org.) (1999). Museologia e Património: documentos fundamentais. *Cadernos de Sociomuseologia*, 15.
- Primo, Judite (Org.) (1999). Museologia e Património: documentos fundamentais. In *Cadernos de Sociomuseologia*, 15.
- Primo, Judite Santos (2007). *A Museologia e as Políticas Culturais Europeias : o caso Português*. Tese de Doutoramento.
- Primo, Judite Santos. (1999). *Museologia e património: documentos fundamentais desde 1993*. Cadernos de Sociomuseologia.
- Proceedings World Geothermal Kyushu (2000). Tohoku, Japan.

- Programa Europeu Cultura 2007-2011(21 de Novembro de 2009). Encontro “Cidades da Tradição Oral”. Fórum Cultural de Idanha-a-Nova, no âmbito do projecto Oralidades Comunicação sobre as energias renováveis aplicadas em museus “I Seminário de Investigação em Sociomuseologia”. 22 de Janeiro de 2010 Lisboa: ULHT.
- Prospectiva – Projetos, Serviços, Estudos, SA. *Projetos nos Últimos 8 Anos*. Lisboa.
- Quaresma, Celestino Flório (março/abril 2005). *A certificação Energética de Edifícios*. *INGENIUM*, II Série, N.º 86, p.60.
- Quinteiro, Jose M<sup>a</sup>. (2000). *Sistemas de Control para Edifícios; Domótica* Madrid. Paraninfo.
- Ribeiro, Marina Byrro (1993), Conforto Ambiental em Prédios de Valor Cultural; dissertação de mestrado - PROARQ/FAU/UFRJ.
- Ribeiro Marina Byrro A Importancia do edifício para o conforto e o controle ambiental nos museus. Actas do I Seminário de Investigação em Museologia dos Países de Língua Portuguesa e Espanhola, Volume 1, pp. 402-413
- Ramos, Paulo Oliveira (1993). Breve História do Museu em Portugal. In *Iniciação à Museologia – XE Museologia*. Lisboa: Universidade Aberta.
- Reilly, J.M. et al; (1995). *New Tools for Preservation : Assessing Long-Term Environmental* *Revista Cubo 008* (2008): Ambiente, arquitetura, design, interiores, construção, atualidade. Dossier, Energias renováveis. Lisboa: Ordem dos Arquitetos.
- Revista de Museología* nº48 (2010). Museos y Medio Ambiente. Madrid: Asociación Española de Museólogos.
- Revista de Museología*, N.º 49 (2010). Madrid: Asociación Española de Museólogos.
- Revista Materiais de Construção*, N.º 116 (novembro/dezembro 2004).
- Ribeiro, F. R. (2008). *A Energia da Razão : por uma Sociedade com menos CO2*. Lisboa: Gradiva Publicações, S.A.
- Ribeiro, José Pedro Lopes (2004). *Edifícios Inteligentes : domótica e arquitectura bioclimática*. Porto: Universidade Fernando Pessoa.
- Ribeiro, Marina Byrro (2010). *Desafios da Arquitetura de Museus Adaptada ao Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: Museu Histórico Nacional/Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Rivas Arias, Jose Maria (2009). *Manual para la instalación domótica*. Madrid: Paraninfo, S.A.
- Rivière, Georges Henry (1993). *La museologia*. Madrid: Ediciones Akal.
- Rivière, Georges-Henri (1974). Processus du Programme et du Projet Pour la Construction d’un Musée. In *Museum*. XXVI, 3/4. Paris: UNESCO. p 268.
- Rodrigues, V. (2009). *Desenvolvimento Sustentável : uma introd. crítica*. Lisboa: Principia.
- Romero Morales, Cristobal, Vazquez Serrano, Fco. Javier & Castro Lozano, Carlos de (2010). *Domótica e Inmótica : Viviendas y Edif. Inteligentes*. Madrid: Alfaomega.

