

José Paulo Machado Nogueira

Análise e Resposta à Diretiva 2010/31/UE no contexto nacional - ciclo de vida,
independência energética da rede e emissões de dióxido de carbono

Universidade Fernando Pessoa

Faculdade de ciências e tecnologia

Mestrado em Engenharia Civil

Porto, Janeiro de 2014

José Paulo Machado Nogueira

Análise e Resposta à Diretiva 2010/31/UE no contexto nacional - ciclo de vida,
independência energética da rede e emissões de dióxido de carbono

Universidade Fernando Pessoa

Faculdade de ciências e tecnologia

Mestrado em Engenharia Civil

Porto, Janeiro de 2014

José Paulo Machado Nogueira

Análise e Resposta à Diretiva 2010/31/UE no contexto nacional – ciclo de vida,
independência energética da rede e emissões de dióxido de carbono

“Trabalho apresentado à Universidade
Fenando Pessoa como parte dos requisitos
para a obtenção do grau de Mestrado em
Engenharia Civil sob a orientação do
Professor Arquiteto Pedro Santiago”

Sumário

A presente dissertação pretende analisar e responder à nova Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios, tomando como universo de estudo o contexto nacional. No que diz respeito à análise, procurou-se examinar os motivos que conduziram à criação da Diretiva 2010/31/UE, bem como, do Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas, estando estes dois documentos relacionados. Relativamente à resposta, são propostas medidas de diminuição do impacto ambiental ao longo de todo o ciclo de vida dos edifícios.

A utilização dos edifícios é responsável, na União Europeia, por 40% do consumo total de energia primária e 36% das emissões de dióxido de carbono (Comissão Europeia, 2013, p.4), pois, segundo a Internacional Energy Agency (2010), grande percentagem da energia primária utilizada são combustíveis fósseis.

Assim, com o objetivo de reduzir a dependência energética do exterior, reduzir as emissões de CO₂ (um dos gases responsáveis pelo efeito de estufa), contribuir para o desenvolvimento sustentável, reduzir os custos energéticos dos consumidores e ao mesmo tempo aumentar o conforto nos edifícios, a União Europeia criou a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios.

Como o próprio nome indica, uma Diretiva é uma “instrução ou norma que deve orientar uma determinada ação ou atividade” (Priberam dicionário, 2013). Ora, sabendo que o Protocolo de Quioto estabelece compromissos para a redução da emissão dos gases responsáveis pelo agravamento do efeito de estufa, e que a Diretiva 2010/31/UE implementa, ao mesmo tempo, medidas que visam o aumento da eficiência energética dos edifícios novos e existentes, e promovem a utilização de energia proveniente de fontes renováveis, é possível afirmar que estes dois documentos oficiais se complementam. Esta complementaridade verifica-se no sentido em que a Diretiva dá orientações concretas para a redução do consumo energético dos edifícios, e consequentemente, diminuição das emissões de gases de efeito de estufa.

A Diretiva 2010/31/UE enfatiza a diminuição do consumo de energia, sobretudo na fase de utilização do edifício, promovendo “uma utilização prudente, racional e eficiente da

energia” (Diretiva 2010/31/UE) que, conjugada com o aumento da produção de energia proveniente de fontes renováveis, permitirá cumprir os pressupostos acordados no Protocolo de Quioto, fomentando ainda a “promoção da segurança do aprovisionamento energético, na promoção dos avanços tecnológicos e na criação de oportunidades de emprego e desenvolvimento regional, especialmente nas zonas rurais” (Diretiva 2010/31/UE).

Como já referido, a utilização dos edifícios na Europa é responsável por cerca de 40% do consumo total de energia na União Europeia. Contudo, um edifício apresenta níveis de consumo energético diferentes ao longo das várias fases do seu ciclo de vida, sendo, segundo Milutiené (2010) e Fernandez (2006), as fases da produção de materiais de construção¹ e de utilização do edifício as responsáveis pelo maior consumo energético. Nesta dissertação deu-se maior relevância ao consumo energético de todo o ciclo de vida dos edifícios, aprofundando-se as fases de produção de materiais e de utilização do edifício, sem esquecer a fase de planeamento e projeto, uma vez que as decisões tomadas nesta fase influenciam o impacto ambiental das fases seguintes. Em todas as fases são analisados os principais fatores de emissão de gases de efeito de estufa e apresentadas medidas de redução de tais emissões. Assim acontece, a título de exemplo, nas fases de construção e de demolição do edifício, pois são utilizados combustíveis fósseis no transporte de materiais e na execução dos trabalhos, produzindo resíduos prejudiciais ao ambiente.

Como exemplo prático/caso de estudo desta dissertação, foi escolhido o Edifício Solar XXI, localizado na cidade de Lisboa, por este edifício apresentar, na fase de utilização, medidas ativas e passivas que conduzem a que seja paradigmático em Portugal nessa área. É estudado também, o ciclo de vida do Edifício Solar XXI através do cálculo do consumo de energia e das emissões de dióxido de carbono de cada fase. São ainda apresentadas alternativas para a redução do consumo de energia e das emissões na fase de produção de materiais e na fase de utilização.

¹Fase de produção de materiais de construção – fase que envolve os processos de extração da matéria-prima, transporte e transformação desta em materiais/produtos de construção, envolvendo também a embalagem e distribuição destes últimos (Bayer, 2010, p.48).

Na fase de produção de materiais são demonstrados materiais com coeficientes de carbono e energia incorporada mais baixos, de forma a reduzir o consumo energético alocado aos materiais de construção e, por conseguinte, a diminuição da energia consumida nesta fase. Na fase de utilização, é feito um caso prático de redução do consumo de energia, no setor da iluminação, de uma grande superfície, utilizando o programa informático (excel) de cálculo da empresa GreenTubes.

Abstract

This dissertation aims to analyze and seek to answer to the new Directive 2010/31/EU, taking the national context as study environment. Regarding the analysis, it was sought to examine the reasons that led to the creation of both the Kyoto Protocol and the Directive 2010/31/EU, being this two documents related. Regarding the response, measures are proposed for reducing the environmental impact throughout the life cycle of buildings.

About 40% of the total energy consumption in the European Union, and 36% of the carbon dioxide emissions (Comissão Europeia, 2013, p.4), is due to buildings, because, according to the International Energy Agency (2010), a large percentage of the primary energy used, are fossil fuels..

Thus, in order to reduce the energy dependency from outside the European Union, reduce CO₂ emissions (one of the responsible gases for the greenhouse effect), contribute to sustainable development, and reduce energy costs for consumers while increasing the comfort on buildings, the European Union created the Directive 2010/31/EU from the European Parliament of the Council of 19 May 2010 relating to the energy performance of buildings. Given this subject,

As the name itself implies, a Directive is an "instruction or norm that should guide a particular action or activity" (translated form the Priberam dictionary, 2013). Now, knowing that the Kyoto Protocol establishes commitments to reduce emissions of gases responsible for worsening the greenhouse effect, and that the Directive 2010/31/EU implements, at the same time, measures that may increase the energy efficiency of new and existing buildings, and promoting the use of energy from renewable sources, it is clear that these two official documents are complementary. This complementarity follows in the way that the Directive gives concrete guidelines to energy consumption of buildings to reduce their environmental impact and therefore reduce the emission of greenhouse gases.

The Directive 2010/31/EU puts emphasis on reducing energy consumption, especially building operation stage promoting "An efficient, prudent, rational and sustainable utilization of energy applies" (Directive 2010/31/EU), which, coupled with the increasing use of energy from renewable sources, will allow to satisfy the assumptions

agreed in the Kyoto Protocol, encouraging even the "promoting security of energy supply, technological developments and in creating opportunities for employment and regional development, in particular in rural areas" (Directive 2010/31/EU).

As already mentioned, the use of buildings in Europe accounts for about 40% of total energy consumption in the European Union. However, a building shows different levels of energy consumption along the different stages of its life cycle, which according to Milutienė (2010) and Fernandez (2006), the production¹ material stage and the building operation stage are responsible of higher energy spending. On this dissertation, bigger relevance was given to the energy consumption of all life cycle of buildings, developing production of materials stage and building operation stage without forgetting the planning and design stage, since the decisions taken at this stage influence the environmental impact of the following stages. In all stages are analyzed the main factors of greenhouse gas emissions and presented measures to reduce such emissions. That happens, for examples, on the construction stage and on the building demolition stage, because fossil fuels are used on the transport of materials and by executing the processes of construction / demolition, producing harmful waste to the environment.

As a practical example / case of study, this dissertation was selected the Solar XXI building, located in Lisbon, because this building shows, specifically on the operation stage, active and passive measures that lead to a paradigmatic building in Portugal. Still, it's presenting alternatives to reduce the energy consumption and emissions in the materials production stage and in the operation stage. In the materials production stage, materials with lower embodied carbon and energy coefficients are shown, in order to reduce energy consumption allocated in building materials and therefore, to reduce the energy consumed on this stage. In the operation stage, a practical study case of reducing energy consumption of a large area it's performed, in the illumination sector, by using the GreenTubes Company's software (Excel).

¹production material stage - stage that involves the processes of raw material extraction, transport and processing of this into construction materials / products involving also the packaging and distribution of these (Bayer, 2010, p.48).

Agradecimentos

Desejo expressar os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que tornaram a realização desta dissertação possível e que contribuíram para que eu me dedicasse com o máximo empenho à sua elaboração.

Ao Senhor Professor Arquitecto Pedro Santiago, pela competência científica e orientação dada, pelo saber transmitido, pela disponibilidade sempre demonstrada, assim como pela atitude crítica, pela exigência, pelas inúmeras trocas de impressões, correcções e comentários ao trabalho.

À Dra. Rute Magalhães pela amizade e pela ajuda e tempo dispensado no melhoramento da qualidade da dissertação a nível escrito.

A todos os meus professores, que sempre me estimularam a crescer científica e pessoalmente ao longo de o meu percurso académico.

A todos os meus colegas e amigos, pela amizade, pelo companheirismo, por sempre me ajudarem e acompanharem nesta etapa da minha vida académica.

Ao meu Pai, José Nogueira, e à minha Mãe, Maria Augusta, pelo inestimável amor e apoio familiar, pela paciência e compreensão, pelos sacrifícios realizados em prol da minha formação e por todas as palavras de incentivo.

Índice Geral

| | |
|--|-------|
| Sumário..... | I |
| Abstract..... | IV |
| Agradecimentos | VII |
| Índice Geral | VII |
| Índice de Figuras | XIII |
| Índice de Tabelas | XVII |
| Índice de Gráficos..... | XVIII |
| Símbolos e Acrónimos | XX |
| Introdução..... | 1 |
| I. Diretiva 2010/31/UE – Desempenho Energético dos Edifícios | 3 |
| I.1 Objetivos..... | 3 |
| I.2 Obrigações e Requisitos mínimos de desempenho energético | 4 |
| I.3 Distinção dos Requisitos mínimos entre Edifício Novos e Existentes | 6 |
| I.4 Requisitos para os Sistemas Técnicos dos Edifícios | 7 |
| I.5 Quadro geral comum para a metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios (Anexo I da Diretiva 2010/31/UE) | 8 |
| I.6 Outras Legislações | 9 |
| II. Protocolo de Quioto..... | 11 |
| II.1 História do protocolo | 11 |
| III. Alterações climáticas..... | 14 |
| III.1 Ciclo do Carbono | 14 |
| III.2 Atmosfera..... | 15 |
| III.3 Clima | 16 |
| III.4 Efeito de estufa..... | 18 |
| III.5 Aquecimento Global | 19 |
| III.5.1 Evolução do Aumento da Temperatura..... | 19 |
| IV. Fontes de energia..... | 21 |
| IV.1 Energias Renováveis | 22 |
| IV.1.1 Energia Solar | 22 |
| IV.1.2 Energia Eólica..... | 23 |
| IV.1.3 Energia hidráulica / hidroelétrica | 24 |
| IV.1.4 Energia das marés..... | 25 |

| | | |
|---------|--|----|
| IV.1.5 | Energia das ondas | 26 |
| IV.1.6 | Energia geotérmica | 27 |
| IV.1.7 | Energia de Biomassa | 28 |
| IV.2 | Energias não renováveis..... | 29 |
| IV.2.1 | Energias não renováveis de origem fóssil | 29 |
| IV.2.2 | Energia nuclear | 30 |
| IV.3 | Consumo de Energia em Portugal | 32 |
| V. | Desempenho Energético dos Edifícios em Portugal e na Europa | 34 |
| V.1 | Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (Decreto-Lei n.º 118/2013)... | 35 |
| V.1.1 | Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) | 37 |
| V.1.2 | Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS)..... | 38 |
| V.1.3 | Certificação Energética..... | 38 |
| VI. | Ciclo de vida dos Edifícios | 43 |
| VI.1 | Fase de Planeamento e Projeto..... | 44 |
| VI.2 | Fase de Produção de Materiais de Construção | 45 |
| VI.2.1 | Energia Incorporada dos materiais | 46 |
| VI.3 | Fase de Construção..... | 48 |
| VI.3.1 | Aplicação dos Materiais de construção | 49 |
| VI.3.2 | Equipamento..... | 50 |
| VI.4 | Fase de utilização | 51 |
| VI.4.1 | Diferença entre Energia/Carbono Operacional e Energia/Carbono Incorporado..... | 52 |
| VI.5 | Fase de Demolição/Desmontagem | 53 |
| VI.5.1 | Reciclagem | 53 |
| VI.5.2 | Reutilização | 54 |
| VI.5.3 | Biodegradabilidade..... | 54 |
| VI.5.4 | Gestão de Resíduos..... | 54 |
| VII. | Avaliação do Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment) | 56 |
| VII.1 | Requisitos para Avaliação do Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment) | 57 |
| VII.2 | Tipos de análises dos impactos ao longo do ciclo de vida (<i>Life Cycle Impact Assessment</i>) | 58 |
| VII.2.1 | Base de dados do Inventário do Ciclo de Vida..... | 58 |

| | | |
|----------|--|----|
| VII.2.2 | Custo do Ciclo de Vida | 59 |
| VII.2.3 | Gestão do Ciclo de vida | 59 |
| VII.2.4 | Análise do Ciclo de Vida da Energia | 59 |
| VII.2.5 | Contabilização de Carbono | 59 |
| VII.3 | Passos para integrar a Análise do Ciclo de Vida no projeto e na avaliação do edifício..... | 59 |
| VII.4 | Programas Informáticos de Análise de ciclo de vida | 61 |
| VIII | Sustentabilidade em Edifícios | 62 |
| VIII.1 | “Edifícios de Baixo Carbono” e “Edifícios Verdes” | 62 |
| VIII.2 | Edifícios com necessidades nulas e quase nulas de energia (<i>Zero Energy Building</i>)..... | 63 |
| VIII.3 | Edifício com necessidades nulas de energia, ligado à rede elétrica (<i>Net Zero Energy Building</i>) | 65 |
| VIII.3.1 | Sistema de créditos | 67 |
| VIII.3.2 | Custos globais de um edifício Nearly Net-ZEB | 68 |
| IX. | Energia incorporada dos edifícios | 70 |
| IX.1 | Energia Incorporada de edifícios convencionais, edifícios com necessidades nulas de energia e edifícios autossustentável | 71 |
| X. | Energias renováveis em edifícios | 73 |
| X.1 | Energia Solar..... | 74 |
| X.1.1 | Painéis Fotovoltaicos | 74 |
| X.1.2 | Coletores Solares | 80 |
| X.1.3 | Sistemas Solares Passivos | 84 |
| X.2 | Energia Eólica em Edifício | 87 |
| X.2.1 | Sistemas Ativos | 87 |
| X.2.2 | Ventilação Natural | 90 |
| X.3 | Energia de Biomassa em Edifícios | 91 |
| X.3.1 | Eficiência dos sistemas de aquecimento..... | 91 |
| X.3.2 | Eficiência das Lareiras..... | 91 |
| X.3.3 | Eficiência dos Recuperadores de Calor | 92 |
| X.3.4 | Desvantagem da biomassa..... | 95 |
| X.3.5 | Vantagens da Biomassa em relação a outras fontes de energia em termos de custos | 96 |
| X.3.6 | Impacto dos Pellets em Portugal | 97 |
| XI | Caso Prático – Edifício Solar XXI | 98 |

| | | |
|---------|--|-----|
| XI.1 | Clima da cidade de Lisboa | 98 |
| XI.2 | Descrição geral do edifício Solar XXI | 99 |
| XI.3 | Materiais de Construção da Envolvente do Edifício Solar XXI e respetivos coeficientes de transmissão térmica | 101 |
| XI.3.1 | Paredes exteriores | 101 |
| XI.3.2 | Laje de cobertura e pavimento R/C | 101 |
| XI.3.3 | Vãos de envidraçado | 102 |
| XI.4 | Cumprimento da Regulamentação Térmica de Edifícios em Portugal | 103 |
| XI.5 | Medidas Passivas..... | 103 |
| XI.5.1 | Aplicação de Elevado Isolamento Térmico pelo Exterior | 103 |
| XI.5.2 | Ganhos solares dos vãos de envidraçados a sul do edifício | 103 |
| XI.5.3 | Sistema de arrefecimento pelo solo..... | 106 |
| XI.6 | Sistema de parede de trombe..... | 111 |
| XI.6.1 | Inverno..... | 111 |
| XI.6.2 | Verão | 112 |
| XI.6.3 | Primavera/Outono..... | 112 |
| XI.7 | Estratégia de redução do consumo energético | 112 |
| XI.7.1 | Ventilação Natural do Edifício | 112 |
| XI.7.2 | Iluminação Natural | 113 |
| XI.8 | Medidas Ativas..... | 114 |
| XI.8.1 | Painéis Fotovoltaicos | 114 |
| XI.8.2 | Sistemas de Aquecimento Auxiliar | 115 |
| XI.9 | Projeto para NZEB adaptado ao Edifício Solar XXI | 115 |
| XI.9.1 | Primeiro Passo – Redução da demanda energética | 116 |
| XI.9.2 | Segundo Passo – Produção de energia | 116 |
| XI.9.3 | Balanço energético | 117 |
| XII. | Ciclo de Vida do Edifício Solar XXI | 118 |
| XII.1 | Fase de Produção de Materiais e Fase de Construção do Edifício Solar XXI | 118 |
| XII.1.1 | Cálculo da energia incorporada dos Materiais do Edifício Solar XXI | 118 |
| XII.1.2 | Cálculo da energia incorporada da Construção do Edifício Solar XXI... | 120 |
| XII.1.3 | Cálculo do carbono incorporado dos Materiais do Edifício Solar XXI... 121 | |

| | | |
|----------|---|-----|
| XII.1.4 | Cálculo do carbono incorporado da Construção do Edifício Solar XXI | 122 |
| XII.2 | Fase Demolição dos Edifício Solar XXI e Fase de Reciclagem dos Materiais de Construção | 123 |
| XII.2.1 | Fase Demolição dos Edifício Solar XXI..... | 123 |
| XII.2.2 | Fase de Reciclagem dos Materiais de Construção | 123 |
| XII.3 | Fase de Produção dos Sistemas Produtores de Energia Solar..... | 126 |
| XII.4 | Cálculo do E.I. e C.I. do Transporte, Instalação, Manutenção e Desmontagem dos Sistemas Produtores de Energia Solar | 127 |
| XII.5 | Cálculo do E.I. e C.I. para reciclagem dos Sistemas Produtores de Energia Solar | 129 |
| XII.6 | Fase de Utilização do Edifício Solar XXI (incluindo os Sistemas Produtores de Energia Solar)..... | 130 |
| XII.6.1 | Caldeira a Gás Natural | 130 |
| XII.6.2 | <i>Consumo de energia elétrica</i> | 131 |
| XII.6.3 | <i>Consumo de energia ao fim de 25 anos</i> | 132 |
| XII.7 | Ciclo de Vida do Edifício Solar XXI para uma Vida Útil de 25 anos | 132 |
| XII.8 | Ciclo de Vida do Edifício Solar XXI para uma Vida Útil de 50 anos | 134 |
| XII.8.1 | Análise da energia e carbono incorporados do ciclo de vida do Edifício Solar XXI..... | 136 |
| XII.9 | Estimativa do balanço de custos com e sem os sistemas de produção de energia solar | 137 |
| XIII. | Propostas de redução da energia e carbono incorporados dos diferentes materiais de construção do edifício | 139 |
| XIII.1 | Materiais de construção com energia incorporada relativamente mais baixa.. | 139 |
| XIII.2 | Betão..... | 140 |
| XIII.2.1 | Estudo comparativo entre três edifícios com diferentes materiais estruturais | 140 |
| XIII.3 | Construções com Palha | 141 |
| XIII.3.1 | Comparação entre a construção de paredes de alvenaria com a construção de paredes com fardos de palha..... | 141 |
| XIII.4 | Tijolo cerâmico não cozido | 144 |
| XIII.5 | Alumínio reciclado..... | 145 |
| XIV | Outras medidas de redução do consumo energético na fase de utilização do edifício - Iluminação..... | 146 |

| | | |
|-------|--|-----|
| XIV.1 | Eco-Balastros | 146 |
| XIV.2 | Tubos de luz solar | 149 |
| | Conclusão | 151 |
| | Bibliografia..... | 161 |
| | Anexo I - Diretiva 2010/31/UE de 19 de Maio de 2010 | 180 |
| | Anexo II - Programas Informáticos de Análise de Ciclo de Vida..... | 181 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Ciclo do carbono..... | 14 |
| Figura 2 - Interação entre os vários subsistemas que influenciam o clima | 17 |
| Figura 3 - Divisão das fontes de energia em grupos..... | 22 |
| Figura 4 - Central fotovoltaica, Serpa, Beja (Portugal)..... | 23 |
| Figura 5 - Esquema de funcionamento de um painel solar fotovoltaico | 23 |
| Figura 6 - Parque Eólico de Sines (Portugal) | 24 |
| Figura 7 - Esquema do mecanismo interior de uma turbina eólica | 24 |
| Figura 8 - Barragem de Alqueva, Évora, Portugal | 25 |
| Figura 9 - Esquema de funcionamento de uma barragem | 25 |
| Figura 10 - Ilustração de um dispositivo de obtenção de energia através das marés | 26 |
| Figura 11 - Esquema de um dispositivo de obtenção de energia das marés através do gradiente térmico | 26 |
| Figura 12 - Dispositivo nearshore de obtenção de energia das ondas (spill over) | 26 |
| Figura 13 - Dispositivo offshore de obtenção de energia das ondas (Pelamis)..... | 26 |
| Figura 14 - Central Geotérmica da Ribeira Grande, ilha de São Miguel, Açores, Portugal (1)..... | 27 |
| Figura 15 - Central Geotérmica da Ribeira Grande, ilha de São Miguel, Açores, Portugal (2)..... | 27 |
| Figura 16 - Central Elétrica de Biomassa de resíduos florestais em Corduente, Guadalajara, Espanha (1)..... | 28 |
| Figura 17 - Central Elétrica de Biomassa de resíduos florestais em Corduente, Guadalajara, Espanha (2)..... | 28 |
| Figura 18 - Central nuclear de Fukushima (Japão) antes do desastre | 31 |
| Figura 19 - Esquema de funcionamento de uma central nuclear..... | 31 |
| Figura 20 - Esquema do Ciclo de vida de um Edifício..... | 44 |
| Figura 21 - Sistema fotovoltaico com superfície de reflexão | 79 |
| Figura 22 - Demonstração do funcionamento da produção de águas quentes sanitárias | 80 |
| Figura 23 - Demonstração das componentes de um coletor solar plano | 81 |
| Figura 24 - Fotografia de vários coletores concentradores colocados em série | 81 |
| Figura 25 - Fotografia do modo de utilização de quatro coletores concentradores parabólicos..... | 82 |
| Figura 26 - Fotografia do coletor concentrador parabólico e corte | 82 |
| Figura 27 - Esquema de um coletor solar a vácuo..... | 83 |

| | |
|--|-----|
| Figura 28 - Esquema do funcionamento de captação da radiação solar | 83 |
| Figura 29 - Exemplo 1 do Programa “Solterm” | 83 |
| Figura 30 - Exemplo 2 do programa “Solterm” | 83 |
| Figura 31 - Esquema de ganhos diretos | 84 |
| Figura 32 - Esquema de ganhos indiretos..... | 84 |
| Figura 33 - Parede acumuladora durante o inverno..... | 86 |
| Figura 34 - Parede dinâmica..... | 86 |
| Figura 35 - Paredes de trombe com efeito de estufa..... | 86 |
| Figura 36 - Paredes de água em tubos de vidro | 86 |
| Figura 37 - Cobertura de água | 86 |
| Figura 38 - Ganhos indiretos pelo pavimento | 86 |
| Figura 39 - Legenda das componentes de uma turbina de eixo vertical e horizontal..... | 87 |
| Figura 41 - Exemplo de uma turbina de eixo vertical | 87 |
| Figura 42 - Exemplo do funcionamento do sistema “capuz” (<i>cowl</i>) no BedZED..... | 91 |
| Figura 43 - Sistema “capuz” (<i>cowl</i>)..... | 91 |
| Figura 43 - Exemplo de esquema de aquecimento central através de uma caldeira | 92 |
| Figura 44 - Exemplo de esquema de uma caldeira a <i>pellets</i> para aquecimento do ar interior e de águas sanitárias..... | 92 |
| Figura 45 - Exemplo de esquema de um recuperador de calor a <i>pellets</i> para aquecimento do ar interior | 92 |
| Figura 46 - Identificação das zonas climáticas de Verão e Inverno em Portugal Continental | 98 |
| Figura 47 - Diagramas da trajetória solar para a Latitude de 35° e 40° | 99 |
| Figura 48 - Edifício Solar XXI..... | 100 |
| Figura 51 - Fachada sul do Edifício Solar XXI..... | 102 |
| Figura 52 - Fachada este do Edifício Solar XXI) | 102 |
| Figura 53 - Ganhos solares dos vãos de envidraçados no Inverno | 102 |
| Figura 54 - Demonstração em corte do sistema de arrefecimento do ar pelo solo..... | 107 |
| Figura 55 - Entrada de ar do sistema de arrefecimento do ar pelo solo | 108 |
| Figura 56 - Colocação dos 32 tubos para o sistema de arrefecimento de ar pelo solo | 108 |
| Figura 57 - Ligação dos 32 tubos do poço de tomada de ar às “courettes” do edifício | 108 |
| Figura 58 - Tubos em PVC do sistema de arrefecimento do ar pelo solo (ainda em fase de construção)..... | 108 |
| Figura 59 - Colocação das tubagens metálicas do tipo “spiro” nas “courettes” do Edifício Solar XXI..... | 108 |

| | |
|--|-----|
| Figura 60 - Saída de ar do sistema de arrefecimento do ar pelo solo para o interior de uma sala do Edifício Solar XXI..... | 108 |
| Figura 61 - Orifícios presentes em cada sala para funcionamento do sistema de ventilação..... | 111 |
| Figura 62 - Funcionamento da fachada sul como parede de trombe durante o Inverno | 112 |
| Figura 63 - Funcionamento da fachada sul como fachada ventilada durante o Verão . | 112 |
| Figura 64 - Funcionamento da fachada sul como efeito chaminé durante o Verão | 112 |
| Figura 65 - Funcionamento da fachada sul como efeito chaminé durante a Primavera | 112 |
| Figura 66 - Caixa de escadas principal (a oeste do Edifício Solar XXI)..... | 113 |
| Figura 67 - Funcionamento da ventilação natural do Edifício Solar XXI durante o Verão | 113 |
| Figura 68 - Zona Zenital e “bandas superiores de lâminas reguláveis” de vidro nas portas das salas | 114 |
| Figura 69 - “bandas superiores de lâminas reguláveis” de vidro nas janelas dos laboratórios | 114 |
| Figura 70 - Exemplo de construção de paredes exteriores em madeira e palha..... | 141 |
| Figura 71 - Eco-balastro simples | 147 |
| Figura 72 - Eco-balastro com refletor..... | 147 |
| Figura 73 - Eco-balastro com refletor e proteção em policarbonato | 147 |
| Figura 74 - Exemplo da instalação do tubo de luz solar..... | 150 |
| Figura 75 - Exemplo do funcionamento do tubo de luz solar | 150 |
| Figura 76 - Exemplo prático do tubo de luz solar | 150 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Metas de redução do consumo energético e emissões de gases de efeito de estufa na União Europeia..... | 9 |
| Tabela 2 - Total das emissões de CO ₂ dos Países do Anexo I em 1990, para aplicação no Artigo 25.º do Protocolo de Quioto | 12 |
| Tabela 3 - Classificação energética consoante os valores de RNt (edifícios de habitação) e RIEE (edifícios de Comércio e Serviços) | 39 |
| Tabela 4 - Energia incorporada e carbono incorporado dos diferentes materiais de construção..... | 47 |
| Tabela 5 - Características dos dispositivos de produção de energia renovável em edifícios | 73 |
| Tabela 6 - Impactos Ambientais na Produção de Sistemas FV | 75 |
| Tabela 7 - Benefícios Ambientais dos Sistemas FV..... | 75 |
| Tabela 8 - Máximas eficiências dos diferentes tipos de células fotovoltaicas..... | 78 |
| Tabela 9 - Número potencial de turbinas eólicas domésticas de pequena escala no Reino Unido | 89 |
| Tabela 10 - Número potencial de turbinas eólicas domésticas de pequena escala no Reino Unido por País..... | 90 |
| Tabela 11 - Fatores de emissão ao longo do processo de fornecimento de <i>pellets</i> | 94 |
| Tabela 12 - Emissões de gases ao longo do ciclo de vida dos <i>pellets</i> , desde a extração da matéria-prima ao fornecimento dos <i>pellets</i> | 94 |
| Tabela 13 - Comparação das emissões de CO ₂ entre os diferentes combustíveis..... | 95 |
| Tabela 14 - Características de diferentes sistemas de aquecimento para edifícios e comparação entre eles..... | 96 |
| Tabela 15 - Fatores de emissão de diferentes sistemas de aquecimento (baseado em medições de campo) | 97 |
| Tabela 16 - Zonas climáticas e dados climáticos de referência para o concelho de Lisboa | 98 |
| Tabela 17 - Valores das diferentes áreas do Edifício Solar XXI..... | 100 |
| Tabela 18 - Valores de Coeficiente de transmissão térmica da envolvente do edifício | 102 |
| Tabela 19 - Cálculos necessários para o dimensionamento do sistema de arrefecimento pelo solo..... | 110 |
| Tabela 20 - Sistemas de produção de energia do Edifício Solar XXI..... | 115 |
| Tabela 21 - Quantidades e energia incorporada dos materiais de construção aplicados na construção do Edifício Solar XXI | 119 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 22 - Quantidades e carbono incorporado dos materiais de construção aplicados na construção do Edifício Solar XXI..... | 121 |
| Tabela 23 - Energia incorporada para reciclar os materiais de construção do Edifício Solar XXI em novos materiais de construção | 124 |
| Tabela 24 - Carbono incorporado para reciclar os materiais de construção do Edifício Solar XXI em novos materiais de construção | 125 |
| Tabela 25 - Energia incorporada dos sistemas de produção de energia solar do Edifício Solar XXI..... | 126 |
| Tabela 26 - Carbono incorporado dos sistemas de produção de energia solar do Edifício Solar XXI..... | 127 |
| Tabela 27 - Cálculo do Peso, da Energia Incorporada e do Carbono Incorporado das fases de Transporte, Instalação, Manutenção e Desmontagem dos Sistemas de produção de energia solar..... | 128 |
| Tabela 28 - Energia incorporada para reciclar os materiais que compõem os sistemas de produção de energia solar do Edifício Solar XXI..... | 129 |
| Tabela 29 - Carbono incorporado para reciclar os materiais que compõem os sistemas de produção de energia solar do Edifício Solar XXI..... | 130 |
| Tabela 30 - Cálculo da energia incorporada e carbono incorporado do ciclo de vida do Edifício Solar XXI para 25 anos..... | 133 |
| Tabela 31 - Cálculo da energia incorporada e carbono incorporado do ciclo de vida do Edifício Solar XXI para 50 anos..... | 135 |
| Tabela 32 - Simulação do custo dos sistemas de produção de energia solar Edifício Solar XXI..... | 138 |
| Tabela 33 - Energia incorporada dos constituintes necessários à produção de betão .. | 140 |
| Tabela 34 - Energia Incorporada e Carbono Incorporado dos Materiais de construção de 1 m ² de uma parede de alvenaria de tijolo térmico..... | 142 |
| Tabela 35 - Energia Incorporada e Carbono Incorporado dos Materiais de construção de 1 m ² de uma parede de estrutura de madeira e fardos de palha..... | 143 |
| Tabela 36 - Comparação das emissões de CO ₂ de dois métodos construtivos de paredes aplicados à construção de um andar | 144 |
| Tabela 37 - Energia incorporada do alumínio virgem e reciclado | 145 |
| Tabela 38 - Instalação existente na grande superfície com balastros ferromagnéticos | 148 |
| Tabela 39 - Instalação com eco-balastros na grande superfície | 148 |
| Tabela 40 - Poupança anual da grande superfície com a substituição dos balastros.... | 148 |
| Tabela 41 - Análise da sustentabilidade dos sistemas de produção de energia solar no Edifício Solar XXI, para 25 anos de vida útil..... | 152 |

Índice de Gráficos

| | |
|---|-----|
| Gráfico 1 - Representação das diferentes camadas que compõem a atmosfera terrestre | 15 |
| Gráfico 2 - Variação da temperatura de 1880 a 2011 | 20 |
| Gráfico 3 - Evolução do uso da energia primária no mundo | 21 |
| Gráfico 4 - Consumo de energia primária no ano de 2009 | 29 |
| Gráfico 5 - Consumo de energia elétrica em Portugal (1994 a 2011) por setor | 32 |
| Gráfico 6 - Produção de energia elétrica por fonte de energia em Portugal continental no ano 2013 | 33 |
| Gráfico 7 - Consumo de energia primária em Portugal (2000 a 2011) por fonte de energia | 33 |
| Gráfico 8 - Evolução dos níveis médios de consumo energético final para aquecimento (kWh / (m ² a)) de casas unifamiliares por ano de construção, em Portugal | 34 |
| Gráfico 9 - Emissão de CO ₂ por área útil do património edificado dos diferentes países da Europa | 35 |
| Gráfico 10 - Representação gráfica do método de transformação de um edifício convencional para um edifício com nulas ou quase nulas necessidades de energia | 66 |
| Gráfico 11 - Curva de custos de otimização de um edifício | 68 |
| Gráfico 12 - Ciclos de vida energéticos de vários casos de estudo de edifícios de habitação (Energia incorporada dos materiais e consumo energético durante a utilização do edifício) | 70 |
| Gráfico 13 - Ciclos de vida energéticos de vários casos de estudo de edifícios de escritórios (Energia incorporada dos materiais e consumo energético durante a utilização do edifício) | 70 |
| Gráfico 14 - Divisão da percentagem do consumo energético ao longo do ciclo de vida de um edifício convencional | 72 |
| Gráfico 15 - Divisão da percentagem do consumo energético ao longo do ciclo de vida de um edifício com elevada eficiência energética | 72 |
| Gráfico 16 - Divisão em grupos dos diferentes tipos de células fotovoltaicas consoante o material | 77 |
| Gráfico 17 - Temperaturas atingidas consoante o tipo de coletor térmico | 80 |
| Gráfico 18 - Correlação entre a temperatura do ar da sala e a radiação solar global durante os anos 2007 a 2009, nos meses de Inverno (dezembro a fevereiro) | 104 |
| Gráfico 19 - Correlação entre a temperatura do ar da sala e a temperatura do ar exterior durante os anos 2007 a 2009, nos meses de Inverno (dezembro a fevereiro) | 105 |
| Gráfico 20 - Correlação entre a temperatura do ar da sala e a radiação solar global em 2007 e 2008, durante os meses de julho a setembro | 106 |

| | |
|--|-----|
| Gráfico 21 - Correlação entre a temperatura do ar da sala e a temperatura do ar exterior em 2007 e 2008, durante os meses de julho a setembro..... | 106 |
| Gráfico 22 - Valores teóricos e práticos da diferença entre a temperatura máxima exterior e a temperatura máxima que sai da tubagem ($T_{max,ex} - T_{max,in}$), sabendo a temperatura máxima do ar exterior ($T_{max,ex}$)..... | 109 |
| Gráfico 23 - Passos de otimização do edifício Solar XXI tomadas em fase de projeto | 116 |
| Gráfico 24 - Balanço energético por mês do Edifício Solar XXI referente ao ano de 2011 | 117 |
| Gráfico 25 - Energia Incorporada da maior parte dos materiais de construção aplicados no Edifício Solar XXI..... | 120 |
| Gráfico 26 - Carbono Incorporado dos principais materiais de construção aplicados no Edifício Solar XXI..... | 122 |
| Gráfico 27 - Impacto da iluminação na fatura global de eletricidade | 146 |
| Gráfico 28 - Consumo de energia na grande distribuição (supermercado – hipermercado)..... | 146 |
| Gráfico 29 - Retorno do investimento da substituição dos balastros na grande superfície | 149 |
| Gráfico 30 - Diferença de custos anuais dos diferentes balastros | 149 |
| Gráfico 31 - Consumo energético do ciclo de vida do Edifício Solar XXI para uma vida útil de 25 anos (relacionado com a Tabela 30)..... | 154 |
| Gráfico 32 - Emissões de CO_2 do ciclo de vida do Edifício Solar XXI para uma vida útil de 25 anos (relacionado com a Tabela 30) | 154 |
| Gráfico 33 - Consumo energético do ciclo de vida do Edifício Solar XXI para uma vida útil de 50 anos (relacionado com a Tabela 31)..... | 155 |
| Gráfico 34 - Emissões de CO_2 do ciclo de vida do Edifício Solar XXI para uma vida útil de 50 anos (relacionado com a Tabela 31) | 156 |

Símbolos e Acrónimos

% - Percentagem

\$ - Dólar (Americano) (Moeda Oficial dos Estados Unidos da América)

€ - Euro (Moeda Oficial da União Europeia)

°C – Graus Centígrados

AQS – Água quente sanitária

AVAC – Aquecimento, ventilação e Ar Condicionado

Cm - centímetros

CO₂ – Dióxido de carbono

CPC - Coletores concentradores parabólicos

CXHY - Hidrocarbonetos

EPA - Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental)

F_s - Fator solar

FV - Fotovoltaico

GC - Geração centralizada

GD - Geração distribuída

GJ - Giga joule

GPL - Gás Liquefeito de Petróleo

Gt - Giga tonelada (1 Gt = 10⁹ de toneladas)

GW - Gigawatt

ISO - International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização)

kg CO₂/kg - Quilogramas de dióxido de carbono por quilograma (de material)

Km - Quilometro

kW - Quilowatt

kWh - Quilowatt-hora

kWp - QuiloWatt-pico – potência energética dos painéis fotovoltaicos em condições ideais específicas

mg/t.km - miligramas por tonelada e quilometro

mg/MJ - miligramas por megajoule

LCA - Life Cycle Assessment

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia

m² - metros quadrados

MJ - Megajoule

Mtep - Mega toneladas equivalentes de petróleo

MWh - Megawatt hora

NCV - net calorific value (valor calorífico líquido)

NOx - Nitrogénio

Nt - valor limite para necessidades anuais globais de energia primária para climatização e águas quentes

Ntc - necessidades anuais globais estimadas de energia primária para climatização e águas quentes

ppm - parte por milhão ($355\text{ppm} = 5,39 \times 10^{-7} \text{ Ton/m}^3$ (Toneladas de dióxido de carbono por metro cúbico de ar))

PVC - Policloreto de vinil

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios

SCE - Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

SEN - Sistema Elétrico Nacional

SO₂ - Dióxido de Enxofre

SETAC - The Society of Environmental Toxicology and Chemistry (Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental)

Ton - Toneladas

TWh - Terawatt-hora

WEC - wave energy converters (conversor de energia das ondas)

W/m²K - unidade do coeficiente de transmissão térmico de um material (watts por metro quadrado kelvin)

ZEB - Zero Energy Building

Introdução

As alterações climáticas são, segundo o Protocolo de Quioto, um dos problemas mundiais mais preocupantes para o ser humano. Autores como Naves e Firmino (2009, p.53) ou Borrego (2009) referem que a alteração dos ecossistemas e o aumento da temperatura média do ar e dos oceanos tem consequências desastrosas, nomeadamente o degelo dos glaciares, maiores secas na Ásia e em África, ondas de calor, incêndios florestais, cheias inesperadas na Europa, e são o indício de alterações climáticas ainda mais graves.

Conforme afirmam Amestoy (s.a., p.17) e Bhattacharjee (2010, p.46), a libertação de determinados gases para a atmosfera provoca o efeito de estufa e, conseqüentemente, o aquecimento global. Segundo Amestoy (s.a., p.14) os gases que provocam o efeito de estufa são: o dióxido de carbono, o óxido nitroso, o metano, os hidrocarbonetos fluorados, os hidrocarbonetos perfluorados e o hexafluoreto de enxofre, estando estes gases identificados também no Protocolo de Quioto.

Em geral, em todo o ciclo de vida dos edifícios são emitidas grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂). A fase de utilização dos edifícios é responsável por 84 a 88% do total consumo de energia do ciclo de vida (Fernandez, 2006, p.2). Assim, para responder a esta demanda energética, a maioria dos países, todavia, recorre a combustíveis fósseis como fonte de energia primária (International Energy Agency, 2010), pelo facto de terem um elevado potencial energético, da tecnologia de conversão estar muito desenvolvida e de conseguirem produzir grandes quantidades de energia (Rosa et al., 2012). Contudo, a utilização dos combustíveis fósseis para produção de energia é responsável pela emissão de grandes quantidades de dióxido de carbono e outros gases de efeito de estufa (Hill, 2010).

Uma das soluções para evitar ou reduzir a libertação de dióxido de carbono reside no recurso às energias renováveis e, também, à opção por materiais de construção em que os processos de extração, transformação e transporte, emitam menor quantidade de gases de efeito de estufa. Acresce que, se se diminuir o consumo energético, a percentagem de dióxido de carbono libertada será menor, pelo que a implementação de medidas que conduzam a um consumo de energia mais responsável e eficiente é uma das soluções.

Estima-se que na Europa, até ao ano 2050, o património edificado irá crescer mais de 25% (Despret et al., 2011, p.i). Assim, a Diretiva 2010/31/UE obriga a que, a partir de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos apresentem necessidades quase nulas de energia, levando assim a que, futuramente, os edifícios tenham um menor impacto ambiental negativo, orientando os Estados-Membros a reduzirem a emissão de CO₂ dos edifícios, através de medidas de redução da dependência energética externa na fase de utilização dos mesmos.

Os critérios impostos à construção de edifícios para habitação em Portugal têm vindo a tornar-se cada vez mais exigentes de modo a, não só promover um desempenho energético dos edifícios cada vez mais eficaz, mas também a acompanhar a evolução deste setor, construindo edifícios adaptados ao espaço onde estão localizados, nomeadamente no que diz respeito às condições climáticas exteriores, e proporcionando um maior conforto ao nível acústico e térmico do ambiente interior, sem descurar a harmonização dos custos, nem “outros requisitos relativos aos edifícios, tais como a acessibilidade, a segurança e a utilização prevista do edifício” (Diretiva 2010/31/UE).

No que diz respeito ao quadro legal atualmente em vigor em Portugal sobre o consumo energético destacam-se o Decreto-Lei n.º 118/2013 que reúne num único diploma o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), transpondo a Diretiva 2010/31/UE para o contexto nacional.

I. Diretiva 2010/31/UE – Desempenho Energético dos Edifícios

I.1 Objetivos

A 16 de dezembro de 2002 foi publicada a Diretiva 2002/91/CE como resposta ao compromisso estabelecido no Protocolo de Quioto de redução das emissões de gases de efeito de estufa, mas também, diminuir a dependência energética externa da União Europeia, e assim evitar que esta alcance os 70% em 2020 (*Livro Verde da Comissão, "Para uma estratégia europeia de segurança do aprovisionamento energético"*, de 29 de Novembro de 2000), obrigando os Estados-Membros a tomar medidas de poupança. (Ferreira, 2011, p.1, Capítulo I).

A Diretiva 2010/31/UE, de 19 de maio de 2010, surgiu da necessidade de reformular a Diretiva 2002/91/CE, de 16 de dezembro, no sentido de simplificar, clarificar e reforçar determinadas disposições, e tem por objetivo o aproveitamento do potencial de redução do custo operacional dos edifícios e o aumento da eficiência energética (Bribián, 2011, p.34).

Esta Diretiva visa, ainda, atingir uma redução das emissões de gases de efeito de estufa na ordem dos 20% em relação aos valores registados no ano de 1990 (ou 30% se houver um compromisso internacional). Assim, a União Europeia fixou o objetivo de substituir, gradualmente, o uso de combustíveis fósseis por energias provenientes de fontes renováveis, e o uso de equipamentos com melhor eficiência energética, especialmente nos edifícios. Com esta Diretiva, e confirmando a qualidade de motor de políticas globais e multilaterais de combate às alterações climáticas, a União Europeia dá mais um passo na luta contra o aquecimento global.

Segundo Despret et al. (2011, p.47), a intenção da Diretiva é reduzir as emissões de dióxido de carbono através da redução do consumo de energia dos edifícios, mas também, de acordo com Economidou et al. (2010, p.21) a reformulação da Diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios, tem como objetivos:

- Reduzir a dependência energética do exterior;
- Reduzir as emissões de gases de efeito de estufa (para além do CO₂);
- Reduzir os custos de energia para os consumidores;

- Aumentar o conforto dos utilizadores dos edifícios;
- Contribuir para o desenvolvimento sustentável.

A Diretiva focaliza a sua abordagem no desempenho energético individual dos edifícios, levando a que a análise da demanda energética e da produção de energia de um edifício sejam feitas separadamente (Despret et al., 2011, p.65). Contudo, reconhecendo a diversidade do clima e as diferenças entre os edifícios dos Estado-Membros da União Europeia, a Diretiva 2010/31/UE não aborda de um modo uniforme, a implementação das medidas relativas ao desempenho energético dos edifícios, com o objetivo de os tornar em edifícios com necessidades quase nulas de energia, nem apresenta uma metodologia de cálculo específica, dando aos Estados-Membros flexibilidade na elaboração da regulamentação respetiva, de forma a transpor a Diretiva adequadamente (Despret et al., 2011, p.5). No caso de Portugal, a transposição da Diretiva dá-se pelo Decreto-Lei n.º 118/2013.

I.2 Obrigações e Requisitos mínimos de desempenho energético

A Diretiva 2010/31/UE obriga a que os Estados-Membros adotem planos e políticas para garantir que até 2020 os novos edifícios tenham necessidades quase nulas de energia. No caso dos edifícios de propriedade pública esta obrigação deve ser antecipada para 2018, servindo, assim, de exemplo.

Todos os Estados-Membros da União Europeia devem tomar medidas para assegurar os requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios, das frações autónomas² e dos elementos construtivos pertencentes à envolvente do edifício³, de modo a obterem níveis ótimos de rentabilidade⁴.

²frações autónomas - “uma secção, um andar ou um apartamento num edifício, concebidos ou modificados para serem usados autonomamente” (ponto 8 do artigo 9.º da Diretiva 2010/31/UE)

³elementos construtivos pertencentes à envolvente do edifício – “o conjunto dos elementos de um edifício que separam o seu ambiente interior do exterior” (ponto 7 do artigo 9.º da Diretiva 2010/31/UE)

⁴nível ótimo de rentabilidade - “o desempenho energético que leva ao custo mais baixo durante o ciclo de vida económico estimado” (ponto 14 do artigo 9.º da Diretiva 2010/31/UE)

Os requisitos mínimos impostos devem cumprir as condições descritas no ponto 1 do artigo 4.º da Diretiva 2010/31/UE, nomeadamente:

- *“ter em conta as condições gerais de clima interior a fim de evitar possíveis impactos negativos, como uma ventilação inadequada, e as condições locais, a utilização a que se destina o edifício e a sua idade”;*
- *“ser revistos periodicamente, no mínimo de cinco em cinco anos, e, se necessário, actualizados a fim de reflectir o progresso técnico no sector dos edifícios”.*

No entanto, os Estados-Membros da União Europeia podem, facultativamente, implementar outras condições quanto aos requisitos mínimos a adotar, tais como:

- *“podem fazer uma distinção entre edifícios novos e edifícios existentes e entre diferentes categorias de edifícios”* (ponto 1 do artigo 4.º da Diretiva 2010/31/UE);
- *“não são obrigados a estabelecer requisitos mínimos de desempenho energético que não sejam rentáveis durante o ciclo de vida económico estimado”* (ponto 1 do artigo 4.º da Diretiva 2010/31/UE).

Existem, ainda, exceções à obrigatoriedade de cumprir os requisitos mínimos, como é o caso de determinados edifícios que apresentam categorias especiais:

- *“Edifícios oficialmente protegidos como parte de um ambiente classificado ou devido ao seu valor arquitectónico ou histórico especial, na medida em que o cumprimento de certos requisitos mínimos de desempenho energético poderia alterar de forma inaceitável o seu carácter ou o seu aspecto”* (alínea a) do ponto 2 do artigo 4.º da Diretiva 2010/31/UE);
- *“Edifícios utilizados como locais de culto ou para actividades religiosas”* (alínea b) do ponto 2 do artigo 4.º da Diretiva 2010/31/UE);
- *“Edifícios temporários com um período de utilização máximo de dois anos, instalações industriais, oficinas e edifícios agrícolas não residenciais com necessidades reduzidas de energia e edifícios agrícolas não residenciais utilizados por um sector abrangido por um acordo sectorial nacional sobre*

desempenho energético” (alínea c) do ponto 2 do artigo 4.º da Diretiva 2010/31/UE);

- *“Edifícios residenciais utilizados ou destinados a ser utilizados quer durante menos de quatro meses por ano quer por um período anual limitado e com um consumo de energia previsto de menos de 25 % do que seria previsível em caso de utilização durante todo o ano”* (alínea d) do ponto 2 do artigo 4.º da Diretiva 2010/31/UE);
- *“Edifícios autónomos com uma área útil total inferior a 50 m²”* (alínea e) do ponto 2 do artigo 4.º da Diretiva 2010/31/UE).

I.3 Distinção dos Requisitos mínimos entre Edifício Novos e Existentes

A Diretiva 2010/31/UE distingue os edifícios novos dos edifícios existentes quanto à aplicação dos requisitos mínimos de desempenho energético, sendo que, para os edifícios novos, os Estados-Membros:

- Devem aplicar medidas que cumprem os requisitos mínimos, conforme os pontos descritos no subcapítulo I.2;
- Devem assegurar que, *“antes do início da construção, seja estudada e tida em conta a viabilidade técnica, ambiental e económica de sistemas alternativos de elevada eficiência”* (ponto 1 do artigo 6.º da Diretiva 2010/31/UE) sendo eles:
 - Co-geração⁵;
 - Bombas de calor⁶.

⁵Co-geração - “geração simultânea, num só processo, de energia térmica e eléctrica e/ou de energia mecânica” (ponto 13 do artigo 2.º da Diretiva 2010/31/UE);

⁶Bombas de calor - “uma máquina, um dispositivo ou uma instalação que transferem calor dos elementos naturais circundantes, como o ar, a água ou o solo, para os edifícios ou processos industriais invertendo o fluxo de calor natural de forma a que este passe de uma temperatura mais baixa para uma temperatura mais alta” (ponto 18 do artigo 2.º da Diretiva 2010/31/UE).

- *“Sistemas descentralizados de fornecimento energético baseados em energias provenientes de fontes renováveis”* (alínea a) do ponto 1 do artigo 6.º da Diretiva 2010/31/UE);
- *“Redes urbanas ou colectivas de aquecimento ou arrefecimento, em especial baseadas total ou parcialmente em energia proveniente de fontes renováveis”* (alínea c) do ponto 1 do artigo 6.º da Diretiva 2010/31/UE);
- Devem assegurar que a análise dos sistemas alternativos esteja documentada e disponível para verificação, podendo esta ser efetuada a edifícios individuais, grupos de edifícios singulares ou a edifícios comuns do mesmo tipo numa determinada zona. Também a análise dos sistemas coletivos de aquecimento e arrefecimento pode ser feita para todos os edifícios que estejam ligados a este sistema numa determinada zona. (ponto 2 e 3 do artigo 6.º da Diretiva 2010/31/UE)

Para os edifícios existentes a Diretiva impõe que os Estados-Membros apliquem medidas de cumprimento de requisitos mínimos de desempenho energético em termos técnicos, funcionais e económicos, respeitando os pontos descritos anteriormente contantes no artigo 4.º da Diretiva 2010/31/UE, nas situações em que:

- Forem alvo de grandes renovações, ou quando são renovadas apenas determinadas partes do edifício, incentivado-se a ponderação sobre a aplicação dos sistemas alternativos;
- Um elemento da envolvente do edifício existente, com grande impacto energético, for renovado ou substituído.

I.4 Requisitos para os Sistemas Técnicos dos Edifícios

A Diretiva 2010/31/UE impõe determinados requisitos para os sistemas técnicos dos edifícios, com o objetivo de otimizar a utilização da sua energia. São exemplos desses sistemas os sistemas de aquecimento, os sistemas de fornecimento de água quente, os sistemas de ar condicionado e os sistemas grandes de ventilação. (artigo 8.º da Diretiva 2010/31/UE)

Para os edifícios existentes, os requisitos dos sistemas técnicos devem incidir:

- no desempenho energético geral;
- na instalação correta e dimensionamento;
- no ajustamento e controlo adequados.

Relativamente aos edifícios que vão sofrer grandes renovações ou que estão em construção, cada país deve incentivar a introdução de sistemas de contagem inteligentes, respeitando a Diretiva 2009/72/CE, que refere as regras comuns para o mercado interno da eletricidade. Também os Estados-Membros podem incentivar a instalação de sistemas de controlo ativos com o objetivo de poupar energia (sistemas de automatização, controlo e monitorização). (artigo 8.º da Diretiva 2010/31/UE)

I.5 Quadro geral comum para a metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios (Anexo I da Diretiva 2010/31/UE)

Os Estados-Membros aplicam uma metodologia para o cálculo do desempenho energético dos edifícios em conformidade com o quadro geral comum estabelecido no Anexo I da Diretiva.

A Diretiva impõe regras quanto à fórmula de cálculo utilizada para determinar o desempenho energético de um edifício, regras essas regras que estão descritas no Anexo I da Diretiva 2010/31/UE. O desempenho energético de um edifício deve:

- Basear-se na energia anual calculada ou na energia efetivamente consumida nas atividades típicas de utilização do edifício tais como: aquecimento, arrefecimento e água quente;
- Ser transparente, apresentando um indicador de desempenho energético e um indicador numérico da utilização de energia primária em função de fatores de energia primária por vetor energético⁷;
- Não desrespeitar as normas europeias, nomeadamente a Diretiva 2009/28/CE;

⁷Vetor energético – “é um carreador de energia, uma outra denominação para fonte de energia secundária” (Ribeiro e Real, 2006, p.45)

- Ter em conta, no que diz respeito à sua metodologia, os aspetos descritos no ponto 3 do Anexo I da Diretiva 2010/31/UE;
- Ter em conta, para o seu cálculo, a influência positiva dos aspetos descritos no ponto 4 do Anexo I da Diretiva 2010/31/UE.

I.6 Outras Legislações

A Diretiva 2009/28/CE relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis (que revoga as Diretivas 2001/77/CE e 2003/30/CE), “aprovou como objectivo obrigatório uma quota de 20 % de energia proveniente de fontes renováveis no consumo energético comunitário global até 2020” (ponto 9 da Diretiva 2009/28/CE), referindo que “a melhoria da eficiência energética constitui um objectivo fundamental da Comunidade, que visa alcançar uma melhoria de 20 % da eficiência energética até 2020” (ponto 17 da Diretiva 2009/28/CE). Também, como se verifica na Tabela 1, a União Europeia visa reduzir a emissão de gases de efeito estufa em 80% até 2050 em relação aos níveis de 1990 (Despret et al., 2011, p. i).

Tabela 1 – Metas de redução do consumo energético e emissões de gases de efeito de estufa na União Europeia

| | Eficiência Energética | Emissões | Quota de Energia Renovável |
|---|--|---|--|
| 2020 (alvos para diferentes setores) | Reduzir 20% do consumo energético da UE em relação às projeções para 2020 ¹ | Reduzir pelo menos 20% das emissões de gases de efeito estufa até 2020 em relação a 1990 ¹ (30% em circunstâncias específicas ²) | Quota de 20% de energias renováveis no consumo global de energia da UE até 2020 ¹ |
| 2030 (objetivos não vinculativo para a construção civil) | – | Redução mínima de -37 a -53% em relação aos níveis de 1990 ³ | – |
| 2030 (objetivos não vinculativo para o setor de energia) | – | Redução mínima de -54 to -68% em relação aos níveis de 1990 ³ | – |
| 2050 (objetivos não vinculativo para a construção civil) | – | Redução mínima de -88 to -91% em relação aos níveis de 1990 ³ | – |
| 2050 (objetivos não vinculativo para o setor de energia) | – | Redução mínima de -93 to -99% em relação aos níveis de 1990 ³ | – |

¹ Conclusões da Presidência (Conselho Europeu de Bruxelas de 8/9 de Março de 2007)

² Conclusões da Presidência (Conselho Europeu de Bruxelas de 29/30 de Outubro de 2009)

³ Roteiro de transição para uma economia de baixo carbono em 2050

(Fonte: Adaptado de Despret et al., 2011, p.23)

Outros países como o Reino Unido definiram outras metas em 2006 para atingir um novo conceito de construção, sendo este definido como “*zero carbon homes*”⁸ (habitações de zero carbono), devendo todos os novos edifícios de habitação a construir a partir de 2016 no Reino Unido ser “*zero carbon homes*”, enquanto os outros tipos de edifícios (não domésticos) somente têm de respeitar este objetivo a partir de 2019 devendo ser “*zero carbon buildings*”⁹ (edifícios de zero carbono) (Hammond e Jones, 2011). Estes novos conceitos de edifícios são similares ao conceito de *Net-ZEB* (Voss, 2012), contudo, a unidade métrica utilizada no “*zero carbon homes*” e “*zero carbon buildings*” no Reino Unido é principalmente a emissão de CO₂ (Heffernan, 2013).

Fora do contexto europeu, os Estados Unidos da América também apresentaram medidas para a redução do consumo energético do seu património edificado através do *Building Technologies Program of the US Department of Energy* (Programa de Tecnologias em Edifícios do Departamento de Energia dos E.U.A.) que define que em 2020 os edifícios de habitação novos devem ser todos *ZEB* e comercializáveis, enquanto que os edifícios de comércio novos só devem ser *ZEB* a partir de 2025. (Sartori, 2012)

⁸*zero carbon homes* – edifícios onde as emissões de CO₂ associadas ao consumo de energia (aquecimento, água quente, iluminação e ventilação) são reduzidas a zero através da combinação de três fatores: garantir uma abordagem de eficiência energética em fase de projeto; redução das emissões de CO₂ no local através de tecnologias de baixo carbono e conexão à rede de aquecimento urbano; mitigação das emissões de CO₂ através de soluções autorizadas que garantam o sequestro do carbono de forma segura longe do local. (Livsey, 2012, p. 9 e 10)

⁹*zero carbon buildings* – edifícios com os mesmos princípios que os “*zero carbon homes*”, mas não-domésticos (exemplo: serviços e comércio) (Livsey, 2012, p. 9 e 10)

II. Protocolo de Quioto

O Protocolo de Quioto é um tratado internacional que obriga os países que o assinaram, nomeadamente os países industrializados e aqueles que constituem as Nações Unidas, a reduzirem as emissões de gases de efeito de estufa por serem causadores das alterações climáticas (Lacasta e Barata, 1999, p.2). Este foi redigido em 1997 no Japão, com o objetivo de criar uma solução para os problemas ambientais criados pelo desenvolvimento industrial (Souza, 2007, p.30). Este tratado deixou em aberto algumas questões, como o papel dos sumidouros¹⁰ na quantidade de CO₂ a sequestrar por cada país, e o papel dos mecanismos de mercado no que diz respeito ao cumprimento dos objetivos de redução das emissões (Lacasta e Barata, 1999, p.2). De igual forma, o desafio de tornar o Protocolo de Quioto num fórum de negociações dos objetivos, e de formas de os atingir, a respeito da redução das emissões não foi totalmente alcançado (Lacasta e Barata, 1999, p.2).

Segundo Lacasta e Barata (1999, p.2), *“face à ciência disponível, as reduções acordadas em Quioto pouco ou nada farão para combater a ameaça real da mudança climática. Podem no entanto criar a dinâmica necessária para mais ambiciosas reduções.”*

II.1 História do protocolo

Os problemas ecológicos estiveram sempre no foco das preocupações dos diferentes países, tendo-se realizado várias conferências sobre a questão do ambiente. O primeiro passo foi dado na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano em Estocolmo, na Suécia, em 1972, em que os líderes de Estado se reuniram para discutir sobre este assunto. Após esta conferência tiveram lugar outras, sendo de grande relevância a que se realizou em 1992 no Rio de Janeiro, a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (na Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento), onde 160 países acordaram respeitar as medidas discutidas nessa convenção, tendo particularmente mais importância o tema do aquecimento global. O objetivo era promover a redução da emissão de gases de efeito de estufa e evitar novas alterações climáticas. (Benson, 2002, p.162 e 163 e Instituto Socioambiental, 2007, p.496)

¹⁰sumidouros - formas de reter ou sequestrar o dióxido de carbono em florestas (Lacasta e Barata,1999, p. 2).

Em 1997 foi redigido o Protocolo de Quioto, no qual se decidiu que os países da tabela seguinte (países desenvolvidos) tinham de reduzir, até 2012, as suas emissões de dióxido de carbono em 5% relativamente a 1990, enquanto que os países em desenvolvimento não tinham índices de redução fixados, devendo colaborar através de outros meios.

Tabela 2 - Total das emissões de CO₂ dos Países do Anexo I em 1990, para aplicação no Artigo 25.º do Protocolo de Quioto

| País | Emissões (Gg) | Percentagem |
|---------------------------|----------------------|--------------------|
| Alemanha | 1.012.443 | 7,4 |
| Austrália | 288.965 | 2,1 |
| Áustria | 59.200 | 0,4 |
| Bélgica | 113.405 | 0,8 |
| Bulgária | 82.990 | 0,6 |
| Canadá | 457.441 | 3,3 |
| Dinamarca | 52.100 | 0,4 |
| Eslováquia | 58.278 | 0,4 |
| Espanha | 260.654 | 1,9 |
| Estados Unidos da América | 4.957.022 | 36,1 |
| Estónia | 37.797 | 0,3 |
| Federação Russa | 2.388.720 | 17,4 |
| Finlândia | 53.900 | 0,4 |
| França | 366.536 | 2,7 |
| Grécia | 82.100 | 0,6 |
| Hungria | 71.673 | 0,5 |
| Irlanda | 30.719 | 0,2 |
| Islândia | 2.172 | 0,0 |
| Itália | 428.941 | 3,1 |
| Japão | 1.173.360 | 8,5 |
| Letónia | 22.976 | 0,2 |
| Liechtenstein | 208 | 0,0 |
| Luxemburgo | 11.343 | 0,1 |
| Mónaco | 71 | 0,0 |
| Noruega | 35.533 | 0,3 |
| Nova Zelândia | 25.530 | 0,2 |
| Países Baixos | 167.600 | 1,2 |
| Polónia | 414.930 | 3,0 |
| Portugal | 42.148 | 0,3 |
| Reino Unido | 584.078 | 4,3 |
| República Checa | 169.514 | 1,2 |
| Roménia | 171.103 | 1,2 |
| Suécia | 61.256 | 0,4 |
| Suíça | 43.600 | 0,3 |
| Total | 13.728.306 | 100,0 |

(Fonte: Adaptado do Centro de Ciência do Sistema Terrestre, s.a.)

Em 1998, começaram a ser recolhidas as assinaturas dos diferentes países desenvolvidos, pois, para que o Protocolo entrasse em vigor, era necessário que no mínimo 55 países ratificassem, e que estes correspondessem a 55% das emissões registadas no ano de 1990 (Artigos 24.º e 25.º do Protocolo de Quioto das Alterações Climáticas). Os Estados Unidos da América, um dos principais responsáveis pelas elevadas emissões de gases de efeito de estufa, rejeitaram o documento, com o argumento de que a teoria sobre o aquecimento global na qual se baseia o Protocolo de

Quioto apresentava, ainda, incertezas científicas (Souza, 2007, p. 2), mas também pelo facto de a China não estar no acordo (Expresso, 2012).

Em 2012, na conferência de Doha sobre o combate às alterações climáticas, realizada no Qatar, foi prolongada a meta para a redução das emissões de gases de efeito de estufa, para o ano 2020, tendo sido inicialmente estabelecida até 2012. Também, na Conferência de Doha, foi estabelecido que os países desenvolvidos devem compensar os países em desenvolvimento pelos danos causados pelas alterações climáticas. A conferência contou com a presença de 200 países, mas tendo o Protocolo de Quioto desta vez sido rejeitado pelo Canadá, Japão, Nova Zelândia e Rússia. (Expresso, 2012)

O Protocolo de Quioto impõe que os países implementem e/ou desenvolvam políticas e medidas, tais como (alínea a) do artigo 2.º do Protocolo de Quioto das Alterações Climáticas):

- *“Melhorar a eficiência energética em sectores relevantes da economia nacional”;*
- *“Proteger e melhorar os sumidouros e reservatórios de gases com efeito de estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal, tomando em consideração os compromissos assumidos ao abrigo de acordos internacionais de ambiente relevantes, bem como promover práticas sustentáveis de gestão da floresta, de florestação e de reflorestação”;*
- *“Promover formas sustentáveis de agricultura à luz de considerações sobre as alterações climáticas”;*
- *“Investigar, promover, desenvolver e aumentar a utilização de formas de energia novas e renováveis, de tecnologias de absorção de dióxido de carbono e de tecnologias ambientalmente comprovadas que sejam avançadas e inovadoras”;*
- *“Reduzir ou eliminar progressivamente distorções de mercado, incentivos fiscais, isenções fiscais e subsídios em todos os sectores emissores de gases com efeito de estufa contrários aos objectivos da Convenção e aplicar instrumentos de mercado”;*
- *“Encorajar reformas apropriadas em sectores relevantes com o objectivo de promover políticas e medidas que limitem ou reduzam as emissões de gases com efeito de estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal”;*
- *“Limitar e ou reduzir as emissões de gases com efeito de estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal, através de medidas no sector dos transportes”;*
- *“Limitar e ou reduzir as emissões de metano através da sua recuperação e uso na gestão de resíduos, bem como na produção, transporte e distribuição de energia.”*

III. Alterações climáticas

III.1 Ciclo do Carbono

De todos os ciclos biogeoquímicos, o ciclo do carbono é, segundo Dajoz (2002), o mais difícil de determinar. As alterações ao ciclo efetuadas pelo ser humano, entre a época pré-industrial e a presente, agravam esta dificuldade. O solo contém aproximadamente 2 190 Gt de carbono, a atmosfera contém 750 Gt de carbono em forma de CO₂ e os oceanos contêm 38 100 Gt de carbono na forma de carbonatos dissolvidos, sendo este o principal depósito. As trocas de CO₂ entre a atmosfera e os oceanos são difíceis de contabilizar, mas o carbono orgânico presente nos oceanos está dissolvido e representa um valor superior a 700 Gt, enquanto o carbono terrestre representado pelas plantas é de 610 Gt. A desflorestação, devido aos incêndios, leva a uma emissão anual de 1,6 Gt o aumentando o dióxido de carbono na atmosfera, sendo este valor agravado com a utilização dos combustíveis fósseis, que contribuem com 5,5 Gt de carbono para a atmosfera todos os anos. (Dajoz, 2002 e Jones, 2009, p.119)

Na figura 1 estão representadas todas as quantidades e trocas de carbono.

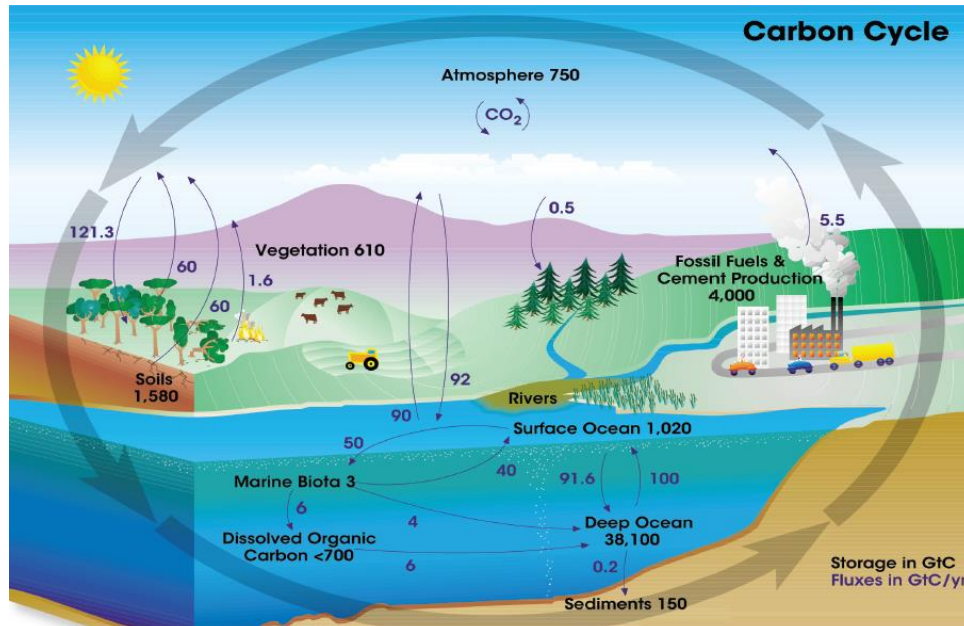


Figura 1 - Ciclo do carbono
(Fonte: Jones et al., 2009, p.119)

Na era industrial, o teor de CO₂ na atmosfera estava entre 265 a 290 ppm, enquanto que em 1992 era de 355 ppm. Pelo conhecimento atual, baseado em cálculos, este aumento deveria ser maior, pois 3/5 de CO₂ emitido pela combustão de combustíveis fósseis não

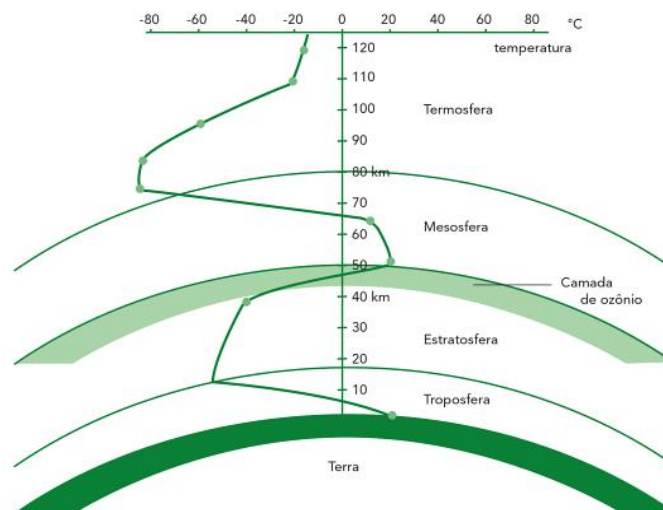
estava presente na atmosfera. A hipótese mais aceitável foi a de que os oceanos tinham uma maior capacidade maior absorver/reter CO₂ do que tinha sido previsto, e que também o solo e a vegetação absorveram o carbono devido ao aumento de CO₂ na atmosfera. Contudo, as respostas para este fenómeno são ainda difíceis de alcançar. (Dajoz, 2002)

III.2 Atmosfera

A atmosfera consiste numa camada em contacto com a superfície da terra, sendo constituída por moléculas gasosas que sofrem balanços e movimentos térmicos. Os gases que constituem, maioritariamente, a atmosfera terrestre são: o azoto, que representa 78% dos gases; o oxigénio, que representa 21%; o árgon, que representa 0,9%; o dióxido de carbono, que representa 0,03%; e vapor de água, que varia entre 1 a 4% em volume (Zilberman, 2004).

A atmosfera terrestre está dividida em 5 camadas que se diferenciam consoante a altura (conforme ilustra o gráfico 1), estando a troposfera a 0 e 10/15 km de altura, a estratosfera entre 15 e 50 km de altura, a mesosfera entre 50 a 80/85 km de altura, a termosfera entre 80/85 a 690 km de altura, e por último a exosfera, situada depois da termosfera, onde a atmosfera fica em contacto com o espaço exterior (Marim e Fernandes, 2008).

Gráfico 1 – Representação das diferentes camadas que compõem a atmosfera terrestre



(Fonte: Rosa, 2012, p.92)

A atmosfera sofre movimentos de massas de ar devido a diferenças de temperatura, de pressão, de humidade e de aerossóis, levando a variações da meteorologia. Considera-se

que a atmosfera é um sistema dinâmico, um sistema químico-reagente e um sistema aberto, pois é afetada por fatores externos, como por exemplo a luz solar ou compostos emitidos por seres vivos e pelas atividades humanas.

Dois importantes fatores da atmosfera são a temperatura e a pressão. No caso da temperatura atmosférica, esta varia consoante o aquecimento ou arrefecimento de todas as componentes que constituem a atmosfera, mas também dos outros elementos presentes na geosfera, hidrosfera e biosfera que interagem com a atmosfera. Já a pressão atmosférica varia segundo a altitude, sendo estas inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a altitude, menor é a pressão atmosférica. (Marim e Fernandes, 2008)

Relativamente ao vapor de água, uma componente da atmosfera, este varia consoante o local, dependendo de fatores como a temperatura, a pressão do ar, a evaporação no ciclo da água, a transpiração da camada vegetal, entre outros (Marim e Fernandes, 2008).

III.3 Clima

De acordo com Koenigsberger, Mayhew e Szokolay (cit. in Barbirato et al., 2007):

“O clima é o resultado dinâmico de fatores globais (latitude, altitude, continentalidade, etc), locais (revestimento do solo, topografia) e elementos (temperatura, umidade, velocidade dos ventos, etc) que dão feição a uma certa localidade. É a integração dos estados físicos do ambiente atmosférico (tempo), característico de certa localidade geográfica, de modo que não há dois climas rigorosamente iguais”.

O conceito de “clima” é aplicado quando num ou em vários locais do planeta se identificam condições atmosféricas comuns. É, portanto, possível estabelecer padrões climáticos, que resultam nos diferentes tipos de clima, e que são classificados consoante a latitude: ártico, subártico, temperado, tropical ou subtropical; ou consoante as condições específicas de um determinado local do globo terrestre: desértico, mediterrânico, monção, subtropical húmido, subtropical seco, equatorial (Zilberman, 2004).

Segundo a Organização Meteorológica Mundial, o clima de um determinado local, pode ser definido pelo valor médio das variáveis meteorológicas, desse local, registadas durante um período de 30 anos. Contudo, o sistema climático encontra-se em constante evolução. As alterações climáticas são, assim, a mudança do valor médio a longo prazo do clima que, para a escala de tempo de vida humana, é praticamente impercetível, só podendo ser detetada através de um estudo rigoroso (Castillo e Jordán, 1999).

Como se verifica na figura 2, e segundo Peixoto (s.a, p.21):

“Assim, podemos definir o estado do clima como um estado conceptual do sistema climático, caracterizado pelos valores médios, juntamente com a sua variabilidade, dum conjunto completo de grandezas atmosféricas, hidrosféricas e criosféricas, referidas a um dado intervalo de tempo e a uma região do sistema globo atmosfera.”

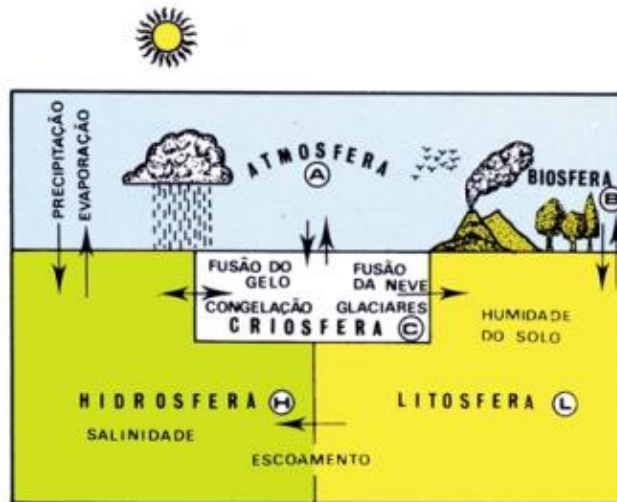


Figura 2 - Interação entre os vários subsistemas que influenciam o clima

(Fonte: Peixoto, s.a, p. 19)

As condições climáticas podem ser afetadas à escala regional ou local. No que diz respeito a esta última, o clima pode ser significativamente afetado pela criação de microclimas que apresentem condições para o aparecimento de certos microrganismos prejudiciais ao ambiente e à saúde humana (Castillo e Jordán, 1999).

Relativamente à escala regional, o movimento das massas de ar que cruzam continentes e oceanos influencia a precipitação e a temperatura dos locais onde essa massa de ar está presente. Um exemplo é o fenómeno “El Niño¹¹”.

¹¹El Niño – “perturbação natural do sistema físico terrestre que afeta o clima global. É caracterizado pelo desenvolvimento de águas oceânicas quentes na parte oriental (leste) do Oceano Pacífico tropical, um enfraquecimento ou reversão de ventos, e um enfraquecimento ou mesmo reversão de correntes oceânicas equatoriais. Ocorre periodicamente e afeta a temperatura da atmosfera global do bombeamento de calor na atmosfera.” (Zilberman, 2004, p.84)

III.4 Efeito de estufa

Em 1827, o cientista francês Joseph Fourier, interessado na matéria da ciência do calor, mediu a radiação solar que a Terra recebia e a radiação que a terra libertava para o espaço em forma de infravermelhos. A diferença entre os dois resultados ficou longe da temperatura média da Terra, sendo esta de 15°C e o resultado obtido de -18°C, o que dá uma diferença de 33°C. Assim, o cientista Joseph Fourier concluiu que a atmosfera influenciava a temperatura da Terra (Naves e Firmino, 2009).

Em 1859, o irlandês John Tyndall calculou as percentagens dos diferentes gases presentes no ar. Posteriormente, simulou uma atmosfera em miniatura, constituída por dois gases: 21 % de oxigénio e 78 % de azoto. Em seguida, expôs a atmosfera simulada à radiação de infravermelhos. O resultado final obtido não foi o esperado. John Tyndall esperava que a radiação de infravermelhos (calor) ficasse retida, todavia a radiação escapou toda para o exterior (Naves e Firmino, 2009).

John Tyndall resolveu repetir a experiência, acrescentando à sua atmosfera gases com menor abundância na atmosfera terrestre, tais como o vapor de água, o metano e o dióxido de carbono, o que fez nas proporções equivalentes às da atmosfera da Terra. Após ter exposto a pequena atmosfera à radiação de infravermelhos, o resultado obtido foi a retenção de parte do calor que na experiência inicial tinha sido emitido para a atmosfera (Naves e Firmino, 2009).

Em 1863, John Tyndall tinha identificado os gases de efeito de estufa e assim descoberto o efeito de estufa natural. (Naves e Firmino, 2009).

Em 1894, o sueco Svante Arrhenius analisou a relação que se estabelece entre a quantidade de CO₂ presente na atmosfera e a temperatura do ar. O objetivo era ver a influência da quantidade de CO₂ na atmosfera e que relação ela tinha com as eras glaciais e, também, que influência apresentava a revolução industrial (com a queima de carvão libertando CO₂ adicional para a atmosfera) na atmosfera terrestre. Sobrevalorizando a capacidade de absorção de CO₂ dos oceanos e o crescimento industrial, calculou o tempo necessário para a duplicação de CO₂ na atmosfera chegando a um valor errado de 3 mil anos (Naves e Firmino, 2009).

Contudo, segundo Naves e Firmino (2009, p.43), se as emissões de CO₂ para a atmosfera continuarem ao ritmo atual, a duplicação de CO₂ acontecerá por volta do ano 2080.

III.5 Aquecimento Global

O aquecimento global caracteriza-se pelo aumento da temperatura da atmosfera devido à emissão de gases de efeito de estufa resultante, maioritariamente, das atividades humanas, sendo a atividade com maior impacto a queima de combustíveis fósseis. O aumento da emissão para a atmosfera dos gases de efeito de estufa, principalmente o dióxido de carbono, aumenta a quantidade de calor aprisionado na atmosfera. (Bellusci, 2010, p. 17)

Como defende Tommasi (2008, p.138), as consequências do aquecimento global são variadas e numerosas, mas difíceis de especificar no que diz respeito aos fenómenos naturais. Segundo o mesmo autor, alguns efeitos previstos do aquecimento global são a redução do gelo dos glaciares, a redução da circulação das correntes marítimas (como as águas quentes para o norte do Atlântico), ou o aumento da temperatura da atmosfera, entre outros.

Outros fenómenos que tiveram lugar devido ao aquecimento global, como refere Marcovitch (2006, p. 23), foram a perda, nas últimas quatro décadas, de 40% da espessura do gelo flutuante do Ártico, bem como o aumento três vezes mais rápido nos últimos 100 anos do nível médio da água do mar, por comparação com os últimos 3 mil anos. As mudanças climáticas causadas pelo aquecimento global determinaram mudanças de comportamento nos animais e nas plantas.

III.5.1 Evolução do Aumento da Temperatura

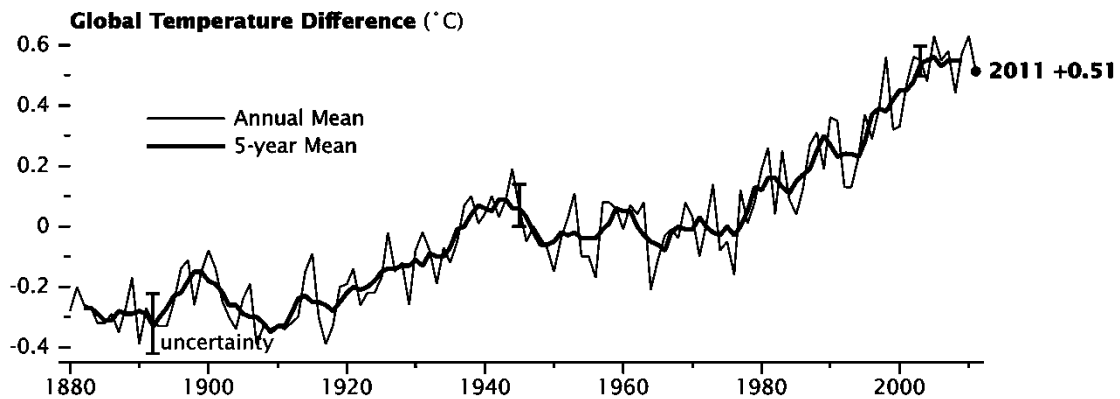
A temperatura média da atmosfera tem aumentado desde há, aproximadamente, um século e meio. Entre 1910 e 1940, houve um aumento de 0.35°C, diminuindo 0.1°C entre 1940 a 1970, e aumentando 0,55°C entre 1970 e 2006. Verifica-se que na última década a velocidade do aumento da temperatura é de 0.15°C por década e que nos últimos 50 anos a velocidade foi de 0.13°C por década, pelo que se pode concluir que o aumento da temperatura tem acelerado. Outro dado relativo ao aumento da temperatura é o aumento do número de dias mais quentes no ano, havendo, ao mesmo tempo, uma diminuição do número de dias mais frios. (Veiga, 2008, p.28)

De um modo geral, os efeitos do aquecimento global em termos de variação de temperatura foram maiores no Inverno do que no Verão, e segundo os dados oficiais, os anos mais quentes registaram-se nas últimas décadas (conforme se pode verificar no Gráfico 2). Também, pelo facto de a água ter maior inércia térmica que a terra, verificou-se que o aumento da temperatura registado era maior nos continentes do que nos oceanos. Assim o hemisfério norte, por ter uma área continental mais vasta comparativamente ao hemisfério sul, foi o que sofreu maior aumento de temperatura. (Veiga, 2008)

Dados mais recentes revelam que o ano 2011 foi o nono ano mais quente desde 1880 com uma temperatura média global de 0,51°C mais quente comparando com a linha média de temperatura do século XX. Também, o registo meteorológico moderno divulga que 9 dos 10 anos mais quentes são posteriores ao ano 2000. (NASA, 2012)

Segundo o Diretor da “NASA's Goddard Institute for Space Studies” em Nova Iorque (NASA, 2012), como planeta está a absorver mais energia que aquela que emite, haverá tendência para temperaturas mais elevadas.

Gráfico 2 - Variação da temperatura de 1880 a 2011

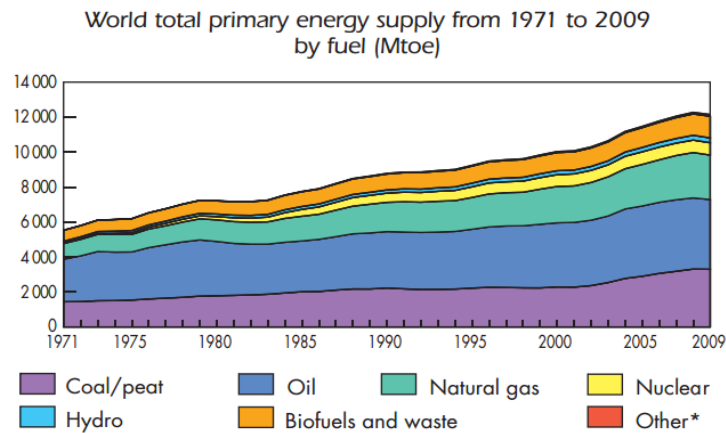


(Fonte: NASA, 2012)

IV. Fontes de energia

As exigências da sociedade atual ao nível da energia têm vindo a aumentar, e ano após ano a quantidade de energia utilizada torna-se maior. Os avanços da tecnologia nas comunicações, nos transportes e na indústria, a par do crescimento populacional, levam a que haja uma enorme e crescente procura de energia, como se verifica no Gráfico 3. (Deneck et al., 2006, p.298)

Gráfico 3 - Evolução do uso da energia primária no mundo



Nota: Biofuels and waste - "Biomassa e produtos animais (madeira, resíduos vegetais, etanol, matéria animal/resíduos e "licor negro", resíduos urbanos e industriais." (Barros, 2008)

Others - "Eletricidade e/ou calor por via geotérmica, eólica, marés e energia das ondas." (Barros, 2008)

(Fonte: Internacional Energy Agency, 2010)

Zonas diferentes do globo têm diferentes recursos energéticos e por isso poderão recorrer a diferentes fontes energéticas. Essas fontes podem ser renováveis ou não renováveis. Nas renováveis, os recursos necessários para a sua produção, são reabastecidos por processos naturais a curto prazo (Deneck et al., 2006, p.298), como por exemplo, a energia solar que não se esgotará durante a escala de tempo da espécie humana, estando a Terra a receber constantemente radiação solar (Burattini, 2008, p.100). São consideradas energias renováveis as energias solar, eólica, hidráulica, das marés, das ondas, geotérmica e da biomassa. (Deneck et al., 2006, p.298)

Segundo Velasco (2009, p.46), as energias renováveis podem ajudar a resolver algumas dificuldades futuras de fornecimento de energia que resultam do esgotamento das energias não renováveis, muito utilizadas nos dias de hoje.

Dentro de cada um dos grupos de fontes de energia, renovável e não renovável, é possível distinguir dois tipos de energia: as primárias e as secundárias (Figura 3). A diferença entre estes dois tipos de energia reside na sua transformação, sendo os combustíveis primários transformados/separados em combustíveis secundários para melhor aplicação nos diferentes dispositivos de conversão de energia. (Barros, 2008, p. 2)

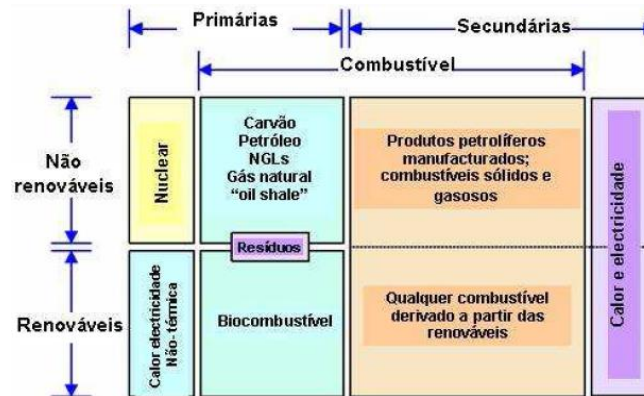


Figura 3 - Divisão das fontes de energia em grupos

(Fonte: Barros, 2006)

As energias não renováveis obtêm-se através de acumulações estáticas e de quantidades fixas, em que, uma vez utilizadas não podem ser reabastecidas, durando somente até que o recurso se esgote. São exemplos de recursos não renováveis o carvão, o gás natural, o petróleo e o urânio (energia nuclear) (Velasco, 2009, p. 47 e Deneck et al., 2006, p.298).

Os recursos gastos para produção de energia no mundo são, na maioria, os combustíveis fósseis. Com o aumento anual do consumo energético, o risco de esgotamento destas fontes de energia também aumenta. Assim, é fundamental incentivar o recurso às energias renováveis e desenvolver a tecnologia utilizada na sua exploração. (Deneck et al., 2006, p.298)

IV.1 Energias Renováveis

IV.1.1 Energia Solar

A energia solar é utilizada pelo homem há milhares de anos, contudo, só recentemente é que se desenvolveu tecnologia para transformar a energia solar em outras fontes de energia (Grimoni et al., 2004, p.69). Como refere Anderson (2009, p.208), a cada ano, a

Terra recebe $1,56 \times 10^{18}$ kWh de energia solar, porém, o consumo de energia na Terra corresponde a menos 0,01 % desta quantidade de energia.

A energia solar, sendo a energia disponível em maior quantidade na Terra, é uma energia que está disponível gratuitamente, não é poluente, nem produz resíduos. No entanto, em relação às células solares (Figuras 4 e 5) o investimento inicial permanece ainda muito elevado. Outra desvantagem é a descontinuidade do seu funcionamento, ficando inativas em períodos de céu muito nublado e de noite (Ogunseitan e Robbins, 2011, p.17).



Figura 4 - Central fotovoltaica, Serpa, Beja (Portugal) (Fonte: Panoramio, 2007)

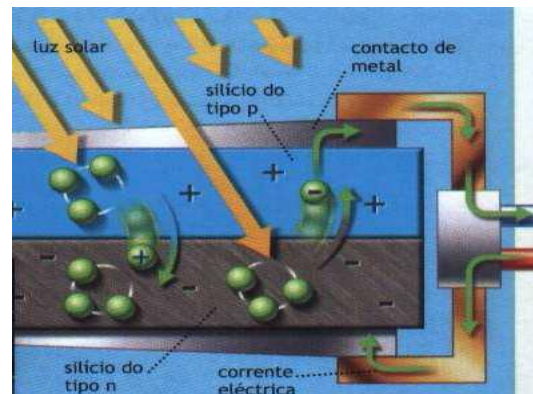


Figura 5 - Esquema de funcionamento de um painel solar fotovoltaico (Fonte: Barros, 2008)

IV.1.2 Energia Eólica

O aproveitamento da energia proporcionada pelo vento remonta a culturas antigas, como os babilónicos, no ano 600 a.C., para bombear a água que se destinava à irrigação das suas culturas; ou os egípcios, no ano 4500 a.C., que utilizavam barcos à vela para se moverem pelos rios e pelos mares. Outro exemplo é a utilização de moinhos de vento na Europa (em 1105, em França) para moer os cereais (Grimoni et al., 2004, p.69) e mais tarde, a partir do século XVI a utilização de fábricas eólicas para transformação de matéria-prima em produtos acabados (exemplo: serralharia eólica flutuante no rio na Holanda construída em 1592) (Boonenburg, 1951, p. 32 e 34).

A energia eólica é uma energia gratuita e disponível sempre que há deslocamento de massas de ar, não necessita de combustíveis, nem produz resíduos ou gases. Todavia, estes deslocamentos nem sempre são previsíveis e há, por vezes, dias sem vento, o que significa que nesses dias não há produção de energia elétrica por parte das turbinas

eólicas (Rosa et al., 2012, p.139). Outra desvantagem é o impacto paisagístico negativo que os parques eólicos (Figura 6) podem criar (Castro, 2003, p.12), não esquecendo o ruído emitido pelos geradores eólicos (Figura 7). Porém, a tecnologia está a evoluir no sentido de tornar os geradores eólicos mais silenciosos (Salino, 2011, p.15).

A energia eólica é uma medida de fornecimento de energia elétrica viável para áreas com condições de velocidade de vento mínima de 7 m/s (Rosa et al., 2012, p.139).

Porém, a disponibilidade de vento localiza-se em zonas mais específicas, como topos de montanhas, planaltos, planícies e zonas próximas da costa (Castro, 2003, p.34).



Figura 6 - Parque Eólico de Sines (Portugal)
(Fonte: Câmara Municipal de Sines, 2007)

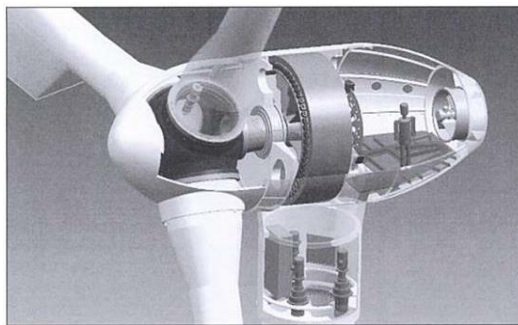


Figura 7 - Esquema do mecanismo interior de uma turbina eólica (Fonte: Martínez e Ruesga, s.a.)

IV.1.3 Energia hidráulica / hidroelétrica

Tal como a energia solar e a eólica, a energia hidráulica é utilizada há milhares de anos, como por exemplo, o aproveitamento do movimento das águas dos rios para moer cereais, através de moinhos de água (López, 2000, p.35). Em 1878, a Craggside House em Northumberland em Inglaterra, foi a primeira casa a ser iluminada por energia hidroelétrica (Rodger, 2010, p. 30). Quatro anos mais tarde, em 1882, no rio Fox, em Wisconsin, nos Estados Unidos da América, foi criada a primeira central de energia hidroelétrica (Rodger, 2010, p.31). Atualmente, a energia hidroelétrica é responsável pela produção de 2,3% da energia produzida a nível mundial (Internacional Energy Agency, 2010).

No caso de uma barragem (Figura 8), a obtenção de energia elétrica apresenta, na prática, custos muito baixos (Rocha et al., 2009, p.156). Contudo, a construção de uma barragem requer, normalmente, um investimento bastante elevado e, por vezes, é difícil encontrar um local adequado para a sua implementação, constituindo estes dois pontos

um obstáculo (Fulgencio, 2007, p.253). Relativamente à capacidade de resposta à procura de energia, é possível armazenar uma determinada quantidade de água a montante para responder aos picos da procura e elevar rapidamente a potência total (Figura 9) (Rocha et al., 2009, p.156).

Em termos de impacto ambiental, as barragens não produzem desperdícios ou poluição, no entanto, quando a barragem está em modo operacional corta grande parte do fluxo de água, inundando uma extensa área a montante, o que pode provocar problemas nos diferentes ecossistemas. A jusante, a barragem pode, igualmente, afetar a qualidade e a quantidade da água. A vantagem do controlo do fluxo de água reside no controlo das inundações e da irrigação (Rocha et al., 2009, p.156).



Figura 8 - Barragem de Alqueva, Évora, Portugal
(Fontes: Panoramio, 2007)

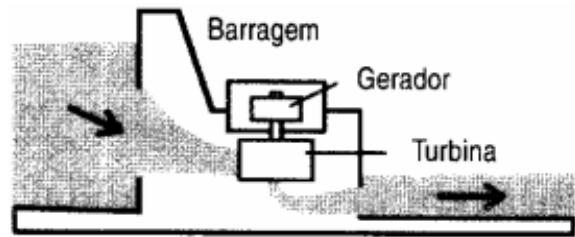


Figura 9 - Esquema de funcionamento de uma barragem (Fonte: Barros, 2008)

IV.1.4 Energia das marés

A energia das marés é uma energia renovável e gratuita e tem a capacidade de produzir grande quantidade de energia. Em termos económicos, o seu desempenho está dependente do local onde o dispositivo (Figura 10 e 11) é implantado, pois o local deve apresentar uma determinada amplitude de marés, já que a este tipo de energia consiste no aproveitamento dos desníveis de água que resultam da subida e da descida das marés. A diferença entre maré-alta e maré-baixa deverá ser no mínimo de 5 metros (Freitas, 2008, p. 11 e 12). A energia das marés pode servir de apoio à energia solar quando esta última não consegue responder à demanda energética (Vermerris, 2008, p.9).

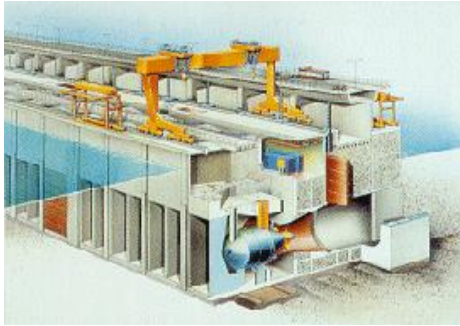


Figura 10 - Ilustração de um dispositivo de obtenção de energia através das marés
(Fonte: Barros, 2008)

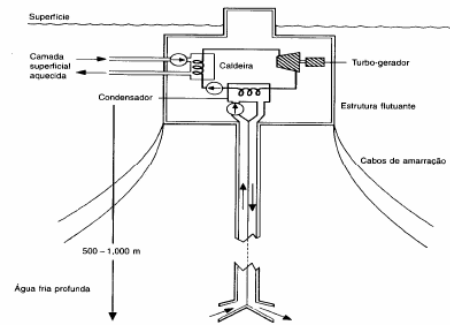


Figura 11 - Esquema de um dispositivo de obtenção de energia das marés através do gradiente térmico
(Fonte: Barros, 2008)

IV.1.5 Energia das ondas

O aproveitamento da energia das ondas é relativamente recente, mas é inegável o seu significativo contributo no suprimento das necessidades de energia, particularmente para as nações com uma grande linha de costa, como é o caso de Portugal. É possível distinguir uma grande variedade de tecnologias em desenvolvimento para a produção deste tipo de energia, variedade essa que está diretamente ligada às diferentes formas de capturar a energia e também às diferentes profundidades e às características geológicas do local onde estão implementados os dispositivos. Para o seu desenvolvimento ser bem sucedido, a conversão da energia das ondas em energia elétrica deve ser comercialmente viável, ou seja, os mecanismos de conversão (wave energy converters (WEC)) (Figuras 12 e 13) devem ser capazes de sobreviver por longos períodos de tempo e fornecer energia a um preço competitivo (Simões e Martins, 2009).



Figura 12 - Dispositivo nearshore de obtenção de energia das ondas (spill over)
(Fonte: Barros, 2008)

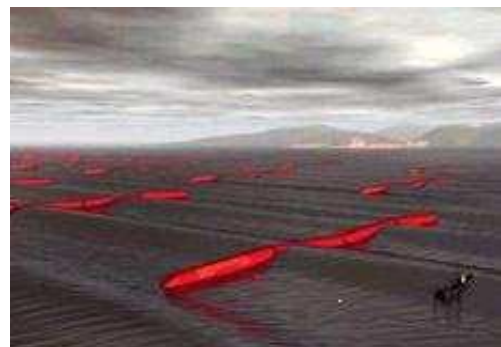


Figura 13 - Dispositivo offshore de obtenção de energia das ondas (Pelamis)
(Fonte: Barros, 2008)

IV.1.6 Energia geotérmica

A energia geotérmica é uma energia calorífica presente do interior da Terra, do núcleo até à crosta terrestre, sendo que, em média, a temperatura aumenta cerca de 30°C por cada quilómetro de profundidade (Lopéz, 2000, p.34).

Nos dias de hoje, esta energia é aproveitada através de centrais de energia geotérmica, para obtenção de energia elétrica e calorífica em zonas vulcânicas, onde esta energia em forma de calor se encontra mais próximo da superfície do solo comparando com zonas não vulcânicas (Rosa et al., 2012, p.141). Contudo, a energia geotérmica era aproveitada há milhares de anos pelo homem para aquecimento e para cozinhar (Lopéz, 2000, p.34).

Apesar das centrais geotérmicas não serem poluentes e, em princípio, não contribuírem para o efeito de estufa, existe a exceção de alguns casos em que há libertação de gases minerais e de gases considerados perigosos que possam surgir do subsolo e cuja eliminação se considere difícil (Rosa et al., 2012, p.141).

Em termos de custos, após ter sido feito o investimento inicial da construção da central a energia é quase gratuita, não sendo necessário nenhum combustível. Contudo, por vezes a zona geológica fica sem condições de extração de energia calorífica durante décadas (Rosa et al., 2012, p.141).

Uma grande desvantagem desta energia reside na inexistência de muitos lugares com condições para a sua implementação, pois, para se poder instalar uma central geotérmica (Figuras 14 e 15) que seja viável, o local deve apresentar condições específicas como o tipo de rochas quentes adequadas, a profundidade aceitável e fácil perfuração da rocha superficial (Rosa et al., 2012, p.141).



Figura 14 - Central Geotérmica da Ribeira Grande, ilha de São Miguel, Açores, Portugal (1)
(Fonte: Câmara Municipal da Ribeira Grande)



Figura 15 - Central Geotérmica da Ribeira Grande, ilha de São Miguel, Açores, Portugal (2)
(Fonte: Câmara Municipal da Ribeira Grande)

IV.1.7 Energia de Biomassa

A energia de biomassa, tal como todas as energias referidas anteriormente, é uma energia que se utiliza há milhares de anos. O homem utiliza a madeira para aquecimento e para cozinhar. Atualmente, a madeira representa uma pequena percentagem da energia produzida, sendo cada vez menos importante como fonte de energia. No entanto, para além da madeira, a cana-de-açúcar é utilizada através do processo de fermentação para fabricar álcool que ao queimar gera energia (Nascimento e Abreu, 2012).

Existem outros tipos de produção de energia de biomassa: os resíduos sólidos, ao serem queimados produzem calor, podendo, por sua vez, ser utilizados para produzir vapor numa estação de energia (Figuras 16 e 17). É, igualmente, possível produzir biocombustíveis através de plantas e de dejetos de animais (Nascimento e Abreu, 2012).

A utilização da energia de biomassa apresenta vantagens para a sociedade, tais como, o facto de os resíduos serem eliminados, o combustível se tornar mais barato e a procura de combustíveis fósseis diminuir. Contudo, os biocombustíveis produzem gases de efeito de estufa, o que é muito prejudicial para o ambiente. (Rosa et al., 2012, p.153)



Figura 16 - Central Elétrica de Biomassa de resíduos florestais em Corduente, Guadalajara, Espanha (1)

(Fonte: EWK – Torres de Refrigeración, 2012)



Figura 17 - Central Elétrica de Biomassa de resíduos florestais em Corduente, Guadalajara, Espanha (2)

(Fonte: EWK – Torres de Refrigeración, 2012)

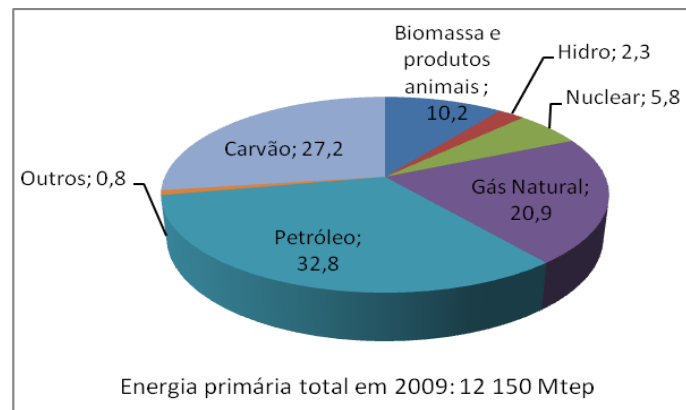
IV.2 Energias não renováveis

IV.2.1 Energias não renováveis de origem fóssil

As energias não renováveis de origem fóssil dividem-se em quatro principais tipos de recursos: o carvão, em estado sólido, representando, em 2009, 27.2% da energia mundialmente consumida; o petróleo e derivados, em estado líquido, aos quais correspondia, em 2009, uma percentagem de 32.8% da energia consumida; o gás natural, que em 2009 representava 20.9%, e, finalmente, numa percentagem muito menor, os restantes combustíveis fósseis, como por exemplo, as areias betuminosas e o xisto betuminoso (Gráfico 4) (International Energy Agency, 2010).

Estas fontes não renováveis permitem gerar grandes quantidades de energia, uma vez que a tecnologia envolvida nos processos de transformação está bastante desenvolvida. Veja-se, a título de exemplo, a grande eficiência das centrais térmicas de gás natural ou de carvão, ou como o transporte de petróleo e de gás natural é muito facilitado devido aos seus estados físicos, ao que acresce o facto das centrais energéticas poderem ser implantadas praticamente em qualquer local (Rosa et al., 2012).

Gráfico 4 - Consumo de energia primária no ano de 2009



Nota: Biomassa e produtos animais – “madeira, resíduos vegetais, etanol, matéria animal/resíduos e “licor negro”, resíduos urbanos e industriais”) (Barros, 2008)

Outros - “Eletricidade e/ou calor por via geotérmica, eólica, marés e energia das ondas.” (Barros, 2008)

(Fonte: Adaptado de Internacional Energy Agency, 2010)

Contudo, estes recursos apresentam grandes desvantagens e consequências muito graves a nível ambiental, com todos os prejuízos que isso acarreta para o Homem e para o ecossistema. São elas, o facto de não serem renováveis e de serem muito poluentes. O petróleo, o gás natural e o carvão, quando queimados, emitem para a atmosfera grandes quantidades de dióxido de carbono e outros gases de efeito de estufa, agravando o

aquecimento global e as alterações climáticas. Destes três recursos, o carvão é o que emite mais dióxido de carbono, emitindo também dióxido de enxofre, gás esse que é um forte componente das chuvas ácidas¹². O carvão é uma matéria-prima barata, porém é necessária uma grande quantidade desta para uma central térmica funcionar, levando a que a sua utilização tenha, como consequência, uma grande pegada ecológica¹³, desde a sua extração até à sua queima. (Hill, 2010)

IV.2.2 Energia nuclear

A energia nuclear foi utilizada pela primeira vez no século XX e a primeira grande central nuclear foi construída em Inglaterra, em 1956. Esta energia é gerada a partir do urânio, metal que está presente em várias partes do mundo. A energia nuclear representa 5.8 % da produção mundial de energia, sendo por essa razão uma fonte de energia de grande importância. É, ainda, utilizada para fins militares: submarinos e navios movem-se utilizando geradores nucleares. (Rosa et al., 2012)

A energia nuclear não é uma energia muito cara, produz poucos resíduos, e com pouco combustível é possível produzir grandes quantidades de energia. Apesar destes resíduos, as centrais nucleares não são poluentes. Devido ao facto de o urânio ser finito no planeta Terra, a energia nuclear é classificada como uma energia não renovável. (Rosa et al., 2012)

Uma das grandes desvantagens deste tipo de energia consiste na necessidade de os resíduos serem enterrados e isolados devido à sua radioatividade, cuja libertação só cessa decorridos milhares de anos.

¹²Chuvas ácidas – “corresponde àquela em que o pH se apresenta inferior a 5,65, sendo seu carácter ácido associado à poluição do ar. As gotas de água das chuvas vêm misturadas com água oxigenada e ácidos sulfúrico, nítrico, acético e fórmico além do sulfato e nitrato de amônia. Portanto este tipo de precipitação pluviométrica é resultante da produção e emissão de gases, como, dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio (...). O ácido que cai das nuvens (...) é responsável pela destruição de metais, dos monumentos públicos, mortes de plantas e também afeta a saúde humana.” (Jesus, 1996, p. 144 e 145)

¹³Pegada Ecológica – “consiste numa estimativa da quantidade de recursos necessária para produzir, de uma forma continuada, os bens e serviços que consumimos, e eliminar todos os resíduos e poluentes que produzimos” (Ferreira, 2008, p.2)



Figura 18 - Central nuclear de Fukushima (Japão) antes do desastre
(Fonte: Jornal de Notícias, 2011)

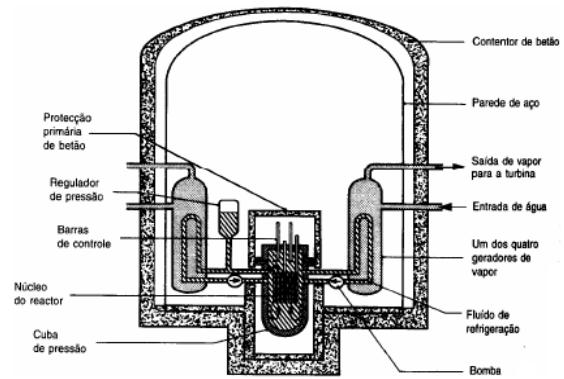


Figura 19 - Esquema de funcionamento de uma central nuclear
(Fonte: Barros, 2008)

Outra desvantagem prende-se com o facto de a energia nuclear ser uma energia perigosa. A exploração deste tipo de energia exige a manutenção de um elevado nível de segurança. As centrais nucleares têm de ser protegidas de qualquer desastre natural que possa surgir, afetando a central e dando, assim, origem a acidentes nucleares gravíssimos. (Rosa et al., 2012)

Um exemplo recente é o acidente nuclear de dia 11 de Março de 2011, em Fukushima, no Japão, originado por um sismo (Figuras 18 e 19).

“O Japão declarou o estado de emergência em cinco reactores nucleares de duas centrais nucleares, na sequência do forte sismo, seguido de tsunami, que abalou o nordeste do arquipélago. Na central nuclear de Fukushima, o nível de radioactividade é mil vezes superior ao normal.