- Sagan, Carl (1982). *Cosmos*. Barcelona: Planeta.
- Santos, Célia (1999). Estratégias Museais e Patrimoniais Contribuindo para a Qualidade de Vida dos Cidadãos: diversas formas de musealização. In *Património e juventude desafios para o século XXI*. Salvador da Bahia: MINOM.
- Santos, Célia (1999). Estratégias Museais e Patrimoniais Contribuindo para a Qualidade de Vida dos Cidadãos : diversas formas de musealização. In *MINOM Património e juventude - desafios para o século XXI* . Salvador da Bahia: MINOM.
- Santos, Maria Célia (1996). *Preservar a Escola, Preservar a Vida: uma ação museológica de cidadania*.
- Sarmiento, António (setembro/outubro 2012). A Engenharia e a Tecnologia nas Energias Renováveis. *INGENIUM*, II Série, N.º 131, p.34
- Scheiner, Tereza Cristina (2000). Museologia, Identidades, Desenvolvimento Sustentável: estratégias discursivas. In *Anais do II Encontro Internacional de Ecomuseums/ IX ICOFOM LAM*. Rio de Janeiro: ICOFOM LAM.
- Scheiner, Tereza Cristina (2000). Museu: génese, ideia e desenvolvimento. In *Curso*.
- Serrano Morales, C. R. (2007). F. V. & Lozano, C. C.
- Sirard, S., Bourdages, C.(2009). Geotherm. for Grain Research Center. *Ashrae Journal*, 51,8
- Soares, Brulon Bruno C. (2008). *Quando o Museu abre portas e janelas : o reencontro com o humano no Museu contemporâneo*. Dissertação de Mestrado.
- Sociedade Geotermica dos Açores, S.A. (2010). *Recursos Geotermicos em Portugal Continental – Baixa Entalpia* (comunicação privada do Eng. Bicudo da Ponte).
- Sole, António Creus (2005). *Domótica para instaladores*. Madrid: Ceysa.
- Song, D., Wang K., Xu P. et al. (2007). *The annual of the Mineral Resources in Tianjin. Tianjin Bureau of Land Resources and Housing Administrative*, 43 pp.
- Thomson, Gary (1978). *The Museum Environment*. London: Butterworth-Heinemann.
- Tosi Francesca& Fabio Rosseti.(1991) *L'intelligenza della casa; nuove tecnologie e mutamenti sociali*. Firenze.
- Tianjin Institute of Geology (1992). *Tianjin regional geological record*. Beijing: Geology Press,.
- Tirone, L.,& Ken, N. (2007). *Construção Sustentável*. Lisboa: Tirone Nunes, S. A.
- Tirone, Livia (2011). *Coberturas Eficientes : Guias para Reabilitação Energético-Ambiental do Edifício*. Miraflores: ADENE.
- Toledo, Franciza (2003). *O controle climático em museus quentes e úmidos : conservação preventiva e o controle climático*. Florianópolis: Museu Victor Meirelles.
- Unesco (1989), Revista *Museum* nº164 – 4, Architecture Muséale.
- UNESCO (2001). Declaração Universal sobre a Diversidade Cultural. V Encontro Nacional Museologia e Autarquias (1996). Atas. *Cadernos de sociomuseologia*.

- Vallêra, António M. & Brito, Miguel Centeno (2006) Meio século de história fotovoltaica. Lisboa: Departamento de Física e Centro de Física da Matéria Condensada (CFMC) da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Van Mensch, Peter (1992). Modelos conceituais de museus e sua relação com o patrimônio natural e cultural. ICOFOM-LAM.
- Varine Hughes de (n.d.). Principios La Museologia pp. 393-394
- Varine, Hughes de (1987). *O Tempo Social*. Rio de Janeiro: Livraria Eça Editora.
- Varine.Hughes de. (1987) *O Tempo Social*. Trad. Fernanda de Camargo-Moro e Lourdes Rego Novaes. Rio de Janeiro: Livraria Eça Editora.
- VIII Jornadas do ICOM-Portugal (29 de Março de 2010). *Museus e Harmonia Social*. Lisboa: Padrão dos Descobrimentos.
- Viloria, J. R., (2008). *Fuentes de Energía : instalaciones eólicas, instalaciones solares térmicas*. Cengage: Paraninfo.
- Vitrúvio (2006). *Tratado de Arquitectura*. Lisboa: IST Press.
- Vittorio, Lampugnani & Sachs, Angeli. *Museus para o Novo Milénio*, pp. 11-13.
- Wagner, Heinrich (1906). Museen. In *Handbuch der Architektur*, 6.º meio volume, caderno 4.
- Wang, K., Lee C. & Lei, H. (2005). The sustainable development and utilization of geothermal resources in Tianjin, China. In *Proceedings of the World Geothermal Congress, 2005*. Turkey: Antalya.
- Wang, K., Lee C. & Lei, H. (2005). The sustainable development and utilization of geothermal resources in Tianjin, China. In *Proceedings of the World Geothermal Congress, 2005*. Turkey: Antalya.
- William, Alderson T. & Shirley Payne Low (1985). *Interpretation of Historic Sites*. Walnut Creek: AltaMira Press.
- William, M.Sukel (1998). *Museums as organizations*. In *La gestión del museo*. Madrid: Trea.
- X Congresso Luso-Afro-Brasileiro de Ciências Sociais (4 e 7 de Fevereiro de 2009). *Sociedades desiguais e paradigmas em confronto*. Braga: Universidade do Minho.
- XVIII Jornada sobre a Função Social do Museu em Idanha-a-Nova (2008). *Geoturismo, desenvolvimento local e museologia*. Idanha-a-Nova: Centro Cultural Raiano.
- Zeng, M., Ruan, C., et al.,(2007). *The annual report of dynamic monitoring of geothermal resource in Tianjin*. Beijing: Tianjin Bureau of Land Resources and Housing Administrative.