Milhares de pessoas foram evacuadas, com o raio de segurança a ser alargado de três para 10 quilómetros, enquanto os trabalhadores tentam baixar a temperatura dos depósitos dos reactores, para evitar que rebentem.

O primeiro-ministro japonês, Naoto Kan, pediu aos moradores num raio de dez quilómetros em redor da central para abandonarem a zona, em virtude do risco de uma fuga radioactiva, noticiou a AFP, que cita a agência Jiji, que dá conta dessa informação a partir do Ministério da Indústria. (...)

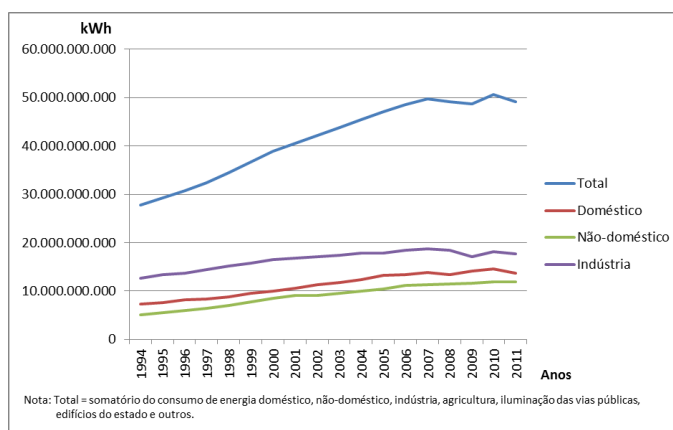
O nível de radioactividade é mil vezes superior ao normal na sala de controlo do reactor n.º1 da central nuclear de Fukushima (nordeste do Japão). A companhia está a libertar ar, que pode conter materiais radioactivos, de forma a aliviar a pressão dos depósitos nucleares e o perímetro de segurança foi alargado de 3 para 10 quilómetros.”

(Jornal de Notícias, 2011)

IV.3 Consumo de Energia em Portugal

O padrão de consumo de energia em Portugal não é muito diferente se comparado com os outros países de União Europeia. Já quanto à produção de energia, Portugal é um país que se caracteriza por não ter combustíveis fósseis, como recurso natural, nem energia nuclear, mas que é rico em recursos endógenos (Amador, 2010, p.85). Também, é de se notar que o consumo de energia em Portugal tem aumentado gradualmente, mas tem vindo a estabilizar durante o início desta década (gráfico 5).

Gráfico 5 - Consumo de energia elétrica em Portugal (1994 a 2011) por setor



(Fonte: Adaptado de Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2013)

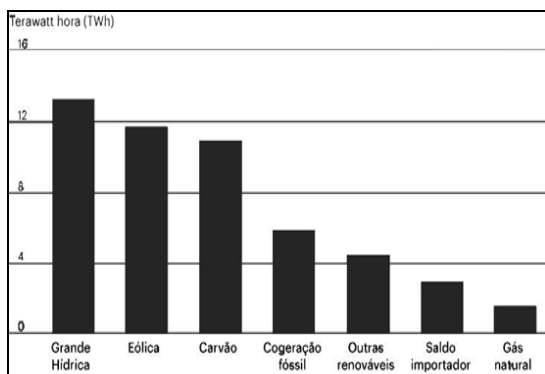
De 2004 a 2007, no setor industrial em Portugal, a eletricidade e os combustíveis líquidos (combustíveis de origem petrolífera), apresentaram as maiores percentagens no consumo de energia, sendo cerca de 26,1% de consumo de eletricidade e cerca de 27,0% no consumo de combustíveis líquidos. No mesmo período de tempo, o setor doméstico apresentou a mesma tendência (35,5% de consumo de eletricidade e 21,3% de consumo de petróleo). Contudo, verifica-se que a percentagem de utilização de combustíveis líquidos (combustíveis de origem petrolífera), para responder à demanda energética dos diferentes anos, tem diminuído quer no setor industrial, quer no setor doméstico. (Amador, 2010, p.80)

No ano de 2009, 24,1% da produção total de energia em Portugal e 45% da eletricidade produzida, foi através de fontes renováveis (Moura e Sá, 2010, p.3).

Portugal tem como meta para o ano de 2020, fazer com que 60% da produção de eletricidade e 31% da utilização de energia primária sejam de origem renovável, aumentar a microprodução e aplicar medidas relativas à eficiência energética, que levem à redução em 20% do consumo de energia (Moura e Sá, 2010, p.3). Contudo,

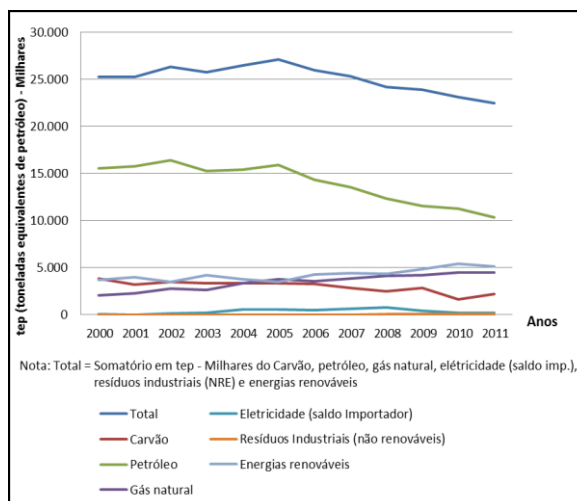
relativamente ao balanço final de 2013, e de acordo com o gráfico 6, 58,3% da energia elétrica consumida foi produzida através de energias renováveis, sendo maior em 20% comparativamente ao ano de 2012. Este aumento de produção de energia elétrica através de fontes renováveis foi devido ao aumento da produção de energia hidroelétrica através das barragens, pois, o ano de 2013 foi um ano relativamente húmido enquanto que o ano de 2012 foi um ano seco. No ano de 2013, verificou-se também um aumento em 20% da produção de energia elétrica através dos parques eólicos, devido à existência de maior intensidade do vento, comparando com 2012, e um aumento de 25% da produção de energia através de sistemas fotovoltaicos graças ao aumento da capacidade instalada. (Soares e Jornal Público, 2014)

Gráfico 6 – Produção de energia elétrica por fonte de energia em Portugal continental no ano 2013



(Fonte: Apatado de Soares e Jornal Público, 2014)

Gráfico 7 - Consumo de energia primária em Portugal (2000 a 2011) por fonte de energia



(Fonte: Adaptado de Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2013)

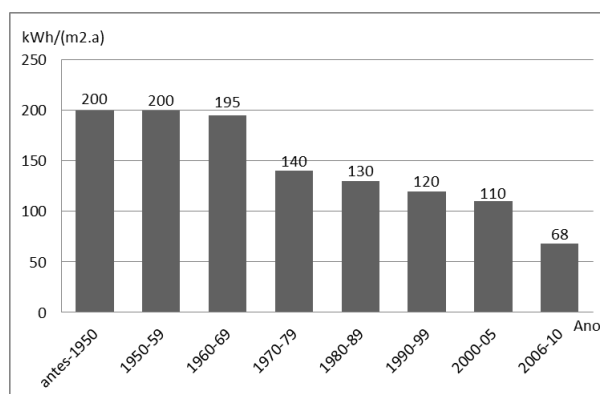
Comparando o ano de 2013 com o ano de 2012, e como se verifica através das tendências no gráfico 7, a aposta na produção de energia elétrica através de fontes renováveis levou a uma poupança de 806 milhões de euros ao evitar a importação de energia primária fóssil, como o carvão e o gás natural, e a uma poupança de 40 milhões de euros em licenças de emissão de CO₂. Esta poupança está associada à redução da emissão de CO₂ em 2,3 milhões de toneladas. Ainda, devido ao aumento da produção de energia elétrica por fontes renováveis, houve uma redução da importação desta energia em 2,8 vezes. (Soares e Jornal Público, 2014)

V. Desempenho Energético dos Edifícios em Portugal e na Europa

Os critérios estabelecidos para o dimensionamento de um edifício diferem consoante o país e/ou a região pois, em toda a Europa, existem diferentes zonas climáticas (Diacon e Moring, 2013, p.12). Assim, e como defendido por Diacon e Moring (2013, p.12), os edifícios de baixo consumo de energia em Portugal e em Espanha não só poderiam ser construídos sem sistemas de ventilação ativos, mas também, as necessidades de isolamento são bastante menores comparando com os países do norte da Europa.

Contudo, e de acordo com Economidou et al. (2010, p.49), apesar dos edifícios de países como Portugal e Itália terem necessidades de aquecimento mais baixo que a média europeia, devido ao seu clima, o consumo médio de energia é relativamente alto. O mesmo autor justifica tal facto devido à insuficiência de isolamento da envolvente da maioria dos edifícios existentes, construídos na altura em que não havia regulamentação respetiva.

Gráfico 8 – Evolução dos níveis médios de consumo energético final para aquecimento (kWh / (m²a)) de casas unifamiliares por ano de construção, em Portugal



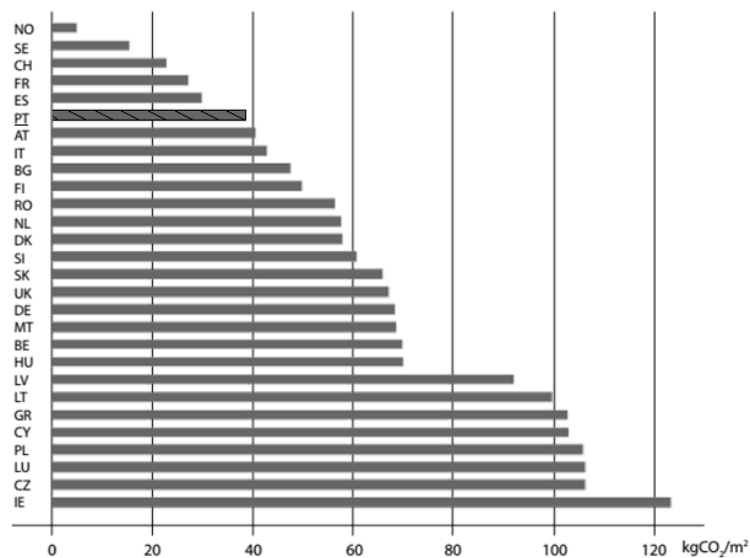
(Fonte: Adaptado de Economidou et al., 2010, p.10)

A Diretiva sobre desempenho energético dos edifícios teve impacto na aplicação de isolamento térmico em diversos países da Europa, como no caso de Portugal, onde houve um aumento das exigências relativas ao isolamento térmico, com a redução de, aproximadamente, 50% dos valores do “coeficiente de transmissão térmica”¹⁴ (de 2005 a 2010) tradicional dos edifícios (Gráfico 8).

¹⁴ Coeficiente de transmissão térmica de um elemento da envolvente – “quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa” (alínea h) do Anexo II do Decreto-Lei n.º 80/2006 (revogado pelo Decreto-Lei n.º 118/2013).

Esta situação contrasta com a dos países do norte da Europa, onde muito antes da publicação da primeira Diretiva sobre desempenho energético dos edifícios, já estavam regulamentados requisitos rigorosos relativos ao isolamento térmico, sendo um exemplo a Suécia que tem regulamento quanto ao desempenho energético dos edifícios desde 1948 (Economidou et al., 2010, p.50). Em Portugal, o primeiro regulamento que impôs requisitos térmicos nos edifícios foi o Decreto-lei 40/90 que surgiu somente em 1990 (Mendes, 2012, p.22). Assim, e comparando as emissões de CO₂ por área útil de património edificado, de Portugal e da Suécia, ao analisar o gráfico 9, é de se notar que, apesar de a Suécia ser um país nórdico, apresenta menores emissão de CO₂.

Gráfico 9 - Emissão de CO₂ por área útil do património edificado dos diferentes países da Europa



(Fonte: Adaptado de Economidou et al., 2010, p.44)

V.1 Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (Decreto-Lei n.º 118/2013)

De modo a transpor a da Diretiva 2010/31/UE para o contexto nacional, foi publicado o Decreto-Lei n.º 118/2013 que reúne num único diploma o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Este Decreto-Lei revoga o antigo DL n.º78/2006 relativo ao Sistema de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior de Edifícios, o DL n.º79/2006 (Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios) e o DL n.º80/2006 (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios) que transpunham a antiga Diretiva 2002/91/CE, já reformulada pela Diretiva 2010/31/UE.

O artigo 16.º do Decreto-Lei n.º 118/2013 define “edifícios com necessidades quase nulas de energia” sendo edifícios (ponto 2 do artigo 16.º do Decreto-Lei n.º 118/2013):

“que tenham um elevado desempenho energético e em que a satisfação das necessidades de energia resulte em grande medida de energia proveniente de fontes renováveis, designadamente a produzida no local ou nas proximidades.”

Algumas exigências impostas pelo Decreto-Lei n.º 118/2013 no dimensionamento de um “edifício com necessidades quase nulas de energia” estão representadas no ponto 5 do artigo 16.º, sendo estas:

- *“Componente eficiente compatível com o limite mais exigente dos níveis de viabilidade económica que venham a ser obtidos com a aplicação da metodologia de custo ótimo, diferenciada para edifícios novos e edifícios existentes e para diferentes tipologias”;*
- *“Formas de captação local de energias renováveis que cubram grande parte do remanescente das necessidades energéticas previstas, de acordo com os modelos do REH e do RECS”;*
 - *“Preferencialmente, no próprio edifício ou na parcela de terreno onde está construído”;*
 - *“Em complemento, em infraestruturas de uso comum tão próximas do local quanto possível quando não seja possível suprir as necessidades de energia renovável com recurso à captação local prevista especificamente para o efeito”.*

Associadas ao Decreto-Lei n.º 118/2013 estão cinco Portarias sendo estas:

- Portaria n.º 349-A/2013 de 29 de novembro - Competências da entidade gestora do Sistema de Certificação Energética nos Edifícios; Competências do Perito Qualificado e Competências do Técnico de Instalação e de Manutenção; Categorias de edifícios, para efeitos de certificação energética, tipos de pré-certificados e certificados SCE, e responsabilidade pela sua emissão e do certificado SCE.
- Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de novembro - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) - Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções

- Portaria n.º 349-C/2013 de 2 de dezembro - Elementos que deverão constar dos procedimentos de licenciamento ou de comunicação prévia de operações urbanísticas de edificação
- Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) - Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções, e Avaliação do Desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços
- Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) - Requisitos de ventilação e qualidade do ar interior

V.1.1 Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)

O REH veio estabelecer requisitos para edifícios novos habitação ou edifícios de habitação sujeitos a grandes intervenções¹⁵, de modo a melhorar o comportamento térmico, a eficiência dos sistemas técnicos e minimizar o risco de condensações superficiais na envolvente, sendo os requisitos mínimos. Também, estabelece parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético para todos os edifícios de habitação e para os seus sistemas técnico. (Artigo 22.º do Decreto-Lei n.º 118/2013)

Devem ser verificado o REH (excluindo os casos previstos no artigo 4.º) para:

- Edifícios de habitação unifamiliares - totalidade do edifício;

¹⁵Grande intervenção – “intervenção em edifício que não resulte na edificação de novos corpos e em que se verifique que: (i) o custo da obra relacionada com a envolvente ou com os sistemas técnicos preexistentes seja superior a 25% do valor da totalidade do edifício, compreendido, quando haja frações, como o conjunto destas, com exclusão do valor do terreno em que este está implantado; ou (ii) tratando-se de ampliação, o custo da parte ampliada exceda em 25% o valor do edifício existente (da área interior útil de pavimento, no caso de edifícios de comércio e serviços) respeitante à totalidade do edifício, devendo ser considerado, para determinação do valor do edifício, o preço da construção da habitação por metro quadrado fixado anualmente, para as diferentes zonas do País, pela portaria a que se refere o artigo 4.º do Decreto-Lei n.º 329 -A/2000, de 22 de dezembro” (alínea gg do artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 118/2013).

- Edifícios de habitação multifamiliares - para cada fração construída / para cada fração prevista constituir;
- Edifícios mistos - para as frações destinadas a habitação.

V.1.2 Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS)

O RECS veio estabelecer requisitos de caracterização do desempenho dos edifícios/frações de comércio e serviços e para os seus sistemas técnicos (excluindo os casos previstos no artigo 4.º), de modo a promover a eficiência energética e a qualidade do ar interior. Também, para estes edifícios e sistemas, estabelece regras a observar no projeto, construção, alteração, operação e manutenção (Artigo 32.º do Decreto-Lei n.º 118/2013).

V.1.3 Certificação Energética

No Decreto-Lei n.º 118/2013 são consideradas duas certificações técnicas, o pré-certificado e o certificado SCE, sendo atribuída à ADENE (Agência para a Energia) a gestão do SCE (Sistema de Certificação Energética dos Edifícios).

O pré-certificado é “o certificado SCE para edifícios novos ou frações em edifícios novos, bem como para edifícios ou frações sujeitas a grandes intervenções, emitido em fase de projeto antes do início da construção ou grande intervenção” (alínea qq do artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 118/2013).

O certificado SCE é um “documento com número próprio, emitido por perito qualificado para a certificação energética para um determinado edifício ou fração, caracterizando-o em termos de desempenho energético” (alínea h) do artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 118/2013).

De acordo com o Decreto-Lei n.º 78/2006, já revogado pelo Decreto-Lei n.º 118/2013:

“A certificação energética permite aos futuros utentes obter informação sobre os consumos de energia potenciais, no caso dos novos edifícios ou no caso de edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, dos seus consumos reais ou aferidos para padrões de utilização típicos, passando o critério dos custos energéticos, durante o funcionamento normal do edifício, a integrar o conjunto dos demais aspectos importantes para a caracterização do edifício”.

A classificação energética de um edifício, segundo o Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013, deve ser expressada numa escala de 8 classes, sendo estas: A+, A, B, B-, C, D, E, e F, em que a “classe A+” é a classe mais alta, sendo por isso atribuída ao edifício com melhor desempenho energético, ao contrário da “classe F”, a classe mais baixa, sendo atribuída ao edifício com pior desempenho energético (Tabela 3).

Tabela 3 – Classificação energética consoante os valores de R_{Nt} (edifícios de habitação) e R_{IEE} (edifícios de Comércio e Serviços)

| Classe Energética | Edifícios de Habitação | Edifícios de Comércio e Serviços |
|-------------------|------------------------------|----------------------------------|
| | Valor de R_{Nt} | Valor de R_{IEE} |
| A+ | $R_{Nt} \leq 0,25$ | $R_{IEE} \leq 0,25$ |
| A | $0,26 \leq R_{Nt} \leq 0,50$ | $0,26 \leq R_{IEE} \leq 0,50$ |
| B | $0,51 \leq R_{Nt} \leq 0,75$ | $0,51 \leq R_{IEE} \leq 0,75$ |
| B- | $0,76 \leq R_{Nt} \leq 1,00$ | $0,76 \leq R_{IEE} \leq 1,00$ |
| C | $1,01 \leq R_{Nt} \leq 1,50$ | $1,01 \leq R_{IEE} \leq 1,50$ |
| D | $1,51 \leq R_{Nt} \leq 2,00$ | $1,51 \leq R_{IEE} \leq 2,00$ |
| E | $2,01 \leq R_{Nt} \leq 2,50$ | $2,01 \leq R_{IEE} \leq 2,50$ |
| F | $R_{Nt} \geq 2,51$ | $R_{IEE} \geq 2,51$ |

(Fonte: Adaptado do Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013)

V.1.3.1 Edifícios de Habitação

O cálculo da classe energética de um edifício de habitação dá-se pela fórmula:

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t}; \text{ onde:}$$

- N_{tc} = valor das necessidades nominais anuais de energia primária;
- N_t = valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária.

No que diz respeito à classificação do desempenho energético dos edifícios novos de habitação, a escala varia somente entre as classes “A+” e “B-“ (valor máximo de $R_{Nt} = 1,00$). Aos edifícios já existentes aplica-se toda a escala, podendo-lhes ser atribuída qualquer uma das classes. Contudo, para os edifícios de habitação existentes sujeitos a grandes intervenções, a classe energética mínima só poderá ser a classe C (valor máximo de $R_{Nt} = 1,50$) (Portaria n.º 349-B/2013).

V.1.3.2 Edifícios de Comércio e Serviços

O cálculo da classe energética de um edifício de comércio e serviços¹⁶ dá-se pela fórmula: $R_{IEE} = \frac{IEE_S - IEE_{REN}}{IEE_{ref,S}}$; onde:

IEE_S - Indicador de Eficiência Energética (o cálculo deste indicador varia consoante se se trata de um pequeno edifício de comércio e serviços (PES)¹⁷ ou de um grandes edifícios de comércio e serviços (GES)¹⁸ e se este tem Plano de Racionalização Energética (PRE)¹⁹ e/ou medidas de melhoria no aquecimento, ventilação e ar condicionado, e também o cálculo varia consoante se se trata de um edifício novo, existente ou sujeito a grande intervenção;

IEE_{ref,S} - Indicador de Eficiência Energética de referência associado aos consumos anuais de energia;

IEE_{REN} - Indicador de Eficiência Energética renovável (produção de energia elétrica e térmica através de fontes de energias renováveis). (Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013)

A classificação do desempenho energético dos edifícios novos de comércio e serviços só pode ter uma classificação mínima de “B-“ (valor máximo de RIEE = 1,00) (ponto 4.1 do Anexo I da Portaria 349-D/2013).

¹⁶Edifício de comércio e serviços - “edifício, ou parte, licenciado ou que seja previsto licenciar para utilização em atividades de comércio, serviços ou similares” (alínea p) do artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 118/2013).

¹⁷Pequeno edifício de comércio e serviços (PES) – “edifício de comércio e serviços que não seja um GES” (alínea kk do artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 118/2013).

¹⁸Grande edifício de comércio e serviços (GES) – “edifício de comércio e serviços cuja área interior útil de pavimento, descontando os espaços complementares, igual ou ultrapasse 1000 m², ou 500 m² no caso de centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas“ (alínea ff do artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 118/2013).

¹⁹Plano de racionalização energética (PRE) – “conjunto de medidas exequíveis e economicamente viáveis de racionalização do consumo ou dos custos com a energia, tendo em conta uma avaliação energética prévia” (alínea nn) do artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 118/2013)

Os grandes edifícios de comércio e serviços existentes deverão ter uma classificação igual ou superior a “D”, após 1 de Dezembro de 2013, e uma classificação igual ou superior a “C”, após 31 de Dezembro de 2015, estando assim sujeitos a um plano de racionalização energética (PRE) (ponto 4 do Anexo II da Portaria 349-D/2013).

V.1.3.3 Edifícios que são Abrangidos pelo Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE)

De acordo com o artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 118/2013, devem abranger o SCE:

- “Edifícios ou frações²⁰, novos ou sujeitos a grande intervenção” (ponto 1 do artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 118/2013);
- “Fração (...) já edificada, não esteja constituída como fração autónoma de acordo com um título constitutivo de propriedade horizontal” e somente “partir do momento em que seja dada em locação” (ponto 2 do artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 118/2013);
- Edifícios ou frações existentes de comércio e serviços:
 - Área interior útil de pavimento $\geq 1000 \text{ m}^2$
 - Área interior útil de pavimento $\geq 500 \text{ m}^2$ (para os casos de: hipermercados, supermercados, centros comerciais e piscinas cobertas);
 - Área interior útil de pavimento ocupada por uma entidade pública, pertencente a uma entidade pública e frequentemente visitada pelo público $> 500 \text{ m}^2$ ($> 250 \text{ m}^2$ a partir de 1 de julho de 2015) (ponto 3 do artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 118/2013);

²⁰Fração – “unidade mínima de um edifício, com saída própria para uma parte de uso comum ou para a via pública, independentemente da constituição de propriedade horizontal” (alínea ee) do artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 118/2013)

- “Edifícios ou frações existentes a partir do momento da sua venda, dação em cumprimento ou locação” (ponto 4 do artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 118/2013) após 1 de Dezembro de 2013, exceto os casos do ponto 4 do artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 118/2013.

Não devem ser abrangidos pelo SCE os seguintes casos (artigo 4.º do Decreto-Lei n.º 118/2013):

- Instalações industriais, agrícolas ou pecuárias;
- Edifícios utilizados como locais de culto ou atividades religiosas;
- Edifícios ou frações exclusivamente destinados a armazéns, estacionamento, oficinas e similares;
- Os edifícios unifamiliares com área útil $\leq 50 \text{ m}^2$;
- Edifícios de comércio e serviços devolutos, até à sua venda ou locação após 1 de Dezembro de 2013;
- Edifícios em ruínas;
- Infraestruturas militares;
- Monumentos;
- Todos os outros edifícios e conjuntos de edifícios descritos no artigo 4.º do Decreto-Lei n.º 118/2013.

VI. Ciclo de vida dos Edifícios

O conceito de “ciclo de vida” tem origem na biologia e consiste num conjunto de estados que um ser vivo atravessa, começando pelo seu nascimento, passando pelo seu crescimento, maturidade, envelhecimento, e terminando na sua morte. Com a evolução da sociedade, este conceito começou a ser aplicado em diferentes matérias, nomeadamente na gestão, a economia, na organização social e no meio ambiente (Tian-yan e Min, 2012, p.2).

O mesmo aconteceu no setor da construção, aplicando-se o conceito de “ciclo de vida” aos materiais e aos edifícios, no sentido em que passam por várias fases ao longo do tempo: a produção de materiais de construção, a conceção da obra, a construção da obra, a utilização e manutenção do edifício, a demolição/desmontagem do edifício (Figura 20) (Tian-yan e Min, 2012, p.2).

Tendo em conta que os edifícios apresentam um grande impacto ao nível das emissões de gases de efeito de estufa - como é o caso do dióxido de carbono (CO₂), compreender melhor o ciclo de vida de um edifício, analisar cada fase desse ciclo, conhecer o ciclo no todo e nas suas partes, vai permitir melhorar o desempenho energético do edifício, reduzindo, assim, o seu impacto ambiental e, conseqüentemente, minorar os efeitos do aquecimento global (Ochsendorf, 2010, p.1).

Como definido por Tian-yan e Min (2012, p.2) “edifícios de baixo carbono”²¹ são edifícios com reduzido uso de materiais fósseis, melhor eficiência energética e reduzida emissão de CO₂ na produção dos materiais de construção, bem como, durante todo o seu ciclo de vida. Na sua fase de conceção são tidas em conta especificamente as emissões de gases de efeito de estufa (como o CO₂) devido ao consumo energético.

A diferença entre os “edifícios convencionais”²² e os “edifícios de baixo carbono”²¹ reside no facto de, relativamente aos segundos, aquando da elaboração do projeto, se considerar todo o ciclo de vida do edifício com a finalidade de cumprir o objetivo de se obter um edifício com baixo “teor” de carbono (Tian-yan e Min, 2012, p.3).

²¹“Edifícios de baixo carbono” – “*Low-carbon building*” (designação inglesa definida por Tian-yan e Min (2012))

²²Edifícios convencionais - Edifícios construídos com materiais de construção contemporâneos e com consumo energético médio dos edifícios atuais

Para atingir a meta de obter um edifício com emissões reduzidas de carbono ao longo do seu ciclo de vida, é necessário ponderar, previamente, fatores como a análise das necessidades do mercado, a viabilidade técnica, a análise económica e tecnológica, a definição dos objetivos do edifício e, por fim, a decisão sobre o investimento a efetuar (Tian-yan e Min, 2012, p.3).

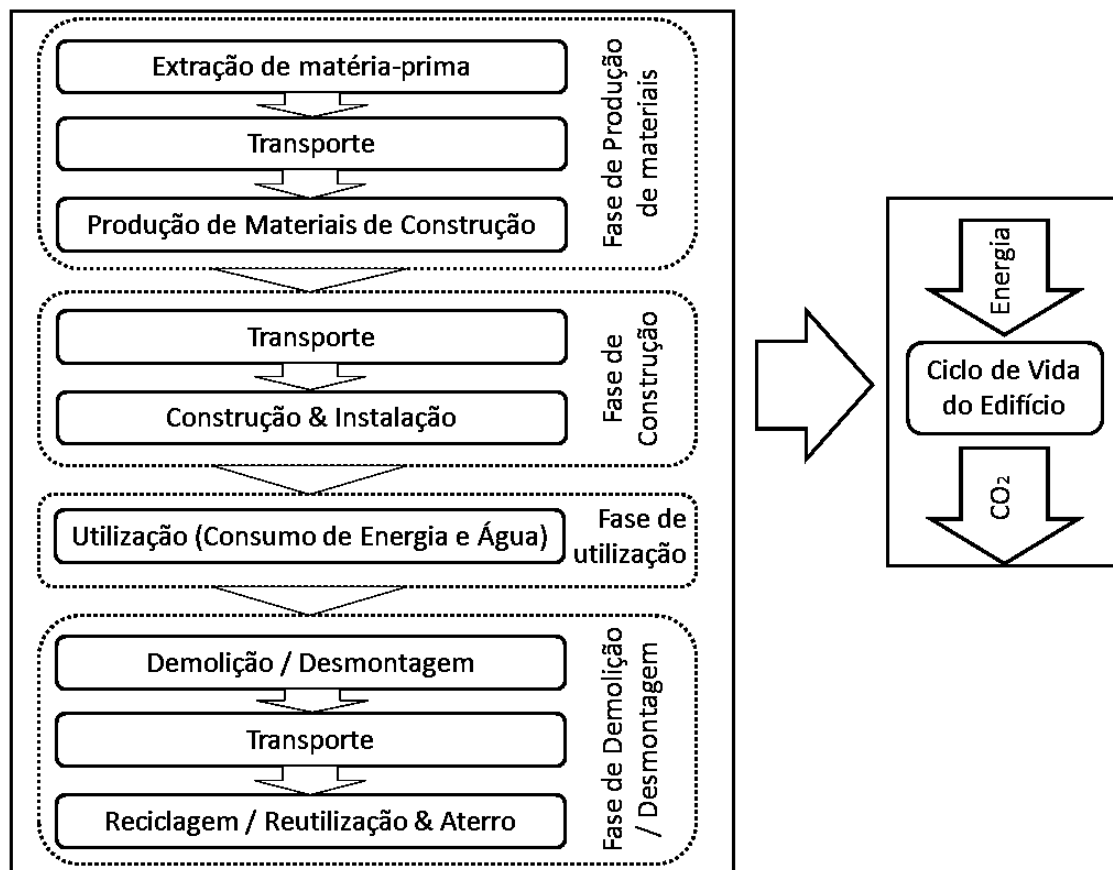


Figura 20 - Esquema do Ciclo de vida de um Edifício

(Fonte: Adaptado de Huijun et al., 2011, p.4)

VI.1 Fase de Planeamento e Projeto

Um dos aspetos importantes a considerar na obtenção de um “edifício de baixo carbono” diz respeito à orientação do edifício. O edifício deve estar posicionado de modo a aproveitar ao máximo a luz solar, não só para obter energia calorífica, mas também para tirar proveito da iluminação natural. Deve, ainda, ser assegurado que o local escolhido proporciona boas condições para a utilização da ventilação natural, minimizando assim a entrada de poluentes exteriores. (Tian-yan e Min, 2012, p.3)

O segundo aspeto consiste na utilização de energias renováveis, de forma a reduzir o consumo de energias provindas de outras fontes, que produzam resíduos e emitam dióxido de carbono. Isto permite, ainda, tornar o edifício mais independente da rede elétrica, o que, por sua vez, reduz o custo da eletricidade. Assim, num “edifício de baixo carbono” deve haver um aproveitamento o mais eficiente e abrangente possível, tirando o máximo partido das energias solar e eólica e também do ambiente envolvente, de que é exemplo o aproveitamento da água da chuva (Tian-yan e Min, 2012, p.3).

O terceiro aspeto prende-se com a utilização de novas tecnologias, caracterizadas pelo baixo consumo energético e pela elevada eficiência, bem como pela utilização de materiais que reduzam as perdas de calor em elementos como janelas, portas, pavimentos e tetos (Tian-yan e Min, 2012, p.4).

Também, segundo Kim e Rigdon (1998, p.15), o projeto de arquitetura deve ter em conta as dimensões padronizadas dos materiais e produtos de construção das empresas que as quais estes irão ser encomendados, de modo a reduzir os desperdícios, não havendo necessidade de efetuar outros trabalhos, mas também, reduzir o tempo de execução da obra e custos de mão-de-obra.

VI.2 Fase de Produção de Materiais de Construção

A fase de produção de materiais de construção envolve todos os processos, desde a extração da matéria-prima até à transformação e/ou montagem, dos materiais e infraestruturas que farão parte do edifício. Segundo Bayer (2010, p.48), esta fase pode ser dividida em várias etapas, obedecendo à seguinte ordem (Bayer, 2010, p.48):

- Extração da matéria-prima do ambiente natural em que está inserida;
- Transporte da matéria-prima para o local de transformação;
- Transformação da matéria-prima em produtos acabados ou em fase intermédia ou materiais de construção;
- Embalagem e distribuição dos produtos/materiais de construção.

A fase de produção de materiais de construção está dividida por várias etapas, começa a partir da extração de matéria-prima no seu estado natural ou mesmo cultivado, passando

pelo transporte da matéria-prima extraída para as fabricas em que nestas se dá a etapa de transformação da matéria-prima em materiais de construção.

Todas as etapas desta fase envolvem veículos, combustíveis, infraestruturas e maquinaria com grandes consumos energéticos, libertando, por isso, elevados níveis de dióxido de carbono (Huijun et al., 2011).

VI.2.1 Energia Incorporada dos materiais

A energia incorporada consiste na energia necessária para produzir um determinado produto, onde se inclui a extração das matérias-primas utilizada e a energia usada para o transporte dos produtos e da matéria-prima (Kim e Rigdon, 1998, p.14).

Um ótimo processo para o cálculo da energia incorporada de um material, é através da análise de todo o seu ciclo de vida, desde a extração da matéria-prima, até ao fim da sua vida útil, e também, os combustíveis utilizados, a energia de fabrico, o transporte, o aquecimento, a iluminação e a manutenção da fábrica, entre outros elementos. Assim, em função da utilização de combustíveis fósseis realizada em todo o processo de extração, transformação e transporte, quanto maior a energia incorporada de um material de construção, maior as consequências ambientais (Greenspec, 2013).

A extração de materiais de construção ecológicos, como a madeira (quando extraída de modo sustentável), tem muito menor impacto ambiental do que a extração de minérios, como o ferro. Ora, se se substituírem os materiais convencionais com elevada energia incorporada, por materiais com características equivalentes, mais ecológicos e com baixa energia incorporada, atinge-se uma maior eficiência energética e, conseqüentemente, um menor impacto ambiental (Kim e Rigdon, 1998, p.14).

A energia incorporada de cada edifício varia consoante a sua eficiência energética e os materiais utilizados, como se verifica na tabela 4.

Tabela 4 – Energia incorporada e carbono incorporado dos diferentes materiais de construção

| Materiais de Construção | Coefficientes de energia Incorporada (MJ/kg) | Carbono Incorporado (kg CO₂/kg) |
|--|---|---|
| Betão (1:1.5:3) | 1,11 | 0,159 |
| Tijolos (comum) | 3,0 | 0,24 |
| Bloco de betão (10N/mm²) | 0,67 | 0,073 |
| Terra batida (sem teor de cimento) | 0,45 | 0,023 |
| Mármore | 2,00 | 0,116 |
| Argamassa de cimento (1:3) | 1,33 | 0,208 |
| Aço (geral - média de conteúdo reciclado) | 20,10 | 1,37 |
| Aço (tubo - média de conteúdo reciclado) | 19,80 | 1,37 |
| Aço inoxidável | 56,70 | 6,15 |
| Madeira | 10,00 | 0,72 |
| Cola de madeira laminada | 12,00 | 0,87 |
| Madeira serrada | 10,40 | 0,86 |
| Isolamento em Celulose | 0,94 – 3,3 | - |
| Isolamento de cortiça | 26,00 | - |
| Lã de vidro | 28,00 | 1,35 |
| Isolamento linho | 39,50 | 1,70 |
| Lã de rocha | 16,80 | 1,05 |
| Isolamento de poliestireno expandido | 88,60 | 2,55 |
| Isolamento de poliuretano (espuma rígida) | 101,50 | 3,48 |
| Isolamento de lã (reciclado) | 20,90 | - |
| Fardos de palha | 0,91 | - |
| Alumínio (33% reciclado) | 155 | 8,24 |
| Betume | 51 | 0,38 – 0,43 |
| Madeira contraplacado | 15,00 | 1,07 |
| Gesso Cartonado | 6,75 | 0,38 |
| Gesso | 1,80 | 0,12 |
| Vidro | 15,00 | 0,85 |
| PVC | 77,20 | 28,1 |
| Tubo de PVC | 67,50 | 24,40 |
| Linóleo | 25,00 | 1,21 |
| Vinil (pavimento) | 65,64 | 2,92 |
| Revestimento cerâmico | 12,00 | 0,74 |
| Carpete, nylon (poliamida) | 279 MJ/m ² | 13,7 /m ² |
| Tapete de lã | 106,00 | 5,53 |
| Papel de parede | 36,40 | 1,93 |
| Tinta para madeira / verniz | 50,00 | 5,35 |
| Ferro | 25 | 1,91 |
| Cobre (37% reciclado em média) | 42 | 2,60 |
| Chumbo (61% reciclado) | 25,21 | 1,57 |
| Louça sanitária | 29,00 | 1,51 |

(Fonte: adaptado de Greenspec, 2013)

VI.2.1.1 Materiais de construção locais

A escolha, em fase de projeto, por materiais de construção locais, leva a que as exigências associadas ao seu transporte diminuam, reduzindo assim, a quantidade de combustíveis utilizados. Por isso, e no que diz respeito à emissão de dióxido de carbono, quando se trata de grandes distâncias, o transporte de materiais é mais

determinante que a produção dos mesmos. Nos casos em que determinados materiais de construção não se encontrem disponíveis no local, deve haver um cuidado na seleção dos mesmos e em menor quantidade possível, por exemplo, a importação de mármore para fins decorativos extraído de um local longínquo, não é uma escolha sustentável (Kim e Rigdon, 1998, p.15).

VI.3 Fase de Construção

Esta fase não só engloba a construção do edifício, mas também todas as atividades necessárias para que esta se concretize. De acordo com Bayer (2010), uma consequência é a deteção de impactos permanentes no local, devido à presença do edifício e à alteração do terreno, que devem ser considerados no âmbito da avaliação do ciclo de vida.

Por norma, são características desta fase as seguintes atividades:

- Transporte dos materiais e dos produtos para o local onde se vai realizar a obra;
- Uso de equipamentos elétricos e outros durante a construção do edifício;
- Construção das diversas instalações, estruturas e infraestruturas, entre outros;
- Utilização de energia para trabalhos locais. (Bayer, 2010, p.49)

As duas etapas mais importantes da fase de construção são a etapa de transporte e a etapa de construção e instalação. Na etapa de transporte devem-se considerar todos os processos que exijam consumo de energia, tal como o transporte dos materiais de construção e dos equipamentos para o estaleiro, incluindo o retorno dos veículos para o local de partida, o que, segundo Huijun et al. (2011, p. 4), poderá ser contabilizado como metade do consumo do transporte dos materiais e equipamentos para o estaleiro. Na etapa de construção e instalação devem ser contabilizados todos os gastos energéticos associados à execução da obra e à gestão de estaleiro. São exemplo desses gastos: o consumo energético associado ao transporte dos materiais e aos equipamentos dentro do estaleiro para o local onde irão ser aplicados, o consumo energético para funcionamento de iluminação, gruas e equipamentos, o consumo de energia para maquinaria e veículos dentro do estaleiro, entre outros (Huijun et al., 2011, p.5).

Algumas das condições para tornar o edifício mais ecológico e com menores emissões de carbono durante a fase de construção, podem ser:

- Relativamente aos processos e às técnicas construtivas, devem ser selecionadas aquelas que apresentem baixa produção de desperdícios/resíduos, poeiras e poluição sonora e também que apresentem eficiência na utilização de recursos;
- Relativamente à avaliação do impacto ambiental, deve-se englobar a separação de resíduos bem como o seu tratamento, o consumo de energia para a construção e criar um plano de proteção do ambiente local;
- Nos objetivos a atingir na construção, e de acordo com a fase de conceção de um “edifício de baixo carbono”, deve existir uma fiscalização exigente para que o edifício não só seja construído de acordo com o projeto, de modo a obter-se a qualidade e o certificado energético esperados, assim como, estabelecer um controlo de resíduos produzidos em obra. (Tian-yan e Min, 2012, p.4)

Alguns exemplos de como aplicar estas condições na construção de modo a diminuir o seu impacto negativo no meio ambiente podem ser:

- Reformar e eliminar equipamentos de alto consumo de energia;
- Melhorar a eficiência do trabalho;
- Diminuir o consumo de energia obtido por combustível;
- Controlar cuidadosamente cada processo de construção, procedimento técnico, e quotas de consumo;
- Reduzir os materiais e o consumo de energia durante o processo de construção. (Tian-yan e Min, 2012, p.4)

VI.3.1 Aplicação dos Materiais de construção

A utilização e aplicação dos materiais de construção são responsáveis por uma elevada emissão de dióxido de carbono. Assim, devem ser aplicadas medidas que reduzam essas emissões, tais como:

- Aplicação de estruturas de betão armado pré-fabricadas, reduzindo assim, a quantidade de aço e betão (materiais, geralmente, presentes em grande percentagem nos edifícios), pois, a produção destas pelas fábricas apresenta maior eficiência, se comparado com a betonagem em obra.
- Substituição dos trabalhos que envolvem água e outros líquidos em obra (por exemplo, argamassas, tintas, rebocos), que geralmente apresentam maior produção de resíduos, por trabalhos de montagem e pré-produzidos.
- No que diz respeito à seleção dos materiais de construção, esta é largamente responsável pelo impacto que a construção de determinada obra vai ter no meio ambiente. As empresas de construção podem introduzir nos materiais de construção tecnologia de captura de carbono e tecnologia de sequestro de carbono, fazendo com que um edifício absorva os gases de efeito de estufa através dos materiais de construção. Estas medidas, não só reduzem o impacto ambiental, como também tornam a estrutura mais resistente e com mais durabilidade, já que é construída em melhores condições e é reduzido o consumo de energia, ao se utilizarem menos materiais e a produção ser mais eficiente;
- Otimizar a arquitetura do edifício que está a ser construído, melhorando a padronização e a universalidade dos materiais e das peças de interligação;
- Promover a investigação, as técnicas de reciclagem, a reutilização dos resíduos produzidos na construção. (Tian-yan e Min, 2012, p. 4)

VI.3.2 Equipamento

Os requisitos que devem pautar a seleção do equipamento, bem como a seleção dos materiais de construção, e que terão uma influência direta no cumprimento do objetivo de construir um edifício de baixa emissão de carbono ou mesmo de zero emissões de carbono, consistem em equipamentos de tecnologia avançada e de baixo consumo energético e em materiais de construção ecológicos e económicos (Tian-yan e Min, 2012, p.4).

VI.4 Fase de utilização

Na fase de utilização do edifício existem dois pontos importantes a considerar: a utilização em si e a sua manutenção. Relativamente à utilização do edifício, é aqui que reside para o qual este é construído, seja para habitação, comércio, ou indústria. No que diz respeito à utilização, destacam-se as seguintes atividades (Bayer, 2010, p.49):

- Consumo de energia;
- Utilização de água;
- Produção de resíduos.

Na manutenção do edifício, existe pontualmente a necessidade de reparação e de substituição de elementos do edifício. Assim, este ramo de atividades é caracterizado por:

- Transporte de equipamentos e materiais (Bayer, 2010, p.49);
- Produção e utilização de produtos necessários para a limpeza e manutenção do edifício (Carmody, 2005, p.2);
- Utilização de equipamentos elétricos para reparação e substituição de componentes do edifício (Bayer, 2010, p.49).

O edifício deverá responder às necessidades básicas dos padrões de vida atual. Na generalidade, a construção civil responde a estas necessidades com a introdução, nos edifícios, de instalações mecânicas de aquecimento, arrefecimento e ventilação do edifício, de instalações de iluminação, de eletrodomésticos, de equipamentos eletrónicos e de sistemas de abastecimento de água (caso a pressão da água fornecida não seja a suficiente para chegar a todos os pisos, será necessário uma bomba de água). Assim, toda a energia elétrica proveniente da rede e das energias não-renováveis deverá entrar no cálculo de emissão de CO₂, ao contrário das energias renováveis. (Huijun et al., 2011, p.5).

Em todo o ciclo de vida do edifício, a fase de utilização e a fase de desmontagem representam, no seu conjunto, o consumo de energia mais elevado, comparando com as outras fases. Na fase de utilização, existem dois fatores importantes, que influenciam o

consumo energético, e que consistem na consciência dos proprietários em relação à poupança de energia e nas condições atuais de gestão imobiliária (Tian-yan e Min, 2012, p.4).

Segundo Tian-yan e Min (2012, p. 5), a gestão imobiliária pode ajudar a reduzir o consumo energético do edifício, pelo facto de envolver a sua manutenção, a gestão do ambiente e a gestão do consumo de eletricidade e de água. O campo da gestão dos imóveis, e de um projeto imobiliário, poderá envolver também, a fase de conceção e a fase de demolição. Assim, a empresa de prestação de serviços de gestão imobiliária abordaria os pontos da eficiência energética, consumo de energia e impacto ambiental. A empresa beneficiaria, ainda que de forma indireta, os proprietários ou os ocupantes do edifício, uma vez que a redução do consumo de energia e do consumo de água diminuem as despesas associadas aos mesmos, sem afetar a sua qualidade de vida (Tian-yan e Min, 2012, p.5).

Ainda segundo Tian-yan e Min (2012, p.5), no que diz respeito aos proprietários e aos moradores, deveriam existir incentivos que promovessem a melhoria e o aumento da eficiência energética do edifício e dos equipamentos, através da consciencialização das pessoas para a proteção ambiental.

VI.4.1 Diferença entre Energia/Carbono Operacional e Energia/Carbono Incorporado

O termo “energia operacional” é utilizado na determinação da energia consumida pelo edifício, durante a sua vida útil, para responder aos requisitos mínimos de qualidade de vida dos ocupantes e para a manutenção do próprio edifício. Já a “energia incorporada” não depende dos ocupantes mas sim em grande parte do tipo de materiais de construção e das fontes de energia primária e eficiência energética dos processos de produção dos materiais e construção. (Ibn-Mohammed, 2013, p.6)

O termo “carbono operacional” é utilizado no contexto das emissões de carbono durante a utilização, onde estas são produzidas devido ao consumo de energia do edifício. Este termo diferencia-se assim do termo “carbono incorporado”, pois este último é utilizado no contexto de materiais de construção, incluindo todas as atividades relacionadas com a construção do edifício. (Hammond e Jones 2011, p.93)

VI.5 Fase de Demolição/Desmontagem

A fase de demolição/desmontagem é a fase de fim de vida de um edifício, onde estão, também, presentes as seguintes atividades:

- Consumo de energia devido ao equipamento usado para a demolição ou remoção;
- Transporte dos resíduos da demolição ou materiais removidos;
- Produção de resíduos ambientais quando estes vão para aterros;
- Reciclagem e reutilização dos materiais ou resíduos do edifício a demolir/desmontar. (Bayer, 2010, p.49)

No processo de desmantelamento do edifício é emitido CO₂ devido à utilização de combustíveis fósseis para o funcionamento dos equipamentos de demolição. Também, em alguns casos, existe outros consumos de energia, devido à utilização de equipamentos de gestão de estaleiro (Huijun et al., 2011, p.5).

Outro ponto importante é o transporte dos resíduos produzidos nesta fase, onde se deve contabilizar, também, a ida dos veículos para a obra a demolir, o que equivale, todavia, a metade do consumo do combustível realizado pelos veículos vazios. Nesta etapa podem ser calculadas as emissões através de fatores de conversão de gasóleo para CO₂. (Huijun et al., 2011, p.5)

Por fim, um ponto de grande relevância é a reciclagem, reutilização ou aterro dos resíduos de demolição. No caso de se optar por depositar os resíduos num aterro, as emissões de CO₂ e os impactos causados pelos aterros podem ser obtidos através do método avançado pelo Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas (Huijun et al., 2011, p.5).

VI.5.1 Reciclagem

Os materiais de construção recicláveis são materiais que podem ser utilizados como recurso para a produção de novos produtos. Diferentes tipos de materiais de construção têm diferentes formas de reciclagem, por exemplo, o aço e o vidro são materiais que podem ser reciclados para se obter produtos iguais ao original, enquanto que, no caso do

betão, não pode ser reciclado para a obtenção das suas componentes iniciais (brita, areia, cimento, água e outros), mas sim, pode ser transformado em agregados. (Kim e Rigdon, 1998, p.21)

Muitos materiais e produtos de construção, que não podem ser reutilizados, podem ser divididos em várias componentes consoante o tipo de material, de modo a que possam ser reciclados. Muitas vezes, a dificuldade encontrada para reciclar um material está na separação dos resíduos da demolição do edifício (Kim e Rigdon, 1998, p.21).

VI.5.2 Reutilização

Um determinado material de construção, para poder ser reutilizado, deve estar em boas condições. A sua reutilização depende, ainda, da sua durabilidade e idade. Nos casos em que o material de construção é facilmente desmontado e retirado do edifício que terminou a sua vida útil, deve ser reutilizado, sendo aplicado noutra local. (Kim e Rigdon, 1998, p. 28 e 29)

VI.5.3 Biodegradabilidade

Os materiais de construção, após o seu tempo de vida útil, consideram-se biodegradáveis quando se decompõem naturalmente. Um exemplo de materiais biodegradáveis são os materiais orgânicos, como a madeira. Pelo contrário, materiais como o aço demoram muito tempo a decompor-se, e ao longo do seu processo de decomposição, isoladamente ou em combinação com outras substâncias, são ambientalmente nocivos. (Kim e Rigdon, 1998, p. 28 e 29)

VI.5.4 Gestão de Resíduos

Segundo o Decreto-Lei n.º 46/2008 de 12 de Março, alterado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de Junho:

“O sector da construção civil é responsável por uma parte muito significativa dos resíduos gerados em Portugal, situação comum à generalidade dos demais Estados membros da União Europeia em que se estima uma produção anual global de 100 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD).”

Assim, o Decreto-Lei n.º 46/2008 estabelece o regime das operações de gestão de resíduos de obras ou demolições de edificações ou derrocadas, envolvendo a prevenção,

a reutilização e os processos de recolha, armazenamento, tratamento, transporte, valorização e eliminação (CCDRC, 2011). O mesmo Decreto-Lei dá importância à sustentabilidade ambiental da construção civil através de uma lógica de ciclo de vida, definindo metodologias e práticas a adotar durante as fases de projeto e execução de obra. Também, pretende contribuir para a minimização das quantidades de resíduos a depositar em aterro, obrigando à criação de condições para a reutilização de materiais e/ou encaminhamento de RCD para reciclagem e/ou outras formas de valorização. (Decreto-Lei n.º 46/2008)

A obrigatoriedade da gestão de resíduos de construção e demolição está também presente no Regime Jurídico da Urbanização e da Edificação (RJUE) e no Código dos Contratos Públicos, que neste último, para as obras públicas, é exigido um plano de prevenção e gestão de resíduos de construção e demolição (Decreto-Lei n.º 46/2008).

Já o Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de Junho, que transpõe a Directiva n.º 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Novembro, prevê a aprovação de programas de prevenção, e estabelece metas de reutilização, de reciclagem e de outras formas de valorização dos materiais de resíduos, a cumprir até 2020, incentivando também bastante à reciclagem dos materiais, não só para o cumprimento das metas estabelecidas, mas também, como modo de preservação dos recursos naturais, prevendo-se a utilização de pelo menos 5 % de materiais reciclados em obras públicas.

Numa ótica de proteção do ambiente e da saúde pública, o Decreto-Lei n.º 73/2011 veio introduzir, também, um mecanismo de controlo pós-licenciamento, para alcançar maior eficiência e celeridade no licenciamento de atividades de tratamento de resíduos.

VII. Avaliação do Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment)

A indústria da construção está a evoluir no sentido de maior sustentabilidade em termos de projeto e construção. Uma ferramenta que direciona os edifícios para o caminho da sustentabilidade é o “*Life Cycle Assessment*” (LCA, ou “Avaliação do Ciclo de Vida”). Esta ferramenta funciona como um método de avaliação do desempenho ambiental de um determinado produto durante o seu ciclo de vida (Carmody, 2005, p.1).

Segundo a norma ISO 14040 de 1997 (International Organization for Standardization, ou Organização Internacional de Normalização), a “Avaliação do Ciclo de Vida” é “a compilação e avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de um produto ao longo de seu ciclo de vida” (tradução livre de ISO 14040 cit. in Carmody, 2005, p.2)²³.

Segundo o código de boas práticas da “*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*” (SETAC, ou Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental), a avaliação do ciclo de vida consiste num processo para:

- “Avaliar os encargos ambientais associados a um produto, processo ou atividade através da identificação e quantificação da energia e dos materiais usados e os resíduos lançados para o ambiente”; (tradução livre de *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* cit.in de Bayer, 2010, p.12)²⁴
- “Avaliar o impacto da energia e dos materiais utilizados e libertados para o meio ambiente;” (tradução livre de *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* cit.in de Bayer, 2010, p.12)²⁵

²³ “*Compilation and evaluation of the inputs, outputs and the potential environmental impacts of a product system throughout its life cycle*” (tradução livre de ISO 14040 cit. in Carmody, 2005, p.2)

²⁴ “*a process to evaluate the environmental burdens associated with a product, process, or activity by identifying and quantifying energy and materials used and wastes released to the environment*” (cit. in Bayer, 2010, p.12)

²⁵ “*to assess the impact of those energy and materials used and released to the environment*” (cit. in Bayer, 2010, p.12)

- “Identificar e avaliar oportunidades de melhoramento do ambiente.” (tradução livre de *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* cit. in de Bayer, 2010, p.12)²⁶

Do mesmo modo, a “*Environmental Protection Agency*” (EPA, ou Agência de Proteção Ambiental) define a avaliação do ciclo de vida como “uma abordagem do berço-ao-túmulo dos sistemas industriais que avaliam todas as fases da vida de um produto” (traduzido de Bayer, 2010, p.12)²⁷.

A designação “berço-ao-túmulo” (*Cradle-to-Grave*) significa toda a avaliação do ciclo de vida, desde o fabrico dos materiais ou “berço” (*Cradle*), passando pela fase de construção e de utilização, e terminando na fase de eliminação, ou “túmulo” (*Grave*) (Bayer, 2010, p.48).

VII.1 Requisitos para Avaliação do Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment)

Segundo Bayer (2010, p.9), a Avaliação do Ciclo de Vida dos edifícios tem-se tornado numa ferramenta com uma importância cada vez maior, e de acordo com Ochsendorf (2010, p.1), alguns pontos necessários para esta avaliação devem ser:

- Recolha de dados relativos aos impactos ambientais de todos os materiais envolvidos no edifício, durante a extração da matéria-prima, o processo de transformação, o transporte dos materiais e a suas aplicações na construção;
- Utilizar um inventário da quantidade de materiais utilizados de modo a estimar o total de materiais necessários por unidade funcional;
- Estimar o consumo de energia do edifício através de simulações, bem como, estimar os impactos associados à energia primária utilizada para responder às necessidades energéticas do edifício, de acordo com as diferentes misturas de energias primárias nas diferentes regiões geográficas;

²⁶ “and to identify and evaluate opportunities to affect environmental improvements.” (cit. in Bayer, 2010, p.12)

²⁷ “The Environmental Protection Agency (EPA) refers to LCA as “a cradle-to-grave approach for assessing industrial systems that evaluates all stages of a product’s life” (cit. in Bayer, 2010, p.12)

- Juntar todos os pontos anteriores num modelo de avaliação de todo o ciclo de vida do edifício.

Para se obterem resultados perceptíveis, e que estes possam ser comparados com outros em termos ambientais e de impacto no aquecimento global, estes devem ser expressos em unidades de dióxido de carbono equivalente (CO₂e), tornando as discussões políticas sobre o projeto mais fáceis (Ochsendorf, 2010, p.1).

VII.2 Tipos de análises dos impactos ao longo do ciclo de vida (*Life Cycle Impact Assessment*)

Na avaliação do ciclo de vida de um edifício podem ser feitos diferentes tipos de análises, conforme as diferentes componentes da avaliação, sendo algumas destas as seguintes:

- Base de dados do Inventário do ciclo de vida (*Life Cycle Inventory (LCI Database)*);
- Gestão do Ciclo de vida (*Life Cycle Management (LCM)*);
- Custo do ciclo de vida (*Life Cycle Costing (LCC)*);
- Análise do Ciclo de Vida da Energia (*Life Cycle Energy Analysis (LCEA)*);
- Contabilização de Carbono (*Carbon Accounting*). (Bayer, 2010, p.18)

VII.2.1 Base de dados do Inventário do Ciclo de Vida

A Base de Dados do Inventário do Ciclo de Vida foi desenvolvida por várias organizações que, ao fazerem a análise do ciclo de vida dos seus produtos, criaram uma base de dados sobre os materiais e a energia utilizada para a produção de cada produto. Um desses dados consiste nas emissões causadas não só pela produção do produto, mas também durante todo o seu ciclo de vida. Os elementos desta base de dados são específicos para determinada região ou país, isto porque, a energia, o tipo de energia utilizada e os métodos de produção variam consoante o local (Bayer, 2010, p.18).

VII.2.2 Custo do Ciclo de Vida

A análise do Custo do Ciclo de Vida tem por objetivo garantir os benefícios financeiros do projeto de um edifício, ao contrário dos processos de Análise do Ciclo de Vida que visam os seus benefícios ambientais. O resultado final da aplicação desta ferramenta depende da acessibilidade, da qualidade e da precisão dos dados iniciais inseridos (Bayer, 2010, p.19).

VII.2.3 Gestão do Ciclo de vida

A Gestão do Ciclo de Vida apoia-se em dois outros instrumentos de avaliação, a Análise do Ciclo de Vida e o Custo do Ciclo de Vida, e é composta por vários conceitos, procedimentos e técnicas com o objetivo de melhorar, em termos ambientais, produtos e organizações. Trata, por isso, dos aspetos ambientais, económicos, tecnológicos e sociais do ciclo de vida (Bayer, 2010, p.19).

VII.2.4 Análise do Ciclo de Vida da Energia

Análise do Ciclo de Vida da Energia é utilizada na análise do impacto ambiental do edifício, ajudando na escolha de materiais, de sistemas e de processos com maior eficiência energética (Bayer, 2010, p.19).

VII.2.5 Contabilização de Carbono

Contabilização de Carbono é um processo que, como o próprio nome indica, contabiliza todo o dióxido de carbono (CO₂) emitido pela queima de combustíveis fósseis. No caso dos edifícios, são tidas em consideração as emissões de CO₂ de todas as fases (Bayer, 2010, p.20).

VII.3 Passos para integrar a Análise do Ciclo de Vida no projeto e na avaliação do edifício

A Análise do Ciclo de Vida de um edifício deve ser feita por passos (Bayer, 2010, p. 180):

- Passo 1: Definir os objetivos a atingir num projeto de um edifício com reduzidas emissões de CO₂ durante o seu ciclo de vida;

- Passo 2: Decidir se deve, ou não, ser aplicada uma Análise do Ciclo de Vida (se constar nos objetivos definidos no passo 1, onde se pretende reduzir as emissões de CO₂ durante todo o ciclo de vida, e não somente durante a fase de utilização do edifício, deve ser executada uma Avaliação do Ciclo de Vida);
- Passo 3: Definir o âmbito e os objetivos da Análise do Ciclo de Vida, relativamente às fases do ciclo de vida a serem incluídos na análise, às especialidades a serem estudadas, à Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida, ao projeto de arquitetura e à fase de projeto,
- Passo 4: Escolha de um instrumento de Avaliação de Ciclo de Vida apropriado para os objetivos definidos. Neste passo existem sete situações mais comuns de uso da Avaliação do Ciclo de Vida em edifícios, sendo estes:
 - Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida em todo o edifício para todas as fases. – Esta avaliação é feita na fase de projeto preliminar de forma a otimizar o projeto de arquitetura inicial, para a obtenção de um edifício com menor impacto ambiental negativo durante o seu ciclo de vida;
 - Avaliação dos Impactos em todo o Ciclo de Vida do edifício para todas as fases. – Esta avaliação é feita na fase de projeto para os projetos de arquitetura e de especialidades detalhados;
 - Avaliação da Pegada Ecológica de um edifício após ser construído, com o objetivo de criar uma base de dados para estudos futuros sobre os vários impactos ambientais de vários tipos de construção;
 - Avaliação do impacto de um determinado conjunto de elementos do edifício ao longo do seu ciclo de vida, para ajudar na seleção do conjunto que apresente menor impacto;
 - Avaliação de um impacto específico do edifício, como por exemplo, as emissões de CO₂ devido à sua utilização;
 - Avaliação do impacto causado pelo uso de determinado produto, durante a fase de manutenção do ciclo de vida do edifício;

- Cálculo dos benefícios ambientais de uma tecnologia, como medida ativa aplicada na redução das emissões de CO₂.
- Passo 5: Análise do Inventário do Ciclo de Vida do edifício (Life Cycle Inventory) relativamente a questões fundamentais como: quantidades e dados relativos ao ciclo de vida dos materiais, fontes de energias primárias utilizadas para produzir energia elétrica para a rede, análise de cálculos e estimativas dos valores obtidos e análise da introdução de equipamentos como solução de redução das emissões de CO₂.
- Passo 6: Análise dos impactos ao longo do ciclo de vida (Life Cycle Impact Assessment);
- Passo 7: Analisar todos os resultados, fazer interpretações e implementar as melhorias no projeto (se a Análise do Ciclo de Vida for realizado durante a fase de projeto).

VII.4 Programas Informáticos de Análise de ciclo de vida

Existem vários programas informáticos destinados à Avaliação do Ciclo de Vida, e que podem ser utilizados no setor da construção civil. Nas tabelas no Anexo II estão representados vários programas informáticos, com as suas diferentes funcionalidades. Os programas informáticos europeus são (ver Anexo II): EQUER, Eco-Quantum, SimaPro, Envest, TEAM, Boustead e Umberto; os programas informáticos australianos, os LCAidTM e LISA; e os programas informáticos norte-americanos, ATHENA® Impact Estimator, ATHENA® EcoCalculator, BEES® e EIO-LCA; entre outros, nomeadamente, LCAit, PEMS, PEMS, SBi LCA e GaBi (Bayer, 2010, p.73).

VIII Sustentabilidade em Edifícios

VIII.1 “Edifícios de Baixo Carbono” e “Edifícios Verdes”

Segundo Tian-yan e Min (2012, p. 2 e 3), a concepção dos futuros edifícios deverá seguir os mesmos princípios dos “edifícios de baixo carbono”, pois têm menor consumo energético e uma reduzida emissão de dióxido de carbono durante os processos de extração/transformação dos materiais de construção, bem como na utilização do equipamento, na sua construção e durante o ciclo de vida do edifício.

Segundo Yudelson (2008, p.13), um “edifício verde” é um edifício com menor impacto ambiental e menor impacto para a saúde humana, sendo desenhado para consumir menos energia e menos água, havendo preocupação, por parte dos projetistas, em reduzir os impactos ambientais associados aos materiais de construção, analisando os seus ciclos de vida. Estes objetivos só são conseguidos através de uma melhor orientação e desenho do edifício, seleção de materiais para a construção, melhor qualidade de construção do edifício, manutenção durante a utilização do edifício e possível reutilização dos materiais removidos na fase de demolição/desmontagem.

Existem, todavia, edifícios que se designam de “edifícios verdes de baixo carbono”, o que resulta da concepção de um “edifício verde” com a tecnologia e os objetivos dos “edifícios de baixo carbono” (Tian-yan e Min, 2012, p.2).

A relação dos “edifícios de baixo carbono” com o ciclo de vida ecológico é bastante positiva, pois, e conforme afirma o arquiteto-chefe Yang Jian, do Instituto de Hangzhou (China) de Design e Pesquisa de Construção Urbana, “a construção de um edifício de baixo-carbono é todo um ciclo de vida. Desde a aquisição, o processamento e o transporte de matérias-primas até à realização do produto, todo o processo deve ter por ambição diminuir o consumo de energia, certificando-se, por exemplo, que os edifícios, após serem demolidos, no futuro, não se tornarão resíduos de construção” (traduzido do inglês cit. in Tian-yan e Min, 2011, p.3)²⁸.

²⁸“The construction of low-carbon building is a whole life cycle. From the acquisition, processing, and transportation of raw materials to the completion of the product, the whole process should strive to lower energy consumption, by making sure, for instance, that building, after being dismantled in the future, would not become construction waste.” (cit. in Tian-yan e Min, 2011, p.3)

VIII.2 Edifícios com necessidades nulas e quase nulas de energia (*Zero Energy Building*)

A utilização dos edifícios europeus é responsável por 40% do consumo de energia primária e, conseqüentemente, 36% das emissões de CO₂ (Comissão Europeia, 2013, p.4), cenário que cria a necessidade de se aplicarem mudanças radicais no setor da construção de modo a mitigar as mudanças climáticas. Uma dessas mudanças consiste na adoção do conceito de edifício com necessidades nulas de energia (*zero energy building* ou *ZEB*), conceito esse que procura englobar a eficiência energética, a economia de energia e o uso de energias renováveis (Milutiené, 2010, p.1).

Existem várias abordagens para a definição de um edifício com necessidades nulas de energia, definições essas que diferem na medida em que as estratégias de desenho de um edifício se focam ou no desempenho do isolamento, ou do sistema de climatização, ou dos sistemas de cogeração, entre outros (Sartiri, s.a., p.1).

A partir do termo “*ZEB*”, podem ser diferenciados tipos edifícios que apresentam particularidades no balanço energético, obtendo-se termos como:

- *Net-ZEB* – Edifício com necessidades nulas de energia, ligado e dependente da rede elétrica. (Sartiri, s.a., p.1)
- *Nearly Net-ZEB* – Edifício com necessidades quase nulas de energia, ligado e dependente da rede elétrica. (Voss, 2012)
- *Net plus energy building* – Edifício que produz mais energia que aquela que consome, ligado e dependente da rede elétrica. (Voss, 2012)
- *ZEB* – Termo que envolve todos os edifícios com necessidades nulas ou quase nulas de energias, incluindo aqueles independentes da rede elétrica. (Sartiri, s.a., p.1)

O termo “edifício com necessidades quase nulas de energia” é definido pela Diretiva Europeia 2010/31/UE, de 19 de Maio, como:

“um edifício com um desempenho energético muito elevado (...) As necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades”.

Assim, um “edifício com necessidades quase nulas de energia” (*nearly zero-energy building*) é um edifício em que a demanda energética deve ser coberta significativamente por fontes de energia renovável locais (Milutienè, 2010, p. 1 e 2).

Como defende Despret et al. (2011, p.x), existem três princípios básicos relativamente ao conceito de um edifício com necessidades quase nulas de energia:

- Reduzir a demanda energética;
- Utilizar energias renováveis;
- Reduzir as emissões de gases de efeito de estufa associadas.

Ainda de acordo com Despret et al. (2011, p. ix e x), o dimensionamento de um edifício com necessidades nulas de energia deve envolver aspetos técnicos, financeiros, legais e ambientais, devendo também contribuir para o desenvolvimento sustentável. Alguns pontos importantes a respeito da viabilidade deste tipo de edifícios, devem ser:

- Clareza quanto aos objetivos e condições, de modo a evitar equívocos e falhas na implementação;
- Viabilidade técnica e financeira;
- Ter em conta as condições climáticas do local, sem comprometer o objetivo global;
- Aplicar medidas que conduzam ao baixo consumo de energia;
- Permitir a concorrência aberta entre diferentes tecnologias;
- Preocupação quanto ao impacto ambiental do edifício;
- Acompanhar o desenvolvimento tecnológico;
- Dimensionamento do edifício envolvendo todas as partes (projetistas, indústria, investidores, utilizadores, etc.) (Despret et al., 2011, p. ix e x).

VIII.3 Edifício com necessidades nulas de energia, ligado à rede elétrica (*Net Zero Energy Building*)

O termo “*Net-ZEB*” é utilizado para definir um edifício com necessidades nulas de energia, mas que está ligado à rede elétrica urbana. Este tipo de edifício apresenta, durante um ano, um equilíbrio entre a retirada de energia da rede e o fornecimento de energia à rede. Já o termo “*ZEB*” é utilizado para definir um edifício com as mesmas condições, mas que pode ser autónomo, não estando, por isso, ligado nem dependente da rede elétrica (Sartori et al., s.a., p.1).

De um modo simplificado, para se conseguir obter um edifício “*Net-ZEB*”, é necessário optar por estratégias diferentes, tais como, estratégias passivas, estratégias ativas e sistemas de energia renovável (Robert, 2012, p.4). O aproveitamento das fontes de energia locais deve ser realizado de forma passiva, de que é exemplo, o aproveitamento da energia solar através de janelas (Sartori et al., s.a., p.3).

Para que um edifício seja considerado “*Net-ZEB*”, é importante avaliar se existe equilíbrio entre a quantidade de energia elétrica fornecida à rede e a percentagem de energia que é alimentada a partir desta. As unidades de energia são quantificadas através de um “sistema de créditos”, isto é, um conversor de unidades físicas em unidades métricas, como a energia primária ou as emissões de carbono equivalente, a fim de avaliar o efeito de toda a cadeia energética, das fontes de energias, dos processos de conversão e das redes de distribuição. Assim, podemos obter o valor da exportação e da importação de energia através das fórmulas:

$$\text{Importação} = \sum i \text{ energia recebida da rede } (i) \times \text{créditos } (i)$$

$$\text{Exportação} = \sum i \text{ fornecimento de energia à rede } (i) \times \text{créditos } (i)$$

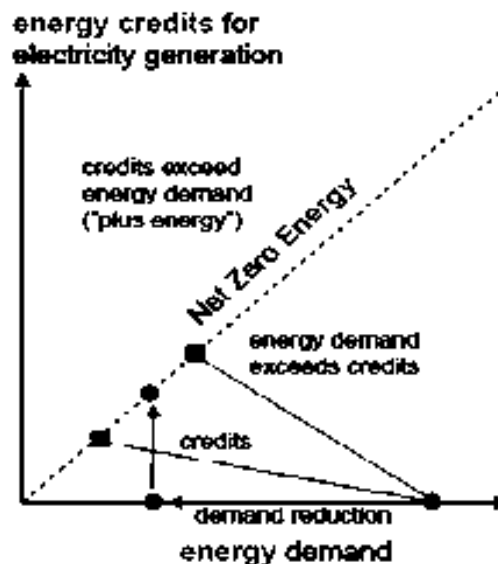
Onde i = portadores de energia (ex: eletricidade, biomassa, etc.) (Sartori et al., s.a., p.3)

Para o equilíbrio ótimo de um edifício “*Net-ZEB*”, a diferença entre o valor da importação e o valor da exportação deve ser igual a zero ou positivo, durante um período de tempo, traduzindo-se na seguinte fórmula:

$$\text{Net-ZEB: } | \text{exportação} | - | \text{importação} | \geq 0 \text{ (Sartori et al., s.a., p.4)}$$

A linha diagonal do gráfico 10 representa o equilíbrio entre a energia recebida da rede (eixo dos xx) e o fornecimento de energia à rede - e ao edifício - (eixo dos yy), em que o objetivo é atingir esse mesmo equilíbrio. Para converter um edifício corrente num edifício “*Net-ZEB*” é necessário conseguir este equilíbrio, o que pode ser concretizado através de dois passos: o primeiro passo consiste em reduzir a necessidade de energia do edifício (reduzir o valor do eixo dos xx), investindo na eficiência energética; o segundo passo consiste em gerar energia elétrica e outras formas de energia, para alcançar o equilíbrio (aumentar a componente do eixo dos yy), como demonstra o Gráfico 10 (Sartoriet al., s.a., p.4).

Gráfico 10 - Representação gráfica do método de transformação de um edifício convencional para um edifício com nulas ou quase nulas necessidades de energia



(Fonte: adaptado Hasan, 2011, p.3)

Alguns autores afirmam que não se deve dividir em dois passos o processo de otimização de um edifício corrente, pois acreditam que dessa forma se obterá um edifício com uma exigência de energia muito baixa ou um edifício com muitas medidas passivas, inviabilizando a aplicação de medidas de produção de energia renovável como parte da solução (Hasan, 2011, p.3). A alternativa apresentada por estes autores consiste em, ao invés de se dividir o processo de otimização nos dois passos descritos anteriormente, fazer um estudo que abranja todas as combinações possíveis das medidas a aplicar, com a finalidade de criar o projeto ideal para o edifício a construir ou a otimizar (Hasan, 2011, p.3), tendo sempre presente o cumprimento do grande objetivo

que é redução do consumo energético, das emissões de carbono, dos custos e do desconforto, integrando, simultaneamente, as seguintes componentes: produção local de energia renovável, conversão de energia, sistemas de climatização, envolvente do edifício e conexão à rede (Hasan, 2011, p.1). Contudo, elaborar um estudo deste tipo não seria simples, pois uma busca exaustiva das várias medidas resultaria num elevado número de combinações a investigar (Hasan, 2011, p.3).

O projeto AIDA²⁹ pertencente ao “*Intelligent Energy Europe 2011 Programme*”³⁰ tem como objetivo acelerar a entrada dos edifícios com necessidades quase nulas de energia no mercado da construção civil, dinamizando várias ações, nomeadamente:

- Demonstração de casos de sucesso, para que os municípios e equipas de projeto aprendam a partir de experiências reais;
- Apresentação de programas informáticos de projeto que ajudem a implantar o conceito de *Nearly Net-ZEB*;
- Apoio ativo na conceção de projetos *Nearly Net-ZEB* dos municípios;
- Avaliação dos critérios de *Nearly Net-ZEB* em concursos públicos e em instrumentos de planeamento. (Robert, 2012, p.6)

VIII.3.1 Sistema de créditos

Após a aplicação de medidas passivas que tornam o edifício bastante eficiente energeticamente, é necessário obter os créditos suficientes para atingir o equilíbrio, através do fornecimento de energia produzida localmente, a partir do edifício para a rede. Os créditos definem-se em quatro tipos de métricas: o consumo de energia local (energia final), fontes de energia (energia primária), emissões resultantes da produção de energia e custo da energia (Sartori, s.a., p.5). Devido à complexidade de infraestruturas de energia, é mais viável contabilizar os créditos de energia primária e dos fatores de emissão de carbono com valores estáticos, a partir de valores médios obtidos durante um período de tempo.

²⁹AIDA – “*Affirmative Integrated energy Design Action*” (Robert, 2012, p.6)

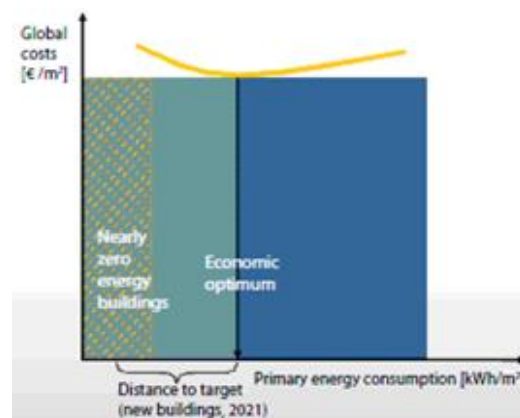
³⁰“*Intelligent Energy Europe 2011 Programme*” - Programa Energia Inteligente na Europa, 2011 (Robert, 2012, p.6)

Quanto ao crédito de preços de energia, este é, geralmente, contabilizado numa base horária por esta permitir efetuar uma contabilidade dinâmica, ajudando, assim, a otimizar a interação dos edifícios com a rede elétrica. Contudo, para a avaliação da eletricidade e do aquecimento é importante distinguir os valores médios de produção marginal e de produção específica (Sartori, s.a., p.5).

VIII.3.2 Custos globais de um edifício Nearly Net-ZEB

O custo associado à construção de um edifício *Nearly Net-ZEB* é maior, comparando com a construção do mesmo edifício sem as exigências necessárias para torná-lo num edifício com necessidades quase nulas de energia. Um estudo de 2009, descrito por Diacon e Moring (2013, p.21), defende que, a construção de um edifício com medidas passivas, de forma a reduzir o consumo de energia na fase de utilização, apresenta um custo extra até 10%. Em países como a Alemanha, a Áustria, a Suécia e a Suíça, os custos adicionais para a construção destes edifícios, situam-se entre os 2 e os 6%, enquanto que em países como o Reino Unido, a França, a Espanha, a Itália e Portugal, os custos adicionais serão maiores, estando na faixa dos 3 a 10%. Estes custos não só são devido ao maior investimento no isolamento do edifício, mas também, porque o conceito de “edifícios com necessidades quase nulas de energia”, ainda se encontra em desenvolvimento por parte das empresas de construção, sendo necessário todavia um investimento maior em tempo, recursos, planeamento e formação (Comissão Europeia, 2009, p.6).

Gráfico 11 - Curva de custos de otimização de um edifício



(Fonte: Hasan, 2011, p.2)

Os custos globais de um edifício, de acordo com o Gráfico 11, são os custos de todo o seu ciclo de vida energético. São exemplo de custos globais os custos de investimento,

os custos de manutenção e os custos de operação, incluindo o lucro obtido com a energia produzida (Hasan, 2011, p.2). Segundo Despret et al. (2011), os custos da fase de utilização do edifício podem ser reduzidos até 80% através de medidas aplicadas em fase de projeto. O Gráfico 11 representa a curva de custos, isto é, a variação do custo global com a energia primária resultante de vários tipos de combinação (Hasan, 2011, p.2).

O valor mais baixo do custo global da curva de custos é o custo ótimo, ou seja, o custo global mais económico para um determinado gasto de energia primária. Contudo, o custo ótimo ainda está longe de preencher os requisitos mínimos de um “edifício com necessidades quase nulas de energia”, sendo necessário diminuir a energia primária, o que por sua vez aumenta o custo global. É possível verificar esta relação direta na parte esquerda do Gráfico 11 (Hasan, 2011, p.2).

Um modo de se estimar o impacto económico da aplicação das medidas de otimização de um edifício (exemplos: aplicação de vidro duplo, aumento do isolamento, instalação de recuperador de calor, etc.) poderá ser através da “diferença entre os custos ao longo do ciclo de vida do edifício, com a intervenção da otimização e os custos caso não tivesse tido essa intervenção” (Δ_{ccv}) podendo ser calculado através da seguinte fórmula:

$\Delta_{ccv} = \Delta_{ci} + \Delta_{cr} + \Delta_{co}$, sendo:

- Δ_{ci} – Diferença entre o custo de investimento inicial das medidas de otimização e o custo de investimento sem medidas de otimização;
- Δ_{cr} – Diferença entre os custos associados à restauração da envolvente ou dos sistemas integrados do edifício com e sem medidas de otimização;
- Δ_{co} – Diferença no custo do consumo de energia entre o mesmo edifício com e sem as medidas de otimização, sendo este custo inversamente proporcional ao custo de investimento. (Hasan, 2011, p.5)

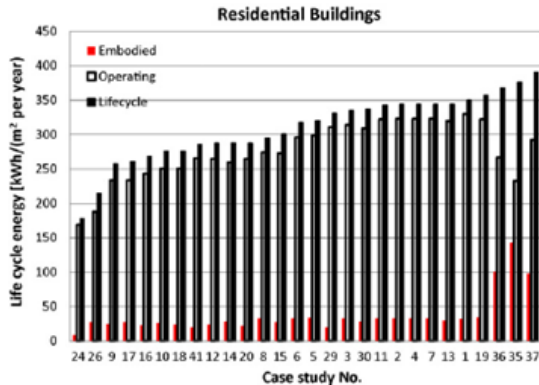
Se o valor de Δ_{ccv} for negativo, significa que se obterá um custo final mais baixo com a aplicação das medidas de otimização do edifício, comparando com o mesmo edifício sem serem aplicadas essas mesmas medidas (Hasan, 2011, p.5).

IX. Energia incorporada dos edifícios

Uma das medidas aplicadas nos últimos anos na Europa relativamente aos edifícios, no âmbito da Diretiva 2002/91/CE reformulada pela Diretiva 2010/31/UE, foi o aumento da eficiência energética, com o objetivo de reduzir o consumo de energia dos edifícios durante a fase de utilização, sendo esta a fase onde, na generalidade dos edifícios de habitação e serviços, há maiores gastos energéticos (Torgal et al.,2011, p.3).

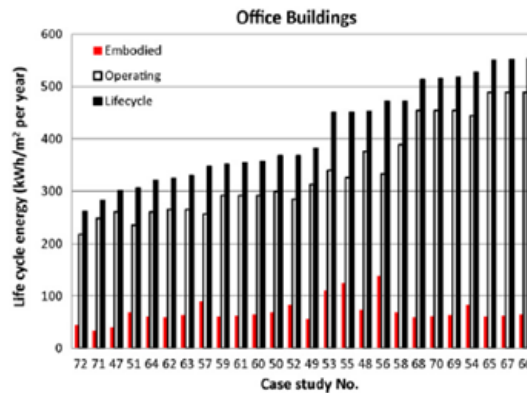
Segundo o estudo realizado por Ramesh (2010, p.1), à energia incorporada dos materiais e ao consumo energético durante a vida útil de 73 edifícios (habitação e serviços), 10 a 20%, pertencem à energia incorporada dos materiais de construção, enquanto que 80 a 90% pertencem ao consumo de energia para utilização do edifício (Gráficos 12 e 13).

Gráfico 12 - Ciclos de vida energéticos de vários casos de estudo de edifícios de habitação (Energia incorporada dos materiais e consumo energético durante a utilização do edifício)



(Fonte: Ramesh, 2010, p.6)

Gráfico 13 - Ciclos de vida energéticos de vários casos de estudo de edifícios de escritórios (Energia incorporada dos materiais e consumo energético durante a utilização do edifício)



(Fonte: Ramesh, 2010, p.6)

Tomando como exemplo um estudo realizado a um edifício com 97 apartamentos localizado no Grande Porto (área bruta = 27 647 m²), o seu consumo energético estimado para uma vida útil de 50 anos, representa 9359MJ/m² (187,2MJ/m²/ano), e a energia incorporada dos materiais de construção (produção, transporte e construção) do edifício em questão é de 2372 MJ/m² (Torgal et al.,2011, p.3). Segundo estes valores, a energia incorporada dos materiais representa 25,3% do consumo de energia da fase de utilização do edifício para uma vida útil de 50 anos, sendo este valor considerável (Torgal et al.,2011, p.5).

Outro exemplo, fora do contexto nacional, um apartamento de baixo consumo energético (de 45 kWh/m²) na Suécia, com uma vida útil estimada para 50 anos, a energia incorporada dos materiais que constituem este fogo, representa 45% da energia total do seu ciclo de vida. (Torgal et al.,2011, p.5)

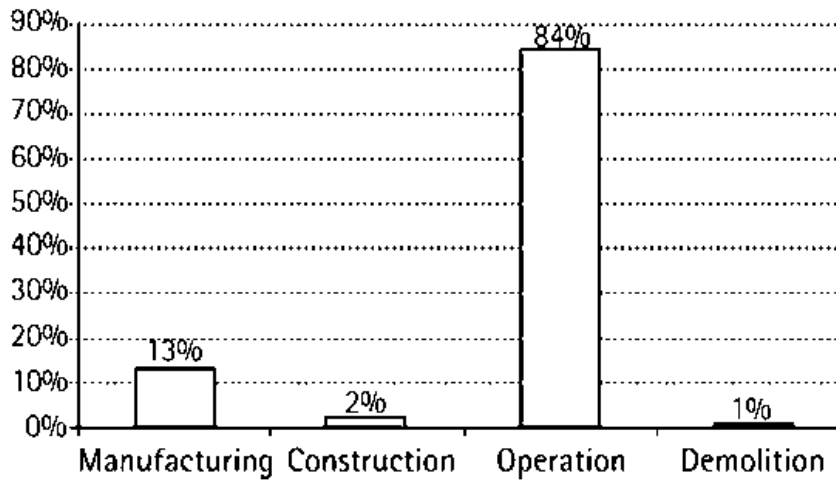
Portanto, com a redução do consumo energético dos edifícios na fase de utilização, a energia incorporada dos materiais de construção vai ter mais impacto, em termos percentuais, na energia total consumida no ciclo de vida do edifício (Torgal et al., 2011, p.3).

Já os edifícios com baixas taxas de ocupação ou baixa taxa de utilização, o valor da energia incorporada dos materiais correntes de construção representa a percentagem mais elevada. Assim, quando se quer avaliar as emissões de carbono de um edifício e os seus consumos energéticos, a energia incorporada dos materiais de construção é um elemento tão importante quanto o consumo energético do edifício durante a sua vida útil. (Milutienè, 2010, p.2)

IX.1 Energia Incorporada de edifícios convencionais, edifícios com necessidades nulas de energia e edifícios autossustentável

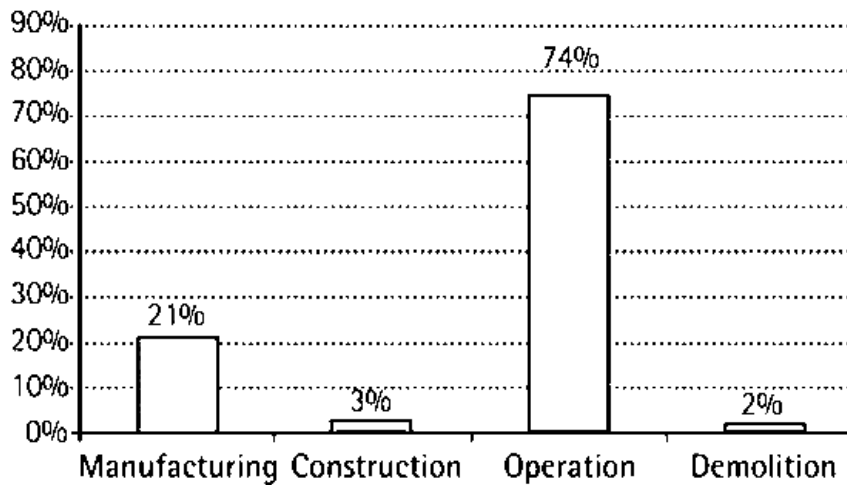
De acordo com Ramesh (2010, p.6), para dimensionar um edifício com baixo consumo de energia, mantendo a qualidade de vida dos utilizadores, é necessário aplicar medidas passivas e ativas, levando a que, geralmente, a energia incorporada do edifício seja maior, já que há uma maior quantidade de materiais aplicados e se recorre às tecnologias para a poupança e para a produção de energia (ver Gráficos 14 e 15). Este aumento da energia incorporada é, todavia, pouco significativo se comparado com a energia utilizada durante a vida útil do edifício. Contudo, essa mesma energia, num edifício autossustentável, é igual a zero, mas a sua energia incorporada é muito elevada, levando a que a energia utilizada em todo o seu ciclo de vida seja maior comparando com a do mesmo edifício, caso as medidas aplicadas fossem só para torná-lo num edifício de baixo consumo. Um edifício autossustentável é um edifício que não necessita de nenhuma energia nem de nenhum combustível proveniente do exterior, sendo toda a energia produzida localmente e armazenada (Ramesh, 2010, p.6).

Gráfico 14 - Divisão da percentagem do consumo energético ao longo do ciclo de vida de um edifício convencional



(Fonte: Fernandez, 2006, p.2)

Gráfico 15 - Divisão da percentagem do consumo energético ao longo do ciclo de vida de um edifício com elevada eficiência energética



(Fonte: Fernandez, 2006, p.3)

Cada vez mais se tem concentrado esforços para diminuir a energia de utilização do edifício, o que é alcançável através do isolamento melhorado, da redução da fuga de ar pela envolvente do edifício, da recuperação de calor do ar ventilado, levando ao uso de mais materiais e/ou de materiais com energia incorporada mais elevada (Gustavsson, 2009, p.2).

X. Energias renováveis em edifícios

Os dispositivos de conversão de energias renováveis para energia elétrica são também aplicados nos edifícios. A produção de energia elétrica através dos edifícios leva a que, numa determinada região, a distribuição geográfica da produção de energia elétrica seja alargada, evitando a instalação de uma central de energia convencional. Daí se falar numa produção por “geração distribuída” (GC) e não por “geração centralizada”, como seria se a produção da energia que abasteceria os vários edifícios se concentrasse nesta central (GD). (Abreu, 2010, p.80)

A “geração distribuída” apresenta vários tipos de vantagens, tais como, o facto dos dispositivos de produção de energia estarem próximos das cargas para que a energia gerada seja consumida diretamente, o facto de não ser necessário usar o sistema de transmissão de energia, reduzindo dessa forma os custos e, finalmente, o facto de se utilizarem energias renováveis, nomeadamente, geradores eólicos pequenos e painéis fotovoltaicos. A “geração distribuída” apresenta, sem margem para dúvidas, grandes vantagens ambientais (Tabela 5). (Abreu, 2010, p.80)

Tabela 5 – Características dos dispositivos de produção de energia renovável em edifícios

| Recursos endógenos | | Custos de investimento o atual | Custo da matéria-prima | Estado da tecnologia | Integração em edifícios | Comodidad e no funcionamento do sistema |
|------------------------|--------------|--------------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|---|
| Eólica | | 1,10 €/We* | Garantia | Madura | Difícil | Média |
| Geotérmica | | 1,75 €/Wt* | Gratuita | Verde | Difícil | Boa |
| Biomassa sólida | Pellets | 0,37 €/Wt** | 0,035 €/kWh** | Madura | Fácil | Má |
| | Estilhas | 0,44 €/Wt** | 0,020 €/kWh** | Madura | Fácil | Má |
| Solar | Térmico | 0,58 €/Wt** | Gratuita | Madura | Fácil | Boa |
| | Fotovoltaico | 2,30-3,75 €/We* | Gratuita | Média | Fácil | Boa |

(Fonte: Adaptado de Batista, 2008)

Com a “geração distribuída”, a rede estaria a ser alimentada por vários pontos distribuídos. Mas se a geração distribuída estivesse concentrada numa determinada zona da cidade seria, assim, considerada como uma segunda fonte de energia centralizada a

alimentar a rede. Para que se possa implantar uma geração distribuída é necessário, em primeiro lugar, avaliar os impactos desta geração na rede de distribuição, já que esta última não foi projetada para tal tipo de distribuição (Abreu, 2010, p.82).

X.1 Energia Solar

A radiação solar é constituída por fótons em ondas eletromagnéticas de diferentes tipos de frequências. A atmosfera protege a superfície terrestre de frequências consideradas nocivas, como por exemplo os raios gama e raios X, podendo estas ser ionizadas, pelas primeiras camadas da atmosfera, e transformadas em frequências mais baixas. Assim, a atmosfera só permite que chegue à superfície terrestre, a radiação solar em forma de luz visível e a radiação infravermelha (calor), sendo a radiação ultravioleta prevenida pela camada de ozono na estratosfera (Eng, 2012, p. 141, 143 e 145). Portanto, o aproveitamento desta energia pode ser feito de duas formas: através da luz visível, produzindo-se energia elétrica, e através da radiação infravermelha, produzindo-se energia térmica (Batista, 2008, p.16).

No que diz respeito ao aproveitamento da energia térmica emitida pelo sol, existem sistemas denominados coletores solares que são, normalmente, instalados nos telhados ou nos terraços dos edifícios e cuja função é aquecer as águas sanitárias e/ou aquecer o ar utilizado na climatização do edifício (Batista, 2008, p.16).

Já em relação à luz visível, os dispositivos mais correntemente utilizados são os painéis fotovoltaicos (Batista, 2008, p.16).

X.1.1 Painéis Fotovoltaicos

A produção de energia elétrica através das placas fotovoltaicas tem como base o efeito fotoelétrico, ou seja, um material sensível à radiação solar, como uma placa de silício tratado, quando exposto a esta radiação, sofre uma diferença de potencial contínua nos seus terminais. Como não usam elementos rotativos, os painéis fotovoltaicos não produzem ruído quando estão a funcionar. Porque não produzem resíduos, estes dispositivos não são prejudiciais para o ambiente (Abreu, 2010, p.86).

Entre os diferentes dispositivos de energias renováveis aplicados numa geração distribuída, os painéis solares fotovoltaicos prevalecem sobre as pequenas centrais hidroelétricas, a biomassa, a energia eólica, entre outros, pois, ao serem instalados nas

coberturas dos edifícios consumidores, a distribuição geográfica dos painéis fotovoltaicos é mais dispersa que a das outras fontes de energia, adaptando-se na generalidade melhor do que as outras (Abreu, 2010, p.86).

Ao longo da primeira década do século XXI, a instalação de painéis fotovoltaicos teve um crescimento anual de 30%, chegando a um máximo de 70% em 2008. Neste ano, estavam instalados em todo o mundo 13 GW de sistemas fotovoltaicos, 5.56 GW dos quais teriam sido instalados em 2008. Dos 13 GW instalados, 61% correspondia a sistemas de geração distribuída, 33% correspondia a sistemas de geração centralizada e 6% correspondia a sistemas isolados. Estes dados permitem concluir que a instalação de painéis fotovoltaicos nas coberturas dos edifícios está a tornar-se mundialmente mais comum (Abreu, 2010, p.86).

Tabela 6 – Impactos Ambientais na Produção de Sistemas FV

| Passivo Ambiental | FV (silicone monocristalino) | Participação na geração de eletricidade no Reino Unido |
|--|------------------------------|--|
| Energia (kWhth kWh ⁻¹) | 0,38 | 0,61 |
| CO ₂ (g kWh ⁻¹) | 74 | 672 |
| SO ₂ (g kWh ⁻¹) | 0,43 | 4,20 |
| NO _x (g kWh ⁻¹) | 0,21 | 2,10 |
| Partículas (g kWh ⁻¹) | 0,03 | 0,32 |

(Fonte: Adaptado de Roaf, 2006, p.189)

Tabela 7 - Benefícios Ambientais dos Sistemas FV

| Energia e emissões | FV (silicone monocristalino) | Participação na geração de eletricidade no Reino Unido | Total de emissões evitadas (em 25 anos) |
|-----------------------------|------------------------------|--|---|
| Energia (GWhth) | 29 | 47 | 18 |
| CO ₂ (toneladas) | 6 | 52 | 46 |
| SO ₂ (toneladas) | 0,03 | 0,32 | 0,29 |
| NO _x (toneladas) | 0,02 | 0,16 | 0,15 |
| Partículas (toneladas) | 0,002 | 0,02 | 0,02 |

(Fonte: Adaptado de Roaf, 2006, p.189)

Como defendido por Roaf (2006, p.189), os sistemas fotovoltaicos apresentam múltiplas vantagens a nível ambiental (Tabela 6), das quais se destaca o facto de a sua utilização não gerar emissões de gases de efeito de estufa, como aconteceria caso fosse utilizada a energia gerada pela rede, compensando assim, a percentagem de emissões libertadas durante o processo de produção (Tabela 7). Os sistemas FV, a nível económico, apresentam vantagens devido à disponibilidade de silicone, matéria-prima necessária para a produção destes painéis, e à ilimitada energia solar que a Terra recebe (Roaf, 2006, p.189). Os sistemas FV apresentam também, vantagens ambientais, pois, a sua utilização não contribui para o efeito de estufa nem para as chuvas ácidas, não emite gases poluentes e não produz ruído (Grimoni et al., 2004, p.146). A energia destes dispositivos é gerada localmente, havendo por esse motivo poucas perdas na transmissão da energia para a rede. Resta a vantagem de poderem ser transportados para outra edificação (Roaf, 2006, p.189).

Segundo Roaf (2006, p.189), com a produção de energia através dos painéis fotovoltaicos, reduzindo as necessidades de abastecimento pela rede elétrica, existe uma poupança a nível económico. Essa poupança permite uma recuperação do investimento inicial, relativamente à instalação dos painéis PV, na ordem dos 2 a 5 anos, sabendo que um painel fotovoltaico pode ter uma vida útil superior a 20 anos.

X.1.1.1 Tipos de Células Fotovoltaicas

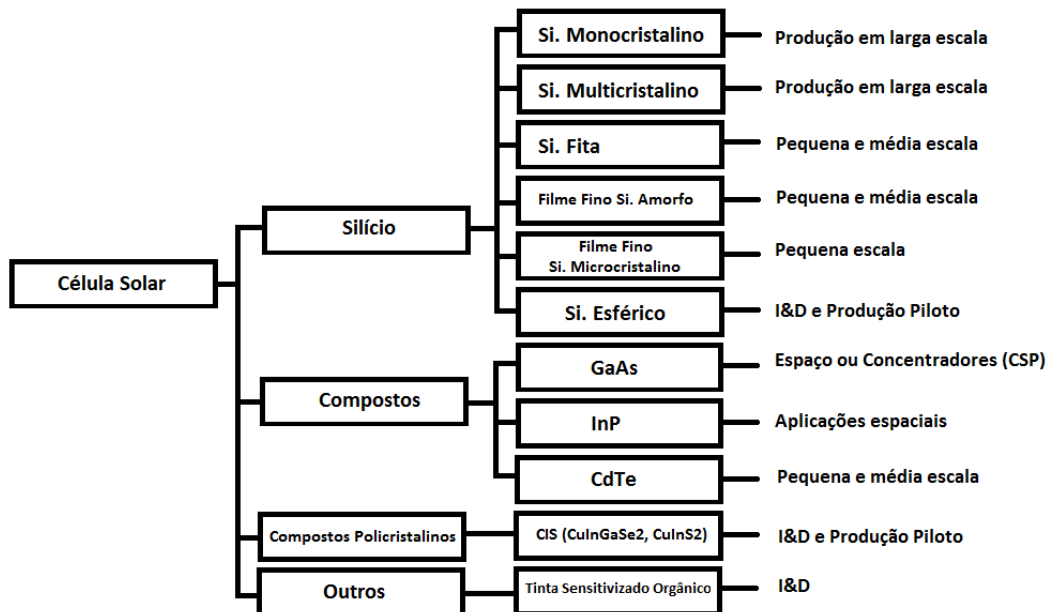
Os diferentes tipos de células fotovoltaicas podem ser divididos em três gerações. A primeira geração é constituída à base de silício cristalino, sendo a tecnologia dominante no mercado dos sistemas fotovoltaicos, pois, representa cerca de 90% dos FV instalados no mundo. São exemplos as soluções policristalinas e monocristalinas, sendo este último o mais antigo. (Proença, 2007, p.22)

A segunda geração corresponde a soluções de película fina, reduzindo o consumo de silício. Não só serviu de alternativa às soluções de silício, que requerem temperaturas elevadas para a sua produção e um alto grau de pureza, mas também, comparando com as de primeira geração, são mais leves, facilitando a sua instalação e localização. Como desvantagem, as soluções de película fina são muito menos eficientes. Outros materiais nesta geração foram também explorados, como o diselenieto de cobre e índio (CIS) e o telurieto de cádmio (CdTe). (Proença, 2007, p.23).

Por último, a terceira geração engloba as tecnologias de células fotovoltaicas que se encontram ainda em desenvolvimento, sendo alguns exemplos deste tipo de células as microcristalinas, as nanocristalinas e as micromorfás. (Proença, 2007, p.24)

No gráfico 16 estão divididos os diferentes tipos de tecnologias existentes relativas à geração de energia elétrica por células fotovoltaicas, de acordo com o material que as compõe.

Gráfico 16 – Divisão em grupos dos diferentes tipos de células fotovoltaicas consoante o material



(Fonte: Proença, 2007, p.22)

X.1.1.2 Eficiência da Célula Fotovoltaica

A composição das células fotovoltaicas e o sistema utilizado para a captação da luz, são importantes para a eficiência do painel solar, contudo a produção de energia está dependente de fatores como a radiação solar disponível no local e a temperatura (Batista, 2008, p.17).

Uma célula de silicone monocristalina tem uma eficiência máxima de 24% a 0°C, mas se a temperatura do meio for aumentada para 100°C, esta eficiência decresce para 14%. As células fotovoltaicas comerciais apresentam, na prática, uma eficiência que varia entre 15% e 18%. Na Suécia, foi realizado um estudo que simula a instalação de painéis fotovoltaicos nos telhados da Suécia, tendo-se concluído que através destes dispositivos energéticos se obterá uma produção elétrica anual de 40 TWh (Batista, 2008, p. 17 e

18), o que representa um valor muito significativo já que o consumo de energia per capita da Suécia, em 2010, foi de 15 477 kWh, ao passo que em Portugal foi de 4 889 kWh (IEA Statistics, 2011, p. 186 e p.202).

A desvantagem deste tipo de dispositivo consiste no facto do investimento inicial ser consideravelmente alto devido ao elevado custo da sua construção e à baixa disponibilidade no mercado dos materiais necessários, o que, no limite, se traduz num impasse no que toca à competitividade (Batista, 2008, p.18).

Tabela 8 – Máximas eficiências dos diferentes tipos de células fotovoltaicas

| Material da Célula | Eficiência Máxima Obtida | | |
|----------------------------|--------------------------|----------|-------------------|
| | Laboratório | Produção | Produção em Série |
| Silício Monocristalino | 24,7% | 18% | 14% |
| Silício Policristalino | 19,8% | 15% | 13% |
| Silício Policristalino EFG | 19,7% | 14% | 13% |
| Película Fina | 19,2% | 9,5% | 7,9% |
| Silício Amorfo | 13% | 10,5% | 7,5% |
| Silício Micromorfo | 12% | 10,7% | 9,1% |
| Híbrido HCl | 20,1% | 17,3% | 15,2% |
| CIS, CIGS | 18,8% | 14% | 10% |
| Telurieto de Cádmio | 16,4% | 10% | 9% |
| Semicondutor III-V | 35,8% | 27,4% | 27% |
| Célula com Corante | 12,0% | 7% | 5% |

(Fonte: Proença, 2007, p.24)

Existem ainda sistemas FV que permitem obter uma maior eficiência, sendo um deles o sistema com superfície de reflexão (Figura 21). Este último, não só utiliza um dispositivo que segue o movimento solar, mas também, concentra a radiação solar através da superfície refletora extra, a qual pode ser constituída por espelhos. Este sistema apresenta 117% mais eficiência que o sistema que somente possui o painel (Batista, 2008, p.17).



Figura 21 – Sistema fotovoltaico com superfície de reflexão

(Fonte: Guida Edilizia, 2013)

X.1.1.3 Tipos de Configuração dos sistemas solares fotovoltaicos

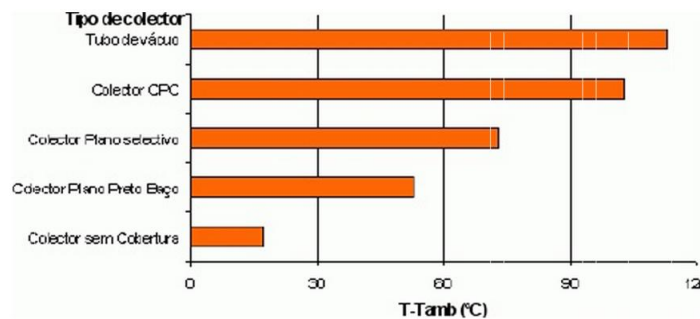
Existem quatro tipos de configurações de sistemas solares fotovoltaicos com diferentes finalidades: os sistemas isolados domésticos, os sistemas isolados não-domésticos, os sistemas conectados à rede de forma distribuída e os sistemas ligados à rede de forma concentrada (Abreu, 2010, p.87).

- O sistema isolado doméstico é um sistema que fornece energia somente para casas, sendo utilizado em cargas de pequena potência como a iluminação e a refrigeração (Abreu, 2010, p.87);
- O sistema isolado não-doméstico é um sistema que fornece energia para diferentes usos, como por exemplo, uso comercial, telecomunicações, bombeamento de água, entre outros (Abreu, 2010, p.87);
- O sistema conectado à rede de forma distribuída fornece energia diretamente para os consumidores que estão ligados ao sistema, fornecendo energia, também, para a própria rede de distribuição (Abreu, 2010, p.87);
- O sistema ligado à rede de forma centralizada funciona como uma central de energia tradicional, sendo a sua localização cuidadosamente selecionada para aproveitar ao máximo a radiação solar e ter uma área de ocupação bastante significativa. Isto leva a que, geralmente, o sistema se situe longe das fontes consumidoras, implicando um custo associado à transmissão e à distribuição de energia equivalente ao de uma central hidroelétrica (Abreu, 2010, p.88).

X.1.2 Coletores Solares

O coletor solar é o dispositivo mais utilizado e o mais acessível para se produzir energia térmica através da energia solar. Existem diferentes tipos de coletores que se diferenciam em função da temperatura máxima que atingem. Por exemplo, para aquecimento de água, o coletor deverá atingir a temperatura de 90°C. Relativamente aos tipos de coletores correntemente utilizados, destacam-se os coletores solares planos, os coletores concentradores e os coletores concentradores parabólicos (ou CPC) (Batista, 2008, p.16 e 17). No Gráfico 17 estão representadas as temperaturas que os diferentes tipos de coletores podem atingir.

Gráfico 17 - Temperaturas atingidas consoante o tipo de coletor térmico



(Fonte: Batista, 2008, p.16)

Os coletores solares planos são os mais utilizados, aquecendo a água a temperaturas inferiores a 80°C. Estes coletores são mais comuns nos edifícios de habitação (Figura 22), mas verifica-se, igualmente, a sua presença em edifícios públicos, comerciais, de serviços sociais, entre outros (Batista, 2008, p.17).

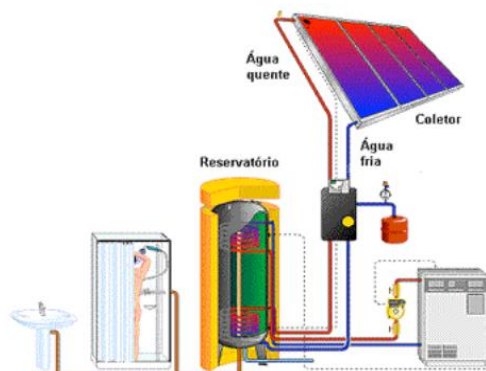


Figura 22 - Demonstração do funcionamento da produção de águas quentes sanitárias

(Fonte: Ceeta, s.a.)

O exterior do coletor solar plano apresenta a forma de uma caixa e é constituída por um material com boa resistência mecânica e à corrosão, sendo um exemplo o alumínio

(chapa e perfis). Por dentro a caixa é revestida com um isolamento térmico de modo a evitar perdas de calor. No interior da caixa existe uma placa de absorção de calor (pintada a preto fosco), que transfere o calor recebido da radiação solar para o fluido térmico, onde este circula num sistema de tubos ligado à placa (Figura 23). A parte superior da caixa é constituída por uma cobertura transparente que tem o objetivo de criar efeito de estufa e reduzir as perdas de calor, ao mesmo tempo que deixa passar a radiação solar para a placa de absorção de calor (Carvalho, s.a., p. 27 e 28).

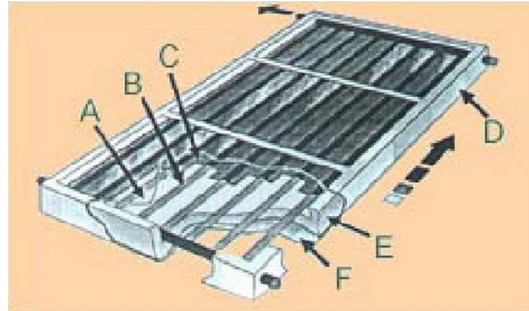


Figura 23 - Demonstração das componentes de um coletor solar plano

(Fonte: Carvalho, s.a., p.27)

Os coletores concentradores são sistemas que relacionam a área de captação com a área de receção, isto é, “quanto maior a concentração menor é o ângulo com a superfície dos coletores segundo o qual têm que incidir os raios solares para serem captados pelo que o coletor tem de se manter sempre perpendicular aos raios solares, seguindo o sol no seu movimento aparente diurno” (*cit. in* Carvalho, s.a., p.29) (Figura 24). Devido ao facto de este tipo de coletor só captar a radiação direta do sol, é necessário um mecanismo que direcione os coletores segundo o trajeto do sol, o que torna os coletores concentradores dispendiosos, sendo, por isso, preteridos em relação aos restantes coletores (Carvalho, s.a., p.29).



Figura 24 - Fotografia de vários coletores concentradores colocados em série

(Fonte: Carvalho, s.a., p.30)

Os coletores concentradores parabólicos apresentam-se numa forma plana, mas diferenciam-se em relação aos coletores planos pela geometria da superfície de absorção (Figura 25). A superfície é constituída por uma grelha de alhetas como indica a figura 26. A captação da radiação solar é feita pelas duas faces da alheta, pois, o sol incide na parte superior da alheta e o formato parabólico localizado abaixo da alheta reflete os raios para esta, que transfere essa energia térmica para o tubo onde passa o fluido térmico junto à alheta. Com esta engenharia ótica consegue-se obter temperaturas superiores a 70°C (Carvalho, s.a., p. 30 e 31).



Figura 25 - Fotografia do modo de utilização de quatro coletores concentradores parabólicos (Fonte: Carvalho, s.a., p. 31)



Figura 26 - Fotografia do coletor concentrador parabólico e corte (Fonte: Pereira, s.a.)

Os sistemas de coletores solares de vácuo (Figura 27) são equipamentos de alto rendimento quando aplicados em zonas com um clima semelhante ao de Portugal, pois, conseguem produzir 800 W/hora de energia. Cada sistema é composto por vários tubos modulares paralelos, em que o número de tubos pode ser dimensionado consoante a necessidade de água quente do edifício. A forma cilíndrica dos tubos permite absorver mais os raios solares, sem os refletir (Figura 28). É igualmente devido às suas características, que estes tubos conseguem absorver os raios ultravioleta e os infravermelhos emitidos pelo sol, que não são neutralizados pelas nuvens. O sistema de vácuo do tubo permite que não haja perdas de calor nem por condução nem por convecção (Martino, 2009). Segundo Martino (2009, p.3), o sistema de vácuo e o seu funcionamento baseia-se nos seguintes pontos:

“O sistema solar de vácuo baseia-se no princípio de concentração. Requer uma superfície reflectora curva, onde recebe a radiação. Por efeito desta curva os raios são projectados para a parte central do tubo onde se concentram e alcançam uma temperatura elevada. Essa temperatura é transmitida para a parte superior do colector para posterior aproveitamento.”