## Recurso à internet

- Adams W. G. & R. E. Day, (1877) Desenvolvimento do primeiro dispositivo sólido de produção de electricidade por exposição à luz. Acedido a 18/02/2011 de [http://en.wikipedia.org/wiki/Timeline\\_of\\_solar\\_cells](http://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_solar_cells)
- Agência Internacional de Energia (AIE) (2004). Perspetiva Energética Mundial (WEO 2004). Acedido a 25/02/2011 de [http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/cenario\\_global\\_pt.pdf](http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/cenario_global_pt.pdf)
- Associação Mundial de Energia Eólica <http://hojemacau.com.mo/?p=30504> Acedido a 2012/07/22
- Apren. Associação de energias renováveis. Estudo da WWF conclui: Energias renováveis podem alimentar o mundo em 2050 Acedido a 16/11/2011 de <http://www.apren.pt/noticias/detalhes.php?id=315>  
<http://visao.sapo.pt/ambiente-e-possivel-ter-energia-limpa-e-sustentavel-para-todas-as-atividades-ate-2050-wwf=f588600>
- Barragens hidroelétricas em Portugal, com potencia instalada superior a 97 MW [http://pt.wikipedia.org/wiki/Hidroel%C3%A9ctricas\\_em\\_Portugal](http://pt.wikipedia.org/wiki/Hidroel%C3%A9ctricas_em_Portugal) Acedida a 27/09/2011
- Biblioteca Real de Alexandria ou Antiga Biblioteca de Alexandria [http://www.noruega.org.br/About\\_Norway/culture/architecture/alexandria/](http://www.noruega.org.br/About_Norway/culture/architecture/alexandria/) Acedida a 5/5/2010
- Becquerel, E., (1839) "Memoires sur les effets electriques produits sous l'influence des rayons". Acedido a 02/09/2011 de
- Coelho, Catarina Isabel Augusto (2007) Tese sobre energia Eólica. FCUL Acedido a 17/09/2012 de [http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/1180/1/17281\\_Avaliacao\\_dos\\_Impactes\\_Ambientais.pdf](http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/1180/1/17281_Avaliacao_dos_Impactes_Ambientais.pdf)
- Conselho Europeu de Energia Renovável (EREC) (2007) Revolução Energética Acedido a 26/11/2012 de [http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/cenario\\_brasileiro.pdf](http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/cenario_brasileiro.pdf)
- Cadernos de Sociomuseologia. (2008) MINOM Acedido a 17/05/2010 de <http://musealogando.blogspot.pt/2008/10/cadernos-de-sociomuseologia.html>
- Ciência-energia. Acedido a 26-05-2011 de <http://divulgarciencia.com/categoria/energia/>
- Conferência Geral da UNESCO. (2005) Declaração Universal sobre Bioética e Direitos Humanos. (ONU) e (UNESCO) – Portugal Acedido a 2011/10/20 de <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180por.pdf>
- CRESESB (2008) Energia Eólica - Princípios e Tecnologia. Acedido a 12/02/2012 de [http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial\\_eolica.htm](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial_eolica.htm)  
<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABVokAA/energia-eolica-principios-tecnologia>
- Genáculo Frei Manuel do (2005) Simpósio - construtor de bibliotecas.