Figura 27 – Esquema de um coletor solar a vácuo
(Fonte: Martino, 2009, p.1)

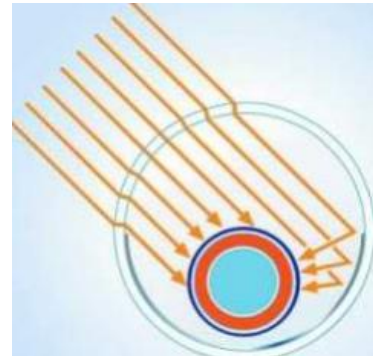


Figura 28 – Esquema do funcionamento de captação da radiação solar
(Fonte: Martino, 2009, p.3)

X.1.2.1 Enquadramento legal

O recurso à utilização de sistemas de solares térmicos para aquecimento de água sanitária (AQS) nos edifícios novos é obrigatório, segundo o Decreto-Lei n.º 118/2013, nas situações em que existe exposição solar adequada. Também, os sistemas a instalar devem produzir tanta ou mais energia que os sistemas de coletores padrão (definido na alínea a) do número 2 do artigo 27.º do Decreto-Lei n.º 118/2013), a área total de coletores necessária pode ser reduzido, caso se justifique, não podendo ser inferior 50% da área de cobertura com exposição solar e, quando os sistemas se destinam adicionalmente para climatização do ambiente anterior, não deve comprometer a preparação de AQS. (Artigo 27.º do Decreto-Lei n.º 118/2013)

Para o cálculo da energia produzida pelo sistema solar térmico deve ser utilizado o programa *Solterm* (Figura 29 e 30) do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) (ou outra ferramenta legalmente validada para o efeito) de modo a quantificar a energia produzida para os diversos usos (ponto 1 do Despacho (extrato) n.º 15793-H/2013).

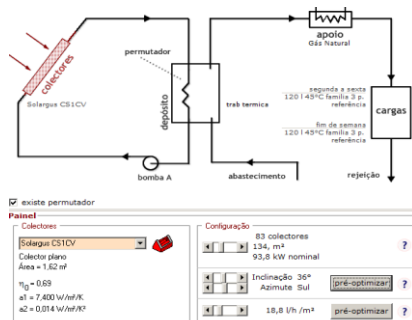


Figura 29 - Exemplo 1 do Programa “Solterm”

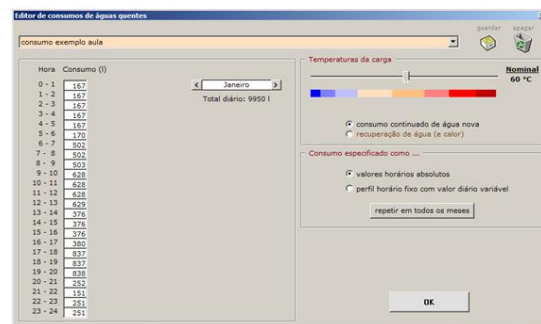


Figura 30 - Exemplo 2 do programa “Solterm”

X.1.3 Sistemas Solares Passivos

A energia solar pode, também, ser aproveitada de forma passiva, através de estratégias de obtenção de ganhos solares para aquecimento e iluminação natural. Estas estratégias podem ser classificadas segundo três conceitos:

- Ganhos Diretos (Figura 31);
- Ganhos Indiretos (Figura 32);
- Ganhos Isolados. (Mendonça, 2005)

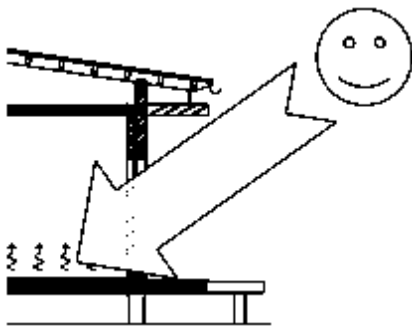


Figura 31 - Esquema de ganhos diretos
(Fonte: Mendonça, 2005, p.7, capítulo V)

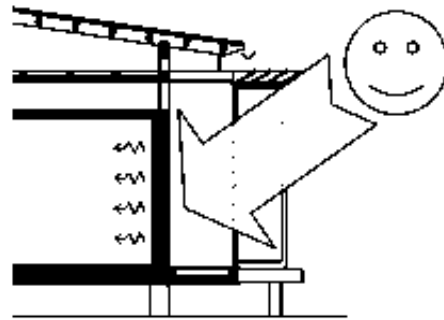


Figura 32 - Esquema de ganhos indiretos
(Fonte: Mendonça, 2005, p.57, capítulo V)

X.1.3.1 Ganhos diretos

Em todas as estratégias adotadas para obtenção de ganhos diretos, os fatores mais importantes são a localização e a dimensão dos envidraçados, havendo maior captação de energia solar nas zonas orientadas a sul. Dentro da categoria de “ganhos diretos” há diferentes estratégias pelas quais se pode optar, nomeadamente:

- Disposição do edifício: orientação, inclinação e envidraçado;
- Vão de envidraçado a sul: análise da implementação de vidro simples ou de vidro duplo a sul, estudando o balanço energético global para os dois casos;
- Lanternim: abertura vertical ou inclinada, localizada no telhado para iluminar um determinado compartimento ou zona do interior do edifício;
- Clarabóia: envidraçado de forma arredondada ou poliédrica localizada em telhados horizontais ou pouco inclinados, e tem o objetivo de iluminar compartimentos ou zonas do edifício localizadas a norte. (Mendonça, 2005)

X.1.3.2 Ganhos Indiretos

O princípio das estratégias aplicadas para ganhos solares indiretos baseia-se na incidência da radiação solar numa massa térmica, localizada entre o sol e a zona a aquecer. As estratégias de ganhos solares indiretos consistem no recurso a:

- Parede acumuladora (ou Parede de Trombe não ventilada (Figura 33);

“parede de armazenamento térmico sem aberturas de termocirculação (...). Em geral o seu rendimento é menor que o de uma parede Trombe ventilada porque, ainda que a temperatura do ar entre o vidro e a parede de armazenamento seja muito superior, a distribuição do calor para o interior é menos uniforme. (temos uma parede com uma transmissão de calor radiante muito elevada e as restantes superfícies frias).” (Mendonça, 2005, p.13, Capítulo V);

- Parede dinâmica com efeito de estufa (Figura 34):

“sistema de ventilação combinada com efeito de estufa (...). Basicamente é uma parede de armazenamento com a particularidade de aquecer o ar exterior durante o dia. Durante a noite no período de Inverno, ou em dias encobertos e sem ganhos, a abertura de ventilação deverá ser encerrada, ficando a parede apenas a aquecer por radiação, como parede acumuladora.” (Mendonça, 2005, p.15, Capítulo V);

- Parede de Trombe (Figura 35): Parede com a mesma configuração que uma parede acumuladora, mas com dois orifícios localizado na parte superior e na parte inferior da parede. Estes orifícios podem ser abertos ou fechados, dependendo das necessidades de aquecimento ou arrefecimento do espaço (Mendonça, 2005, p.15, Capítulo V);
- Paredes de água (Figura 36): a água apresenta uma capacidade de armazenamento de calor muito elevada se comparada com matérias de construção convencionais. Para que este tipo de parede possa funcionar é necessário que a água esteja num recipiente que absorva o máximo de radiação solar, como por exemplo, um recipiente de cor escura (Mendonça, 2005);
- Coberturas de água (Figura 37): na laje de cobertura está presente uma quantidade de água exposta à radiação solar, acumulando, assim, calor (Mendonça, 2005);
- Sistema indireto pelo pavimento (Figura 38): debaixo do pavimento da zona ou do compartimento a aquecer são colocadas pedras ou água que vão absorver e

acumular calor devido ao efeito de estufa realizado a sul através de um vidro exterior. A energia acumulada irá ser libertada depois pelo pavimento para o interior do edifício (Mendonça, 2005).

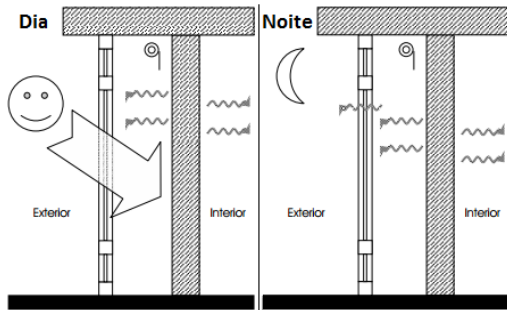


Figura 33 – Parede acumuladora durante o inverno
(Fonte: Mendonça, 2005, p.13, Capítulo V)

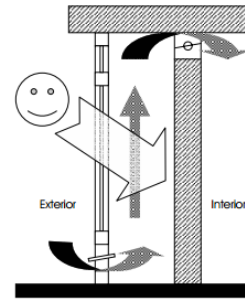


Figura 34 – Parede dinâmica
(Fonte: Mendonça, 2005, p.14, Capítulo V)

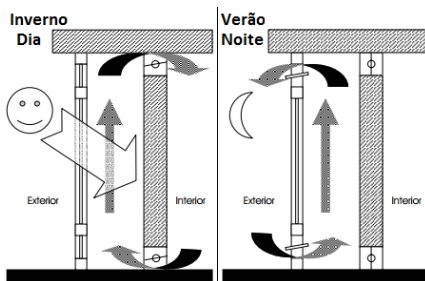


Figura 35 – Paredes de trombe com efeito de estufa
(Fonte: Mendonça, 2005, p.14, Capítulo V)

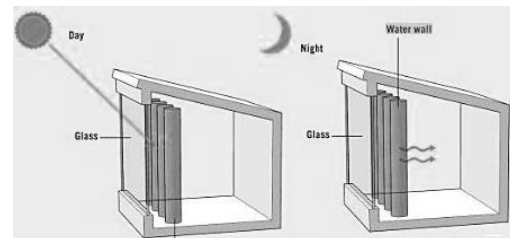


Figura 36 – Paredes de água em tubos de vidro
(Fonte: Barber e Prove, 2010, p.111)

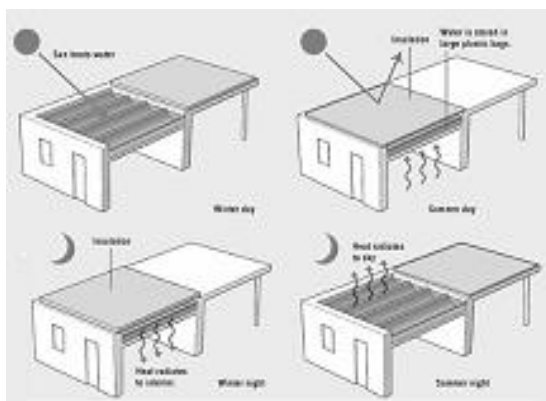


Figura 37 – Cobertura de água
(Fonte: Barber e Prove, 2010, p.112)

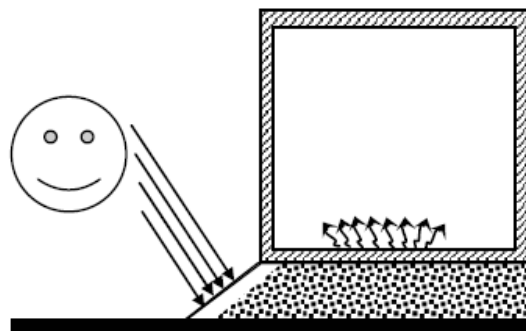


Figura 38 – Ganhos indiretos pelo pavimento
(Fonte: Mendonça, 2005, p.17, Capítulo V)

X.1.3.3 Ganhos isolados

As estratégias dos sistemas de ganhos isolados solares baseiam-se na captação de energia solar num espaço separado da zona de habitação (as estufas, por exemplo). (Mendonça, 2005)

X.2 Energia Eólica em Edifício

X.2.1 Sistemas Ativos

Sendo a energia eólica uma energia limpa e renovável, a melhor maneira de aproveitar esta fonte de energia localmente, tal como para consumo próprio do edifício, é através de turbinas eólicas, que basicamente têm a função de transformar a energia cinética do vento em energia mecânica para depois ser transformada em energia elétrica (Garrito, 2008, p.24).

Existem dois tipos de turbinas (Figura 39): as turbinas eólicas de eixo vertical (denominação das turbinas eólicas nas quais o eixo de rotação é perpendicular ao fluxo do vento e do solo) e as turbinas eólicas de eixo horizontal (denominação das turbinas eólicas nas quais o eixo de rotação é paralelo ao fluxo do vento e do solo). (Cleveland, 2009, p.548)

As turbinas eólicas de eixo horizontal (Figura 40) apresentam melhor desempenho em zonas abertas, em que o vento tem uma direção dominante, tirando um melhor aproveitamento dos ventos mais fortes. Contudo, este tipo de turbinas funciona mal em regime de vento turbulento (Garrito, 2008, p.24).

Em relação às turbinas eólicas de eixo vertical (Figura 41), estas são indicadas para o meio urbano e para meios onde o vento tem um regime turbulento. Comparando com a turbina do eixo horizontal, as de eixo vertical apresentam níveis de ruído mais reduzidos mas também têm um menor rendimento (Garrito, 2008, p.25).

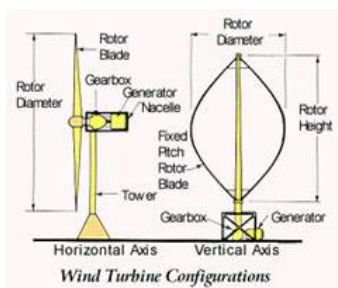


Figura 39 - Legenda das componentes de uma turbina de eixo vertical e horizontal (Fonte: Garrito, 2008, p.24)



Figura 40 - Exemplo de uma turbina de eixo horizontal (Fonte: Garrito, 2008, p.24)



Figura 41 - Exemplo de uma turbina de eixo vertical (Fonte: Garrito, 2008, p.25)

No Reino Unido, como noutros países da Europa, os políticos e os meios de comunicação social têm vindo a incentivar a população a participarem na “Revolução Verde”, no que toca à obtenção de energia através da microprodução. As turbinas eólicas integradas nos edifícios (*Building-integrated wind turbines*, ou BIWTs) são uma das soluções de microprodução, permitindo que a população contribua para a redução do problema das mudanças climáticas e para a redução do consumo de energias fósseis (Udell et al., 2010, p.1).

Todavia, testes realizados recentemente ao desempenho prático das turbinas eólicas em habitações revelaram resultados desapontantes, assim como as simulações do rendimento destas turbinas em meio urbano, demonstrando que não estão à altura das expectativas criadas. No entanto, é possível citar casos em que as turbinas tiveram um ótimo desempenho na geração de energia elétrica local, como é o caso das zonas isoladas com áreas de vento de alta velocidade ou os arranha-céus. A razão pela qual as turbinas não tiveram o rendimento esperado reside na insuficiência da avaliação estrutural das instalações, procedimento muito importante para o desempenho da turbina eólica (Udell et al., 2010, p. 1 e 2).

Na instalação de uma turbina eólica para uso doméstico deve-se ter em conta os seguintes aspetos:

- As turbinas eólicas só funcionam se forem instaladas corretamente e num local apropriado (Green e Bradford, 2009, p.5);
- Sendo a velocidade do vento difícil de se prever e bastante variável, o “*Energy Saving Trust*” recomenda a utilização de uma ferramenta de estimativa da velocidade do vento e, sempre que necessário, a utilização de um anemómetro para determinar a velocidade do vento (Green e Bradford, 2009, p.5);
- Os produtores de energia devem adquirir turbinas eólicas de baixa escala, certificadas pelo Sistema Elétrico Nacional (SEN). Relativamente à sua instalação devem procurar as entidades instaladoras que respeitem o Decreto-Lei n.º 118-A/2010;
- Os produtores de energia devem considerar a produção de energia de baixa escala de vento (Green e Bradford, 2009, p.5);

- O *Energy Saving Trust* recomenda que só devem ser instaladas as turbinas eólicas se no local a velocidade mínima do vento for de 5m/s (Green e Bradford, 2009, p.5).

O *Energy Saving Trust*, num relatório para o Departamento de Comércio e Indústria do Reino Unido (*Department for Trade and Industry*), em 2005, conclui que o vento de baixa velocidade forneceria 4% da procura de energia elétrica do Reino Unido e reduziria as emissões domésticas de dióxido de carbono em 6%. Da mesma forma, a *Carbon Trust*, num relatório de 2008, previu que se 10% dos locais do Reino Unido, tanto domésticos como comerciais, tivessem turbinas eólicas a funcionar com velocidades de vento adequadas, poderiam produzir 1500 GWh por ano, o que equivale a 0,36 % da sua procura de energia elétrica (Green e Bradford, 2009, p.14).

A análise realizada pelo *Energy Saving Trust* concluiu, em 2009, que 1,9 % dos lares do Reino Unido (455 650 propriedades domésticas) teriam um recurso eólico de pelo menos 5m/s, e que as turbinas eólicas (uma turbina de eixo horizontal por propriedade doméstica com potências de 400W a 6KW), se instaladas nesses locais, considerando a velocidade mínima do vento de 5m/s, produziriam 3459 GWh por ano, o que equivale à quantidade de eletricidade usada por aproximadamente 870 mil famílias por ano, e representa cerca de 0,9 % do fornecimento de eletricidade do Reino Unido e de 3,1% da procura energética para as habitações (Tabelas 9 e 10). (Green e Bradford, 2009, p.14)

Tabela 9 - Número potencial de turbinas eólicas domésticas de pequena escala no Reino Unido

| Polo de Turbinas Montadas – Explorações Agrícolas | | |
|---|---------------------------|--------------------|
| Localização | Número de turbinas | GWh por ano |
| Inglaterra e País de Gales | 62 250 | 781 |
| Escócia | 36 200 | 610 |
| Irlanda do Norte | 16 100 | 249 |
| Polo de Turbinas Montadas – Edifícios com área significativa | | |
| Localização | Número de turbinas | GWh por ano |
| Inglaterra e País de Gales | 68 400 | 792 |
| Escócia | 43 500 | 732 |
| Irlanda do Norte | 10 400 | 163 |
| Turbinas Montadas em Edifícios | | |
| Localização | Número de turbinas | GWh por ano |
| Inglaterra e País de Gales | 104 600 | 64 |
| Escócia | 93 000 | 57 |
| Irlanda do Norte | 21 200 | 11 |
| Total no Reino Unido | 455 650 | 3 459 |

(Fonte: Adaptado de Green e Bradford, 2009, p.14)

Tabela 10 - Número potencial de turbinas eólicas domésticas de pequena escala no Reino Unido por País

| Localização | Número de turbinas | GWh por ano |
|-----------------------------|--------------------|--------------|
| Inglaterra e País de Gales | 235 250 | 1 637 |
| Escócia | 172 700 | 1 399 |
| Irlanda do Norte | 47 700 | 433 |
| Total no Reino Unido | 455 650 | 3 459 |

(Fonte: Adaptado de Green e Bradford, 2009, p.14)

X.2.2 Ventilação Natural

A ventilação natural é uma medida passiva regulada pelo utilizador que permite melhorar a qualidade do ar interior, bem como o conforto térmico nos espaços interiores do edifício. A ventilação natural continua a ser o método mais prático de diluir toxinas que se acumulam no interior devido às atividades humanas, desde que o edifício seja concebido para que este sistema funcione corretamente. Durante os meses de Inverno, a ventilação natural pode ser rapidamente feita abrindo duas janelas em orientações opostas, diminuindo a temperatura do ar interior. No entanto, como o tempo de ventilação é curto, a inércia térmica do edifício reposicionará a temperatura anterior. Durante os meses de Verão, a ventilação natural deve funcionar durante a noite, não só para renovar o ar, mas também para reduzir o calor acumulado pelo edifício durante o dia através da sua inércia térmica (Tirone, s.a.).

A ventilação natural deve ser dimensionada em conjunto com os outros sistemas de ventilação de modo a que se complementem e não haja acréscimos de custos durante a utilização do edifício devido ao mau dimensionamento (Tirone, s.a.).

X.2.2.1 Capuz (cowl)

No empreendimento BedZED, em Surrey, no sul de Londres, estão implementados sistemas de aproveitamento da energia eólica de um modo passivo. O sistema “capuz” (*cowl*) (Figura 43) é orientado pelo vento através de um leme, logo, sempre que há mudanças de direção do vento, o sistema, constituído por um tubo principal, é automaticamente posicionado na direção do vento, fazendo a captação da energia cinética para depois introduzir ar novo e fresco no interior do edifício. Outro tubo dentro do mesmo sistema, localizado no lado oposto, retira o ar quente e viciado do interior do edifício (Figura 42). (Murdoch e Figueiredo, s.a.)

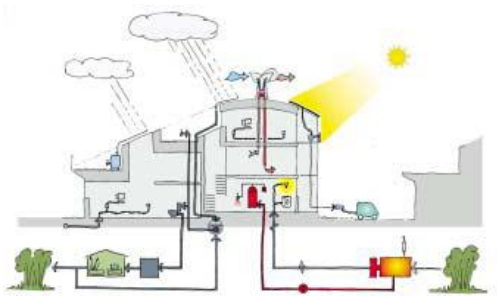


Figura 42 - Exemplo do funcionamento do sistema “capuz” (*cowl*) no BedZED
(Fonte: Twinn, 2003, p.12)



Figura 43 – Sistema “capuz” (*cowl*)
(Fonte: Twinn, 2003, p.14)

X.3 Energia de Biomassa em Edifícios

A biomassa é uma matéria-prima que foi desde sempre utilizada pelo Homem para aquecer as suas habitações nas suas formas mais tradicionais, como a lenha, as pinhas e a industrialmente processada (os *pellets*). Estes resíduos florestais estão facilmente disponíveis e constantemente a serem produzidos, o que leva a que se considere a biomassa uma fonte de energia renovável. (Construção Sustentável, 2012)

X.3.1 Eficiência dos sistemas de aquecimento

A eficiência energética na utilização da biomassa é tão importante para o utilizador como para o ambiente, já que a queima da biomassa liberta dióxido de carbono para a atmosfera. Assim, quanto mais eficiente for o dispositivo, menos biomassa será utilizada, diminuindo a quantidade de dióxido de carbono libertado. (Construção Sustentável, 2012)

X.3.2 Eficiência das Lareiras

As lareiras tradicionais são um exemplo de uma fraca eficiência energética, pois somente 10% do calor produzido chega às pessoas que se encontram próximas da fonte de calor. A fraca eficiência deve-se ao fenómeno de convecção, em que o ar do interior da habitação é aspirado pela conduta de fumos devido à queima da biomassa, provocando, ao mesmo tempo, uma corrente de ar desconfortável no interior da habitação e a diminuição da qualidade do ar interior pelo facto de consumir o oxigénio (Construção Sustentável, 2012).

X.3.3 Eficiência dos Recuperadores de Calor

Os recuperadores de calor são sistemas muito eficientes, podendo o seu rendimento pode chegar aos 88%. Estes dispositivos não devem estar em contacto direto com o ar interior da habitação para que não haja contaminação de ar nem correntes de ar, como acontece no caso das lareiras. O ar utilizado na combustão deve ser o ar proveniente do exterior, que é encaminhado por uma tubagem, e a combustão da biomassa deve ser feita numa caixa de combustão fechada (Construção Sustentável, 2012).

A eficiência aumenta se o recuperador de calor estiver encostado a uma parede interior da habitação e não a uma parede exterior, já que, assim, as perdas térmicas são recuperadas para o interior do edifício e não para o exterior. Para que a eficiência dos recuperadores de calor seja a mais elevada possível, é imprescindível ter em atenção todos os aspetos e dimensionamentos. (Construção Sustentável, 2012)

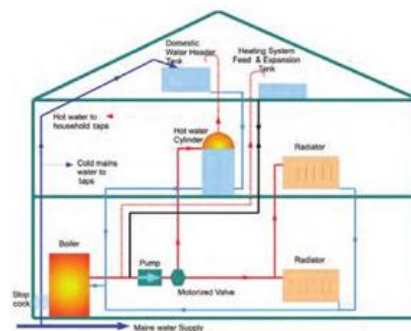


Figura 43 - Exemplo de esquema de aquecimento central através de uma caldeira

(Fonte: Jenkins, 2010, p.30)

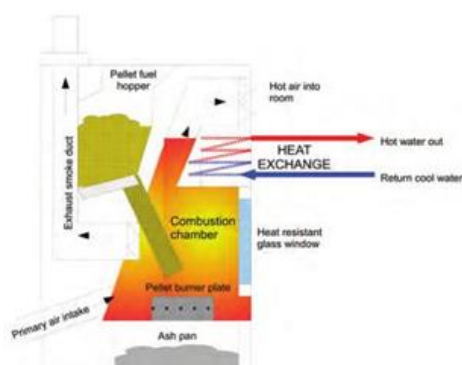


Figura 44 - Exemplo de esquema de uma caldeira a pellets para aquecimento do ar interior e de águas sanitárias

(Fonte: Jenkins, 2010, p.27)

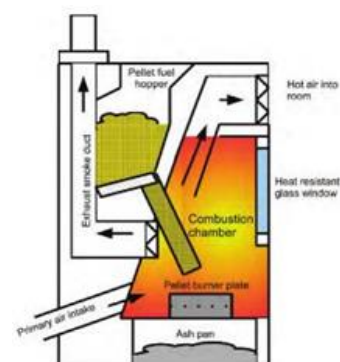


Figura 45 - Exemplo de esquema de um recuperador de calor a pellets para aquecimento do ar interior

(Fonte: Jenkins, 2010, p.23)

Ao sistema do recuperador de calor podem ser adicionadas tubagens de distribuição de calor, levando a que funcione como um sistema de aquecimento central. (Construção Sustentável, 2012)

Para aquecimento de águas sanitárias pode ser utilizada uma caldeira que, para além de aquecer essas águas, à semelhança dos recuperadores de calor, aquece também o ar interior (Figuras 43, 44 e 45). (Construção Sustentável, 2012)

Vantagens da Biomassa (Pellets) em relação às energias fósseis em termos de emissão de CO₂. Segundo a comunidade científica e alguns políticos, a utilização dos combustíveis fósseis como fonte de energia é o fator mais significativo do aquecimento global, da subida do nível médio das águas do mar, bem como de outras alterações climáticas. A biomassa vegetal, como os *pellets*, constituem uma boa alternativa aos combustíveis fósseis, permitindo que se reduza o seu consumo. A União Europeia, tal como o Protocolo de Quioto, consideram os *pellets* de madeira de qualidade controlada como, ou quase como, “carbono-neutro”, baseando-se no princípio de que as árvores (fonte de matéria-prima dos *pellets*) absorvem tanto ou mais carbono enquanto crescem do que aquele que é libertado de para a atmosfera quando a madeira é queimada (Jenkins, 2010, p.6).

A quantidade de dióxido de carbono emitida por combustíveis renováveis é bastante mais baixa que as emissões provenientes dos combustíveis fósseis, pelo facto de as emissões de CO₂ provenientes da biomassa serem consideradas como ambientalmente neutras, logo, como zero. Na avaliação geral da libertação de CO₂ do ciclo de vida da biomassa devem ser contabilizadas apenas as emissões de CO₂ resultantes dos gastos de energia elétrica e do consumo de combustíveis fósseis associado ao transporte e à energia elétrica auxiliar da operação do sistema (Obernberger, 2010, p.331).

Existem dois fatores importantes para que se considerem os *pellets* como carbono-neutro (Jenkins, 2010, p.6):

- A eficiência da unidade de combustão (as caldeiras ou os recuperadores de calor, por exemplo);
- Processo de produção dos *pellets* (podendo libertar dióxido de carbono para a atmosfera, dependendo da energia despendida no processo):

- Corte e secagem da madeira por meios mecânicos;
- Transformação da matéria-prima em *pellets*;
- Transporte dos *pellets* para os devidos destinos.

As tabelas 11 e 12 mostram as emissões de CO₂, bem como de outros gases e partículas, durante o processo específico de fornecimento dos *pellets* e durante o seu ciclo de vida (Oberberger, 2010, p.306).

Tabela 11 - Fatores de emissão ao longo do processo de fornecimento de *pellets*

| | | Fator de Emissão | | | | | |
|-------------------------------------|---------|------------------|-----|-------------------------------|-----------------|-----------------|------------|
| | | CO ₂ | CO | C _x H _y | NO _x | SO ₂ | Partículas |
| Transporte | mg/t.km | 75 000 | 240 | 123 | 960 | 24 | 53 |
| Fornecimento de eletricidade | mg/MJ | 70 000 | 67 | 290 | 67 | 77 | 6 |
| Fornecimento de aquecimento | mg/MJ | 4 585 | 71 | 26 | 138 | 17 | 28 |

(Fonte: Adaptado de Oberberger, 2010, p.306)

Tabela 12 - Emissões de gases ao longo do ciclo de vida dos *pellets*, desde a extração da matéria-prima ao fornecimento dos *pellets*

| Fatores de Emissão [mg/MJ] | | | | | | |
|---|-----------------|-------|-------------------------------|-----------------|-----------------|------------|
| | CO ₂ | CO | C _x H _y | NO _x | SO ₂ | Partículas |
| Fornecimento de matéria-prima | 716 | 2,27 | 1,16 | 9,07 | 0,23 | 0,50 |
| Produção de <i>Pellets</i> (por aparas de madeira) | 1 287 | 1,23 | 5,33 | 1,23 | 1,42 | 0,11 |
| Produção de <i>Pellets</i> (por serragem de madeira) | 2 751 | 18,94 | 13,01 | 35,47 | 6,06 | 6,98 |
| Transportação dos <i>Pellets</i> (média de 50 km entre o transporte da matéria-prima e dos <i>pellets</i>) | 321 | 1,01 | 0,52 | 4,06 | 0,10 | 0,22 |
| Fornecimento de <i>Pellets</i> (feito de aparas de madeira) | 2 324 | 4,51 | 7,01 | 14,36 | 1,74 | 0,84 |
| Fornecimento de <i>Pellets</i> (feito de serragem de madeira) | 3 787 | 22,22 | 14,69 | 48,60 | 6,39 | 7,70 |

(Fonte: Adaptado de Oberberger, 2010, p.307)

Um estudo realizado pelo Departamento de Comércio e Indústria do Reino Unido (*Department for Trade and Industry*) sobre o ciclo de vida do dióxido de carbono de diferentes combustíveis concluiu que para cada megawatt-hora (MWh) de energia

utilizada os *pellets* emitem menos 5% do que o petróleo, e que, quando comparados com o gás natural, os *pellets* de madeira emitem apenas 5,5% do total das emissões de dióxido de carbono produzidas pelo gás natural. (Jenkins, 2010, p.7)

Outro estudo sobre esta matéria, realizado pelo Instituto de Urbanização e Habitação de Salzburger (*Salzburger Institute for Urbanization and Housing*), na Áustria, afirma que se uma família austríaca em vez de utilizar petróleo (ou produtos petrolíferos) para aquecimento da habitação, utilizasse um sistema de aquecimento por *pellets*, reduziria as emissões de dióxido de carbono até 10 toneladas por ano. Como se observa na Tabela 13, a seguir, comparando as emissões de CO₂ dos diferentes combustíveis para fins de aquecimento, os *pellets* apresentam, de um modo geral, valores mais reduzidos, apresentando-se como o combustível ambientalmente mais vantajoso dentre os vários combustíveis. (Jenkins, 2010, p.7)

Tabela 13 – Comparação das emissões de CO₂ entre os diferentes combustíveis

| | Emissões diretas de CO ₂ por combustão (kg/MWh) | Emissões aproximadas de CO ₂ no Ciclo de Vida (incluindo a produção) (Kg/MWh) | Emissões anuais de CO ₂ (kg) para aquecimento de uma casa típica (20 000 kWh/ano) |
|--|--|--|--|
| Hulha | 345 | 484 | 9 680 |
| Petróleo | 264 | 350 | 7 000 |
| Gás Natural | 185 | 270 | 5 400 |
| Gás Liquefeito de Petróleo (GPL) | 217 | 323 | 6 460 |
| Eletricidade (Rede do Reino Unido) | 460 | 500 | 10 000 |
| <i>Pellets</i> de madeira (10% de teor de humidade) | 349 | 15 | 300 |

(Fonte: Adaptado de Jenkins, 2010, p.7)

X.3.4 Desvantagem da biomassa

A desvantagem da aplicação de uma caldeira ou de um recuperador de calor em relação aos aquecedores elétricos e aos aquecedores de garrafas de gás reside na exigência de haver uma conduta externa, mesmo tratando-se de uma caldeira a pequena escala. Há, ainda, a apontar a desvantagem do limite físico na produção dos *pellets*, pois depende da disponibilidade da matéria-prima no local. (Jenkins, 2010, p.9)

X.3.5 *Vantagens da Biomassa em relação a outras fontes de energia em termos de custos*

A Tabela 14 faz a comparação, em termos de custos, do fornecimento de calor através dos coletores solares térmicos, da biomassa e do gás natural com o aquecimento por resistência elétrica, nos Estados Unidos. Na elaboração da tabela foi considerado um fator de capacidade anual de 0,25, financiado a 5% de juros durante um período de 20 anos. (Harvey, 2010, p.479)

Como se observa na Tabela 14, para aquecimento, o combustível de biomassa (como por exemplo, granulados de madeira) é mais barato do que o combustível fóssil (gás natural), tendo a biomassa, nos Estados Unidos, um custo de 3 a 6 dólares por Giga Joule. (Harvey, 2010, p.479)

Quanto aos coletores solares, o combustível (o sol) é gratuito mas o investimento inicial é o mais elevado de todos (Harvey, 2010, p.479).

Relativamente ao sistema de aquecimento por energia elétrica a 0,10 dólares por kWh, o custo de aquecimento é o mais caro de todos, sendo, por isso, o menos atrativo (Harvey, 2010, p.479).

Tabela 14 - Características de diferentes sistemas de aquecimento para edifícios e comparação entre eles

| | Custo de Equipamento (\$/kW) | Custo de Combustível (\$/GJ) | Eficiência | Fator de Capacidade | Custo de aquecimento (\$/GJ) |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------|---------------------|------------------------------|
| Solar DHW | 1000 | 0 | 0,6 | 0,25 | 10,2 |
| | 1500 | 0 | 0,4 | 0,25 | 15,3 |
| Biomassa | 75 | 3 | 0,9 | 0,25 | 3,8 |
| | 150 | 6 | 0,95 | 0,25 | 7,5 |
| Gás Natural | 50 | 6 | 0,9 | 0,25 | 6,5 |
| | 150 | 18 | 0,95 | 0,25 | 19,5 |
| Eletricidade a 0,10 \$/kWh | 50 | 28 | 1 | 0,25 | 28,3 |

(Fonte: Adaptado de Harvey, 2010, p.479)

Um dos parâmetros mais importantes nos gases de efeito de estufa é o dióxido de carbono. Assim, comparando as emissões de uma caldeira de petróleo com as de uma caldeira de *pellets* (de serragens), verifica-se uma redução nas emissões de CO₂ com uma extensão de cerca de 78000 mg/MJ_{NCV}. Caso um sistema de aquecimento a gás

natural seja substituído por uma caldeira a *pellets*, a redução nas emissões de CO₂ seria de 54000 mg/MJ_{NCV} (Harvey, 2010, p.331).

Os sistemas de aquecimento a biomassa, no que diz respeito ao monóxido de carbono (CO) e às partículas, e face às energias fósseis, apresentam desvantagens ao nível das emissões para a atmosfera (Tabela 15). No entanto, essas desvantagens poderiam ser compensadas através dos recentes desenvolvimentos tecnológicos. No Relatório do Inventário Nacional da Áustria (*National Inventory Report of Austria*) as emissões de monóxido de carbono e de partículas são supervalorizadas, incentivando-se a aplicação de tecnologias que tenham em consideração as emissões destes dois poluentes (Harvey, 2010, p.332)

Tabela 15 - Fatores de emissão de diferentes sistemas de aquecimento (baseado em medições de campo)

| Fator de Emissão [mg/MJ _{FE}] | | | | | | |
|---|-----------------|-------|-----|-----|-----------------|------------|
| Sistema de Aquecimento | CO ₂ | CO | XHY | NOX | SO ₂ | Partículas |
| Pellets | 0 | 102 | 8 | 100 | 11 | 24 |
| Petróleo para aquecimento | 75 000 | 18 | 6 | 39 | 45 | 2 |
| Gás Natural | 55 000 | 19 | 6 | 15 | 0 | 0 |
| Aparas de madeira (antigo sistema até 1998) | 0 | 1 720 | 88 | 183 | 11 | 54 |
| Aparas de Madeira (novo sistema de a partir 2000) | 0 | 717 | 18 | 132 | 11 | 35 |
| BM-DH | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Valor limite | - | 500 | 40 | 150 | - | 60 |

(Fonte: Adaptado de Obernberger, 2010, p.309)

X.3.6 Impacto dos Pellets em Portugal

Em Portugal, a produção anual de *pellets* é de 100 000 toneladas, tendo apresentado um consumo de 10000 toneladas em 2008, ou seja, 90 000 toneladas de *pellets* foram exportadas em 2008, sendo o principal comprador o norte da Europa. A produção de *pellets* tende a crescer, em Portugal, cerca de 400 mil toneladas por ano, com seis instalações em operação, aguardando-se a construção de novas instalações. O consumo doméstico de *pellets* em Portugal destina-se essencialmente à alimentação dos recuperadores de calor e das caldeiras nos sistemas de aquecimento residencial (Obernberger, 2010, p.371). Noutros países, como é o caso da Suécia, foram consumidas 1.670.000 toneladas de *pellets* em 2006, sendo 60% usadas em grandes centrais (Jenkins, 2010, p.9).

XI Caso Prático – Edifício Solar XXI

XI.1 Clima da cidade de Lisboa

A cidade de Lisboa, tal como todo o território de Portugal, apresenta um clima mediterrâneo com uma temperatura média de 17°C e ventos predominantes vindos do norte e noroeste.

Cada concelho de Portugal tem a sua própria zona climática (Figura 46). Segundo o Quadro III.1 do anexo III do RCCTE (Decreto-Lei já revogado pelo Decreto-Lei 118/2013), Lisboa localiza-se na zona climática de Inverno II e de Verão V2, tendo uma duração de aquecimento de 5,3 meses, 1190 graus-dias, uma temperatura exterior de 32°C de Verão e uma amplitude térmica³¹ de 11°C (Tabela 16). (Andrade, 2009, p.159)

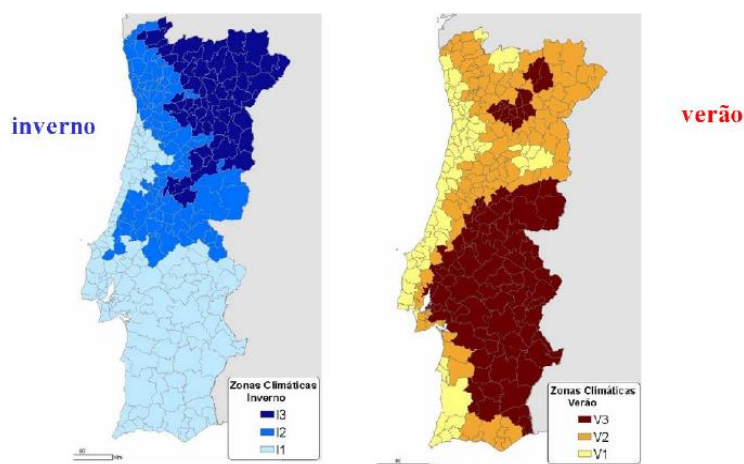


Figura 46 - Identificação das zonas climáticas de Verão e Inverno em Portugal Continental

(Fonte: Ferreira, 2011, p. 17)

Tabela 16 – Zonas climáticas e dados climáticos de referência para o concelho de Lisboa

| Concelho | Zona climática de Inverno | Número de graus-dias (GD) (°C dias) | Duração da estação de aquecimento (meses) | Zona climática de Verão | Temperatura externa do projeto (°C) | Amplitude térmica (°C) |
|----------|---------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| Lisboa | II | 1190 | 5,3 | V2 | 32 | 11 |

(Fonte: Adaptado do Quadro III.1 do Anexo III do RCCTE (já revogado))

³¹ Amplitude térmica diária (Verão) – “é o valor médio das diferenças registadas entre as temperaturas máxima e mínima diárias no mês mais quente.” (alínea b) do Anexo II do RCCTE (já revogado))

Em termos de localização, Lisboa encontra-se a uma latitude de $38^{\circ} 43''$ e uma longitude de $9^{\circ} 9''$, a uma distância de aproximadamente 30 km do oceano Atlântico e a 15 km do estuário do Tejo (Andrade, 2009, p.159).

A orientação solar de um edifício para sul é ideal para aproveitamento dos ganhos solares de Inverno e controlar o aquecimento do ar interior de Verão. A trajetória solar varia consoante os dias do ano e a latitude onde se encontra o edifício. Sabendo que de Inverno o sol apresenta um ângulo de incidência mais baixo e de Verão mais elevado (Figura 47), a variação da trajetória solar deve ser aproveitada para benefício do edifício através de medidas ativas e passiva, já que Portugal é um dos países da Europa com mais horas de luz solar (Andrade, 2009, p.159).

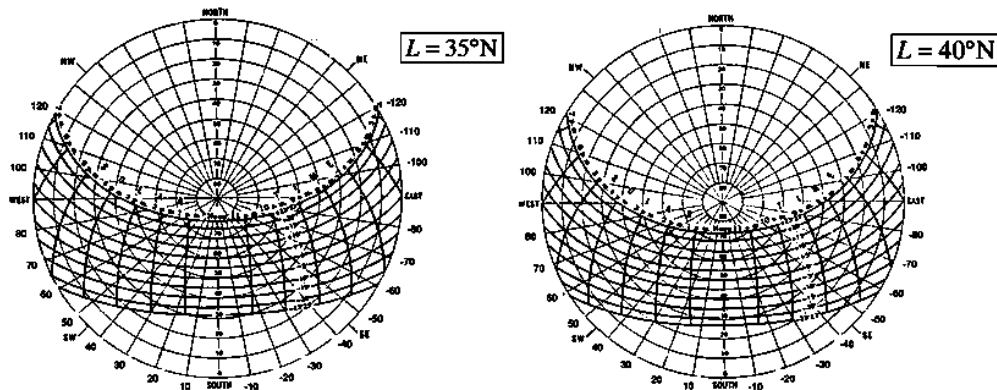


Figura 47 - Diagramas da trajetória solar para a Latitude de 35° e 40°

(Fonte: Falcão, 2008, p. 9 e 10)

XI.2 Descrição geral do edifício Solar XXI

O edifício solar XXI (Figura 48) foi construído em 2005, está localizado no campus do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), na cidade de Lisboa (Portugal), sendo constituído por R/C + 1 e cave, e tendo uma área de 1500 m^2 (Tabela 17). (Gonçalves, 2005, p.4).

O edifício foi construído como um projeto de demonstração, e é considerado um edifício muito eficiente, usando sistemas passivos para arrefecimento e aquecimento e sistemas ativos através da energia solar, ganhando mais destaque com a publicação da nova Diretiva 2010/31/UE. Foi concebido para serviços, contendo salas de ocupação permanente na zona orientada a sul, com o objetivo de obter ganhos de calor do sol

durante o Inverno, e laboratórios localizados na zona norte e salas de trabalho, onde a ocupação é menos permanente (Gonçalves, 2005, p.4).



Figura 48 – Edifício Solar XXI

(Fonte: Gonçalves 2005, p.4)

Na zona central do edifício existem corredores para acesso às diferentes divisórias, onde está, também, uma clarabóia que ilumina, com a luz natural, o 1º piso, o R/C e a cave, servindo também para ventilação do edifício devido à presença de vãos disponíveis para abrir (Gonçalves, 2005, p.5).

Tabela 17 – Valores das diferentes áreas do Edifício Solar XXI

| Descrição | Valor (m ²) |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Área Bruta Total | 1500 |
| Área útil de Pavimento | 1434,1 |
| Área da Parcela | 1682 |
| Área de Implementação | 570 |
| Área de Superfície Impermeabilizada | 833,04 |
| Área Ajardinada | 372,18 |
| Área Total de Intervenção | 991,12 |
| Área Destinada a Plantas Autóctones | 300 |
| Área com Refletância superior a 60% | 437,95 |
| Área de Arrumamentos | 249 |
| Área de Arranjos Exteriores | 74,04 |

(Fonte: Andrade, 2009, p.123)

XI.3 Materiais de Construção da Envoltura do Edifício Solar XXI e respetivos coeficientes de transmissão térmica

XI.3.1 Paredes exteriores

As paredes exteriores do Edifício Solar XXI são paredes simples, constituídas por alvenaria de tijolo de vinte e dois centímetros de espessura e isolamento térmico em poliestireno expandido com seis centímetros de espessura (Figura 49). (Gonçalves, 2005, p.4)



Figura 49 – Paredes exteriores da fachada sul do Edifício Solar XXI ainda em construção
(Fonte: Gonçalves 2005, p.4)

XI.3.2 Laje de cobertura e pavimento R/C

A laje de cobertura é uma laje maciça de betão armado, com isolamento pelo exterior em poliestireno expandido (5 cm de espessura) e poliestireno extrudido (5 cm de espessura) (Figura 50). O pavimento do rés-do-chão (pavimento em contacto com o solo) está também isolado com poliestireno expandido (Gonçalves, 2005, p.4).



Figura 50 - Aplicação do isolamento exterior na cobertura do Edifício Solar XXI
(Fonte: Gonçalves, 2005, p.5)

XI.3.3 Vãos de envidraçado

Os vãos de envidraçado do edifício são constituídos por vidro duplo incolor e protegidos por estores exteriores de lâminas reguláveis ($F_s = 0,09$ (fator solar)), sendo os vãos de envidraçado da fachada sul (figura 51 e 53) muito maiores que os vãos das outras fachadas (figura 52), o que permite obter maiores ganhos solares (Gonçalves, 2005, p.5). Os coeficientes de transmissão térmica da envolvente variam consoante a componente do edifício, como se verifica na tabela 18.



Figura 51 – Fachada sul do Edifício Solar XXI
(Fonte: Gonçalves, 2005, p.4)



Figura 52 - Fachada este do Edifício Solar XXI
(Fonte: Gonçalves, 2005, p.4)

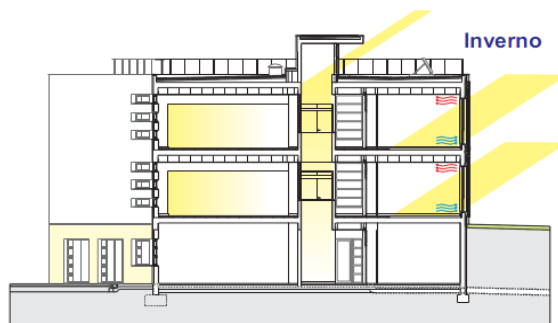


Figura 53 - Ganhos solares dos vãos de envidraçados no Inverno
(Fonte: Gonçalves, 2005, p.11)

Tabela 18 - Valores de Coeficiente de transmissão térmica da envolvente do edifício

| Componentes do edifício | Material | Valor de U (W/m ² K) |
|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Paredes exteriores | Tijolos + ETICS (6 cm) | 0,45 |
| Telhado | Betão com isolamento externo (10 cm) | 0,26 |
| Pontes térmicas | Betão com isolamento externo (6 cm) | 0,55 |
| Janelas | Vidro duplo transparente | 3,50 |
| Envolvente (Média) | | 0,88 |

(Fonte: Adaptado de Gonçalves, 2012, p.36)

XI.4 Cumprimento da Regulamentação Térmica de Edifícios em Portugal

O edifício solar térmico foi projetado e construído de modo a cumprir o RCCTE e o RSECE (que, à data, não tinha ainda entrado em vigor), de modo a obter condições de conforto térmico satisfatórias todo o ano, tendo em consideração o clima da cidade de Lisboa. Assim, foram integrados no projeto deste edifício dois objetivos que determinaram o comportamento térmico do edifício, sendo esses objetivos a otimização da qualidade da envolvente e a maximização dos ganhos solares (Gonçalves, 2005, p.4).

Os valores relativos às necessidades de aquecimento (N_{ic}) e às necessidades de arrefecimento (N_{vc}) do edifício cumprem o RCCTE, uma vez que os valores calculados são menores que o valor das Necessidades de Aquecimento de Referência (N_i) e o valor das Necessidades de Arrefecimento de Referência (N_v), conforme se demonstra a seguir (Gonçalves, 2005, p.4):

- $N_{ic} = 6,6 < N_i = 51,5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$;
- $N_{vc} = 24,8 < N_v = 32,0 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

XI.5 Medidas Passivas

XI.5.1 Aplicação de Elevado Isolamento Térmico pelo Exterior

A otimização do isolamento térmico do Edifício Solar XXI, obtida pela aplicação do isolamento pelo exterior, evitando a existência de pontes térmicas, permite reduzir as perdas térmicas para o exterior durante a estação de arrefecimento (Inverno) e conservar o calor interior dada a elevada inércia térmica. Relativamente à estação de aquecimento (Verão), o isolamento otimizado evita a entrada do calor exterior para o interior do edifício. (Gonçalves, 2005, p.5)

XI.5.2 Ganhos solares dos vãos de envidraçados a sul do edifício

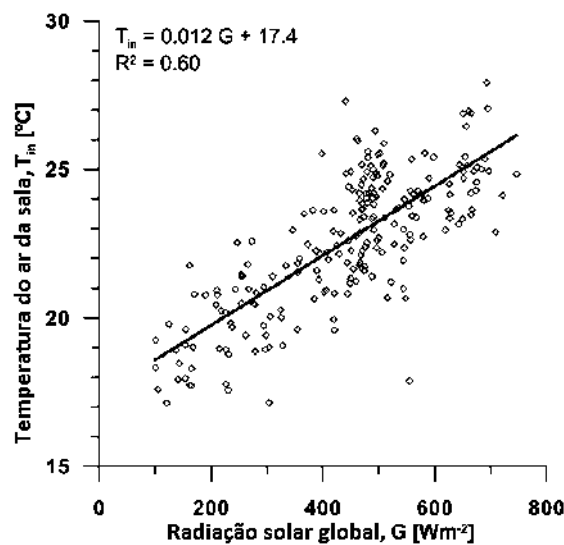
O facto de os estores dos vãos envidraçados a sul do edifício serem reguláveis e orientáveis permite aos utilizadores o controlo da entrada da luz solar nas salas de trabalho. Devido a estarem colocados no exterior, a eficiência dos estores é ainda maior durante o Verão, pois, caso estivessem no interior libertariam para dentro do edifício o calor proveniente da radiação solar incidente. (Gonçalves, 2005, p.5)

XI.54.2.1 Ganhos solares de Inverno pelas janelas a sul

Um estudo relativo aos ganhos solares dos vãos de envidraçado da fachada sul, publicado no artigo “*Solar XXI building: Proof of concept or a concept to be proved?*”, da autoria de Panão e Gonçalves (2011, p.6), e que foi realizado entre 2007 e 2009, nos meses de Inverno, de dezembro a fevereiro, mostra que a temperatura do ar interior das salas tem melhor correlação linear com a radiação solar global (Gráfico 18) do que com a temperatura do ar exterior (Gráfico 19). Esta correlação demonstra que os ganhos solares, devido às janelas das salas, levam ao aumento da temperatura do ar interior em aproximadamente 1,2°C por cada 100 W/m² de radiação solar global. Logo, para um dia de Inverno com céu limpo na cidade de Lisboa e com uma radiação máxima de 600 W/m², a temperatura interior das salas poderia, teoricamente, atingir os 25°C, aproximadamente, de acordo com a seguinte fórmula de correlação (Gráfico 18):

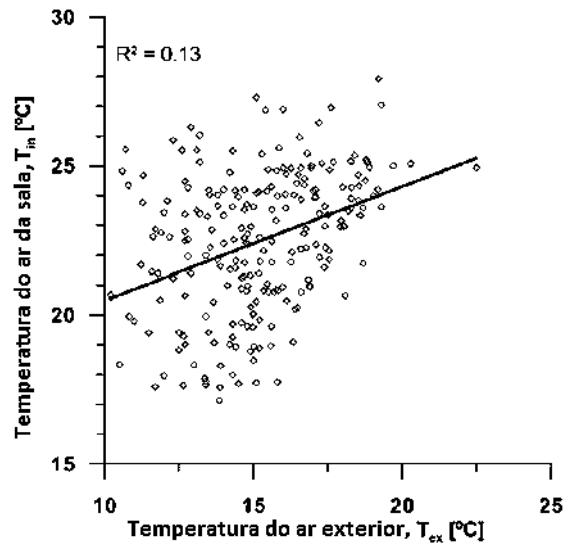
$$T_{in} = 0,012G + 17,4$$

Gráfico 18 - Correlação entre a temperatura do ar da sala e a radiação solar global durante os anos 2007 a 2009, nos meses de Inverno (dezembro a fevereiro)



(Fonte: Adaptado de Panão, 2011, *Solar XXI building: Proof of concept or a concept to be proved?*, p.6)

Gráfico 19 - Correlação entre a temperatura do ar da sala e a temperatura do ar exterior durante os anos 2007 a 2009, nos meses de Inverno (dezembro a fevereiro)



(Fonte: Adaptado de Panão, 2011, *Solar XXI building: Proof of concept or a concept to be proved?*, p.6)

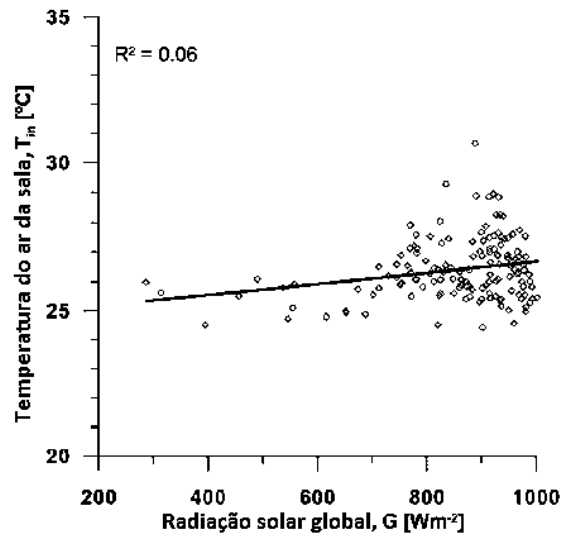
XI.5.2.2 Neutralização da radiação solar no Verão

Ao contrário do que acontece nos meses de Inverno, nos anos de 2007 e 2008, durante os meses de Verão, ou seja de julho a setembro, a temperatura do ar interior das salas tem melhor correlação linear com a temperatura do ar exterior (Gráfico 21) do que com a radiação solar global (Gráfico 20), sendo a fórmula de correlação:

$$T_{\max, \text{in}} = 0,24T_{\max, \text{ex}} + 19,8$$

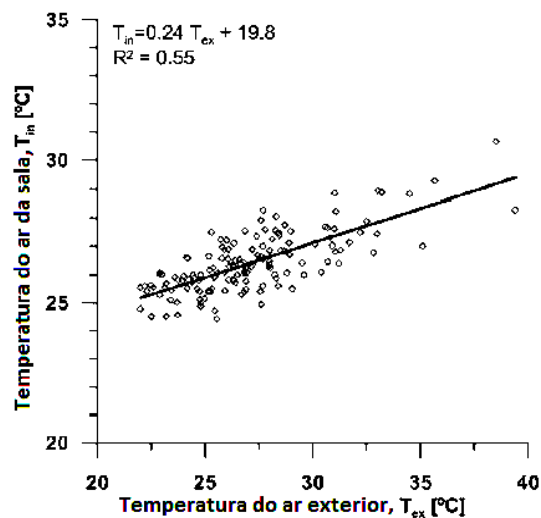
Esta correlação deve-se aos ganhos solares, à transmissão de calor e à infiltração do ar exterior, pondo em evidência que os mecanismos de proteção das janelas orientadas a sul são eficientes na neutralização da radiação solar (Panão, 2011, p.6).

Gráfico 20 - Correlação entre a temperatura do ar da sala e a radiação solar global em 2007 e 2008, durante os meses de julho a setembro



(Fonte: Adaptado de Panão, 2011, *Solar XXI building: Proof of concept or a concept to be proved?*, p.6)

Gráfico 21 - Correlação entre a temperatura do ar da sala e a temperatura do ar exterior em 2007 e 2008, durante os meses de julho a setembro



(Fonte: Adaptado de Panão, 2011, *Solar XXI building: Proof of concept or a concept to be proved?*, p.6)

XI.5.3 Sistema de arrefecimento pelo solo

O Edifício Solar XXI apresenta uma estrutura de arrefecimento passivo que injeta ar natural do exterior para o interior do edifício durante o Verão, através de um sistema de

tubos soterrados no solo e de “courettes” que atravessam os três pisos (cave e R/C + 1) (Figura 54). (Gonçalves, 2005, p.6)

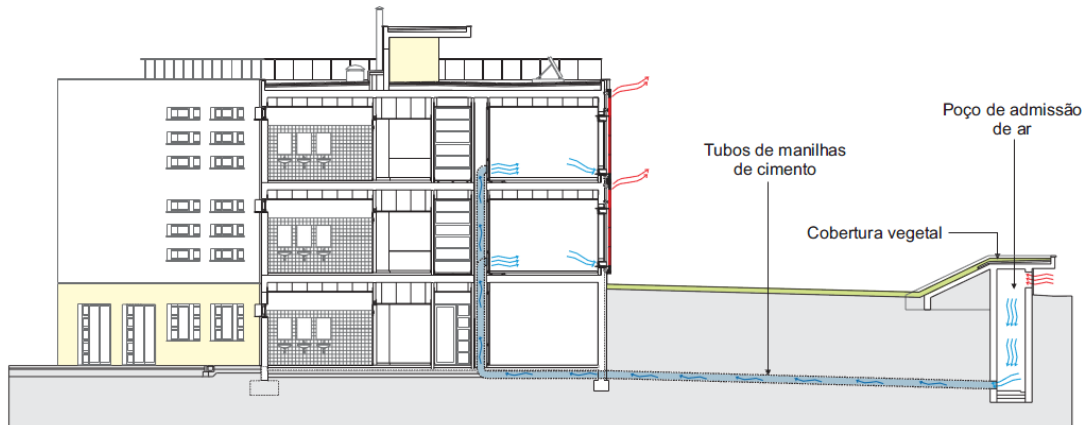


Figura 54 - Demonstração em corte do sistema de arrefecimento do ar pelo solo

(Fonte: Gonçalves, 2005, p.6)

XI.5.3.1 Sistema de Arrefecimento pelo solo no Verão

O conceito de sistema de arrefecimento pelo solo resume-se a aproveitar o facto de, durante o período de Verão, a terra ter uma temperatura entre 16 a 18°C, ao contrário da temperatura do ar, que, em Lisboa, pode atingir os 35°C. Assim, o objetivo deste sistema consiste em utilizar a temperatura baixa do solo para arrefecer o ar introduzido no edifício (Gonçalves, 2005, p.6).

XI.5.3.2 Constituição do sistema e processo de arrefecimento

A entrada de ar neste sistema de arrefecimento realiza-se através de um poço de alimentação em betão armado, distanciado do edifício 15 metros (Figura 55). A 4,6 metros de profundidade, estão ligados ao poço 32 tubos de manilhas de cimento de 30 centímetros de diâmetro (Figura 56). Estes tubos, soterrados a 4,6 metros de profundidade, vão ligar o poço ao edifício, onde o ar circula para o interior do edifício e é arrefecido através da transferência de calor do ar para a terra (Figura 57). Na zona de entrada de cada tubo para o edifício, é utilizada tubagem em PVC de forma a impedir a transferência de calor (Figura 58). Cada conjunto de quatro tubos, em tubagem metálica do tipo “spiro”, é direcionado para uma das oito “courettes”, sendo colocados na vertical (Figura 59).

O ar é distribuído diretamente nas salas do piso 1 e do piso 2 (a zona do R/C, na fachada sul, onde se dá a entrada dos tubos no edifício, está enterrada), cada sala recebendo ar

de dois dos quatro tubos da “courette”, indo dois para cada piso). A ligação dos tubos a cada sala é feita através de uma saída de ventilação cuja abertura é regulável pelos utilizadores da sala (Figura 60). O sistema torna-se mais eficiente se for aberta a entrada de ar a meio da tarde, devido ao aumento da temperatura interior do edifício. Contudo, os utilizadores do edifício devem adotar estratégias de ventilação de dia e de noite, já que o sistema de arrefecimento pelo solo é um sistema complementar à estratégia de ventilação do edifício (Gonçalves, 2005, p. 6 e 7).



Figura 55 - Entrada de ar do sistema de arrefecimento do ar pelo solo
(Fonte: Gonçalves, 2005, p.7)



Figura 56 – Colocação dos 32 tubos para o sistema de arrefecimento de ar pelo solo
(Fonte: Gonçalves, 2005, p.6)

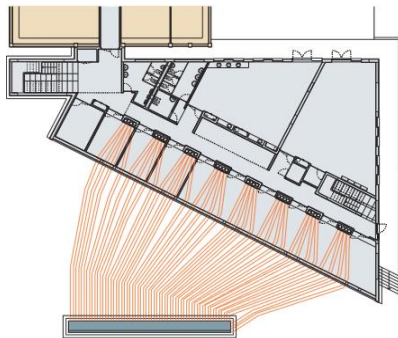


Figura 57 - Ligação dos 32 tubos do poço de tomada de ar às “courettes” do edifício
(Fonte: Gonçalves, 2005, p.7)



Figura 58 - Tubos em PVC do sistema de arrefecimento do ar pelo solo (ainda em fase de construção)
(Fonte: Gonçalves, 2005, p.6)



Figura 59 – Colocação das tubagens metálicas do tipo “spiro” nas “courettes” do Edifício Solar XXI
(Fonte: Gonçalves, 2005, p.6)

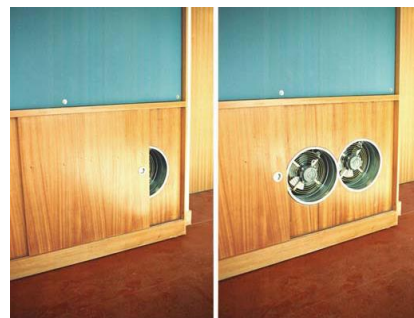


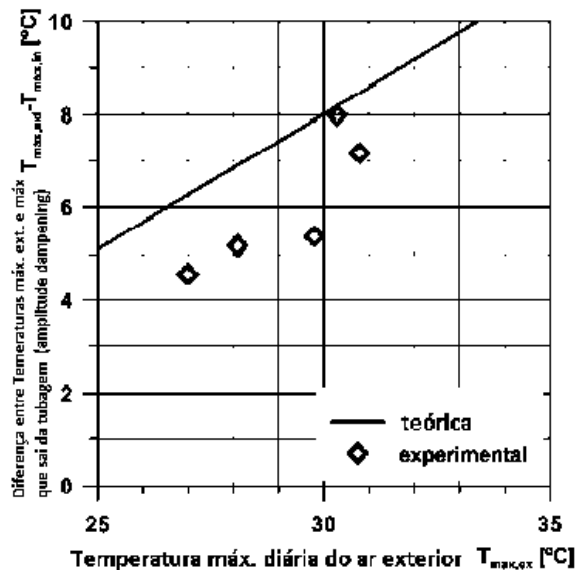
Figura 60 – Saída de ar do sistema de arrefecimento do ar pelo solo para o interior de uma sala do Edifício Solar XXI
(Fonte: Gonçalves, 2005, p.7)

XI.5.3.3 Temperatura de arrefecimento teórica e dimensionamento do sistema

Segundo o estudo publicado no artigo “*Solar XXI building: Proof of concept or a concept to be proved?*”, de Panão e Gonçalves (2011, p.6), relativo ao sistema de arrefecimento pelo solo do Edifício Solar XXI, no período de Verão, ou seja nos meses de junho a setembro, sabendo as características do solo, da tubagem, a taxa de fluxo do ar e os parâmetros térmicos das salas, bem como, tendo em consideração o clima da cidade de Lisboa, a fórmula teórica que determina a temperatura máxima que sai da tubagem para o interior da sala ($T_{max,in}$) obtém-se a partir da temperatura máxima do ar exterior ($T_{max,ex}$):

$T_{max,ex} - T_{max,in} = 0,6T_{max,ex} - 9,5$ (fórmula aproximada) obtendo-se os resultados teóricos constantes no Gráfico 22.

Gráfico 22 - Valores teóricos e práticos da diferença entre a temperatura máxima exterior e a temperatura máxima que sai da tubagem ($T_{max,ex} - T_{max,in}$), sabendo a temperatura máxima do ar exterior ($T_{max,ex}$)



(Fonte: Adaptado de Panão, 2011, *Solar XXI building: Proof of concept or a concept to be proved?*, p.7)

Para se conseguir obter a fórmula anterior relativa ao sistema de arrefecimento pelo solo é necessário calcular a necessidade de arrefecimento do ar interior, a transferência de calor por ventilação e as trocas de calor do ar para o solo (*Ground-Heat Exchanger*, ou GHE) através das fórmulas expressas na tabela 19 (Panão, 2011, p.1 e 2). O RCCTE não contém recomendações específicas relativamente à aplicação de medidas passivas para arrefecimento do ar (de que é exemplo o arrefecimento do ar através da baixa

temperatura da terra), penalizando assim o edifício, pois requer maior consumo energético para satisfazer as necessidades de arrefecimento. Os documentos de referência aplicáveis ao cálculo da necessidade de arrefecimento e ao cálculo das trocas de calor entre o ar e a terra são, respetivamente, a norma europeia ISO 13790 e a norma europeia ISO 15241. Esta última defende o recurso, nos edifícios de comércio, ao pré-aquecimento do ar em vez do arrefecimento do ar (Tabela 19). (Panão, 2011, p.1)

Tabela 19 – Cálculos necessários para o dimensionamento do sistema de arrefecimento pelo solo

| Cálculo | Descrição | Fórmulas |
|---|---|--|
| Cálculo da necessidade de arrefecimento do ar interior (1) | Fórmula adotada pelo RCCTE para o cálculo das necessidades de arrefecimento - $Q_{C,nd}$ | $Q_{C,nd} = (1 - \eta_{C,gn}) Q_{C,gn}$ |
| | $\eta_{C,gn}$ - “Fator de ganhos de utilização” a_C – constante que depende da inércia do edifício | $\eta_{C,gn} = \frac{(1 - \gamma_C^{a_C})}{(1 - \gamma_C^{a_C+1})}$; |
| | γ_C - Relação entre a fonte de energia e a transferência de calor | $\gamma_C = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}}$, $\gamma_C > 0$; |
| Cálculo da transferência de calor por ventilação | H_{ve} - coeficiente de transferência de calor por ventilação $\rho_a c_a$ – capacidade de calor do ar por volume | $H_{ve} = \rho_a c_a \sum_k (b_{ve,k} a_{ve,k})$ |
| | $b_{ve,k}$ - fator de regulação da temperatura do ar $\Theta_{int,set}$ – temperatura do ar interior da sala Θ_{ghe} – temperatura fornecida do ar ao solo Θ_{ext} – temperatura ar exterior | $b_{ve} = \frac{\Theta_{int,set} - \Theta_{ghe}}{\Theta_{int,set} - \Theta_{ext}}$ |
| Cálculo das trocas de calor do ar para o solo (Ground-Heat Exchanger (GHE)) (2) | $\Theta_{ext} - \Theta_{ghe}$ - diferença entre temperaturas máximas do ar exterior e a temperatura que sai da tubagem arrefecida pelo solo (Amplitude-dampening) | $\Theta_{ext} - \Theta_{ghe} = (1 - e^{-\zeta}) (\Theta_{ext} - \Theta_{grd})$ |
| | Θ_{grd} – temperatura do solo assumido como invariável | $\Theta_{grd} = g_{m} [\overline{\Theta_{ext}} - a_m \Delta \overline{\Theta_{ext}} \sin(2\pi \frac{J_H - \Phi_m}{8760})]$ |
| | ζ - relação entre a transmissão de calor do ar para a tubagem e o calor do fluxo de entrada por convecção | $\zeta = \frac{H_{tr}}{H_{cv}}$ |

- (1) Para calcular as necessidades de arrefecimento do ar interior é necessário saber primeiro obter uma estimativa numérica relativa às quantidades físicas de transferência de calor ($Q_{C,ht}$) e a fonte de calor ($Q_{C,gn}$), estando o método de cálculo descrito na Norma ISO 13790.
- (2) Para calcular o arrefecimento do ar em função da temperatura do solo e da temperatura exterior, deve ser aplicada a fórmula da diferença entre as temperaturas máximas do ar exterior e a temperatura que sai da tubagem arrefecida pelo solo (*Amplitude-dampening*)

(Fonte: Adaptado de Panão, 2011, p. 1 e 2)

XI.6 Sistema de parede de trombe

Na fachada sul do Edifício Solar XXI, os painéis fotovoltaicos estão distanciados da parede, criando uma caixa-de-ar, levando a que a fachada funcione de forma similar ao sistema de parede de trombe (Figura 61).



Figura 61 – Orifícios presentes em cada sala para funcionamento do sistema de ventilação
(Fonte: Gonçalves, 2005, p.9)

XI.6.1 Inverno

O sistema de parede de trombe permite fazer o aproveitamento térmico do calor que é produzido pelo sol nos meses de Inverno, que aquece o ar no interior da caixa-de-ar libertando-o, depois, para o interior do edifício. Esta circulação de ar é controlada pelo utilizador do edifício através da abertura dos dois orifícios presentes em cada sala (Figura 61), um na parte inferior e outro na parte superior. A circulação de ar faz-se por convecção (ou efeito chaminé³²), retirando o ar frio da sala pelo orifício inferior e deixando entrar o ar aquecido pelo orifício superior (Figura 62). Isto só é possível devido ao sistema dos dois orifícios permitir que a fachada não seja ventilada pelo ar exterior, no Inverno (Gonçalves, 2005, p. 8 e 9).

³²Efeito chaminé – “Fenómeno que consiste na movimentação vertical de uma massa gasosa localizada ou de fluxo de gases devido à diferença de temperatura ou pressão com o meio” (Cimm, 2012).

XI.6.2 Verão

Durante o Verão, é possível optar por dois tipos de circulação de ar: um consiste em manter os orifícios tapados, sendo a fachada ventilada pelo ar exterior, não se criando, por isso, estufa na caixa-de-ar (Figura 63); o outro tipo de circulação consiste em tapar o orifício superior, deixando o inferior aberto, de modo a que o ar quente no interior do edifício seja libertado para o exterior através da caixa-de-ar, criando o “efeito chaminé” (Figura 64). (Gonçalves, 2005, p. 8 e 9)

XI.6.3 Primavera/Outono

Nos meses da Primavera e do Outono, dá-se a entrada de ar novo e que é pré-aquecido em resultado do efeito de estufa na caixa-de-ar, do efeito de convecção e do sistema de aberturas controladas, como demonstra a Figura 65 (Gonçalves, 2005, p.9).

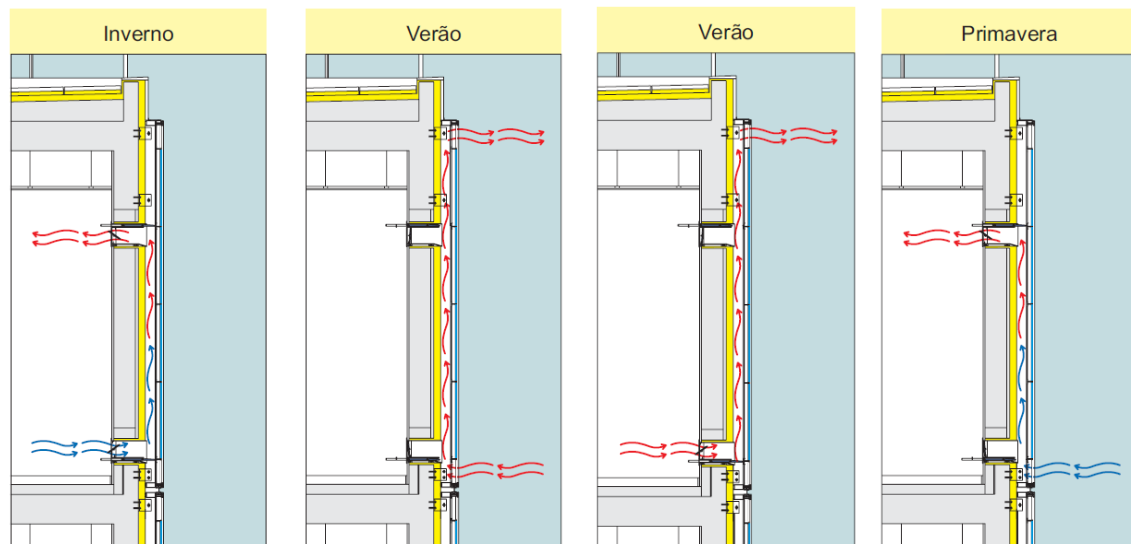


Figura 62 - Funcionamento da fachada sul como parede de trombe durante o Inverno

(Fonte: Gonçalves, 2005, p.7)

Figura 63 - Funcionamento da fachada sul como fachada ventilada durante o Verão

(Fonte: Gonçalves, 2005, p.7)

Figura 64 - Funcionamento da fachada sul como efeito chaminé durante o Verão

(Fonte: Gonçalves, 2005, p.7)

Figura 65 - Funcionamento da fachada sul como efeito chaminé durante a Primavera

(Fonte: Gonçalves, 2005, p.7)

XI.7 Estratégia de redução do consumo energético

XI.7.1 Ventilação Natural do Edifício

Para implantar a ventilação natural no edifício foi projetado um sistema prático que envolve todo o edifício de um modo transversal, de acordo com as amplitudes térmicas

do clima de Inverno e de Verão características do local, tendo em conta que a presença humana é mais acentuada no período diurno (Gonçalves, 2005, p.10).

A ventilação natural das salas, bem como do edifício, faz-se de modo ascendente, devido ao “efeito de chaminé” (Figura 67), abrangendo três zonas do edifício: a caixa de escadas principal, localizada a oeste do edifício; a abertura zenital a meio do edifício, que atravessa todos os pisos; e a caixa de escadas a este, sendo que:

- A caixa de escadas principal do edifício (Figura 66) apresenta aberturas na parte inferior e superior, gerando o “efeito chaminé”;
- A abertura zenital situa-se no topo de uma clarabóia com aberturas monitorizadas (Figura 68), o que, em conjugação com as “bandas superiores de lâminas reguláveis” nas portas e nas janelas das salas e dos laboratórios ao redor da abertura zenital, permite a ventilação regulada destas divisões, igualmente através do “efeito de chaminé”;
- Na caixa de escadas a este constata-se o mesmo efeito devido à presença de uma clarabóia de desenfumagem (Gonçalves, 2005, p.10).

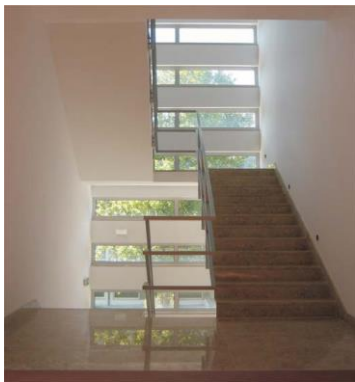


Figura 66 – Caixa de escadas principal (a oeste do Edifício Solar XXI)

(Fonte: Gonçalves, 2005, p.11)

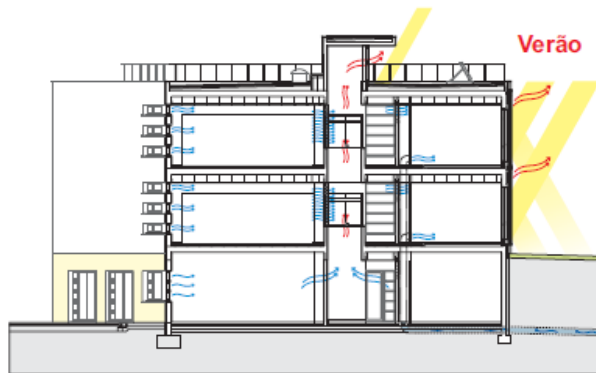


Figura 67 - Funcionamento da ventilação natural do Edifício Solar XXI durante o Verão

(Fonte: Gonçalves, 2005, p.11)

XI.7.2 Iluminação Natural

O Edifício Solar XXI foi projetado de modo a obter um excelente nível de iluminação natural, não só através da grande área de envidraçado presente na fachada sul, mas também por meio da abertura zenital com as “bandas superiores de lâminas reguláveis”

de vidro nas portas (Figura 66) e das janelas das salas e dos laboratórios (Figura 67) ao redor da abertura, entrando a iluminação para estas divisórias. As salas a nordeste apresentam um elemento refletor na parede com o objetivo de refletir a luz recebida e melhorar a iluminação natural da sala (Gonçalves, 2005, p.11).



Figura 68 - Zona Zenital e “bandas superiores de lâminas reguláveis” de vidro nas portas das salas
(Fonte: Gonçalves, 2005, p.10)



Figura 69 – “bandas superiores de lâminas reguláveis” de vidro nas janelas dos laboratórios
(Fonte: Gonçalves, 2005, p.10)

XI.8 Medidas Ativas

XI.8.1 Painéis Fotovoltaicos

Nas zonas opacas da fachada sul estão instalados 100 m² de painéis fotovoltaicos de silício multicristalino, posicionados verticalmente, e com uma potência de aproximadamente 12 kWp. Em dois parques de estacionamento, nas coberturas dos estacionamentos para os automóveis estão, também, instalados painéis fotovoltaicos (Tabela 20). A presença desta medida ativa leva à produção anual de 20 MWh de energia elétrica, estando já este valor equacionado com as condições climáticas da cidade de Lisboa e a verticalidade dos painéis da fachada sul. O total anual da energia produzida corresponde a 70% da energia usada por todo o edifício, resultando num consumo energético de 36 kWh/m² por ano. Este valor demonstra que o Edifício Solar XXI tem uma eficiência energética elevada, pois corresponde a 1/10 do consumo energético de um edifício de serviços convencional, o qual apresenta, em média, um consumo energético de 400 kWh/m² por ano. (Gonçalves, 2005, p.8)

Tabela 20 – Sistemas de produção de energia do Edifício Solar XXI

| Sistemas de produção de energias renováveis | Local onde estão instalados | Área (m ²) | Potência energética em condições ideais específicas (kWp) | Produtividade (kWh/kW) |
|---|-----------------------------|------------------------|---|------------------------|
| 76 Painéis fotovoltaicos de silício multicristalinos | Fachada do Edifício | 96 | 12 | 1004 |
| 100 Painéis fotovoltaicos de silício amorfo | Parque de estacionamento 1 | 95 | 6 | 1401 |
| 150 Painéis fotovoltaicos CIS de película fina | Parque de estacionamento 2 | 110 | 12 | 1401 |
| Coletores concentradores parabólicos | Telhado do Edifício | 16 | 11 MWh, onde 5 MWh são usados | |

(Fonte: Adaptado de Gonçalves, 2012, p.39)

XI.8.2 Sistemas de Aquecimento Auxiliar

Para manter o conforto térmico em dias de Inverno mais rigorosos, e nas zonas interiores da parte norte do edifício, utilizam-se os coletores concentradores parabólicos apoiados por um sistema de aquecimento auxiliar, uma caldeira a gás natural (Gonçalves, 2005, p.9).

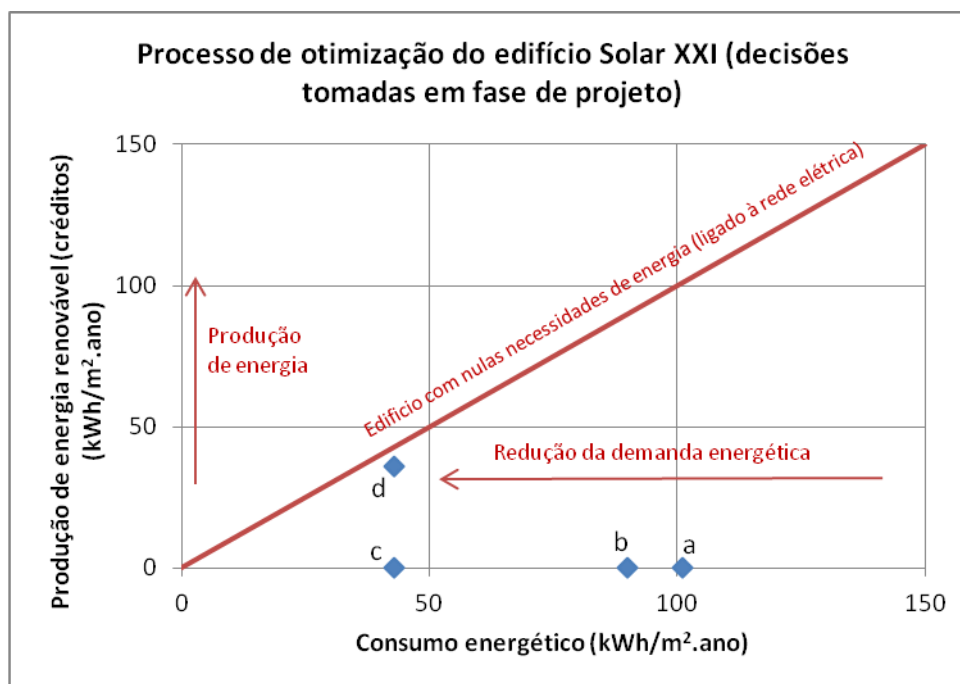
XI.9 Projeto para NZEB adaptado ao Edifício Solar XXI

É estimado que os consumos energéticos da energia primária para o Edifício Solar XXI se dividem segundo as seguintes percentagens (Panão, 2011, p.8):

- 65% - Equipamentos de escritório;
- 18% - Iluminação;
- 12% - Aquecimento através da caldeira a gás natural;
- 5% - Ventiladores e bombas.

O edifício foi projetado para ser um edifício com nulas ou quase nulas necessidades de energia proveniente da rede elétrica, o que se alcançou por meio de dois passos (descritos anteriormente no subcapítulo VIII.3), que são a diminuição da demanda energética do edifício e a aplicação de medidas de produção de energia, de modo a obter créditos suficientes para alcançar o equilíbrio ótimo. No gráfico 23 estão representados os vários pontos de situação do balanço energético, sendo a letra “a” o primeiro e a letra “d” o último (Gonçalves, 2012, p.35).

Gráfico 23 - Passos de otimização do edifício Solar XXI tomadas em fase de projeto



(Fonte: Adaptado de Gonçalves, 2012, p.40)

XI.9.1 Primeiro Passo – Redução da demanda energética

Se o Edifício Solar XXI fosse dimensionado como um edifício de serviços convencional em Portugal, o consumo energético seria de aproximadamente 101 kWh/m².ano (ponto “a” do Gráfico 23). Com a melhoria da envolvente do edifício, realizada neste caso através da aplicação do elevado isolamento térmico pelo exterior, o consumo do edifício seria menor em cerca de 90.kWh/m².ano, reduzindo a demanda energética (ponto “b” do Gráfico 23). Esta medida, em conjunto com as medidas passivas aplicadas no Edifício Solar XXI, mais as estratégias de redução do consumo energético, produz um consumo energético teórico de 43 kWh/m².ano (ponto “c” do Gráfico 23). (Gonçalves, 2012, p.39)

XI.9.2 Segundo Passo – Produção de energia

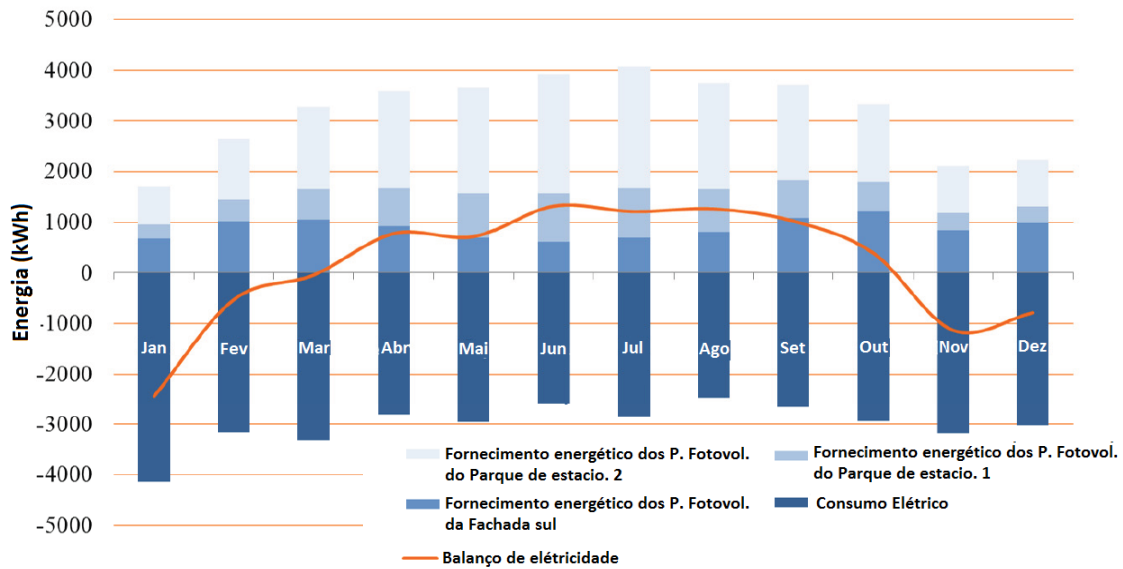
O consumo anual de energia é contrabalançado com a produção de energia pelos painéis fotovoltaicos instalados nos dois parques de estacionamento e na fachada sul do edifício e pelos coletores solares instalados no telhado do edifício, tendo uma produção de energia teórica de 35,85 kWh/m².ano (ponto “d” do Gráfico 23). (Gonçalves, 2012, p.39)

XI.9.3 Balanço energético

A análise do balanço energético mensal do Edifício Solar XXI elaborado ao longo do ano de 2011, conforme demonstra o Gráfico 24, revelou um consumo de energia de 36 MWh, sendo este valor compensado pela produção de energia elétrica de quase 38 MWh através dos painéis fotovoltaicos incorporados na fachada e nos dois parques de estacionamento. Conclui-se, então, que ao longo do ano de 2011 o Edifício Solar XXI produziu mais energia do que aquela que consumiu (Gonçalves, 2012, p.39).

XI.12

Gráfico 24 - Balanço energético por mês do Edifício Solar XXI referente ao ano de 2011



(Fonte: Adaptado de Gonçalves, 2012, p.39)

XII. Ciclo de Vida do Edifício Solar XXI

Como se verificou no capítulo anterior, é possível criar um edifício que responda à Diretiva 2010/31/UE. Contudo, a Diretiva não envolve todo o ciclo de vida do edifício, mas somente a fase de utilização. Neste capítulo será feita a análise de todo o ciclo de vida do edifício, onde se incluem as fases de produção de materiais/produtos, construção, utilização, demolição/desmontagem e reciclagem. Proceder-se-á, ainda, ao estudo/estimativa para uma vida útil de 25 anos e de 50 anos, avaliando a influência dos sistemas produtores de energia solar no ciclo de vida do edifício. O estudo incidirá nesta razão de anos dada a média de 25 anos de vida útil dos sistemas de produção de energia solar (segundo *SouthernEnergy Management* (s.a., p.3), 20 a 25 anos no caso dos coletores solares e, segundo *NREL* (2012, p.1), 30 anos no caso dos sistemas fotovoltaicos). Também, a análise do ciclo de vida seguinte, somente abordará o consumo de energia e as emissões de dióxido de carbono de cada fase do edifício.

XII.1 Fase de Produção de Materiais e Fase de Construção do Edifício Solar XXI

XII.1.1 Cálculo da energia incorporada dos Materiais do Edifício Solar XXI

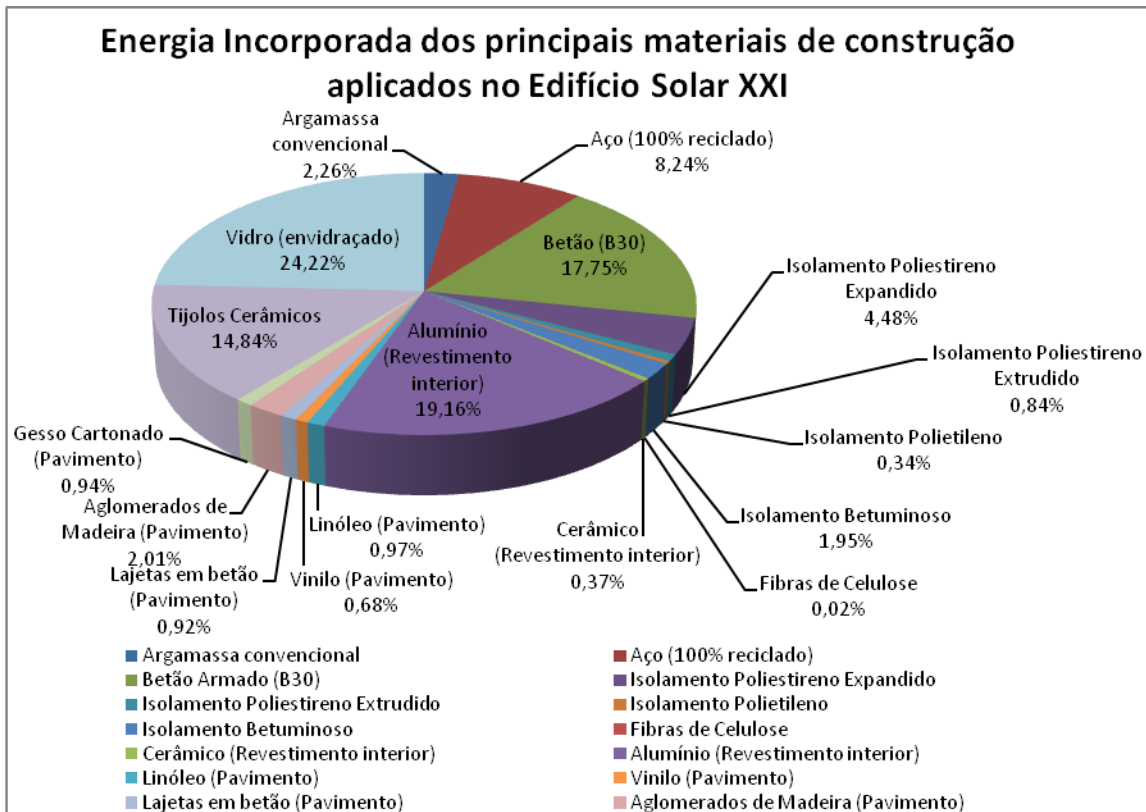
Segundo os coeficientes da energia incorporada indicados por Alcorn (2003), Andrade (2009, p.188), Graf e Tavares (2010), Greenspec (2013) e Torgal et al. (2011), e segundo as quantidades dos principais materiais aplicados para a construção do Edifício Solar XXI indicado por Andrade (2009), se se multiplicarem os coeficientes pelas quantidades, estima-se a energia incorporada dos diferentes materiais, sendo o total de todos os materiais 6 068,1908 GJ (Tabela 21 e Gráfico 25).

Tabela 21 - Quantidades e energia incorporada dos materiais de construção aplicados na construção do Edifício Solar XXI

| Materiais de Construção (Andrade, 2009) | Quantidades (toneladas) (Andrade, 2009) | Coefficientes da Energia Incorporada (MJ/kg) | Fontes dos coeficientes | Energia Incorporada (GJ) |
|--|--|---|--------------------------------|---------------------------------|
| Argamassa convencional | 65,18 | 2,10 | Graf e Tavares (2010) | 136,878 |
| Aço (100% reciclado) | 40,0 | 12,50 | Graf e Tavares (2010) | 500,000 |
| Betão (B30) | 897,78 | 1,2 | Alcorn (2003) | 1 077,336 |
| Isolamento Poliestireno Expandido | 3,07 | 88,60 | Greenspec (2013) | 272,002 |
| Isolamento Poliestireno Extrudido | 0,87 | 58,4 | Alcorn (2003) | 50,808 |
| Isolamento Polietileno | 0,22 | 95,00 | Graf e Tavares (2010) | 20,900 |
| Isolamento Betuminoso | 2,32 | 51,00 | Graf e Tavares (2010) | 118,320 |
| Fibras de Celulose | 0,29 | 4,3 | Torgal et al. (2011) | 1,247 |
| Cerâmico (Revestimento interior) | 3,66 | 6,20 | Graf e Tavares (2010) | 22,692 |
| Alumínio (Revestimento interior) | 6,32 | 184 | Torgal et al. (2011) | 1 162,880 |
| Linóleo (Pavimento) | 2,35 | 25,00 | Greenspec (2013) | 58,750 |
| Vinilo (Pavimento) | 0,63 | 65,64 | Greenspec (2013) | 41,3532 |
| Lajetas em betão (Pavimento) | 50,36 | 1,11 | Greenspec (2013) | 55,8996 |
| Aglomerados de Madeira (Pavimento) | 8,13 | 15,00 | Graf e Tavares (2010) | 121,950 |
| Gesso Cartonado (Pavimento) | 8,48 | 6,75 | Graf e Tavares (2010) | 57,240 |
| Tijolos Cerâmicos | 300,16 | 3,00 | Greenspec (2013) | 900,480 |
| Vidro (envidraçado) | 79,43 | 15,00 | Greenspec (2013) | 1 191,450 |
| Total | 1 651,12 | | | 6 068,1908 |

(Fonte: Adaptado de Alcorn (2003), Andrade (2009, p.188), Graf e Tavares (2010), Greenspec (2013) e Torgal et al. (2011))

Gráfico 25 - Energia Incorporada da maior parte dos materiais de construção aplicados no Edifício Solar XXI



(Fonte: Adaptado de Alcorn (2003), Andrade (2009, p.188), Graf e Tavares (2010), Greenspec (2013) e Torgal et al. (2011))

XII.1.1.1 Energia Incorporada do Transporte dos Materiais de Construção

Supondo que a distância média entre as fábricas produtoras dos materiais de construção e o Edifício Solar XXI é de 30 km, e que o transporte dos materiais tem um coeficiente de 1,5 MJ / (ton.km) (coeficientes considerados segundo Torgal et al. (2011, p.8)), obtém-se uma energia incorporada para o transporte dos materiais, para a obra, de:

$$0,0015 \text{ GJ}/(\text{ton.km}) \times 30 \text{ km} \times 1\,651,12 \text{ ton} = 74,3004 \text{ GJ}.$$

XII.1.2 Cálculo da energia incorporada da Construção do Edifício Solar XXI

Se se considerar que a energia aplicada na construção do edifício representa 10% da energia total incorporada dos materiais de construção em obra (percentagem considerada a partir de Torgal et al. (2011, p.8)), obtém-se um valor total de toda a construção do Edifício Solar XXI de:

$$(6\,068,1908 \text{ GJ} + 74,3004 \text{ GJ}) \times 10\% = 614,24912 \text{ GJ}.$$

XII.1.3 Cálculo do carbono incorporado dos Materiais do Edifício Solar XXI

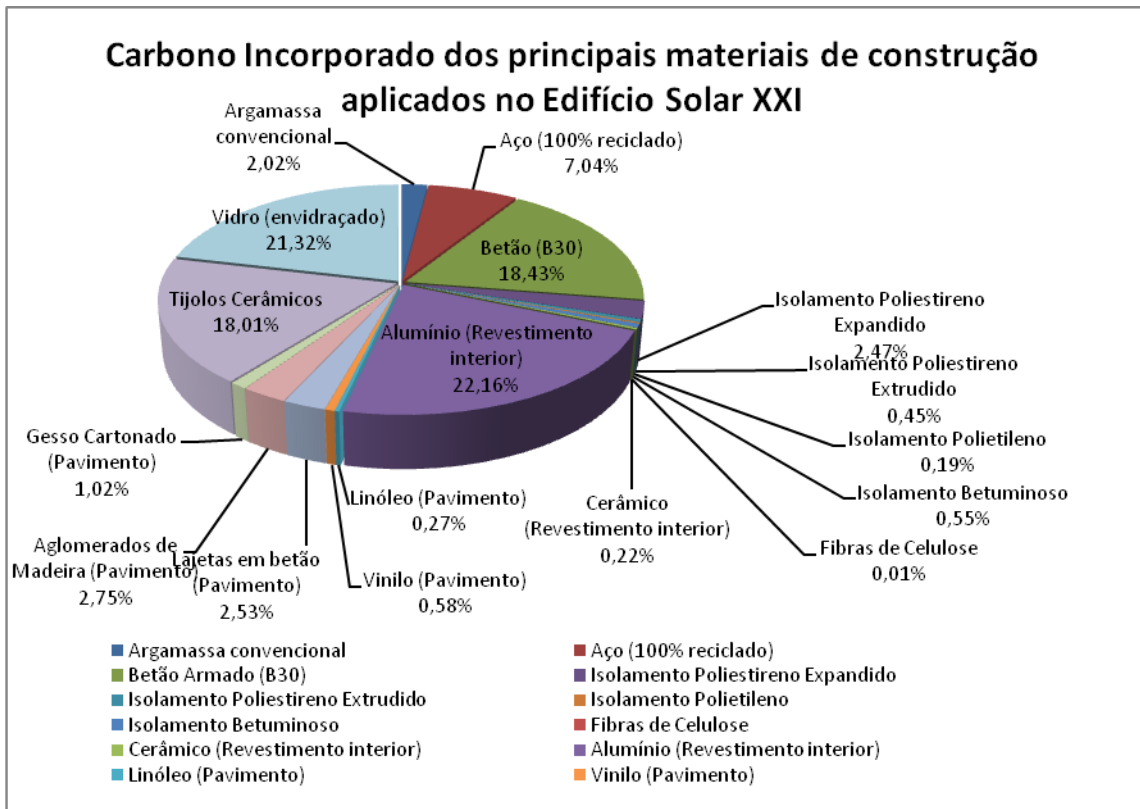
Segundo os coeficientes de carbono incorporado indicados por Alcorn (2003), Andrade (2009, p.188) e Greenspec (2013), e usando novamente as quantidades dos principais materiais aplicados para a construção do Edifício Solar XXI indicadas por Andrade (2009), multiplicando os coeficientes pelas quantidades estima-se o carbono incorporado, sendo o total de 316 684,24 kg CO₂ (Tabela 22 e Gráfico 26).

Tabela 22 - Quantidades e carbono incorporado dos materiais de construção aplicados na construção do Edifício Solar XXI

| Materiais de Construção (Andrade, 2009) | Quantidades (toneladas) (Andrade, 2009) | Coefficientes de Carbono Incorporado (kg CO₂/kg) | Fontes dos coeficientes | Carbono Incorporado (kg CO₂) |
|--|--|--|------------------------------------|--|
| Argamassa convencional | 65,18 | 0,098 | Andrade (2009) | 6 387,64 |
| Aço (100% reciclado) | 40,0 | 0,557 | Andrade (2009) | 22 280 |
| Betão (B30) | 897,78 | 0,065 | Andrade (2009) | 58 355,7 |
| Isolamento Poliestireno Expandido | 3,07 | 2,55 | Greenspec (2013) | 7 828,5 |
| Isolamento Poliestireno Extrudido | 0,87 | 1,650 | Andrade (2009) | 1 435,5 |
| Isolamento Polietileno | 0,22 | 2,71 | Cerestech (2008) | 596,2 |
| Isolamento Betuminoso | 2,32 | 0,751 | Andrade (2009) | 1742,32 |
| Fibras de Celulose | 0,29 | 0,140 | Alcorn (2003) | 40,6 |
| Cerâmico (Revestimento interior) | 3,66 | 0,190 | Andrade (2009) | 695,4 |
| Alumínio (Revestimento interior) | 6,32 | 11,102 | Andrade (2009) | 70 164,64 |
| Linóleo (Pavimento) | 2,35 | 1,21 | Greenspec (2013) | 2 843,5 |
| Vinilo (Pavimento) | 0,63 | 2,92 | Greenspec (2013) | 1 839,6 |
| Lajetas em betão (Pavimento) | 50,36 | 0,159 | Greenspec (2013) | 8 007,24 |
| Aglomerados de Madeira (Pavimento) | 8,13 | 1,07 | Greenspec (2013) | 8 699,1 |
| Gesso Cartonado (Pavimento) | 8,48 | 0,38 | Greenspec (2013) | 3 222,4 |
| Tijolos Cerâmicos | 300,16 | 0,190 | Andrade (2009) | 57 030,4 |
| Vidro (envidraçado) | 79,43 | 0,85 | Andrade (2009) | 67 515,5 |
| Total | 1 651,12 | | | 316 684,24 |

(Fonte: Adaptado de Alcorn (2003), Andrade (2009, p.188) e Greenspec (2013))

Gráfico 26 - Carbono Incorporado dos principais materiais de construção aplicados no Edifício Solar XXI



(Fonte: Adaptado de Alcorn (2003), Andrade (2009, p.188) e Greenspec (2013))

XII.1.3.1 Carbono Incorporado do Transporte dos Materiais de Construção

Supondo que a distância média entre as fábricas produtoras dos materiais de construção e o Edifício Solar XXI é de 30 km (valor considerado segundo Torgal et al. (2011, p.8) e que o transporte dos materiais tem um coeficiente de 0,05195 kg / (km.ton) (coeficiente considerado segundo Rolland (2010, p.32)), obtém-se o valor do carbono incorporado resultante do transporte dos materiais de construção de e para a obra, de:

$$0,05195 \text{ kg CO}_2 / (\text{km.ton}) \times 30 \text{ km} \times 1\,651,12 \text{ ton} = 2\,573,27052 \text{ kg CO}_2.$$

XII.1.4 Cálculo do carbono incorporado da Construção do Edifício Solar XXI

O acréscimo energético devido à utilização dos materiais para a construção do Edifício Solar XXI leva também ao acréscimo do carbono incorporado. Assim, ao se considerar que a construção representa 10% do carbono incorporado dos materiais de construção em obra, obtém-se um carbono incorporado da construção de:

$$(316\,684,24 \text{ kg CO}_2 + 2\,573,27052 \text{ kg CO}_2) \times 10\% = 35\,118,3262 \text{ kg CO}_2.$$

XII.2 Fase Demolição dos Edifício Solar XXI e Fase de Reciclagem dos Materiais de Construção

XII.2.1 Fase Demolição dos Edifício Solar XXI

Para a desativação, demolição e/ou desmontagem do Edifício Solar XXI, foram considerados o coeficiente da energia incorporada - 136 MJ / m² (Fridley, 2008, p.6) - e do carbono incorporado - 10,58 kg CO₂ / m² (Fridley, 2008, p.22).

Assim, o valor da energia incorporada do edifício será de:

$$136 \text{ MJ / m}^2 \times 1434,1 \text{ m}^2 = 195,376 \text{ GJ};$$

e para o carbono incorporado será de:

$$10,58 \text{ kg CO}_2 / \text{m}^2 \times 1434,1 \text{ m}^2 = 15 \text{ 172,778 kg CO}_2.$$

XII.2.2 Fase de Reciclagem dos Materiais de Construção

Nas tabelas seguintes (Tabelas 23 e 24) estão representados os materiais de construção e respectivas quantidades utilizadas no Edifício Solar XXI. Estão, igualmente, representados os coeficientes de energia incorporada (Tabela 23) e os coeficientes de carbono incorporado (Tabela 24), considerados enquanto opções de reciclar os materiais de construção em novos materiais. Estes novos materiais, representados também nas tabelas, não têm de ter, necessariamente, a mesma função que os materiais cuja reciclagem lhes deu origem. Outra opção consiste na reutilização dos materiais de construção, ou até mesmo a restauração do Edifício Solar XXI no fim do seu ciclo de vida. O valor obtido para a reciclagem dos materiais do Edifício Solar XXI em novos materiais foi de 1752,459 GJ de energia incorporada e de 128 734,114 kg CO₂ de carbono incorporado.

Tabela 23 – Energia incorporada para reciclar os materiais de construção do Edifício Solar XXI em novos materiais de construção

| Materiais de Construção (Andrade, 2009) | Quantidades (toneladas) (Andrade, 2009) | Coefficientes de energia incorporada para reciclar os materiais de construção (MJ/kg) | Materiais reciclados a partir dos materiais de construção | Fonte dos coeficientes e dos materiais reciclados | Energia incorporada para reciclar os materiais de construção em novos materiais (GJ) |
|--|--|--|--|--|---|
| Argamassa convencional | 65,18 | 0,0371 | Agregados reciclados | Kofoworola e Gheewala (2009, p.7) | ≈ 2,428 |
| Aço (100% reciclado) | 40,0 | 12,50 | Aço (100% reciclado) | Graf e Tavares (2010) | 500 |
| Betão (B30) | 897,78 | 0,0371 | Agregados reciclados | Kofoworola e Gheewala (2009, p.7) | 33,308 |
| Isolamento Poliestireno Expandido | 3,07 | 45(valor médio) | Poliestireno reciclado | ImpEE Project - University of Cambridge (2005, p.16) | 138,15 |
| Isolamento Poliestireno Extrudido | 0,87 | 45 (valor médio) | Poliestireno reciclado | ImpEE Project - University of Cambridge (2005, p.16) | 39,15 |
| Isolamento Polietileno | 0,22 | 56 | Polietileno reciclado | Kim e Rigdon (1998, p.14) | 12,32 |
| Isolamento Betuminoso | 2,32 | - | - | - | - |
| Fibras de Celulose | 0,29 | - | - | - | - |
| Cerâmico (Revestimento interior) | 3,66 | 0,0371 | Agregados reciclados | Kofoworola e Gheewala (2009, p.7) | ≈ 0,136 |
| Alumínio (Revestimento interior) | 6,32 | 14,8 | Placas de Alumínio | Victoria University of Wellington (2007) | 93,536 |
| Linóleo (Pavimento) | 2,35 | - | - | - | - |
| Vinilo (Pavimento) | 0,63 | 28,6 | PVC reciclado | Ashby (2009, p.307) | ≈ 18,018 |
| Lajetas em betão (Pavimento) | 50,36 | 0,0371 | Agregados reciclados | Kofoworola e Gheewala (2009, p.7) | ≈ 1,868 |
| Aglomerados de Madeira (Pavimento) | 8,13 | 6,632 | Placas de aglomerados de madeira | Gao et al. (2000, p.6) | ≈ 53,918 |
| Gesso Cartonado (Pavimento) | 8,48 | 8,827 | Placas de gesso cartonado reciclado | Gao et al. (2000, p.6) | ≈ 74,853 |
| Tijolos Cerâmicos | 300,16 | 0,0371 | Agregados reciclados | Kofoworola e Gheewala (2009, p.7) | ≈ 11,136 |
| Vidro (envidraçado) | 79,43 | 9,74 | Vidro reciclado | Grant et al. (2001, p.xi) | ≈ 773,648 |
| Total | | | | | 1752,459 |

(Fonte: Adaptado de Ashby (2009, p.307), Gao et al. (2000, p.6), Graf e Tavares (2010), Grant et al. (2001, p.xi), ImpEE Project - University of Cambridge (2005, p.16), Kim e Rigdon (1998, p.14), Kofoworola e Gheewala (2009, p.7), Victoria University of Wellington (2007))

Tabela 24 – Carbono incorporado para reciclar os materiais de construção do Edifício Solar XXI em novos materiais de construção

| Materiais de Construção (Andrade, 2009) | Quantidades (toneladas) (Andrade, 2009) | Coefficientes de carbono incorporado para reciclar os materiais de construção (kg CO₂ /ton) | Materiais reciclados a partir dos materiais de construção | Fonte dos coeficientes e dos materiais reciclados | Carbono incorporado para reciclar os materiais de construção em novos materiais (kg CO₂) |
|---|---|---|--|--|--|
| Argamassa convencional | 65,18 | 2,10 | Agregados reciclados | Ha e Tae (2010, p.4) | 136,878 |
| Aço (100% reciclado) | 40,0 | 1370 | Aço (100% reciclado) | Greenspec (2013) | 54800 |
| Betão (B30) | 897,78 | 2,10 | Agregados reciclados | Ha e Tae (2010, p.4) | 1885,338 |
| Isolamento Poliestireno Expandido | 3,07 | 2600 | Poliestireno Reciclado | Michaud et al. (2010, p.174) | 7982 |
| Isolamento Poliestireno Extrudido | 0,87 | 2600 | Poliestireno Reciclado | Michaud et al. (2010, p.174) | 2262 |
| Isolamento Polietileno | 0,22 | 500 | Polietileno reciclado (somente pode ser 4 a 5 vezes reciclado) | Universe projects (2011) | 110 |
| Isolamento Betuminoso | 2,32 | - | - | - | - |
| Fibras de Celulose | 0,29 | - | - | - | - |
| Cerâmico (Revestimento interior) | 3,66 | 2,10 | Agregados reciclados | Ha e Tae (2010, p.4) | 7,686 |
| Alumínio (Revestimento interior) | 6,32 | 1690 | Alumínio reciclado | Hammond e Jones (2008, p.10) | 10680,8 |
| Linóleo (Pavimento) | 2,35 | - | - | - | - |
| Vinilo (Pavimento) | 0,63 | 924 | PVC reciclado | Ashby (2009, p.307) | 582,12 |
| Lajetas em betão (Pavimento) | 50,36 | 2,10 | Agregados reciclados | Ha e Tae (2010, p.4) | 105,756 |
| Aglomerados de Madeira (Pavimento) | 8,13 | 10 | Placas de aglomerados de madeira | Universe projects (2011) | 81,3 |
| Gesso Cartonado (Pavimento) | 8,48 | 120 | Placas de gesso cartonado reciclado | Warp (2008, p.35) | 1017,6 |
| Tijolos Cerâmicos | 300,16 | 2,10 | Agregados reciclados | Ha e Tae (2010, p.4) | 630,336 |
| Vidro (envidraçado) | 79,43 | 610 | Vidro reciclado (produtos) | Universe projects (2011) | 48452,3 |
| Total | | | | | 128 734,114 |

(Fonte: Adaptado de Ashby (2009, p.307), Greenspxec (2013), Ha e Tae (2010, p.4), Hammond e Jones (2008, p.10), Michaud et al. (2010, p.174), Universe projects (2011) e Warp (2008, p.35))

XII.3 Fase de Produção dos Sistemas Produtores de Energia Solar

O acréscimo de energia incorporada à fase de produção de materiais de construção resultante da produção dos sistemas produtores de energia através da energia solar é de 1.363,1092 GJ. Este valor foi calculado segundo as áreas e o tipo de sistema indicado por Andrade (2009), multiplicando pelos coeficientes de energia incorporada de cada tipo de dispositivo segundo Meier (2002, p. 134), Scott, (s.a., p. 4) e Greenspec (2013) (tabela 25).