[http://www.evora.net/bpe/2005Bicentenario/dias/01\\_Mar05/simposio/biografias.htm](http://www.evora.net/bpe/2005Bicentenario/dias/01_Mar05/simposio/biografias.htm) 7/8/2012  
Conselho Europeu de Energia Renovável (EREC) (2007) Revolução Energética 26/11/2012  
de [http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/cenario\\_brasileiro.pdf](http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/cenario_brasileiro.pdf)  
Declaração Universal sobre Bioética e Direitos Humanos.(1997) UNESCO  
<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180por.pdf> Acedido a 20/06/2010  
Domótica, habitação digital, segurança, áudio multi-zona e home cinema. A Casa Inteligente.com Acedido a 4/03/2010 em <http://www.acasainteligente.com/imprensa.asp?idImp>  
Energias renováveis podem alimentar o mundo em 2050. Acedido a 18/7/211 de  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/World\\_Wide\\_Fund\\_for\\_Nature](http://pt.wikipedia.org/wiki/World_Wide_Fund_for_Nature)  
Energias alternativas. Portal de energias alternativas. Acedido a 13/5/2010  
<http://www.energiasealternativas.com/usos-energia-geotermica.html>  
Edifícios inteligentes. Acedidas a 18/6/2012 de <http://www.domus.areasdeservico.com/>  
<http://www.domoticaviva.com/noticias/020-070902/inmotica1.htm>  
[http://domobus.net/ei\\_docs/edif\\_int.pdf](http://domobus.net/ei_docs/edif_int.pdf)  
<http://sites.google.com/site/edificioeedificio/edificios-inteligentes>  
Energia Fotovoltaica-manual sobre tecnologias, projetos e instalação. Scribd  
<http://pt.scribd.com/doc/2535571/Energia-fotovoltaico> Acedido a 15/10/2011  
Grupo para a Acessibilidades nos Museus (GAM)  
<http://gam-acessibilidade.blogspot.com> Acedido a 26/11/2011)  
Greub Suzanne, (1890) Art Centre de Basel-Suíça. & Scientific American, 1890  
[www.artcentrebasel.com](http://www.artcentrebasel.com) Acedido a 05/06/2010  
Guerra, Antonio José Texeira (1995). Anuário do Instituto de Geociências. Volume 18. UFRJ  
Acedido a 15/2/2011 de <http://ppegeo.igc.usp.br/pdf/anigeo/v30n1/v30n1a18.pdf>  
Institute of Energy Analysis da OCDE (2010) As projecções do IEA para 2050  
<http://www.oecd.org/env/49090716.pdf> Acedido a 26-10-2010  
Lopes, Maria Margaret & Alda Heizer.(2011) Colecionismos, práticas de campo e representações. Acedido a 15/03/2011 de <http://pt.scribd.com/doc/109224291/Lopes>  
Mudanças climáticas. O ( IPCC) instituição da ONU que reúne mais de mil cientistas.  
[http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/cenario\\_global\\_pt.pdf](http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/cenario_global_pt.pdf) Acedido a 12/5/2011  
de <http://natgeotv.com/pt/ameaca-degelo/factos> Acedido a 12/5/212  
[http://www.tsf.pt/PaginalInicial/Interior.aspx?content\\_id=718845](http://www.tsf.pt/PaginalInicial/Interior.aspx?content_id=718845) Acedido a 27/1/2013  
Museus do século XXI.Tema apresentado na Culturgest por Werner Oechslin (2008)  
<http://www.ebah.pt/search?start=10&q=museus+museologia> Acesso 16/7/2010  
Museu Allen, imagens (1785-1848) Porto Acedido a 15/10/2012 de  
<http://www.google.pt/search?q=museu+allen&hl=ptPT&tbo=u&tbm=isch&source=univ&sa=X&ei=lje7UILYE4i4hAfellDgAg&sqi=2&ved=0CFAQsAQ&biw=1366&bih=673>Acesso a 12/9/15

Managing National innovation Systems (1999) A maior parte dos combustíveis fósseis do mundo, devem permanecer no solo. Acesso a 15-02-2011

<http://pt.scribd.com/doc/7298586/OCDE-1999-Managing-National-Innovation-Systems>

Natureba, Poluição do Ar e desequilíbrio do Clima. Acesso a 18-03-2011

<http://www.natureba.com.br/aquecimento-global.htm>

<http://www.rudzerhost.com/ambiente/estufa.htm>

<http://ecoguia.cm-mirandela.pt/index.php?oid=88>

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo\\_do\\_carbono](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_do_carbono)

Principal mudança no modo como produzimos, distribuímos e consumimos energia.

<http://www.observatorioagronegocio.com.br/page41/files/sumario-executivo-r-evolu-o.pdf>

Acesso a 22-11-2010

Projetos confirmados entre 2006-2010 pela Geothermal Energy Association

<http://www.geo-energy.org> Acesso a /15/7/2010

Relatório do IPCC/ONU (2007) Novos cenários climáticos

<http://www.ecolatina.com.br/pdf/IPCC-COMPLETO.pdf> Acesso a 25-03-2009

Rocha, Sara Sousa Pedro Goulart (2011 ) Tese mestrado em Geotermia na UNL

[http://run.unl.pt/bitstream/10362/6232/1/Rocha\\_2011.pdf](http://run.unl.pt/bitstream/10362/6232/1/Rocha_2011.pdf) Acesso a 25-10-2011

SHEPHERD, (1994) História da Energia Eólica e suas utilizações. Scientific American, 1890). Acedido a 29/06/2009 de

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABVOKAA/energia-eolica-principios-tecnologia>

[http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial\\_eolica.htm/](http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_eolica.htm/)

<http://www.cresesb.cepel.br/content.php?filter%5B%5D=&limit=15&page=6>

Greenpeace Internacional (2002) Relatório-Revolução Energética Acedido a 17-04-2011 de

[http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/cenario\\_global\\_pt.pdf](http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/cenario_global_pt.pdf) Acesso a 17-04-2011

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABVOKAA/energia-eolica-principios-tecnologia>

Yamaoka, Marina (24/10/ 2012) O que a Europa pode fazer pelas Renováveis.

[http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Blog/o-que-a-europa-pode-fazer-pelas-](http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Blog/o-que-a-europa-pode-fazer-pelas-renovveis/blog/42718/)

[renovveis/blog/42718/](http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Blog/o-que-a-europa-pode-fazer-pelas-renovveis/blog/42718/) Acesso a 03-02-2011

Vieira, A. C. M.& Mariana N.& Juliana M.&Ana F.&Deusana M.&Luiza P.(Vol. 30 - 1 / 2007)

Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ Acedido a 15/02/2010 de

<http://ppegeo.igc.usp.br/pdf/anigeo/v30n1/v30n1a18.pdf>

## Apendice

Observação/Sugestão do Júri	Ação Tomada	Comentário
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quais as razões que levaram a selecionar a energia geotérmica para centro de estudo aprofundado nesta tese?</li>   <li>• Qual é a pertinência da Energia Geotérmica nos Museus uma vez que esta se pode adaptar a todos os edifícios?</li>   <li>• Explicitar melhor a razão porque temos de ultrapassar o paradigma do dióxido de carbono nos Museus.</li>   <li>• Quais são os planos futuros para sensibilizar a aplicação das teorias defendidas nesta tese?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recolha de todos os dados teóricos e práticos obtidos com a implantação da climatização geotérmica no edifício L da Universidade Lusófona, cuja construção foi da minha responsabilidade.</li>   <li>• Analisaram-se os resultados obtidos com o funcionamento desta energia no edifício L da Lusófona, tendo ficado demonstrado haver grandes vantagens relativamente a outras energias.</li>   <li>• Investigação sobre a produção de dióxido de carbono com a utilização dos combustíveis fósseis na geração da energia utilizada e consumida nos museus.</li>   <li>• Investigação para esta tese e todos os artigos e apresentações efetuadas ao longo do curso na resposta aos seus conteúdos programáticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ao aprofundar a teoria sobre a geotermia de superfície, para aplicação pioneira em Portugal dessa energia num edifício de serviços da Lusófona, fui induzido a estender esse conhecimento à aplicação nos edifícios dos Museus. Por essa razão é que selecionei a geotermia para centro de estudo desta tese.</li>   <li>• Pelos bons resultados obtidos na redução do consumo de eletricidade, qualidade e saudável climatização daquele espaço, tornou-se evidente estudar esta mesma solução para os edifícios dos Museus que, dadas as suas necessidades é óbvia a pertinência em utilizar esta energia.</li>   <li>• Dado que os edifícios dos Museus pela sua natureza consomem mais energia do que qualquer outro, o paradigma do carbono assume maior relevância. Daí a nossa preocupação em os dotar de meios energéticos que amenizem ou eliminem o dióxido de carbono, cujos efeitos são conhecidos.</li>   <li>• As matérias apresentadas nesta tese, e as respetivas conclusões, permitem publicar artigos, fazer apresentações em seminários ou outros eventos de natureza académica ou profissional e eventualmente a escrita de um livro sobre o tema.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rever a bibliografia, e ordenar de acordo com as normas.</li> <li>• Colocar apenas 5 palavras chave.</li> <li>• Releva esta tese integrando-a com outras já existentes em temas aqui defendidos, como o turismo as energias, etc.</li> <li>• Evidenciar o que esta tese pretende demonstrar, tratando do paradigma energético.</li> <li>• Explicitar a possível função do museu constituir ou ser um laboratório de experiências, ou em que medida a Museologia pode participar e contribuir para o desenvolvimento do tema tratado.</li> <li>• Onde está a Sociomuseologia ou qual a sua relevância que por definição integra as outras ciências?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foi feita a revisão de acordo com as normas.</li> <li>• Foram retiradas as palavras chave a mais.</li> <li>• Foi citada a tese de Doutoramento em Desenvolvimento, Turismo e Museus de Fernando Moreira Pag. 38 Sobre as energias, diversas obras e teses estão referidas na bibliografia.</li> <li>• Foram analisados os capítulos 2 e 3 com vista a melhorar a evidência do paradigma energético.</li> <li>• Explicitaram-se em alguns parágrafos do trabalho a função do Museu integrado no paradigma da Sociomuseologia, com a sua contribuição para o desenvolvimento do tema aqui tratado.</li> <li>• Foram sintetizados os temas da tese que demonstram a relevância da Sociomuseologia e a sua integração ou envolvimento com outras ciências, através das teorias defendidas pelo MINOM pelo ICOM e vários autores individualmente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A bibliografia contém Bibliografia diretamente relacionada com a Museologia e Bibliografia técnica. Assim como recursos à Internet.</li> <li>• Ao falar sobre o desenvolvimento turístico era de facto importante referir esta tese. O mesmo acontecendo em relação às energias renováveis.</li> <li>• A evidência daquilo que se pretende demonstrar está expresso nas conclusões Pag.75;76 e 125;126</li> <li>• Está referida essa contribuição nas questões prévias Pag.18,19, 20 e 21; na problemática Pag.22; nos edifícios adaptados Pag.43 e 44; na articulação funcional Pag. 45;46;47 conclusões cap.1 Pag. 75; Energias renováveis Pag.78; e conclusões finais Pag.259</li> <li>• A Sociomuseologia está em todos os temas desenvolvidos na tese nomeadamente:             <ol style="list-style-type: none"> <li>1-Como instrumento ao serviço da sociedade;</li> <li>2-Desenvolvimento sustentável;</li> <li>3-Eficiência, desenvolvimento social;</li> <li>4-Otimização energética c/ equilíbrio ecológico. Ver pag.18,19,20,21,22,23 e 24.</li> </ol> </li> </ul>