Tabela 25 – Energia incorporada dos sistemas de produção de energia solar do Edifício Solar XXI

| Sistemas de produção de energias renováveis | Local onde estão instalados | Área (m²) | Coeficientes de energia incorporada (MJ/m²) | Fonte dos coeficientes | Energia incorporada (GJ) |
|---|------------------------------------|-----------------------------|---|-------------------------------|---------------------------------|
| 76 Painéis fotovoltaicos de silício multicristalinos | Fachada do Edifício | 96 | 4750 | Greenspec (2013) | 456 |
| 100 Painéis fotovoltaicos de silício amorfo | Parque de estacionamento 1 | 95 | 782 | Meier (2002, p. 134) | 742,90 |
| 150 Painéis fotovoltaicos CIS de película fina | Parque de estacionamento 2 | 110 | 1305 | Greenspec (2013) | 143,55 |
| Coletores concentradores parabólicos | Telhado do Edifício | 16 | 1291.2 | Scott (s.a., p. 4) | 20,6592 |
| Total | | | | | 1 363,1092 |

(Fonte: Andrade (2009, p.188), Greenspec (2013), Meier (2002, p. 134) e Scott (s.a., p.4))

O acréscimo de carbono incorporado à produção dos sistemas produtores de energia através da energia solar é de 35 255,276 kg de CO₂. O cálculo baseou-se também segundo as áreas e o tipo de sistema indicados por Andrade (2009), multiplicando pelos coeficientes de carbono incorporado de cada tipo de dispositivo segundo Meier (2002, p.134), Scott, (s.a., p.4) e Greenspec (2013) (tabela 26).

Tabela 26 – Carbono incorporado dos sistemas de produção de energia solar do Edifício Solar XXI

| Sistemas de produção de energias renováveis | Local onde estão instalados | Área (m²) | Coefficientes de carbono incorporado (kg CO₂/m²) | Fonte dos coeficientes | Energia incorporada (kg CO₂) |
|---|------------------------------------|-----------------------------|---|-------------------------------|--|
| 76 Painéis fotovoltaicos de silício multicristalinos | Fachada do Edifício | 96 | 242 | Greenspec (2013) | 23 232 |
| 100 Painéis fotovoltaicos de silício amorfo | Parque de estacionamento 1 | 95 | 46,5 | Meier (2002, p. 134) | 4 417,5 |
| 150 Painéis fotovoltaicos CIS de película fina | Parque de estacionamento 2 | 110 | 67 | Greenspec (2013) | 7 370 |
| Coletores concentradores parabólicos | Telhado do Edifício | 16 | 14,736 | Scott (s.a., p. 4) | 235,776 |
| Total | | | | | 35 255,27 |

(Fontes Andrade (2009, p.188), Greenspec (2013), Meier (2002, p.134) e Scott (s.a., p.4))

XII.4 Cálculo do E.I. e C.I. do Transporte, Instalação, Manutenção e Desmontagem dos Sistemas Produtores de Energia Solar

Supondo que a distância média entre as fábricas produtoras dos sistemas de produção de energia solar e o Edifício Solar XXI é de 30 km e que o transporte dos materiais tem um coeficiente de 1,5 MJ / (ton.km) (coeficientes considerados segundo Torgal et al. (2011, p.8)), considerando ainda os pesos calculados segundo a tabela 27, obtém-se uma energia incorporada dos sistemas em obra de:

$$0,0015 \text{ GJ}/(\text{ton.km}) \times 30 \text{ km} \times 4,6902 \text{ ton} = 0,2111 \text{ GJ.}$$

E para o cálculo do carbono incorporado do transporte, através do coeficiente de 0,05195 kg CO₂ / (km.ton) (coeficiente considerado segundo Rolland (2010, p.32)), obtém-se um carbono incorporado dos sistemas em obra de:

$$0,05195 \text{ kg CO}_2 / (\text{km.ton}) \times 30 \text{ km} \times 4,6902 \text{ ton} = 7,3097 \text{ kg CO}_2.$$

O cálculo da energia e do carbono incorporados da instalação, da manutenção e da desmontagem dos sistemas produtores de energia solar está presente na tabela seguinte:

Tabela 27 – Cálculo do Peso, da Energia Incorporada e do Carbono Incorporado das fases de Transporte, Instalação, Manutenção e Desmontagem dos Sistemas de produção de energia solar

| Sistemas de produção de energias solar | | 76 Painéis fotovoltaicos de silício multicristalinos | 100 Painéis fotovoltaicos de silício amorfo | 150 Painéis fotovoltaicos CIS de película fina | Coletores concentradores parabólicos e suporte | Total |
|--|--|---|---|--|--|-------------------------------|
| Área, Peso e Fases | | | | | | |
| Área (m ²) | | 96 | 95 | 110 | 16 | |
| Peso | Peso Específico dos sistemas (kg /m ²) | 14,6 kg/m ² | 8,2 kg/m ² | 17,6 kg/m ² | 35,85 kg/m ² | 4 690,2 kg* |
| | Fontes dos pesos específicos | Laleman et al. (2010, p.5) | | | Menzies e Roderick (2010, p.3 e 4) | |
| | Peso Total (kg) | 1401,6 kg | 779 kg | 936 kg | 573,6 kg | |
| Transporte | Coeficiente de energia e carbono incorporados para o transporte | E.I. - 0,0015 GJ / (km.ton) C.I. - 0,05195 kg / (km.ton) | | | | |
| | Fonte dos Coeficientes | Torgal et al. (2011, p.8) | | | | |
| | Energia incorporada no transporte | 0,0015 GJ/(ton.km) x 30 km x 4,6902 ton* = 0,2111 GJ | | | | 0,2111 GJ |
| | Carbono incorporado no transporte | 0,05195 kg / (km.ton) x 30 km x 4,6902 ton* = 7,3097 kg CO ₂ | | | | 7,3097 kg CO ₂ |
| Instalação | Coeficiente de energia e carbono incorporados para a instalação | E.I. - 1,4427 GJ / m ² C.I. - 114,21375 kg CO ₂ / m ² | | E.I. - 0,2879 GJ / m ² C.I. -18,197 kg CO ₂ / m ² | | |
| | Fonte dos Coeficientes | Nayak e Tiwari (2010, p.6) | | Menzies e Roderick (2010, p.13) | | |
| | Energia incorporada na instalação | 1,4427 GJ/m ² x (96 + 95 + 110) = 434,2527 GJ | | 0,2879 GJ/m ² x 16 m ² = 6,2064 GJ | | 440,4591 GJ |
| | Carbono incorporado na instalação | 114,21375 kg CO ₂ /m ² x (96 + 95 + 110) = 34378,33875 kg CO ₂ | | 18,197 kg CO ₂ / m ² x 16 m ² = 291,152 kg CO ₂ | | 34 669,491 kg CO ₂ |
| Manutenção | Coeficiente de energia e carbono incorporados para a manutenção | E.I. - 0,296424 GJ / m ² C.I. - 23,467 kg CO ₂ / m ² | | E.I. - 0,4375 GJ / m ² C.I. - 27,2956 kg CO ₂ / m ² | | |
| | Fontes dos coeficientes | Nayak e Tiwari (2010, p.6) | | Menzies e Roderick (2010, p.13) | | |
| | Energia incorporada na manutenção | 0,296424 GJ/m ² x (96 + 95 + 110) = 89,223624 GJ | | 0,4375 GJ/m ² x 16 m ² = 7 GJ | | 96,2236 GJ |
| | Carbono incorporado na manutenção | 23,467 kg CO ₂ /m ² x (96 + 95 + 110) = 7063,567 kg CO ₂ | | 27,2956 kg CO ₂ / m ² x 16 m ² = 436,7296 kg CO ₂ | | 7500,2966 kg CO ₂ |
| Desmontagem | Coeficiente de energia e carbono incorporados para a desmontagem | E.I. - 0,0012 GJ / m ² C.I. - 0,095 kg CO ₂ / m ² | | E.I. - 0,0461 GJ / m ² C.I. - 3,650 kg CO ₂ / m ² (79,167 kg CO ₂ / GJ (EDP, 2012, p. 37)) | | |
| | Fontes dos coeficientes | Mousseau (2011, p.25) | | Menzies e Roderick (2010, p.5) | | |
| | Energia incorporada na desmontagem | 0,0012 GJ / m ² x (96 + 95 + 110) = 0,3612 GJ | | 0,0461 GJ / m ² x 16 m ² = 0,7376 GJ | | 1,0988 GJ |
| | Carbono incorporado na desmontagem | 0,095 kg CO ₂ / m ² x (96 + 95 + 110) = 28,595 kg CO ₂ | | 3,650 kg CO ₂ / m ² x 16 m ² = 58,394 kg CO ₂ | | 86,989 kg CO ₂ |

(Fonte: Adaptado de EDP (2012, p. 37), Laleman et al. (2010, p.5), Menzies e Roderick (2010, p. 3 e 4), Mousseau (2011, p.25), Nayak e Tiwari (2010, p.6) e Torgal et al. (2011, p.8))

XII.5 Cálculo do E.I. e C.I. para reciclagem dos Sistemas Produtores de Energia Solar

Nas tabelas seguintes (Tabelas 28 e 29) estão representados os sistemas produtores de energia solar utilizados no Edifício Solar XXI e respectivas áreas. Os coeficientes de energia incorporada (Tabela 28) e os coeficientes de carbono incorporado (Tabela 29), são vistos enquanto possível opção de reciclar os materiais de construção em novos materiais.

Os valores dos coeficientes E.I. e C.I. avançados por Held (s.a., p.5), e utilizados para o cálculo E.I. e o C.I. nas Tabelas 28 e 29, referem-se à reciclagem dos painéis fotovoltaicos de telureto de cádmio. Contudo, devido à indisponibilidade de dados, estes coeficientes foram utilizados como valor de referência para os diferentes tipos de painéis fotovoltaicos.

Tabela 28 - Energia incorporada para reciclar os materiais que compõem os sistemas de produção de energia solar do Edifício Solar XXI

| Sistemas de produção de energias renováveis | Local onde estão instalados | Área (m ²) | Coefficientes de energia incorporada para reciclagem dos materiais que compõem os Sistemas (MJ/m ²) | Fonte dos coeficientes | Energia incorporada (GJ) |
|---|-----------------------------|------------------------|---|--------------------------------|--------------------------|
| 76 Painéis fotovoltaicos de silício multicristalinos | Fachada do Edifício | 96 | 81,03 | Held (s.a., p.5) | ≈ 7,779 |
| 100 Painéis fotovoltaicos de silício amorfo | Parque de estacionamento 1 | 95 | 81,03 | Held (s.a., p.5) | ≈ 7,698 |
| 150 Painéis fotovoltaicos CIS de película fina | Parque de estacionamento 2 | 110 | 81,03 | Held (s.a., p.5) | ≈ 8,913 |
| Coletores concentradores parabólicos e suporte | Telhado do Edifício | 16 | 1717,70 (reciclagem do alumínio e do cobre) | Menzies e Roderick (2010, p.7) | ≈ 27,483 |
| Total | | | | | ≈ 51,873 |

(Fonte: Adaptado de Held (s.a., p.5) e Menzies e Roderick (2010, p.7))

Tabela 29 - Carbono incorporado para reciclar os materiais que compõem os sistemas de produção de energia solar do Edifício Solar XXI

| Sistemas de produção de energias renováveis | Local onde estão instalados | Área (m ²) | Coefficientes de carbono incorporado para reciclagem dos materiais que compõem os Sistemas (kg CO ₂ /m ²) | Fonte dos coeficientes | Carbono incorporado (kg CO ₂) |
|--|-----------------------------|------------------------|--|--------------------------------|---|
| 76 Painéis fotovoltaicos de silício multicristalinos | Fachada do Edifício | 96 | 6,03 | Held (s.a., p.5) | 578,88 |
| 100 Painéis fotovoltaicos de silício amorfo | Parque de estacionamento 1 | 95 | 6,03 | Held (s.a., p.5) | 572,85 |
| 150 Painéis fotovoltaicos CIS de película fina | Parque de estacionamento 2 | 110 | 6,03 | Held (s.a., p.5) | 663,3 |
| Coletores concentradores parabólicos e suporte | Telhado do Edifício | 16 | 134,33 (reciclagem do alumínio e do cobre) | Menzies e Roderick (2010, p.7) | 2149,28 |
| Total | | | | | 3964,31 |

(Fonte: Adaptado de Held (s.a., p.5) e Menzies e Roderick (2010, p.7))

XII.6 Fase de Utilização do Edifício Solar XXI (incluindo os Sistemas Produtores de Energia Solar)

Sabendo que, no ano de 2011, o balanço energético do Edifício Solar XXI foi aproximadamente de 2 MWh positivos (7,2 GJ), sendo a produção de energia de 38.MWh (136,8 GJ), considerando um tempo de vida médio de 25 anos (20 a 25 anos os coletores solares, segundo *SouthernEnergy Management* (s.a., p.3), e 30 anos os sistemas fotovoltaicos, segundo *NREL* (2012, p.1)) para todos os dispositivos de produção de energia derivada da energia solar, e tendo em conta a produção anual de 38 MWh durante os próximos 25 anos, o Edifício Solar XXI irá produzir 950 MWh (3420 GJ), contrabalançando o consumo de 36 MWh/ano durante os 25 anos que resultaria em 900 MWh (3240 GJ).

XII.6.1 Caldeira a Gás Natural

Segundo a diretiva 2010/31/UE, a geração de energia de um edifício com necessidades quase nulas de energia, deve envolver apenas energias renováveis, ou seja, a utilização

de um sistema a gás natural como fonte de energia, não é tomado em conta na geração de energia por parte do edifício, mas sim no consumo de energia. (Voss, 2012)

O sistema de aquecimento auxiliar do Edifício Solar XXI é constituído por uma caldeira a gás natural, localizada na cave, associada a coletores solares, servindo para aquecimento do ar interior (através de sistemas de radiadores) e para preparação de água quente sanitária. A utilização do gás natural é feita quando os coletores solares não conseguem aquecer a água à temperatura necessária, nomeadamente em dias de Inverno, sendo, nesse caso, a caldeira ligada para aquecer a água do reservatório (Andrade, 2009, p.115).

Devido à inexistência de um contador de gás natural e de água próprios no Edifício Solar XXI pelo facto de este se localizar, segundo Andrade (2009, p.146), num campus com outros edifícios, o consumo de gás natural será tomado como 12% da energia total consumida pelo edifício, de acordo com o estudo descrito por Aelenei et al. (2010, p.6).

Estimando um consumo anual de energia igual ao consumo total de energia no ano de 2011, ou seja, 36 MWh, o consumo de gás natural anual será então de 4,32 MWh/ano (12% x 36 MWh) (15,552 GJ).

Segundo os coeficiente da Tabela 13, usados por Jenkins (2010, p.7), as emissões de CO₂ aproximadas durante todo o ciclo de vida do gás natural é de 185 kg CO₂ /MWh, ou seja, no caso do edifício solar XXI será de 799,20 kg CO₂ por ano (185 kg CO₂ /MWh x 4,32 MWh). Assim, para cada 25 anos de utilização, o consumo de gás natural será de 388,8 GJ, equivalente a 19 980,00 kg CO₂.

XII.6.2 Consumo de energia elétrica

O consumo de energia elétrica do edifício representa 88% do consumo total de energia (Aelenei et al., 2010, p.6), correspondendo a 2851,2 GJ (88% x 3240 GJ) ao fim de 25 anos.

Relativamente às emissões de carbono devido ao consumo de energia elétrica, para uma vida útil de 25 anos, sem os sistemas produtores de energia do Edifício Solar XXI, as emissões de dióxido de carbono seriam de:

$$79,167 \text{ kg CO}_2 /\text{GJ} \times 2851,2 \text{ GJ} = 225 720,95 \text{ kg CO}_2$$

sendo 79,167 kg CO₂ /GJ (285kg CO₂ /MWh) o coeficiente de conversão de gigajoule de energia para quilogramas de dióxido de carbono emitidos para a atmosfera (EDP, 2012, p.37) e considerando que este coeficiente não varia durante os 25 anos.

XII.6.3 Consumo de energia ao fim de 25 anos

Devido à presença dos sistemas de produção de energia através da energia solar, as emissões de CO₂ evitadas de se produzirem, durante 25 anos, foi de:

- 3420 GJ (produção total de energia elétrica) x 79,167 kg CO₂ / GJ (EDP, 2012, p.37) =
- 270 751,14 kg CO₂

superando o consumo de energia total do edifício de 3240 GJ (2851,2 GJ (energia elétrica) + 388,8 GJ (gás natural)) e as suas emissões de 245 700,95 kg CO₂ (225 720,95 kg CO₂ (energia elétrica) + 19 980,00 kg CO₂ (gás natural)).

Concluindo, estes sistemas de produção de energia permitem que seja evitada uma emissão de 270 751,14 kg CO₂ para a atmosfera ao fim de 25 anos, durante a fase de utilização do edifício, sendo ecologicamente mais sustentável que no caso destes sistemas não estarem presentes.

XII.7 Ciclo de Vida do Edifício Solar XXI para uma Vida Útil de 25 anos

O Edifício Solar XXI sem os painéis fotovoltaicos e os coletores solares, ao fim de 25 anos de vida útil, incluindo a produção de materiais, o seu transporte, demolição e reciclagem, teria uma energia incorporada de 12 018,88 GJ e um carbono incorporado de 743 364,37 kg CO₂ (Tabela 30).

No cálculo do ciclo de vida dos sistemas produtores de energia solar, com uma vida útil de 25 anos, obteve-se uma energia incorporada de -1 466,81 GJ e um carbono incorporado de -189 260,16 kg CO₂ (Tabela 30), sendo negativa devido ao facto de a energia produzida ao longo de 25 anos ser maior do que a soma da energia consumida na produção (Tabelas 25 e 26), transporte (Tabela 27), instalação (Tabela 28), manutenção (Tabela 27), desmontagem (Tabela 27) e reciclagem (Tabela 28 e 29) dos sistemas.

Tabela 30 – Cálculo da energia incorporada e carbono incorporado do ciclo de vida do Edifício Solar XXI para 25 anos

| Fases do ciclo de vida | Energia Total de cada fase do ESXXI (sem os sistemas) (GJ) | | Emissões de CO ₂ Totais de cada fase do ESXXI (sem os sistemas) (kg CO ₂) | | Energia Total de cada fase do sistemas produt. de energ. Solar (GJ) | | Emissões de CO ₂ dos sistemas produt. de energ. Solar (kg CO ₂) | | Totais de cada Fase | | |
|---------------------------|---|--|--|----------------|---|----------------|--|----------------|---------------------|---------------|---|
| | Fase de Produção de Materiais | Produção de materiais de construção / sistemas | | 6 068,1908 (1) | | 316 684,24 (2) | | 1 363,1092 (3) | | 35 255,27 (4) | |
| | Transporte | | 74,3004 (6) | | 2 573,27052 (7) | | 0,2111 (5) | | 7,3097 (5) | | 354 520,09 kg CO₂ |
| Fase de Construção | Construção / Instalação | | 614,24912 (8) | | 31 925,751052 (9) | | 440,4591 (5) | | 34 669,491 (5) | | 1 054,71 GJ 66 595,24 kg CO₂ |
| Fase de Utilização | 25 Anos | Utilização / Manutenção | Gás Natural | 388,8 (10) | 19 980,00 (10) | | Manutenção | 96,2236 (5) | 7 500,2966 (5) | | Balço: -83,78 GJ |
| | | | Energia elétrica | 2851,2 (11) | 225 720,95 (11) | | Produção de energia | - 3 420 (12) | - 270 751,14 (13) | | -17 549,89 kg CO₂ |
| Fase de Demolição | Demolição / Desmontagem | | 195,376 (18) | | 15 172,778 (18) | | 1,0988 (5) | | 86,989 (5) | | 270,99 GJ |
| | Transporte | | 74,3004 (6) | | 2 573,27052 (7) | | 0,2111 (5) | | 7,3097 (5) | | 17 840,35 kg CO₂ |
| Reciclagem | Reciclagem | | 1 752,459 (14) | | 128 734,114 (15) | | 51,873 (16) | | 3 964,31 (17) | | 1 804,33 GJ 132 698,42 kg CO₂ |
| | Totais | | 12 018,88 | | 743 364,37 | | -1 466,81 | | -189 260,16 | | |
| | Total de energia e CO ₂ do Ciclo de vida do Edifício Solar XXI | | 10 552,06 GJ 554 104,21 kg CO₂ | | | | | | | | |

- | | |
|---|--|
| (1) Tabela 21: Energia incorporada dos materiais | (10) Subcapítulo XII.6.1 - Caldeira a Gás Natural |
| (2) Tabela 22: Carbono incorporado dos materiais | (11) Subcapítulo XII.6.2 - Consumo de energia elétrica |
| (3) Tabela 25: E.I. dos sistemas de produção de energia solar | (12) Subcapítulo XII.5: Produção de energia |
| (4) Tabela 26: C.I. dos sistemas de produção de energia solar | (13) Subcapítulo XII.5: Emissões de CO ₂ evitadas de se produzirem |
| (5) Tabela 27: Manutenção: E.I. e C.I. | (14) Tabela 23: E.I. para reciclar os materiais de construção em novos materiais |
| (6) Subcapítulo XII.1.1.1: E.I. do Transporte dos Materiais de Construção | (15) Tabela 24: C.I. para reciclar os materiais de construção em novos materiais |
| (7) Subcapítulo XII.1.3.1: C.I. do Transporte dos Materiais de Construção | (16) Tabela 28: E.I. para reciclar os materiais que compõem os sistemas de produção de energia solar |
| (8) Subcapítulo XII.1.2: E.I. da Construção do Edifício Solar XXI | (17) Tabela 29: C.I. para reciclar os materiais que compõem os sistemas de produção de energia solar |
| (9) Subcapítulo XII.1.4: C.I. da Construção do Edifício Solar XXI | (18) Subcapítulo XII.2.1: Fase Demolição dos Edifício Solar XXI |

Concluindo, o consumo de energia e as emissões de CO₂ do ciclo de vida do edifício (incluindo a reciclagem), para uma vida útil de 25 anos, será de 10 552,06 GJ e de 554 104,21 kg CO₂ (Tabela 30), respetivamente. A aplicação dos sistemas fotovoltaicos e coletores solares no edifício traduz-se, assim, numa mais-valia, pois contribui para a redução do consumo de energia e das emissões de carbono.

XII.8 Ciclo de Vida do Edifício Solar XXI para uma Vida Útil de 50 anos

O Edifício Solar XXI sem os painéis fotovoltaicos e os coletores solares, ao fim de 50 anos de vida útil, incluindo a produção de materiais, o seu transporte destes, demolição e reciclagem, teria um consumo energético de 15 258,88 GJ e uma emissão de 989 015,32 kg CO₂ (Tabela 31).

Ao fim de 25 anos de utilização, foi considerada a substituição dos sistemas produtores de energia solar por novos painéis com as mesmas características, uma vez que os primeiros se encontravam no fim das suas vidas úteis, não se tendo em atenção, portanto, a evolução da tecnologia dos futuros sistemas produtores de energia solar. Assim, foi acrescentado à fase de utilização o E.I. e o C.I. da desmontagem, do transporte e da reciclagem dos velhos sistemas e, também, a produção dos novos sistemas, o seu transporte e a sua instalação.

No cálculo final do ciclo de vida dos sistemas produtores de energia solar, conforme representado na Tabela 31, com uma vida útil de 25 anos mais 25 anos, a consumo energético e emissões de CO₂ foram o dobro do registado na Tabela 30 (o que se justifica pela separação dos ciclos de vida). Assim, os valores finais dos sistemas são, respetivamente, de -2 933,63GJ e -378 529,33 kg CO₂, sendo negativo devido à produção de energia ser maior do que nas outras fases do ciclo de vida do edifício.

Concluindo, a energia incorporada e o carbono incorporado do ciclo de vida do edifício (incluindo a reciclagem) para uma vida útil de 50 anos será, respetivamente, de 12.325,25 GJ e 610 495,00 kg CO₂ (Tabela 31), sendo relativamente baixa a diferença dos valores finais obtidos quando comparados com os os mesmos valores do mesmo edifício com uma vida útil de 25 anos (10 552,06 GJ e 554 079,21 kg CO₂).

Análise e Resposta à Diretiva 2010/31/UE no contexto nacional - ciclo de vida, independência energética da rede e emissões de dióxido de carbono

Tabela 31 – Cálculo da energia incorporada e carbono incorporado do ciclo de vida do Edifício Solar XXI para 50 anos

| Fases do ciclo de vida | Energia Total de cada fase do ESXXI (sem os sistemas) (GJ) | Emissões de CO ₂ Totais de cada fase do ESXXI (sem os sistemas) (kg CO ₂) | Energia Total de cada fase do sistemas produt. de energ. solar (GJ) | | Emissões de CO ₂ dos sistemas produt. de energ. Solar (kg CO ₂) | | Total de cada Fase | | |
|-------------------------------|---|--|---|-----------------|--|----------------|---|----------------|--|
| | | | | | | | | | |
| Fase de Produção de Materiais | Produção de materiais de construção / sistemas | 6 068,1908 (1) | 316 684,24 (2) | 1 363,1092 (3) | 35 255,27 (4) | | 7 505,81 GJ 354 520,09 kg CO₂ | | |
| | Transporte | 74,3004 (6) | 2573,27052 (7) | 0,2111 (5) | 7,3097 (5) | | | | |
| Fase de Construção | Construção / Instalação | 614,24912 (8) | 31 925,751052 (9) | 440,4591 (5) | 34 669,491 (5) | | 1 054,71 GJ 66 595,24 kg CO₂ | | |
| Fase de Utilização | 25 Anos | Utilização / Manutenção/ Produção | Gás Natural | 388,8 (10) | 19 980,00 (10) | Manutenção | 96,2236 (5) | 7 500,2966 (5) | 1 689,41 GJ 38 890,89 kg CO₂ |
| | | Energia elétrica | 2851,2 (11) | 225 720,95 (11) | Produção de energia | - 3 420 (12) | - 270 751,14 (13) | | |
| | Desmontagem | | | | 1,0988 (5) | 86,989 (5) | | | |
| | Transporte | | | | 0,2111 (5) | 7,3097 (5) | | | |
| | Reciclagem | | | | 51,873 (17) | 3 964,31 (18) | | | |
| | Produção dos Sistemas | | | | 1 363,1092 (3) | 35 255,27 (4) | | | |
| | | Transporte | | | 0,2111 (5) | 7,3097 (5) | | | |
| | | Instalação | | | 440,4591 (5) | 34 669,491 (5) | | | |
| | 25 Anos | Utilização / Manutenção/ Produção | Gás Natural | 388,8 (10) | 19 980,00 (10) | Manutenção | 96,2236 (5) | 7 500,2966 (5) | |
| | | Energia elétrica | 2851,2 (11) | 225 720,95 (11) | Produção de energia | - 3420 (12) | - 270 751,14 (13) | | |
| Fase de Demolição | Demolição / Desmontagem | 195,376 (18) | 15 172,778 (18) | 1,0988 (5) | 86,989 (5) | | 270,99 GJ 17 840,35 kg CO₂ | | |
| | Transporte | 74,3004 (6) | 2 573,27052 (7) | 0,2111 (5) | 7,3097 (5) | | | | |
| Reciclagem | Reciclagem | 1 752,459 (14) | 128 734,114 (15) | 51,873 (16) | 3 964,31 (17) | | 1 804,33 GJ 132 698,42 kg CO₂ | | |
| Totais | Totais | 15 258,88 | 989 065,32 | -2 933,63 | -378 529,33 | | | | |
| | Total de energia e CO ₂ do Ciclo de vida do Edifício Solar XXI | 12 325,25 GJ 610 535,99 kg CO₂ | | | | | | | |

| | |
|---|--|
| (1) Tabela 21: Energia incorporada dos materiais | (12) Subcapítulo XII.5: Produção de energia |
| (2) Tabela 22: Carbono incorporado dos materiais | (13) Subcapítulo XII.5: Emissões de CO ₂ evitadas de se produzirem |
| (3) Tabela 23: E.I. dos sistemas de produção de energia solar | (14) Tabela 23: E.I. para reciclar os materiais de construção em novos materiais |
| (4) Tabela 26: C.I. dos sistemas de produção de energia solar | (15) Tabela 24: C.I. para reciclar os materiais de construção em novos materiais |
| (5) Tabela 27: Manutenção: E.I. e C.I. | (16) Tabela 28: E.I. para reciclar os materiais que compõem os sistemas de produção de energia solar |
| (6) Subcapítulo XII.1.1.1: E.I. do Transporte dos Materiais de Construção | (17) Tabela 29: C.I. para reciclar os materiais que compõem os sistemas de produção de energia solar |
| (7) Subcapítulo XII.1.3.1: C.I. do Transporte dos Materiais de Construção | (18) Subcapítulo XII.2.1: Fase Demolição dos Edifício Solar XXI |
| (8) Subcapítulo XII.1.2: E.I. da Construção do Edifício Solar XXI | |
| (9) Subcapítulo XII.1.4: C.I. da Construção do Edifício Solar XXI | |
| (10) Subcapítulo XII.6.1 - Caldeira a Gás Natural | |
| (11) Subcapítulo XII.6.2 - Consumo de energia elétrica | |

Logo, a substituição dos sistemas produtores de energia solar no fim da sua vida útil é considerada como uma solução sustentável, sendo também sustentável que o edifício com necessidades nulas (ou quase nulas) de energia seja dimensionado para uma vida útil longa, caso os materiais de construção escolhidos sejam os referidos nas Tabelas 21 ou 22.

XII.8.1 Análise da energia e carbono incorporados do ciclo de vida do Edifício Solar XXI

O valor do consumo de energia do ciclo de vida do Edifício Solar XXI obtido segundo os termos descritos anteriormente, para uma vida útil de 50 anos, foi de 12 325,25 GJ, que dividindo pela área útil do edifício, de 1434,1 m², apresenta um coeficiente de aproximadamente 8,594 GJ/m². Relativamente às emissões de CO₂, o valor obtido foi de 610 535,99 kg CO₂ que, dividindo pela área útil, resulta no coeficiente de aproximadamente 425,728 kg CO₂ /m².

Um estudo descrito por Forsythe (2007, p. 4 e 5) sobre o consumo de energia do ciclo de vida de um edifício de serviços conclui que, dentre vários edifícios, o valor máximo foi de 18,6 GJ/m² e o valor mínimo de 3,35 GJ/m² e, segundo Yung et al. (2012, p.1), o valor médio da energia de um edifício de escritórios é de 10,47 GJ/m². Contudo, outro estudo, realizado por Dimoudi e Tompab (2008, p.5) sobre a avaliação de dois edifícios de serviços na Grécia, obteve valores de consumo de energia do ciclo de vida ainda mais baixos, de 1,93 GJ/m² (199,84 kgCO₂/m²) e 3,27 GJ/m² (289,40 kgCO₂/m²). Porém, a variação dos valores da energia e do carbono do ciclo de vida dos edifícios está dependente, também, da região ou país, pois cada local tem o seu tipo de energia utilizada, os seus métodos de produção e as suas exigências para os edifícios (Bayer, 2010, p.18).

Apesar de o Edifício Solar XXI não apresentar valores finais de energia e CO₂ elevados em relação à média dos outros edifícios de serviços (e também, no cálculo do ciclo do Edifício Solar XXI, estar contabilizado o E.I. e o C.I. da reciclagem), é possível obter os mesmos fins com menores valores pelo recurso a materiais mais ecológicos, diminuindo o impacto ambiental do edifício.

XII.9 Estimativa do balanço de custos com e sem os sistemas de produção de energia solar

Considerando o preço da energia da rede elétrica de 0,1210 €/kWh (Simples ≤ 2,3kVA) (edp, 2009), invariável ao longo de 25 anos, e não incluindo os sistemas de produção de energia, o consumo energético do edifício seria de 900 MWh ao fim de 25 anos, o que equivaleria a um custo de:

$$0,1210 \text{ €/kWh} \times 900\,000 \text{ kWh} = 108\,900 \text{ €}$$

Considerando os preços dos diferentes painéis fotovoltaicos e coletores solares das várias empresas (expressos na Tabela 32), e considerando que a microprodução do Edifício Solar XXI se encontra no regime geral (venda do kWh ao preço de custo) e não no regime bonificado (Decreto-Lei n.º 118-A/2010), o balanço de custos ao fim de 25 anos será de:

$$- 0,1210 \text{ €/kWh} \times 950\,000 \text{ kWh (produção de energia)} + 0,1210 \text{ €/kWh} \times 900\,000 \text{ kWh (consumo de energia)} + 74\,585,22 \text{ € (custo dos sistemas (tabela 32))} = 68\,535,22 \text{ €}$$

(não foi considerado o acréscimo dos custos resultantes do transporte, instalação, manutenção e desmontagem dos sistemas)

O custo energético do edifício com os sistemas de produção de energia solar será de 68 535,22 € (segundo as considerações anteriores), sendo este valor mais baixo do que o valor da energia a pagar sem os sistemas de microprodução, com uma poupança de:

$$108\,900 \text{ €} - 68\,535,22 \text{ €} = 40\,368,78 \text{ €}.$$

Tabela 32 - Simulação do custo dos sistemas de produção de energia solar Edifício Solar XXI

| Sistemas de produção de energias renováveis | Local onde estão instalados | Área (m²) | Marca, Modelo, Preço Unitário/Conjunto e Preço por m² | Fonte dos preços | Preço global Aproximado (€) |
|---|------------------------------------|-----------------------------|--|---|------------------------------------|
| 76 Painéis fotovoltaicos de silício multicristalinos | Fachada do Edifício | 96 | SolarWorld SWM-240 - 240W POLI 350,62 € 1675 x 1001 mm 209,12€/m ² | FFSolar (2012) e FFSolar (2013) | 20 075,52 € |
| 100 Painéis fotovoltaicos de silício amorfo | Parque de estacionamento 1 | 95 | SUNSET SUN3Grid 4000 13.745,53 € 57m ² 241,15€/m ² | Áton (2010, p.3) | 19 866,40 € |
| 150 Painéis fotovoltaicos CIS de película fina | Parque de estacionamento 2 | 110 | Kaneka U-EA 110 322,03 € 1210x1008 mm 264,03€/m ² | Bastan Renovables (s.a., p. 3) | 29 043,30 € |
| Coletores concentradores parabólicos | Telhado do Edifício | 16 | Ao Sol, CPC Ao Sol 500,00 euros 2.0 m ² 350€/m ² | Ao Sol - Energias Renováveis Lda (s.a.) | 5 600,00 € |
| Total | | | | | 74 585,22 € (IVA não incluído) |

(Fonte: Adaptado de FFSolar (2012), FFSolar (2013), Áton (2010, p.3), Bastan Renovables (s.a., p.3) e Ao Sol - Energias Renováveis Lda (s.a.))

XIII. Propostas de redução da energia e carbono incorporados dos diferentes materiais de construção do edifício

Um modo de recuperar a energia incorporada reside na reciclagem dos diferentes materiais que constituem o edifício ou, ainda, através da utilização de materiais de construção com menor energia incorporada em termos de produção, transporte e aplicação, podendo reduzir-se a energia incorporada de 30 a 50% (Milutienè, 2010, p.2). Também, durante o dimensionamento de um edifício, podem ser usadas ferramentas de avaliação da energia incorporada das construções (como por exemplo, o *Inventory of Carbon and Energy*, ou ICE (Inventário de carbono e energia), que se baseia em dados de fontes secundárias de domínio público) (Milutienè, 2010, p.5).

Na fase de produção dos materiais de construção, uma medida de redução das emissões de CO₂ e da energia incorporada dos materiais é o aumento da eficiência energética dos recursos não renováveis por parte da indústria da construção (Fernandez, 2006, p.2).

XIII.1 Materiais de construção com energia incorporada relativamente mais baixa

Com a revolução industrial, a disponibilização de combustíveis com elevada energia e métodos modernizados, o consumo energético na construção dos edifícios e na produção dos materiais subiu drasticamente, contrastando com os edifícios tradicionais, em que eram utilizados materiais de construção locais e energia humana. Também as tecnologias industriais levaram a que o consumo energético da utilização dos edifícios aumentasse de modo a melhorar a qualidade de vida dos seus utilizadores. Nas últimas décadas, tem-se acentuado a preocupação no aumento da eficiência energética dos sistemas de climatização e na eficiência térmica da envolvente dos edifícios, para reduzir o consumo de energia de utilização do edifício, aumentando, conseqüentemente, a energia incorporada do edifício (Huberman, 2007, p.2).

A escolha dos materiais de construção pode influenciar o consumo energético do edifício ao longo do seu ciclo de vida, podendo esta influência criar um obstáculo ao objetivo de reduzir a energia consumida pelo edifício, pois, por exemplo, o valor elevado do isolamento térmico pode resultar na poupança de energia de operação do edifício, mas também num aumento excessivo da energia incorporada (Huberman, 2007, p.2).

XIII.2 Betão

Um estudo realizado por Bhattacharjee (2010, p.208) revela que o cimento Portland é a principal componente da energia incorporada do betão, sendo esta última bastante superior em relação às outras componentes (Tabela 33), apresentando um valor de 0,893.MJ/kg. No estudo de Bhattacharjee (2010, p.208) foi proposta a redução da energia incorporada do betão através da substituição de 10% do cimento Portland por cinzas, levando à redução da energia incorporada do betão para 0,83 MJ/kg.

Tabela 33 – Energia incorporada dos constituintes necessários à produção de betão

| Constituintes | Energia Incorporada (MJ/kg de betão) |
|-------------------------|---|
| Brita | 0,028 |
| Areia | 0,028 |
| Cimento Portland | 0,735 |
| Água | 0,000 |
| Produção | 0,102 |
| Total | 0,893 |

(Fonte: Adaptado de Bhattacharjee, 2010, p. 208)

Outros estudos revelam a substituição de 60% do cimento para produzir betão por cinzas, e até mesmo a substituição de 80% do cimento por escórias, obtendo um betão com elevada resistência (Torgal et al., 2011, p.9).

XIII.2.1 Estudo comparativo entre três edifícios com diferentes materiais estruturais

Um estudo realizado em Pequim (China) ao ciclo de vida de três edifícios, um com a estrutura em betão, outro com estrutura metálica e outro com estrutura em madeira, de acordo com a Organização Internacional de Normalização (ISO) 14040/44, mostra que o consumo de energia do edifício em betão, ao longo do seu ciclo de vida, é quase a mesma que a do edifício em estruturas metálicas, e cerca de 30% maior que o edifício em estrutura de madeira. Esta diferença de valores deve-se à fase de produção de materiais e do transporte, pois, na fase de utilização do edifício, a energia consumida é

aproximadamente igual entre todos, sendo o consumo de gás natural maior no edifício de estruturas metálicas (Wallhagen, 2011, p.1).

XIII.3 Construções com Palha

Os materiais de construção utilizados nos edifícios correntes apresentam uma energia incorporada muito alta devido à elevada quantidade de energia necessária para a sua produção e transportação, contribuindo, igualmente, para as alterações climáticas. A utilização de materiais mais ecológicos e locais é umas das soluções para a redução da energia incorporada dos edifícios. Por exemplo, a utilização de madeira local e lã de rocha com fardos de palha em vez da utilização de tijolo tem como estimativa a redução de mais de 7 vezes a energia incorporada e o carbono incorporado. A utilização da palha prensada tem vantagens pois é um material de construção que apresenta boas propriedades térmicas (Milutienè, 2010, p.1).

XIII.3.1 Comparação entre a construção de paredes de alvenaria com a construção de paredes com fardos de palha

A construção em palha contribui para a redução da pegada ecológica de um edifício, de um modo sustentável, apresentando um impacto mais baixo do que a construção em alvenaria de tijolo. O mesmo resultado é alcançado, mas a um custo mais baixo, já que existem vários métodos de construção em palha para diferentes fins (Figura 70), com durabilidade e adequação a edifícios de baixa energia ou de nula necessidade de energia (ZEB). (Milutienè, 2010, p. 5 e 6)



Figura 70 – Exemplo de construção de paredes exteriores em madeira e palha

(Fonte: Milutienè, 2010, p.4)

Os fardos de palha apresentam as seguintes vantagens: boas propriedades de isolamento térmico, reduzido impacto ambiental, ser um material renovável, apresentar resíduos

biodegradáveis, microclima interior saudável em combinação com terra ou argila rebocado, mais barato em relação a outros materiais de construção e disponível em muitos países (Milutienê, 2010, p.3). Relativamente às desvantagens, no processo de construção de paredes de fardos de palha não podem existir lacunas, nem pode este tipo de paredes estar exposta à chuva direta (Milutienê, 2010, p.3).

Segundo as Tabelas 34 e 35, diferentes métodos de construção de paredes apresentam diferentes energias incorporadas e diferente carbono incorporado (Milutienê, 2010, p. 5 e 6).

Tabela 34 - Energia Incorporada e Carbono Incorporado dos Materiais de construção de 1 m² de uma parede de alvenaria de tijolo térmico

| Elementos das Paredes | Energia Incorporada (MJ) | Carbono Incorporado (kg CO ₂) | Materiais | Quantidade | Unidades | Energia Incorporada (MJ/kg) | Carbono Incorporado (kg CO ₂ /kg) |
|--|--------------------------|---|---|------------|----------|-----------------------------|--|
| Parede em alvenaria de tijolo térmico | | | | | | | |
| Construção | 1188,43 | 90,49 | | | | | |
| | 1125,00 | 82,50 | Tijolo cerâmico em geral (tijolo térmico) | 375,00 | kg | 3,00 | 0,22 |
| | 62,23 | 7,99 | Argamassa (Cimento: Cal: Areia 1:1:6) | 49,00 | kg | 1,27 | 0,16 |
| | 1,20 | 0,00 | Água | 6,00 | kg | 0,20 | |
| Isolamento Térmico | 168,00 | 10,50 | Lã de rocha | 10,00 | kg | 16,80 | 1,05 |
| Fixação | 2,42 | 0,08 | Plásticos em geral | 0,03 | kg | 80,50 | 2,53 |
| Acabamentos | 70,84 | 4,25 | | | | | |
| | 40,32 | 2,69 | Plásticos em geral | 22,40 | kg | 1,80 | 0,12 |
| | 0,60 | 0,00 | Água | 3,00 | kg | 0,20 | |
| | 29,92 | 1,57 | Pintura em geral | 0,44 | kg | 68,00 | 3,56 |
| Total | 1429,69 | 105,32 | | | | | |

(Fonte: Adaptado de Milutienê, 2010, p. 5 e 6)

Tabela 35 - Energia Incorporada e Carbono Incorporado dos Materiais de construção de 1 m² de uma parede de estrutura de madeira e fardos de palha

| Elementos das Paredes | Energia Incorporada (MJ) | Carbono Incorporado (kg CO ₂) | Materiais | Quantidade | Unidades | Energia Incorporada (MJ/kg) | Carbono Incorporado (kg CO ₂ /kg) |
|--|--------------------------|---|-----------------------|------------|----------|-----------------------------|--|
| Parede em madeira e fardos de palha | | | | | | | |
| Construção | 113,22 | 6,89 | Madeira macia serrada | 15,30 | kg | 7,40 | 0,45 |
| Isolamento Térmico | 11,28 | 0,47 | Palha | 47,00 | kg | 0,24 | 0,01 |
| Fixação | 0,98 | 0,07 | Aço em geral | 0,04 | kg | 24,40 | 1,77 |
| Acabamentos | 77,13 | 8,57 | | | | | |
| | 18,45 | 0,94 | Solo Compactado | 41,00 | kg | 0,45 | 0,02 |
| | 4,48 | 0,22 | Areia | 44,80 | kg | 0,10 | 0,01 |
| | 1,20 | 0,00 | Água | 6,00 | kg | 0,20 | |
| | 53,00 | 7,40 | Cal | 10,00 | kg | 5,30 | 0,74 |
| Total | 202,61 | 15,99 | | | | | |

(Fonte: Adaptado de Milutienè, 2010, p. 5 e 6)

Utilizando o método de construção de parede corrente, usando materiais de construção como tijolos, argamassa (cimento, cal, areia, 1:1:6), água, lã de rocha, plásticos, reboco e tinta, o produto final apresenta uma energia incorporada de 1429,69 MJ/m² e um carbono incorporado de 10532 kg CO₂/m² (Tabela 34). Utilizando fardos de palha para a construção de paredes com uma estrutura em madeira, usando materiais de construção como a madeira macia serrada, palha, aço em geral, terra batida, areia, água e cal, o produto final apresenta uma energia incorporada de 202,61 MJ/m² e um carbono incorporado de 15,99 kg CO₂/m² (Tabela 35). (Milutienè, 2010, p. 5 e 6)

Comparando os dois casos, é de se notar que a produção de tijolos e de argamassa de cimento requer grande quantidade de energia em relação aos fardos de palha, tornando o método de construção de paredes corrente menos sustentável do que o de construção em palha cuja produção requer muito menos energia. Outros métodos de construção de

paredes em fardos de palha apresentam energias incorporadas ainda mais baixas (Milutienè, 2010, p. 5 e 6).

A Tabela 36 demonstra um exemplo da energia e do carbono incorporado de um andar com um perímetro de 36 m, uma área de 160 m² e uma área de parede de 138 m², onde se conclui que é possível evitar 12 toneladas de CO₂ de serem libertadas para a atmosfera se se substituir a construção tradicional de paredes pela construção em fardos de palha (Milutienè, 2010, p. 5 e 6).

Tabela 36 – Comparação das emissões de CO₂ de dois métodos construtivos de paredes aplicados à construção de um andar

| Método construtivo de Paredes | Energia Incorporada da parede (MJ/m ²) | Carbono Incorporado da parede (kg CO ₂ /m ²) | Energia Incorporada das paredes da casa (MJ) | Carbono Incorporado das paredes da casa (t CO ₂) | Emissões de CO ₂ evitadas para a atmosfera |
|--|--|---|--|--|---|
| Parede de tijolo térmico | 1429,69 | 105,32 | 197 297,22 | 14,53 | |
| Parede de estrutura de madeira e fardos de palha | 202,61 | 15,99 | 27 960,18 | 2,21 | 12,33 |

(Fonte: Adaptado de Milutienè, 2010, p.7)

XIII.4 Tijolo cerâmico não cozido

O tijolo cerâmico é um material de construção utilizado para a construção de paredes interiores e exteriores e apresenta uma boa durabilidade e uma vida útil longa. Para a produção dos tijolos cerâmicos é utilizada matéria-prima não tóxica, como argila e xisto, podendo ser incorporados resíduos sólidos (Joseph, 2010, p.414).

O processo de produção do tijolo cerâmico requer o uso elevado de energia, originando a emissão de gases de efeito de estufa devido ao uso de combustíveis fósseis. Por este facto, outras soluções mais ecológicas podem ser usadas, nomeadamente, o tijolo não cozido (tijolo não cozido - 657MJ/tonelada; tijolo cozido – 4187 MJ/tonelada), que requer um consumo de energia muito mais baixo, reduzindo-se, conseqüentemente, as emissões de CO₂ (tijolo não cozido - 41 kg CO₂/ton; tijolo cozido – 202 kg CO₂/ton). (Joseph, 2010, p.415)

A desvantagem deste material de construção consiste em ser suscetível aos danos causados pela água. Esta desvantagem pode ser contornada com a adição certa de cal e GGBFS (*Ground-granulated blast-furnace slag* (Escória granulada de alto forno)) à argila, obtendo um produto final com padrões de engenharia aceitáveis, a um preço muito mais acessível (Joseph, 2010, p.415).

XIII.5 Alumínio reciclado

A produção do alumínio requer uma extração de grandes quantidades de matéria-prima para um produto final de pequena quantidade. A matéria-prima principal necessária é o minério bauxite que está presente em florestas tropicais, sendo necessário remover grandes áreas de terra e camada vegetal para a sua extração. O processo de transformação da matéria-prima em alumínio requer um consumo elevado de energia proveniente da queima de combustíveis fósseis (Kim e Rigdon, 1998, p. 23).

Para refinar o bauxite no processo de reciclagem do alumínio são necessários somente 20% da energia (Tabela 37). Contudo, na construção civil, somente 15% do alumínio é reciclado (Kim e Rigdon, 1998, p.23).

Tabela 37 – Energia incorporada do alumínio virgem e reciclado

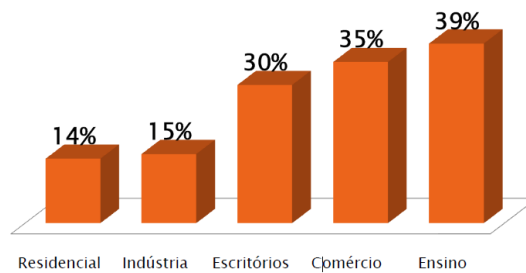
| Material | Energia incorporada em MJ/kg | Energia incorporada em MJ/m ³ |
|---------------------------------------|------------------------------|--|
| Alumínio (virgem) | 191 | 515 700 |
| extrudido | 201 | 542 700 |
| extrudido (anodizado) | 227 | 612 900 |
| extrudido (pintado em fábrica) | 218 | 588 600 |
| papel de alumínio | 204 | 550 800 |
| placas | 199 | 537 300 |
| Alumínio (reciclado) | 8,1 | 21 870 |
| extrudido | 17,3 | 46 710 |
| extrudido (anodizado) | 42,9 | 115 830 |
| extrudido (pintado em fábrica) | 34,3 | 92 610 |
| papel de alumínio | 20,1 | 54 270 |
| placas | 14,8 | 39 960 |

(Fonte: Adaptado de *Victoria University of Wellington*, 2007)

XIV Outras medidas de redução do consumo energético na fase de utilização do edifício - Iluminação

O impacto da iluminação nos edifícios varia consoante o tipo de utilização, podendo ser residencial, industrial, escritórios, comércio, ensino, etc. Segundo o Gráfico 27, a iluminação tem maior impacto na fatura global de eletricidade dos edifícios de escritórios, comércio e ensino (GreenTubes, 2012, p.3).

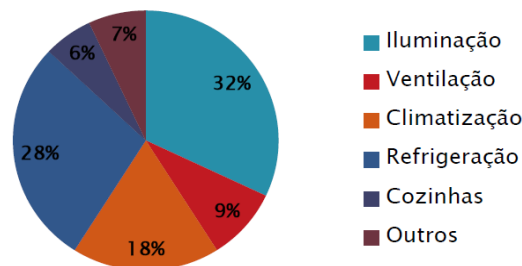
Gráfico 27 - Impacto da iluminação na fatura global de eletricidade



(Fonte: GreenTubes, 2012, p.3)

Numa grande superfície, como por exemplo um hipermercado, a iluminação representa 32% da energia consumida, sendo esta percentagem a maior, conforme demonstra o Gráfico 28 (GreenTubes, 2012, p. 3).

Gráfico 28 - Consumo de energia na grande distribuição (supermercado – hipermercado)



(Fonte: GreenTubes, 2012, p.3)

XIV.1 Eco-Balastros

Uma maneira de aumentar a eficiência energética de uma grande superfície é através da aplicação de eco-balastros.

“Como todas as lâmpadas de descarga, as lâmpadas fluorescentes também não funcionam sem balastro. Depois do arranque originado pelo arrancador, a tensão na lâmpada é inferior à

tensão de alimentação, a função do balastro é limitar a corrente de maneira a que a lâmpada receba a corrente adequada para o seu normal funcionamento.” (Gaspar, 2004, p. 82 e 83)

O eco-balastro é um equipamento que moderniza a luminária de um modo simples e prático, reduzindo a energia em 25% comparativamente com os balastros eletrônicos, e em 50% comparativamente com os balastros ferromagnéticos (GreenTubes, 2012, p.24). Este equipamento é considerado um equipamento “*retrofit*”, conceito que se aplica “para designar o processo de modernização de algum equipamento já considerado ultrapassado ou fora de norma” (GreenTubes, 2012, p.23).

O eco-balastro é constituído por duas componentes: uma base com um balastro eletrónico de baixas perdas (classe A2) e uma lâmpada fluorescente do tipo T5, podendo apresentar-se em três diferentes tipos: eco-balastro simples (Figura 71), eco-balastro com refletor (Figura 72) e eco-balastro com refletor e proteção em policarbonato (Figura 73). (GreenTubes, 2012, p.24)



Figura 71 - Eco-balastro simples
(Fonte: GreenTubes, 2012, p.24)



Figura 72 - Eco-balastro com refletor
(Fonte: GreenTubes, 2012, p.24)



Figura 73 - Eco-balastro com refletor e proteção em policarbonato
(Fonte: GreenTubes, 2012, p.24)

Tomando como exemplo uma grande superfície com 1000 lâmpadas do tipo T8, de 150 centímetros de comprimento, de 58 W de potência e com balastros ferromagnéticos em cada lâmpada, procedeu-se a uma simulação através do simulador Excel GreenTubes da empresa Norgrupos Comercial, substituindo-se os balastros ferromagnéticos por eco-balastros.

Foram recolhidos os dados iniciais para a simulação: a grande superfície funciona 15 horas por dia e funciona todos os dias do ano, tendo um preço médio do kWh de 0,12 euros no ano de 2012; estima-se que o balastro ferromagnético tem um consumo instantâneo de 73W e o eco-balastro 38W, sendo o preço unitário de cada eco-balastro de 27,75 euros para as mesmas características da lâmpada existente; admite-se que a

duração prevista da lâmpada T5 é de 3,7 anos e a duração prevista do eco-balastro de 9,1 anos.

Tabela 38 – Instalação existente na grande superfície com balastros ferromagnéticos

| Instalação existente com balastros ferromagnéticos | |
|---|---------|
| Consumo anual em kWh | 208 050 |
| Consumo anual em euros | 24 966 |
| Emissões anuais em kg CO₂ | 103 877 |
| Toneladas equivalentes de petróleo | 44,73 |

(Fonte: GreenTubes, 2012)

Tabela 39 – Instalação com eco-balastros na grande superfície

| Instalação com eco-balastros | |
|---|---------|
| Consumo anual em kWh | 399 675 |
| Consumo anual em euros | 47 961 |
| Emissões anuais em kg CO₂ | 199 554 |
| Toneladas equivalentes de petróleo | 85,93 |

(Fonte: GreenTubes, 2012)

Tabela 40 – Poupança anual da grande superfície com a substituição dos balastros

| Poupança anual | |
|--|-----|
| 191625 kWh | |
| 22995 euros | 48% |
| 95676 kg CO₂ | |
| 41,2 Toneladas equivalentes de petróleo | |

(Fonte: GreenTubes, 2012)

Os resultados finais revelaram um investimento inicial de 27 750 euros com um retorno financeiro em 1,2 anos, resultante da poupança anual de 22 995 euros (Tabela 40). Verificou-se, ainda, uma redução de 191 625 kWh por ano, equivalente a menos 95 676 kg de CO₂ emitidos para a atmosfera (Tabela 41). Em termos percentuais, a poupança anual é de 48% (Tabela 42).