--	--	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fazer referência aos debates havidos e conclusões publicadas sobre os imóveis dos museus como foi a carta de Veneza ou outras, justificando o elemento Museu com a sua conservação energética e sociomuseológica.</li> <li>• Não seria importante ter algum quadro comparativo do estado dos nossos Museus?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram analisadas a Carta de Veneza de 1964 antecedida pela conferência de Atenas em 1931 e precedida da Carta de Cracóvia em 2000.</li> <li>• Analizaram-se os nossos museus na optica das energias renováveis e novas tecnologias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os resumos de todas aquelas publicações cujo objetivo foi promover a teoria da metodologia, e da tecnologia aplicada à conservação, proteção e defesa de monumentos, sítios históricos e culturais, estão referidos na pág. 43 e nos anexos. Todos estes eventos publicados, vêm consolidar os princípios defendidos pela Sociomuseologia.</li> <li>• Na ótica em que foram analisados a comparação entre eles pareceu-nos pouco relevante.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Há desequilíbrio entre o desenvolvimento da Museologia em prol da Engenharia. Tentar estabelecer mais diálogo com a Museologia por sentir que foi pouco acarinhada.</li> <li>• Estabelecer caminhos em maior sintonia ou conjunto.</li> <li>• Equilibrar mais a análise dos museus visitados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentamos o desenvolvimento da matéria relacionada com a museologia propriamente dita, para melhorar o equilíbrio entre as matérias, e ao mesmo tempo estabelecer mais diálogo com a Museologia. Ver pag. 32 à 50.</li> <li>• Procurou-se estabelecer mais sintonia de conjunto.</li> <li>• Foi feito um aumento substancial na análise dos museus visitados, sem perder de vista a ótica em que os mesmos foram vistos. Condições energéticas, novas tecnologias, sustentabilidade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O desequilíbrio está à partida na forma como se definiram os objetivos da tese. Esse desequilíbrio é de algum modo aparente porque ao olharmos para os museus na ótica do edifício, tivemos que ter em consideração as condições que lhe são exigidas pela problemática museológica.</li> <li>• Ao reler todo o conteúdo procurou-se ajustar o que efetivamente pudesse estar mais desfasado.</li> <li>• De facto havia uma simplificação muito grande sobre a análise dos museus visitados. Inclusive as imagens estavam diminutas.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicitar custos comparativos na aplicação do sistema geotérmico em Museus nos edifícios classificados ou históricos.</li> <li>• Há unidades com gralhas.</li> <li>• Podem ser criadas linhas de investigação para mestrados de Engenharia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procurou-se obter alguns custos comparativos para responder a esta questão.</li> <li>• Foram feitas as correções detetadas.</li> <li>• Cada candidato poderá fazer a sua escolha em função da abrangência das matérias investigadas nesta tese.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os custos comparativos ainda são escassos de obter por estarmos em presença de novas energias pouco usadas nos edifícios dos museus. Porém nos exemplos apresentados, pag.161 e no caso de estudo, podemos constatar grandes economias nos consumos de energia elétrica, que fazem recuperar no máximo de cinco anos 30 a 35% o maior custo inicial em relação aos sistemas tradicionais. Os Museus Osthaus e Emil-Schumacher na pag. 256 no Museu Delphi, e o caso de estudo também demonstra, comparação económica e ambiental relativamente aos consumos das energias geradas pelas renováveis e não renováveis.</li> <li>• Isto deve-se ao facto da padronização das várias unidades europeias ter sido feita há relativamente poucos anos.</li> <li>• Na realidade cada capítulo das energias e novas tecnologias pode servir como tema para esses mestrados. Além disso as condições necessárias para a sustentabilidade dos acervos implicam complexas soluções de engenharia e arquitetura que também podem ser investigadas em sede de teses.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar todas as referências bibliográficas colocadas em rodapé.</li> <li>• Verificar todos os autores mencionados no corpo do texto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram verificadas todas aquelas referências</li> <li>• Foram verificados os autores mencionados no texto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Havia alguns lapsos que se eliminaram.</li> <li>• Detetaram-se algumas falhas que se corrigiram</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Citações à tese de Furtado Mendes. O uso de energias renováveis em edifícios de museus</li> <li>• Autores que não tinham sido citados, ou referência às suas obras bibliográficas, bem como autores referidos no texto que não apareciam na bibliografia e esta estar em desacordo com as normas.</li> <li>• Evitar afirmações, como “não vislumbramos a utilização de energias renováveis” ou “péssimos exemplos nas temperaturas de conforto”.</li> <li>• A bibliografia contém erros de normalização.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os parágrafos que referiram, como sendo total ou parcialmente, extraídos do texto da tese de Furtado Mendes, foram retirados.</li> <li>• Foi feita uma revisão geral a todo o texto, nomeadamente às observações referidas às páginas 33,36,40,43,45,48,49, 51,54,59 e 60.</li> <li>• Fez-se uma análise muito pormenorizada a estas afirmações e corrigiram-se ou completaram-se alguns termos para as tornar mais claras e objetivas.</li> <li>• Foi revista toda a bibliografia e corrigiram-se os erros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estes parágrafos, coincidentes com o texto da tese de Furtado Mendes, foram excluídos para não se confundirem as semelhanças que existem em matérias comuns às duas teses.</li> <li>• Encontraram-se efectivamente as referidas deficiências e que se corrigiram. Algumas delas já constavam duma errata que antecipadamente se tinha elaborado.</li> <li>• Admitimos que em função dos parâmetros que caracterizam os objetivos da tese, aquelas afirmações podiam revelar a uma certa escala de valor um diagnóstico mensurável.</li> <li>• Seguiu-se a norma adotada pela ULHT; Despacho Reitoral nº101/2009 que revogou o despacho 52/2008 de 12 de Maio.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram recomendadas mais publicações e artigos relacionados com os museus e a museologia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigaram-se todas as obras e artigos que foram objeto de observação e /ou recomendação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram consultadas todas as obras e artigos indicados e incluídos aqueles que correspondiam à problemática e tema específico da tese.</li> </ul>

## Índice remíssivo

### A

A Problemática .....	22
Aeroporto de Orly .....	165
Agentes de degradação, deterioração e respectivas causas .....	57
Alterações climáticas devido ao consumo de combustíveis fósseis .....	80
Articulação funcional dos serviços nos Museus .....	45
As estações do Metro do Pacífico .....	166
<b>As globais capacidades da domótica e seus benefícios</b> .....	<b>243</b>
Atuação dos sistemas de Comunicação .....	232
Atuação dos sistemas de conforto .....	235
Atuação dos Sistemas de gestão e controlo energético .....	227
Atuação dos Sistemas de Segurança na Sinalização e Prevenção .....	225

### B

Bombas de calor geotérmicas e seu funcionamento .....	143
British Museum .....	66

### C

Cálculo da Potência do vento .....	103
Capacidade dos sistemas “Domótica”. .....	224
Captação em meio Freático ou Aquífero .....	152
Captação Horizontal .....	150
Captação Vertical .....	150
Características fundamentais da Energia Geotérmica .....	136
Caso de Estudo .....	248
Centro Belga de Banda Desenhada .....	61
Centro de Arte Rainha Sofia .....	62
Cité des Sciences et de l’Industrie .....	65
Climatização Geotérmica dos edifícios destinados aos Museus .....	168
Complexo desportivo em Sintra .....	94
Condições de ambiente no interior e exterior dos Museus .....	48
Custos comparativos entre energias renováveis .....	124

### D

Definição de edifícios inteligentes .....	212
Delimitação Geográfica e Temporal .....	24

Domótica .....	212, 213, 215
----------------	---------------

## E

Eco-Cidade de Tianjin .....	163
Edifício da Universidade Lusófona .....	164
Edifício Residencial .....	168
Edifícios destinados aos Museus .....	40
Edifícios inteligentes.....	212
Edifícios inteligentes destinados aos Museus.....	215
Energia das marés e das ondas.....	116
Energia das Ondas.....	118
Energia de Biomassa .....	122
Energia Eólica .....	102
Energia Geotérmica .....	123, 127, 128
Energia Geotérmica de alta e baixa entalpia .....	131
Energia Hidroelétrica .....	110
Energia solar térmica e fotovoltaica .....	87
Energias alternativas , renováveis e sustentáveis .....	82
Energias Renováveis e sua utilização nos edifícios dos Museus.....	77, 78
Estrutura da tese .....	29

## F

Fontes de investigação .....	25
Fontes e formas de aproveitamento da geotermia .....	137
Formas de captação desta Energia Geotérmica.....	149

## G

Geotermia de baixa profundidade, ou de superfície .....	140
---	-----

## H

Humidade absoluta .....	53
Humidade e Temperatura; Precauções para a Conservação.....	58
Humidade relativa .....	53

## I

IKEA de Karlstad .....	163
Instalação e Gestão da Domótica nos edifícios dos Museus .....	223

**K**

Kolumba Art Museum .....	159
--------------------------	-----

**L**

Leopold Museum .....	60
----------------------	----

**M**

Metodologia de investigação .....	26
Micro produção .....	109
Microgeração .....	91
Mini geração .....	92
Museu de Serralves .....	72
Museu e Academia de Ciências .....	99
Museu Arqueológico de Delphi .....	253
Museu Canadense da Civilização .....	161
Museu da água e da vida .....	97
Museu da Ciência de Minnesota .....	162
Museu de Évora .....	256
Museu de língua Portuguesa .....	59
Museu de Macau .....	68
Museu do Cairo .....	64
Museu do Hermitage .....	69
Museu do Louvre .....	63
Museu em Vila Nova de Foz Côa .....	257
Museu Horta .....	61
Museu infantil de Brooklin .....	157
Museu Nacional da Escócia .....	66
Museu Nacional do Prado .....	63
Museu Nacional dos Coches .....	70
Museus desde o século XVIII ao século XXI .....	35
Museus em Edifícios Adaptados .....	43
Museus em edifícios de construção nova .....	40
Museus Vaticano .....	68

**N**

Natura Towers .....	95
Novo aeroporto de Lisboa .....	95

## O

O Museu e biblioteca de Alexandria .....	73
O museu do conhecimento em Lisboa.....	73
O Museu do Quartzo .....	74
O Museu Guggenheim de Nova Iorque .....	74
Origens da biomassa e forma de produção de bioenergia .....	122

## P

Palacete de Chamberí.....	166
Parque de estacionamento .....	167
Perspectiva Histórica e Evolução dos Museus .....	32
Perspetivas para o futuro da energia fotovoltaica.....	100
Piso Radiante .....	153
Princípio de funcionamento dos ventilo-convectores.....	157
Produção de energia eléctrica ou electricidade .....	195
Produção e custos da energia fotovoltaica .....	90
Projectos de aplicação diversos - Energias Renováveis .....	93

## Q

Questões prévias. A escolha do tema .....	18
---	----

## R

Rijksmuseum .....	67
-------------------	----

## S

Sistemas de Emissão da climatização geotérmica .....	153
Situação mundial com a exploração dos recursos geotérmicos.....	199

## T

Tecnologias de transmissão/comunicação e deteção .....	238
Tipo de equipamentos e dispositivos na instalação da domótica .....	219
Tipo de turbinas.....	103
Tropenmuseum .....	67

## U

Uso histórico desta energia (Temperatura do interior da Terra).....	132
---	-----

## V

Vantagens e desvantagens na utilização da geotermia para gerar electricidade .....	206
Ventilo-convectores .....	155

## Índice de Anexos

- I - O Primeiro museu conhecido em Portugal
- II - IX Conferência Geral do ICOM
- III - Ecomuseu, conferência Geral do ICOM, Conselho Internacional de Museus
- IV - MINOM - Movimento Internacional por uma Nova Museologia (1985)
- V - Diplomas produzidos pela ONU/UNESCO, ICOMOS e Conselho da Europa, protocolo de Quioto
- VI - Convenção do Património Mundial Cultural e Natural em 2003
- VII - Conferência Internacional de Atenas sobre o Restauro dos Monumentos Históricos
- VIII - Carta de Veneza
- IX - Carta de Cracóvia 2000
- X - Vitruvius Tratado de Arquitetura
- XI - Biblioteca de Alexandria/Museu
- XII - Comité internacional para a museologia (ICOFOM)
- XIII - Declaração de Lisboa
- XIV - Definição evolutiva da Sociomuseologia
  - xiv.i - Objectivo Geral
- XV - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
- XVI - Energias Renováveis
  - xvi.i - Algumas marcas e características de painéis solares e fotovoltaicos
  - xvi.ii - Energia Eólica
    - xvi.ii.i - Turbinas Eólicas de Eixo Horizontal - Séries AHH
    - xvi.ii.ii - Energia eólica, turbinas de eixo vertical
- XVII - Energia Hidroelétrica
- XVIII - Energia das Marés e das Ondas
- XIX- Energia da Biomassa
- XIX - Energia Geotérmica
- XX - CASO DE ESTUDO
  - xx.i - Cálculos