Nesta simulação concluiu-se que o aumento da eficiência energética traz vantagens económicas para os utilizadores ou proprietários dos edifícios, como também cria vantagens ambientais significativas (Gráficos 29 e 30).

Gráfico 29 – Retorno do investimento da substituição dos balastos na grande superfície



(Fonte: GreenTubes, 2012)

Gráfico 30 – Diferença de custos anuais dos diferentes balastos



(Fonte: GreenTubes, 2012)

Contudo, a sustentabilidade da substituição dos equipamentos existentes por equipamentos mais eficientes deve ser cuidadosamente analisada pois, dependendo do número de horas, dias e lâmpadas e tempo de utilização do edifício, pode não se obter o retorno financeiro nem ambiental esperado (devido à energia incorporada dos equipamentos).

XIV.2 Tubos de luz solar

A instalação de “tubos de luz solar” (Figura 74) é outra das soluções possíveis para a redução do consumo energético da rede elétrica na iluminação. Este equipamento capta e orienta a luz solar a distâncias consideráveis para zonas do edifício onde não existe luz natural, sem afetar a temperatura interior da divisão a iluminar (Figuras 75 e 76). É constituído por um tubo no seu interior revestido por um material refletor, minimizando-se a dispersão dos raios solares (GreenTubes, 2012, p.10).

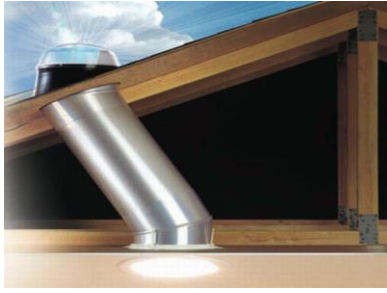


Figura 74 - Exemplo da instalação do tubo de luz solar (Fonte: GreenTubes, 2012, p.11)



Figura 75 - Exemplo do funcionamento do tubo de luz solar (Fonte: GreenTubes, 2012, p.11)



Figura 76 - Exemplo prático do tubo de luz solar (Fonte: GreenTubes, 2012, p.11)

Para aumentar a eficiência da energia e da iluminação, segundo a *GreenTubes*, da empresa Norgrupo Comercial, devem ser respeitadas algumas regras, nomeadamente:

“A utilização racional de energia deve respeitar as exigências sem diminuição do conforto e segurança; Privilegiar a qualidade de iluminação à quantidade de luz; Analisar os custos de investimento sem esquecer os de exploração e manutenção (...); Usar as lâmpadas mais eficazes de acordo com as exigências; As luminárias escolhidas devem otimizar o fluxo luminoso; Usar acessórios com baixas perdas eléctricas; Evitar o consumo de energia reactiva; Impor o objectivo de Luz Certa no Local Certo no Momento Certo; Programar desde a concepção as necessidades da manutenção.” (GreenTubes, 2012, p.11)

Outras medidas podem ser aplicadas pelos utilizadores com o objetivo de racionalizar o consumo energético, como por exemplo, “utilizar ao máximo a luz natural; desligar a luz quando não é necessária; reduzir níveis excessivos de iluminação em áreas não laborais e de armazenamento; rever os níveis atuais de iluminação; rever a iluminação exterior; utilizar fontes de luz localizadas; fazer manutenção (medições, limpeza, substituição); usar balastros eficientes; substituir tecnologias de lâmpadas; planear a substituição periódica; fazer a limpeza periódica das lâmpadas e armaduras” (GreenTubes, 2012, p.12).

Conclusão

O consumo de energia dos edifícios na fase de utilização é, em média, o maior de todo o ciclo de vida e, pelo facto de a energia primária utilizada para produzir energia elétrica ser, maioritariamente, proveniente de fontes de energia fóssil, durante essa fase há também uma elevada emissão de gases de efeito de estufa. A Diretiva 2010/31/UE apresenta uma resposta a este problema, colocando a tónica na importância da redução da energia consumida pelos edifícios na fase de utilização e na importância da utilização de fontes de energia renováveis locais. A Diretiva 2010/31/UE, ao avançar soluções para os problemas ambientais, assume-se ela mesma como uma medida de redução da dependência energética da União Europeia face aos outros países.

Deve-se procurar implementar as políticas existentes da União Europeia da melhor forma para alcançar a redução do consumo de energia pretendida. A melhoria da eficiência energética dos edifícios estipulada pela Diretiva 2010/31/UE, apresenta benefícios macroeconómicos mas também, contribui para as metas europeias de redução das emissões de carbono e, com as medidas de redução do consumo de energia, apresenta também benefícios para a sociedade. (Economidou et al., 2010, p.123 e 128)

Existe necessidade de aumentar a capacidade do setor da construção da Europa em melhorar a eficiência dos recursos necessários para a construção, melhorar o desempenho ambiental das empresas de construção, promover a inovação, novas competências e desenvolvimento tecnológico, com o fim de responder às necessidades sociais e de reduzir os impactos ambientais negativos causados pelo setor da construção (Economidou et al., 2010, p.125).

As preocupações e o interesse em mudar a conceção dos edifícios aplicando medidas passivas, medidas ativas, e noutras situações, utilizar materiais de baixa energia e carbono incorporados, e/ou programas informáticos de análise de ciclo de vida (Anexo II), revelam que a indústria da construção e o património edificado apresentam impactos ambientais negativos, havendo necessidade de encontrar soluções para reduzir esses mesmos impactos. Assim, os três princípios básicos comuns para dimensionamento de qualquer edifício com necessidades quase nulas de energia devem ser a redução da demanda energética do edifício, a utilização de energias renováveis e a redução de gases de efeito de estufa associadas ao edifício.

Medidas como o aproveitamento da iluminação natural, ou medidas passivas de ventilação e climatização, ou ainda, a produção de energia através de sistemas de produção de energia solar, adotadas na otimização da envolvente do Edifício Solar XXI, fazem deste edifício um modelo para futuras construções. O seu desempenho energético é cerca de 10 vezes superior³³ ao de um edifício de serviços convencional (escritórios) em Portugal, sendo o desempenho energético de projeto de 43 kWh/m².ano em vez de 101 kWh/m².ano, como aconteceria caso não fossem aplicadas as medidas descritas anteriormente.

Como defendido por Diacon e Moring (2013, p.21), o custo associado à construção de um edifício com necessidades quase nulas de energia, é maior comparando com a construção do mesmo edifício sem as medidas aplicadas de redução do consumo de energia e sem as medidas produção de energia. Contudo, na análise ao Edifício Solar XXI, conclui-se que este tipo de edifícios apresenta vantagens, em termos de redução de custos associados ao consumo de energia, para os utilizadores (seguindo o disposto no Decreto-Lei 118-A/2010).

Tabela 41 - Análise da sustentabilidade dos sistemas de produção de energia solar no Edifício Solar XXI, para 25 anos de vida útil

| Tipo de Análise (durante 25 anos) | Edifício Sem os Sistemas de Produção de energia Solar | Edifício Com os Sistemas de Produção de energia Solar |
|--|--|--|
| Consumo de energia do edifício* | 3240 GJ | - 83,78 GJ ⁽¹⁾ |
| Emissões de dióxido de carbono* | 253 201,25 kg CO ₂ | - 17 549,89 kg CO ₂ ^{(1) (2)} |
| Custos* | 108 900 € ⁽³⁾ | 74 585,22 € (preço dos sistemas) - 6050 € ^{(3) (4)} |

(1) Balanço entre consumo, manutenção, gás natural e produção de energia

(2) Dióxido de carbono cuja emissão foi evitada

(3) Considerando que o Edifício Solar XXI se encontra no regime geral (venda do kWh ao preço de custo) e não no regime bonificado (Decreto-Lei n.º 118-A/2010)

(4) “Negativo” significa que se vendeu mais energia do que se consumiu

³³Dado segundo o artigo *Edifício Solar XXI - Um edifício energeticamente eficiente em Portugal* de Gonçalves (2005).

Também, através da análise ao edifício, pode ser concluído que a integração, em Portugal, dos sistemas de produção de energia solar, tanto fotovoltaicos como térmicos (e conforme se pode verificar na Tabela 41), contribui significativamente para o aumento da oferta de energia (no caso do Edifício Solar XXI, os sistemas produzem mais energia do que aquela que o edifício consome anualmente), e assim, contribui para a redução das emissões de CO₂ com a utilização de energias renováveis (Tabela 41).

Durante a conceção do Edifício Solar XXI, para que este fosse um edifício *Nearly Net-ZEB*, a seu dimensionamento teve em consideração dois passos, sendo o primeiro passo a aplicação de medidas passivas com fim de reduzir o consumo energético, e o segundo passo, a aplicação de medidas ativas para produção de energia através de fontes renováveis locais, de modo responder às suas necessidades energéticas. Contudo, como demonstrado no subcapítulo VIII.3, o método da passagem de um edifício convencional para *NZEB*, dividindo o processo em dois passos, não deve ser aplicado como uma regra geral. Pelo que, o aproveitamento de locais com condições ótimas para a aplicação de determinado tipo de microprodução, com a realização de um estudo do balanço entre o investimento realizado para elevar a eficiência energética do edifício e para aplicar sistemas de produção de energia, determinando o custo ótimo (que consiste no custo mais baixo de investimento), conduz ao mesmo fim de criar um edifício com necessidades nulas de energia.

A utilização de programas informáticos de análise de ciclo de vida ajuda, durante a conceção de um edifício, a estimar os principais impactos ambientais de cada fase, bem como, a fase que apresenta maior impacto, ajudando também assim na determinação da melhor solução que apresente um reduzido consumo de energia, de emissões de gases de efeito de estufa e mitigar ou até mesmo eliminar determinados impactos ambientais negativos específicos.

A Diretiva 2010/31/UE não considera a energia despendida nas outras fases do ciclo de vida, nomeadamente, a fase de produção de materiais, de construção, demolição e reciclagem dos materiais, tendo como consequência a inexistência de algum estímulo na utilização de materiais de baixa energia incorporada.

Gráfico 31 – Consumo energético do ciclo de vida do Edifício Solar XXI para uma vida útil de 25 anos (relacionado com a Tabela 30)

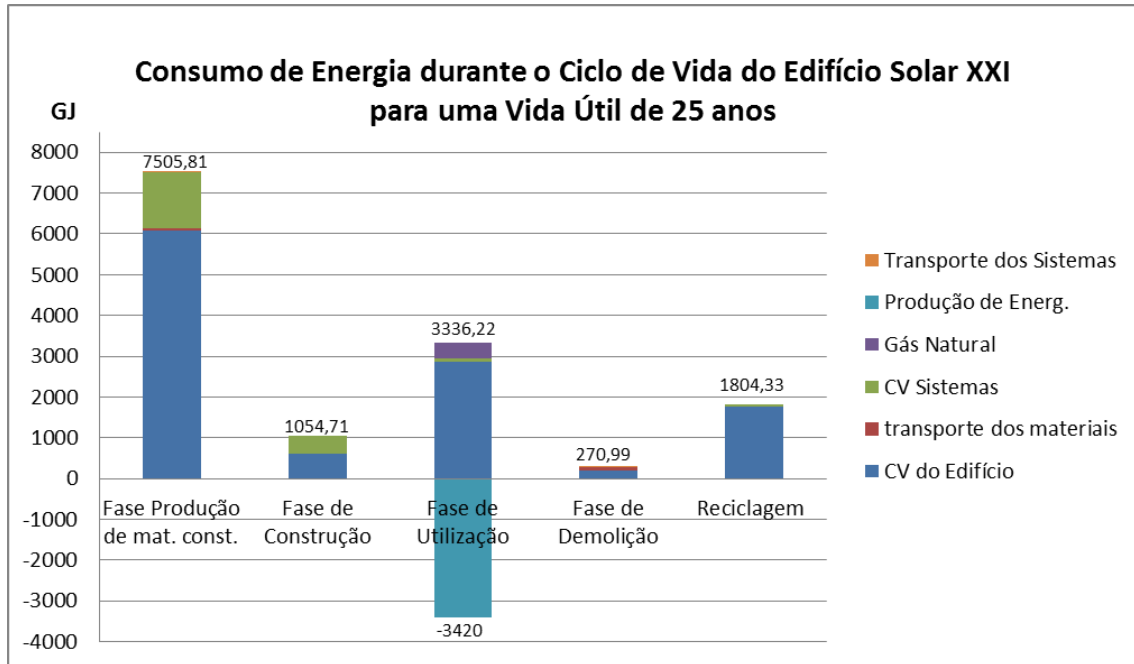
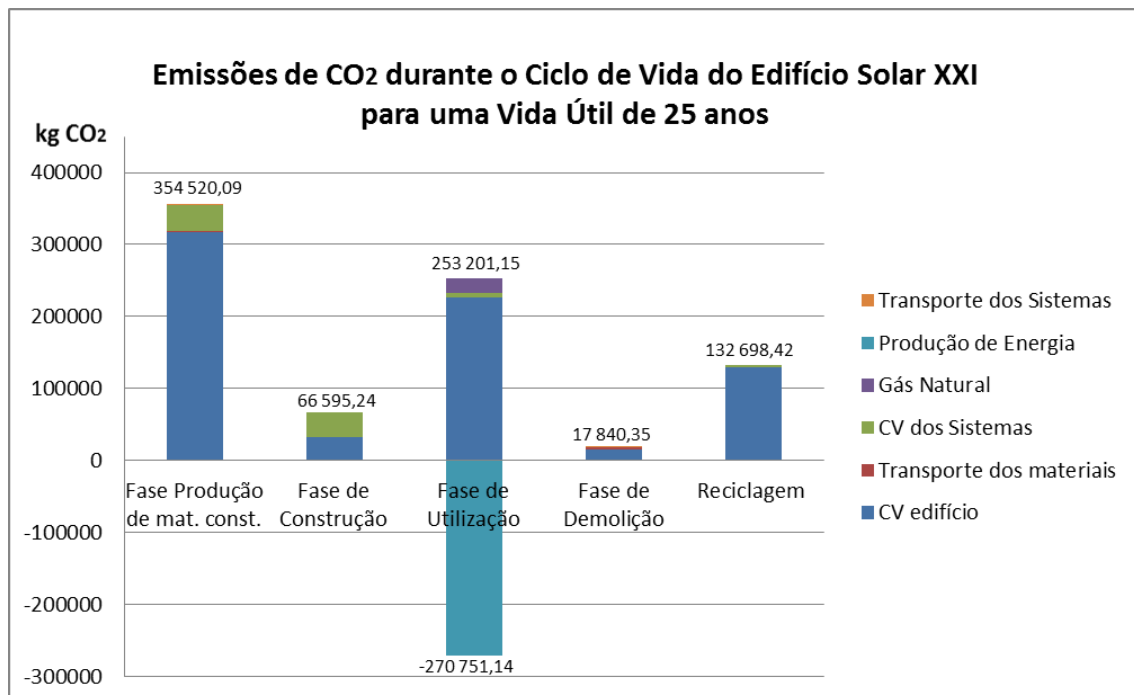


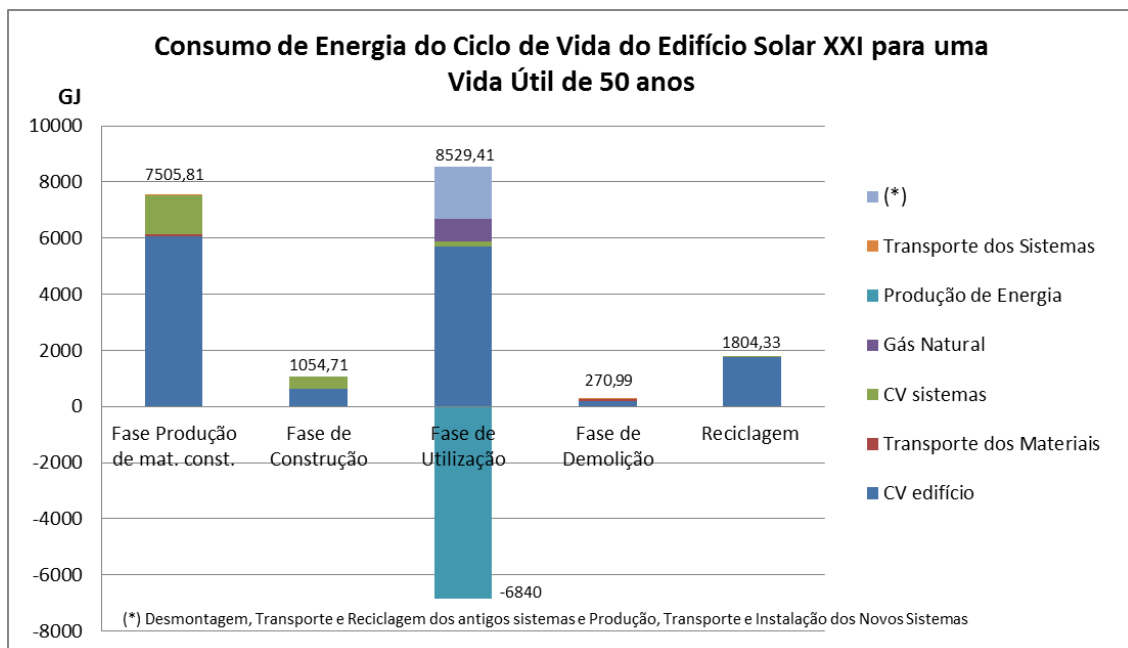
Gráfico 32 – Emissões de CO₂ do ciclo de vida do Edifício Solar XXI para uma vida útil de 25 anos (relacionado com a Tabela 30)



A energia utilizada durante a fase de utilização dos edifícios convencionais supera, em média, a energia utilizada na produção dos materiais de construção. Contudo, comparando os gráficos 31 e 32 com os gráficos 33 e 34, verifica-se que o impacto da fase de utilização do edifício no seu ciclo de vida está dependente da sua vida útil,

mesmo que o edifício tenha sido dimensionado, em termos de medidas passivas, para um consumo energético reduzido. Traçando uma análise do Edifício Solar XXI para uma vida útil de 25 anos e de 50 anos, conclui-se que é relativamente mais sustentável que o edifício *NZEB* seja dimensionado para uma vida útil longa (caso os materiais de construção escolhidos sejam os referidos nas tabelas 21 ou 22), pois a diferença dos valores obtidos de consumo de energia e emissões de CO₂ do ciclo de vida do Edifício Solar XXI para 25 anos e para 50 anos é baixa. Todavia, o facto de haver substituição dos sistemas produtores de energia ao fim de 25 anos (desmontagem, transporte e reciclagem dos velhos sistemas e produção, transporte e instalação dos novos sistemas), o balanço energético passa a ser positivo (consumo de energia superior à produção). Porém, como a Diretiva não contabiliza o consumo energético das outras fases do ciclo de vida (neste caso, dos sistemas produtores de energia) o balanço energético na fase de utilização seria, aos olhos da Diretiva, negativo.

Gráfico 33 – Consumo energético do ciclo de vida do Edifício Solar XXI para uma vida útil de 50 anos (relacionado com a Tabela 31)



emissões de CO₂, sendo essa relação diretamente proporcional, ou seja, ao se reduzir a energia incorporada, de um modo geral, é também reduzido o carbono incorporado.

Na natureza, o ciclo de vida da energia encontra-se em equilíbrio, pois, segundo Gallavotti (2001, p.10) este funciona da seguinte forma:

“O principal ‘combustível’ da biosfera é a luz do Sol, directamente utilizável apenas por organismos com capacidade de realizar a fotossíntese, ou seja, as plantas e alguns microrganismos. Plantas e organismos fotossintéticos transformam a energia luminosa em energia química, armazenando-a em moléculas complexas - os açúcares - construídas a partir do dióxido de carbono e água. Parte dessas moléculas é posteriormente utilizada pelos próprios organismos fotossintéticos, durante a respiração, produzindo a energia necessária às operações químicas que suportam os seus processos vitais e os de todos os outros seres vivos. As restantes moléculas são integradas pelas próprias células, sendo depois utilizadas no crescimento e renovação de tecidos danificados. As moléculas contidas nesses tecidos são a fonte de energia que permite a sobrevivência de todos organismos sem capacidade de fotossíntese, designados por essa razão como consumidores. Assim, os herbívoros obtêm os materiais de que necessitam pela transformação das moléculas dos vegetais, enquanto os carnívoros fazem o mesmo com os tecidos dos herbívoros. Assim, a energia convertida pelas plantas passa de um organismo para outro. Cada um desses organismos, porém, converte grande parte da energia através de reacções químicas que ocorrem nas suas células. Por conseguinte, a cada passagem, uma quantidade considerável de energia é libertada para o ambiente sob a forma de calor, perdendo-se. Deste modo, se o Sol não abastecesse continuamente a biosfera com novo “combustível”, a vida deixaria rapidamente de existir.”

Como refere Gallavotti, a energia provida pelo sol leva a que as plantas, ao realizarem a fotossíntese, usem essa mesma energia para produzir matéria mais complexa, como os açúcares constituídos a partir do CO₂ retirado da atmosfera pelas próprias plantas. Através da digestão por parte dos animais e pela própria planta, e através da decomposição pelos fungos e outros organismos, estes açúcares serão de novo simplificados sob a forma de CO₂, libertando novamente a energia para a atmosfera mas sob outras formas. Este fenómeno é justificado por Antoine Laurent de Lavoisier através da Lei de Conservação das Massas, que se traduz na sua célebre afirmação (cit. in. Figueiredo, 2012, p.3):

"Na Natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma."

Tal como na natureza, os edifícios só serão energeticamente e ecologicamente sustentáveis se for tida em consideração a análise de todo o ciclo de vida dos edifícios, para que assim se possa reduzir realmente o seu consumo energético total e a sua pegada ecológica. Sendo objetivo da União Europeia ser energeticamente independente do exterior, só será

possível concretizar esse objetivo se se tiverem em conta todas as fases do edifício, já que, para um edifício presente num país da União Europeia o consumo de energia e as emissões de carbono de cada fase serão realizados na Europa. É necessário, assim, criar legislação que envolva todo o ciclo de vida do edifício. A União Europeia deve incentivar a aplicação de materiais com menor energia e carbono incorporados, sobretudo na fase de produção de materiais, que é, em média, a segunda fase onde o consumo de energia é mais elevado, comparando com todo o ciclo de vida do edifício.

Uma das vantagens dos materiais ecológicos em relação aos materiais convencionais utilizados no Edifício Solar XXI, reside no facto de estes últimos serem responsáveis por impactos ambientais diferentes, tal como outras emissões tóxicas, para além do CO₂, e uma pegada ecológica elevada na extração da matéria-prima, tendo os materiais ecológicos geralmente um reduzido impacto ambiental.

No Edifício Solar XXI foi utilizado aço 100% reciclado e aglomerados de madeira. Porém, nenhuma outra medida foi pensada para reduzir a energia incorporada (EI) e o carbono incorporado (CI) dos materiais do edifício. Materiais como o betão, o alumínio e o tijolo cerâmico apresentam um peso muito grande na energia e carbono incorporado total de todos os materiais do Edifício Solar XXI.

A escolha dos materiais de construção nos edifícios a projetar é determinante na energia incorporada e no carbono incorporado total da fase de produção de materiais. Assim, sendo a energia e o carbono incorporado do edifício proporcional aos coeficientes de EI e CI dos materiais, e também proporcional à quantidade de materiais aplicados, durante a fase de projeto deve existir uma consciência na seleção e quantidade de materiais, dando prioridade aos materiais com coeficientes de EI e CI mais baixos.

Os coeficientes de EI e CI do betão são relativamente baixos. Contudo, pelo facto de ter um volume construtivo bastante grande no Edifício Solar XXI, e em generalidade nos edifícios convencionais da Europa, a percentagem de energia incorporada e carbono incorporado do betão no edifício é bastante grande (EI – 17,75%; CI – 18,43%). Deste modo, devem ser aplicadas medidas de redução do EI e CI do betão. Sabendo que o cimento é a componente que apresenta maior impacto ambiental nestas duas vertentes, uma medida viável é a substituição de parte do cimento por cinzas (como se verificou no subcapítulo XIII.2), mantendo a mesma resistência.

Contrariamente ao betão, o EI e o CI do isolamento térmico da envolvente do Edifício Solar XXI apresenta uma percentagem baixa relativamente ao EI e CI total do edifício, pelo facto de a sua quantidade não ser relevante comparando com o volume total do edifício (EI – $4,48 + 0,84 + 0,34 + 0,02 = 5,68\%$; CI – $2,47 + 0,45 + 0,19 + 0,55 = 3,66\%$). Portanto, apesar de os seus coeficientes serem elevados, aplicar elevado isolamento como se fez no Edifício Solar XXI, é uma boa estratégia, obtendo-se uma melhor eficiência energética na fase de utilização. Contudo, outros materiais mais ecológicos podem ser utilizados como isolamento com a missão de tornar o edifício ainda mais sustentável (exemplos: palha, cânhamo, cortiça) em vez da utilização de materiais com impacto ambiental elevado.

Já o revestimento interior em alumínio, apesar de ter um volume baixo em termos de quantidade, apresenta uma enorme energia e carbono incorporado, sendo o elemento que apresenta a maior percentagem no edifício (EI – $19,16\%$; CI – $22,16\%$). Estes dois coeficientes do alumínio são bastante elevados devido à extração da matéria-prima necessária, o processo de transformação desta última em alumínio e o seu transporte requererem uma enorme quantidade de energia e apresentarem uma pegada ecológica considerável. Em termos ecológicos, é completamente inaceitável a aplicação de alumínio “virgem”. Contudo, uma igual solução construtiva é o alumínio reciclado, que apenas necessita de $1/5$ da energia utilizada para a produção de alumínio “virgem”, sendo uma solução ecológica muito mais aceitável.

Outras soluções mais ecológicas para a construção de paredes exteriores podem ser aplicadas, nomeadamente a utilização de tijolo não cozido ou a utilização de palha. No subcapítulo XIII.3 demonstrou-se que as construções de paredes em madeira e palha apresentam um valor 7 vezes menor de energia incorporada e um valor de 27 vezes menor de carbono incorporado, comparando com as paredes de tijolo térmico (medida construtiva aplicada no Edifício Solar XXI), evitando uma emissão de aproximadamente $89,33 \text{ kg de CO}_2$ por cada metro quadrado de parede construída, sendo o carbono incorporado da parede de tijolo térmico de $105,32 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2$ e o da parede de palha e madeira de $15,99 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2$.

Se os países da União Europeia pretendem atingir as metas estabelecidas para 2050 a respeito da redução das emissões de CO_2 , os requisitos para o dimensionamento de um

edifício com necessidades quase nulas de energia das novas construções, também devem incluir o conceito de baixa emissão de carbono (Despret et al., 2011, p. iv).

Os impactos ambientais causados pelo ciclo de vida dos edifícios não têm consequências diretas a curto prazo no Homem, nem nos ecossistemas, mas sim a longo prazo, por isso, qualquer medida que baixe os impactos ambientais é um passo para a sustentabilidade.

Para se obter um edifício com reduzido impacto ambiental negativo, é necessário ter em conta todas as fases do ciclo de vida e não somente dar ênfase a uma só fase. Como referido por Despret et al. (2011, p. vii), a avaliação do ciclo de vida na abordagem de um edifício com necessidades quase nulas de energia está longe da intenção da Diretiva 2010/31/UE. Assim, e como defendido por Despret et al. (2011, p.42), algumas recomendações práticas no dimensionamento de um edifício com necessidades quase nulas de energia, relativamente à avaliação do ciclo de vida, devem ser tomadas em consideração, nomeadamente:

- O consumo de energia durante as outras fases do edifício deve tornar-se mais importante quanto mais reduzido for consumo de energia na fase de utilização;
- Incluir uma avaliação de ciclo de vida através de programas informáticos especializados, na avaliação do desempenho energético do edifício;
- Criar uma base de dados relativa ao consumo energético de cada fase, de modo a estimar as necessidades de energia no ciclo de vida do edifício a construir, e também, de modo a destacar a importância de cada fase relativamente ao consumo energético final. (Despret et al., 2011, p.42)

A análise do Edifício Solar XXI demonstrou que é possível responder à Diretiva 2010/31/UE em Portugal e que a Diretiva apresenta uma influência positiva na sustentabilidade ambiental do património edificado. Porém, o âmbito da Diretiva poderá ser melhorado de modo a reduzido ainda mais o consumo de energia e as emissões de dióxido de carbono, entre outros impactos ambientais, dos diferentes edifícios da União Europeia, com a aplicação de medidas que envolvam todo o ciclo de vida e em particular de cada fase dos edifícios.

Bibliografia

A

Abreu, Y. et alii (2010). *Energia, Economia, Rotas Tecnológicas – textos selecionados*. Málaga (Espanha). Universidad de Málaga.

ADENE (2011). Perguntas e Respostas sobre o RCCTE. Lisboa, ADENE.

Amador, J. (2010). *Produção e Consumo de Energia em Portugal: Factos Estilizados*. Lisboa (Portugal), Boletim Económico - Banco de Portugal.

Amestoy, J. (s.a.). *El Planeta Tierra en Peligro – Calentamiento Global. Cambio Climático. Solución*. Alicante (Espanha), Editorial Club Universitario.

Aelenei, L. et al. (2010). The Road Towards “Zero Energy” in Buildings: Lessons Learned from SOLARXXI Building in Portugal. [Em linha]. Disponível em <<http://repositorio.ineg.pt/handle/10400.9/950>>. [Consultado em 31/01/2013].

Certificação Energética e Ar interior - Edifícios (s.a.). Classes de Desempenho Energético. [Em linha]. Disponível em <<http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Apresentacao/ProcessodaCertificacao/Paginas/Classesdedesempenhoenergetico.aspx>> [Consultado em 3/01/2013].

Alcorn, A. (2003). Embodied Energy and CO₂ Coefficients for NZ Building Materials. Wellington (Nova Zelândia), Victoria University of Wellington.

Anderson, D. et al. (2009). *Treading Lightly: The Joy of Conservation, Moderation, and Simple Living*. E.U.A., Pensive Press, LLC.

Andrade, J. (2009). *Avaliação da Sustentabilidade do Edifício Solar XXI Utilizando a Metodologia SBTool*. Porto (Portugal), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Ao Sol - Energias Renováveis Lda (s.a.) Mostra Tecnológica. [Em linha]. Disponível em <http://www.aguaquentesolar.com/_fich/7/AOSOL1.pdf>. [Consultado em 18/01/2013].

Ashby, M. (2009). *Materials and the Environment Eco-Informed Material Choice*. Oxford (Reino Unido), Elsevier Inc.

Áton (2010). Instalações de Microgeração. [Em linha]. Disponível em <http://www.aton.pt/files/ATON_Microgeracao_2010_A.pdf>. [Consultado em 18/01/2013].

B

Barber, E. e Prove, J. (2010). *Convert Your Home to Solar Energy*. E.U.A., The Taunton Press.

Barbirato, G. et al. (2007). *Clima e Cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos*. Alagoas (Brasil), Edufal – Editora da Universidade Federal de Alagoas.

Barros, N. (2008). *Energia e Meio Ambiente – Capítulo II*. Porto (Portugal), Universidade Fernando Pessoa.

Bastan Renovables (s.a.). Catálogo Geral 10. [Em linha]. Disponível em <http://www.bastan.es/catalogos_pdf/1%20BASTAN%20RENOVABLES-lista-precios-solar-fotovoltaica%202011.pdf>.[Consultado em 18/01/2013].

Batista, A. (2008). *Edifício auto-sustentável a nível energético e de águas*. Aveiro (Portugal), Universidade de Aveiro.

Bayer, C. et al. (2010). *AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice*. Washington (E.U.A.), The American Institute of Architects.

Bellusci, S. (2010). *Epidemiologia*. São Paulo (Brasil), Senac.

Benson, S. (2002). *History Behind the Headlines - The Origins of Conflicts Worldwide (volume 4)*. Farmington Hills (E.U.A.), The Gale Group (Inc.).

Bhattacharjee, B. (2010). *Proceedings of the International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*, The Indian Concrete Journal, Julho, pp. 45-51.

Boonenburg, K. (1951). *Windmills in Holland*. Holanda, Netherlands Government Information Office.

Borrego, C. et al. (2009). As alterações climáticas: uma realidade transformada em desafio. [Em linha]. Disponível em <<https://infoeuropa.eu/ocid.pt/files/database/000043001-000044000/000043449.pdf>>. [Consultado em 04/01/2013].

Bribián, I. et al. (2011). Development of European Ecolabel and Green Public Procurement Criteria for Office Buildings - Product definition and scope. [Em linha]. Disponível em <<http://susproc.jrc.ec.europa.eu/buildings/docs/product%20definition%20and%20scope.pdf>> [Consultado em 8/12/2012].

Burattini, M. (2008). *Energia – Uma abordagem Multidisciplinar*. São Paulo (Brasil), Libraria da Física.



Câmara Municipal da Ribeira Grande. (s.a.). Geotermia. [Em linha]. Disponível em <<http://cm-ribeiragrande.azoresdigital.pt/Default.aspx?Module=Artigo&ID=121>> [Consultado em 20/06/2012].

Câmara Municipal de Sines. (2007). Município de Sines. [Em linha]. Disponível em <<http://www.sines.pt/PT/Actualidade/fotoscaracterizacao/economia/Fotos%20de%20Economia/Forms/DispForm.aspx?ID=2>> [Consultado em 20/06/2012].

CCDRC (2011). Resíduos de Construção e Demolição RC&D. [Em linha]. Disponível em <https://www.ccdrc.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=604%3Aresiduos-de-construcao-e-demolicao&catid=663%3Aarcad-rcad&Itemid=281&lang=pt&showall=1> . [Consultado em 01/11/2013].

Centro de Ciência do Sistema Terrestre (s.a.). Protocolo de Quioto. [Em linha]. Disponível em <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/Protocolo_Quito.pdf> [Consultado em 22/05/2012].

Construção sustentável (2012). Sistemas de Aquecimento com Biomassa. [Em linha]. Disponível em <<http://construcaosustentavel.pt/index.php?/O-Livro-%7C%7C-Construcao-Sustentavel/Eficiencia-Energetica/Sistemas-de-Aquecimento-com-Biomassa>> [Consultado em 24/10/2012].

Carmody, J. e Trusty, W. (2005). Implications (vol.05 Issue 03) – Life Cycle Assessment Tools. [Em linha]. Disponível em <http://www.informedesign.org/_news/mar_v05r-p.pdf> [Consultado em 10/11/2012].

Carrada, G. (2002). *Enciclopédia Pedagógica Universal – A Matéria*. Florença (Itália), HIPERLIVRO.

Carvalho, C. (s.a.). *Projeto de um Sistema de Aquecimento Solar de Água para Pousadas*. Minas Gerais (Brasil), Universidade Federal de Lavras.

Castillo, C. e Jordán, M. (1999). *Meteorología y clima*. Barcelona (Espanha), Universitat Politècnica da Catalunya.

Castro, R. (2003). *Energias Renováveis e Produção Descentralizada: Introdução à energia eólica*. Lisboa (Portugal), Universidade Técnica de Lisboa.

Ceeeta (s.a.). Fontes de Energia Renovável. [Em Linha]. Disponível em <http://www.ceeeta.pt/energia/files/09/02-Fontes_de_Energia_Renovavel.pdf> [Consultado em 12/06/2012].

Cerestech (2008). *Greenhouse Gas (GHG) Emissions Viewed from a Cradle to Gate life Cycle Perspective*. Montreal (Quebec, Canadá), Cerestech Inc.

Cimm (2012). Definição de: Efeito chaminé. [Em linha]. Disponível em <<http://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/181-efeito-chamin>>. [Consultado em 11/01/2013].

Cleveland, C. e Morris, C. (2009). *Dictionary of Energy – Expanded Edition*. Oxford (Reino Unido), Elsevier Ltd.

Comissão Europeia (2009). *Low Energy Buildings in Europe: Current State of Play, Definitions and Best Practice*. Bruxelas, Comissão Europeia.

Comissão Europeia (2013). *Relatório da Comissão ao Parlamento Europeu e ao Conselho – Apoio financeiro à eficiência energética dos edifícios*. Bruxelas, Comissão Europeia.

D

Dajoz, R. (2002). *Tratado de Ecología*. s. l., Mundi-Prensa.

Denecke, E et al. (2006). New York State – Grade 8. E.U.A., Barron’s Educational Series.

Despret, C. et al. (2011). *Principles for nearly zero-energy buildings - Paving the way for effective implementation of policy requirements*. S.l., BPIE.

Diacon, D. e Moring, J. (2013). Fair energy transition towards nearly zero energy buildings - European Public, Cooperative and Social Housing Providers Working for a Fair Energy Transition. Bélgica, CECODHAS Housing Europe.

Dimoudi, A. e Tompab C. (2008). Energy and environmental indicators related to construction of office buildings. [Em linha]. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344908001481>>. [Consultado em 21/01/2013].

E

Economidou, M. et al. (2010). *Europe's Buildings Under the Microscope - A country-by-country review of the energy performance of buildings*. Bélgica, BPIE.

EDP (2009). Tarifas Baixa Tensão Normal até 20,7kVA. [Em linha]. Disponível em <<http://www.edpsu.pt/pt/negocios/tarifasehorarios/tarifasBTN/Pages/TarifasBTNate20.7kVA.aspx>>. [Consultado em 19/01/2013].

EDP (2012). Sustainable Development. [Em linha]. Disponível em <<http://www.edp.pt/en/Investidores/publicacoes/apresentacoes/Presentations%202012/Sustainability%20Presentation.pdf>>. [Consultado em 17/01/2013].

Eng, E. (2012). *Teoria de la Energia Original – Photogenesis*. s. l., Palibrio.

EWK – Torres de Refrigeración. (2012). Central Eléctrica de Biomasa de residuos forestales. [Em linha]. Disponível em <http://www.ewk.eu/index.php/instalaciones/es/907> [Consultado em 20/06/2012].

Expresso (2012). Protocolo de Quioto prolongado até 2020. [Em linha]. Disponível em <<http://expresso.sapo.pt/protocolo-de-quioto-prolongado-ate-2020=f772521>>.

[Consultado em 13/01/2014].



Falcão, A. (2008). *Energia Solar - Movimento e posicionamento relativos Terra-Sol*. S. L., Instituto Superior Técnico.

Fernandez, J. (2006). Materials and Construction Forlow-Energy Buildings in China. [Em Linha]. Disponível em <http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4020-4786-2_4?LI=true>. [Consultado em 15/06/2012].

Ferreira, M. (2011). *Projeto Térmico Acústico e de Ventilação – RCCTE (Capítulo V)*. Porto (Portugal), Universidade Fernando Pessoa.

Ferrey, S. (2010). *Environmental Law*. Nova York (E.U.A.), Aspen Publishers.

FFSolar (2012). Lista de Preços de Venda ao Público. [Em linha]. Disponível em <http://www.ffiolar.com/products/FF_lista_PVP.pdf>. [Consultado em 17/01/2013].

FFSolar (2013). FFSolar Renováveis, LDA. – Produtos. [Em linha]. Disponível em <<http://www.ffiolar.com/index.php?lang=PT&page=produtos>>. [Consultado em 17/01/2013].

Figueiredo, M. (2012). Antoine Laurent de Lavoisier (1743 – 1794). [Em linha]. Disponível em <http://www.videos.uevora.pt/quimica_para_todos/qpt_R4-Lavoisier.pdf>. Consultado em [02/03/2013].

Forsythe, P. (2007). *Office Buildings – The Importance of “Make Good”, Fitout and Recurring Embodied Energy*. Sydney (Austrália), University of Technology Sydney.

Freitas, A. (2008). *Deslenhificação de materiais lenhinocelulósicos para bioconversão*. Vila Real (Portugal), Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Fridley, D. et al. (2008). Estimating Total Energy Consumption and Emissions of China’s Commercial and Office Buildings. [Em linha]. Disponível em

<<http://china.lbl.gov/publications/estimating-total-energy-consumption-and-emissions-chinas-commercial-and-office-building>>. [Consultado em 16/02/2013].

Fulgencio, P. (2007). Glossário - Vade Mecum. Rio de Janeiro (Brasil), MAUAD Editora Ltda.

Fundação Francisco Manuel dos Santos (2013). Pordata – Base de dados de Portugal Contemporâneo. [Em linha]. Disponível em <<http://www.pordata.pt>>. [Consultado em 21/11/2013].

G

Gallavotti, B. (2001). Enciclopédia Pedagógica Universal – A Ecologia. Florença (Itália), HIPERLIVRO.

Garrito, J. (2008). *Sistemas Energéticos para o Sector Edifícios em Portugal: Sustentabilidade e Potencial de Inovação*. Lisboa (Portugal), Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Gao, W. et al. (2000). Energy impacts of recycling disassembly material in residential buildings. [Em linha]. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778800000967>>. [Consultado em 17/02/2013].

Gaspar, C. (2004). *Eficiência Energética na Indústria*. Vila Nova de Gaia (Porto), ADENE.

Gonçalves, H. (2005). *Edifício Solar XXI - Um edifício energeticamente eficiente em Portugal*. Lisboa (Portugal), Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação.

Gonçalves, H. et al. (2012). *SOLAR XXI: A Portuguese Office Building towards Net Zero-Energy Building*, The REHVA European HVAC Journal, 49(3), pp. 34-40.

Graf, H. e Tavares, T. (2010). Energia Incorporada em Materiais de uma edificação Brasileira Residencial. [Em linha]. Disponível em <http://sites.unifebe.edu.br/~congressoits2010/artigos/artigos/087_-_ENERGIA_INCORPORADA_DOS_MATERIAIS_DE_UMA_EDIFICACAO_PADRAO_BRASILEIRA_RESIDENCIAL.pdf> [Consultado em 14/01/2013].

Grant, T. et al. (2001). Stage 2 Report for Life Cycle Assess for Packaging Waste Management Scenarios in Victoria. [Em linha]. Disponível em <http://www.ecorecycle.vic.gov.au/resources/documents/Stage_2_Report_for_Life_Cycle_Assess_for_Packaging_Waste_Mg.pdf>. [Consultado em 18/02/2013].

Greenspec (2013). Embodied energy. [Em linha]. Disponível em <<http://www.greenspec.co.uk/embodied-energy.php>> [Consultado em 14/01/2013].

GreenTubes (2012). Eficiência Energética na Iluminação Interior – Jornadas Técnicas OET. Porto (Portugal), Norgrupo Comercial, Lda.

Grimoni, J. et al. (2004). *Iniciação a Conceitos de Sistemas Energéticos para o Desenvolvimento Limpo*. São Paulo (Brasil), edusp.

Guida Edilizia (2013). RSE apre a Piacenza un nuovo centro di ricerca sul fotovoltaico a concentrazione. [Em linha]. Disponível em <<http://www.guidaedilizia.it/Articoli.asp?id=5687>>. [Consultado em 25/01/2014].

Gustavsson, L. et al. (2009). Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-storey wood-framed apartment building. [Em linha]. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778809002126>>. [Consultado em 15/06/2012].

H

Ha, S. e Tae, S. (2010). The Study on the Evaluation of Environmental load (CO₂) According to Production of Recycled Aggregate. [Em linha]. Disponível em <<http://www.irb.fraunhofer.de/bauforschung/baufolit.jsp?s=tae&pg=11&wo=cib&art=full&local=de>>. [Consultado em 19/02/2013].

Hammond, G. e Jones, C. (2008). *Inventory of Carbon & Energy (ICE) – Version 1.6a*. Bath (Reino Unido), Department of Mechanical Engineering - University of Bath, UK.

Hammond, G. e Jones, C. (2011). *Embodied Carbon - The Inventory of Carbon and Energy (ICE)*. Reino Unido, BSRIA BG.

Harvey, D. (2010). *Carbon-Free Energy Supply*. Londres (Reino Unido) e Washington (E.U.A.), Earthscan.

Hasan, A. (2011). Optimal design of Net Zero Energy Buildings. [Em linha]. Disponível em <http://www.ep.liu.se/ecp/057/vol8/014/ecp57vol8_014.pdf> [Consultado em 17/11/2012].

Heffernan, E. et al. (2013). *Redefining zero? A critical review of definitions of zero energy buildings and zero carbon homes*. Liverpool (Reino Unido), Liverpool John Moores University.

Held, M. (s.a.). Life cycle assessment of cdte module recycling. [Em linha]. Disponível em <<http://www.firstsolar.com/Innovation/CdTe-Technology/CdTe-Resources>>. [Consultado em 19/02/2013].

Hill, M. (2010). *Understanding Environmental Pollution*. Cambridge (Reino Unido), Cambridge University Press.

Huberman, N. e Pearlmutter, D. (2007). A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert. [Em linha]. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778807001776>>. [Consultado em 15/06/2012].

Huijun, J. et al. (2011). Life cycle energy consumption and CO₂ emission of an office building in China. [Em linha]. Disponível em <<http://www.springerlink.com/content/v118211186538612/>> [Consultado em 29/05/2012].

█

Ibn-Mohammed, T. et al. (2013). Operational vs. Embodied Emissions in Buildings – A Review of Current Trends. [Em linha]. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813004143#>> Disponível em <endereço> [Consultado em 02/08/2012].

IEA Statistics (2011). *Energy Balances of OECD Countries – 2011 Edition*. (França, International Energy Agency

ImpEE Project - University of Cambridge (2005). *Recycling of Plastics*. [Em linha]. Disponível em <<http://www-g.eng.cam.ac.uk/impee/topics/RecyclePlastics/files/Recycling%20Plastic%20v3%20PDF.pdf>>. [Consultado em 16/02/2013].

Internacional Energy Agency (2011). *Key World Energy Statistics*. [Em linha]. Disponível em <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2011/key_world_energy_stats.pdf> [Consultado em 20/06/2012].

Instituto Socioambiental (2007). *Almanaque Brasil Socioambiental*. São Paulo (Brasil), Ministério da Cultura (Brasil) e Instituto Socioambiental.

J

Jenkins, D. (2010). *Wood Pellet Heating Systems*. Londres (Reino Unido) e Washington (E.U.A.), Earthscan.

Jones, A. et al. (2009). *Soil Atlas of the Northern Circumpolar Region*. Luxemburgo, European Communities.

Jornal de Notícias (2011). Japão declara estado de emergência para cinco reactores nucleares. [Em linha]. Disponível em <http://www.jn.pt/PaginaInicial/Mundo/interior.aspx?content_id=1803881>. [Consultado em 06/06/2012].

Joseph, P. e Tretsiakova-McNally, S. (2010). *Sustainable Non-Metallic Building Materials*. [Em linha]. Disponível em <http://www.academia.edu/665005/Sustainable_Non-Metallic_Building_Materials> [Consultado em 9/12/2012].

K

Kim, J. e Rigdon, B. (1998). *Qualities, Use, and Examples of Sustainable Building Materials*. Michigan (E.U.A.), The University of Michigan.

Kofoworola, O. e Gheewala, S. (2009). Life cycle energy assessment of a typical office building in Thailand. [Em linha]. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778809001121>>. [Consultado em 15/02/2013].

L

Lacasta, N. e Barata, P. (1999). *O Protocolo de Quioto sobre Alterações Climáticas: Análise e Perspectivas*. s. l., Programa: Clima e Eficiência Energética

Laleman, R. et al. (2010). Life Cycle Analysis to estimate the environmental impact of residential photovoltaic systems in regions with a low solar irradiation. [Em linha]. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110003126>> . [Consultado em 19/02/2013].

Livsey, I. (2012). *Low Carbon Buildings and Homes - Skills and Opportunities*. Reino Unido, SummitSkills.

Lopéz, E. (2000). *Régimen Jurídico de Las Energías Renovables y la Cogeneración Eléctrica*. Madrid (Espanha), Instituto Nacional de Administración Pública.

M

Marcovitch, J. (2006). *Para Mudar o Futuro: Mudanças climáticas, políticas públicas e estratégias empresariais*. São Paulo (Brasil), Editora Saraiva - edusp

Marim, L. e Fernandes, F. (2008). *Olimpíada Paulista de Física*. São Paulo (Brasil), Livraria da Física.

Martínez, P. e Ruesga, L. (s.a.). *Empresa y Energías Renovables – Lo que su empresa debe saber sobre energías renovables, eficiencia energética y Kioto*. Madrid (Espanha), Fundación Confemetal Editorial.

Martino, A. (2009). Vantagens da Instalação de Painéis Solares de Tubos de Vácuo. [Em linha]. Disponível em <<http://www.suaveclima.pt/onisol/paineis-solares>>. [Consultado 06/05/2012].

Meier, P. (2002). *Life-Cycle Assessment of Electricity Generation Systems and Applications for Climate Change Policy Analysis*. Wisconsin (E.U.A.), University of Wisconsin.

Mendes, P. (2012). *Isolamentos Térmicos em Edifícios e seu Contributo para a Eficiência Energética - Recomendações de Projeto*. Porto (Portugal), Universidade Fernando Pessoa.

Mendonça, P. (2005). *Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados*, Bragança (Portugal), Universidade do Minho.

Menzies, G. e Roderick, Y.(2010). Energy and carbon impact analysis of a solar thermal collector system. [Em linha]. Disponível em <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19397030903362869>>. [Consultado em 20/02/2013].

Michaud, J. et al. (2010). Environmental benefits of recycling – 2010 update. [Em linha]. Disponível em <<http://www.wrap.org.uk/content/environmental-benefits-recycling>>. [Consultado em 18/02/2013].

Milutienė, E. (2010). *House Embodied Energy and Zero Energy Building Concept*. Kaunas (Lituânia), Institute of Environmental Engineering e Kaunas University of Technology.

Moura e Sá (2010). *Produção de Energia Eléctrica a Partir de Fontes Renováveis*. Coimbra (Portugal), Ordem dos Engenheiros.

Mousseau, S. (2011). *Life Cycle Analysis of the AFRESH Home Photovoltaic System*. Burnaby (Canada), British Columbia Institute of Technology.

Murdoch, C. e Figueiredo, A. (s.a.). BedZed, um novo conceito do moradia. [Em linha]. Disponível em <<http://www.iabrj.org.br/wp-content/uploads/2009/08/bedzed1.pdf>>. [Consultado em 04/10/2012].

N

NASA (2012). NASA Finds 2011 Ninth-Warmest Year on Record. [Em linha]. Disponível em <<http://www.nasa.gov/topics/earth/features/2011-temps.html>>. [Consultado em 20/08/2013].

Naves, F. e Firmino, T. (2009). *Portugal a Quente e frio*. Alfragide, Livros d’Hoje.

Nayak, S. e Tiwari, G. (2010). Energy metrics of photovoltaic/thermal and earth air heat exchanger integrated greenhouse for different climatic conditions of India. [Em linha]. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261910001170>>. [Consultado em 15/02/2013].

NREL (2012). Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Solar Photovoltaics. [Em linha]. Disponível em <<http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf>>. [Consultado em 15/01/2013].

Nascimento, H. e Abreu, Y. (2012). *Geotecnologias e o Planeamento da Agricultura de Energia*. Málaga (Espanha), eumed.net.

O

Obernberger, I. e Thek, G. (2010). *The Pellet Handbook*. Londres (Reino Unido) e Washington (E.U.A.), Earthscan.

Ochsendorf, J. (2010). Life Cycle Assessment (LCA) of Buildings Concrete Sustainability Hub. [Em linha]. Disponível em <<http://web.mit.edu/cshub/news/pdf/Buil dingsLCAsummaryDec2010.pdf>> [Consultado em 11/11/2012].

Ogunseitan, O. e Robbins, P. (2011). *Green Health: An A-to-Z Guide*. Califórnia e Washington (E.U.A.), Londres (Reino Unido), New Delhi (Índia) e Singapura (Malásia), SAGE Publications, Inc.

P

Peixoto, J. (s.a.). O que é o Clima: Quid est Clima?. [Em linha]. Disponível em <<http://www.manueljms.org/000511-Clima-PorJosePintoPeixoto.pdf>> [Consultado em 12/05/2012].

Panão, M. e Gonçalves, H. (2011), Methodological development of seasonal cooling energy needs by introducing ground-cooling systems. [Em linha]. Disponível em <<http://hdl.handle.net/10400.9/1354>>. [Consultado em 5/01/2013].

Panão, M. e Gonçalves, H. (2011), Solar XXI building: Proof of concept or a concept to be proved?. [Em linha]. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148111001169>>. [Consultado em 5/01/2013].

Panoramio. (2007). Barragem de Alqueva. [Em linha]. Disponível em <<http://www.panoramio.com/photo/2654062>> [Consultado em 20/06/2012].

Panoramio. (2007). Central Fotovoltaico. [Em linha]. Disponível em <<http://www.panoramio.com/photo/2432978>> [Consultado em 20/06/2012].

Pereira, M. (s.a.). *Energia Solar: Aplicações Térmicas*. Lisboa (Portugal), Departamento de Física do IST.

Priberam dicionário (2013) Dicionário Priberam da Língua Portuguesa. [Em linha]. Disponível em <<http://www.priberam.pt/DLPO>>. [Consultado em 01/11/2013].

R

Ramesh, T. (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. [Em linha]. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810001696>> [Consultado em 8/06/2012].

Ribeiro, S. e Real, M. (2006). *Novos Combustíveis*. Rio de Janeiro (Brasil), E-papers Serviços Editoriais Ltda.

Roaf, S. et alii (2006). *Ecohouse – Casa Ambientalmente Sustentável*. Porto Alegre (Brasil), Bookman

Rodger, M. (2010). *Hydroelectric Power: Power from Moving Water*. St. Catharines (Canadá), Nova York (E.U.A.), Basin Road North (Reino Unido) e Ascot Vale (Australia), Crabtree Publishing Company.

Robert, P. (2012). *Workshop - Experiences on Net Zero Energy Buildings - Meet the experts*. Barcelona (Espanha), Institut de Recerca en Energia de Catalunya

Rocha, J. et al. (2009). *Introdução à Química Ambiental (2ª edição)*. Porto Alegre (Brasil), Bookman.

Rolland, M. (2010). *Optimization the use of biomass in Poland (for EDF)*. Douai (França), Ecoles des Mines de Douai.

Rosa, A. et al. (2012). *Meio Ambiente – Sustentabilidade*. Porto Alegre (Brasil), Bookman.

S

Salino, P. (2011). *Energia Eólica no Brasil: uma Comparação do Proinfa e dos Novos Leilões*. Rio de Janeiro (Portugal), Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Santiago, P. (2011). *O Planeta – fontes energéticas e materiais (Construção Sustentável)*. Porto. Universidade Fernando Pessoa

Sartori, I. et al. (s.a.). Criteria for Definition of Net Zero Energy Buildings. [Em linha]. Disponível em <http://www.enob.info/fileadmin/media/Projektbilder/EnOB/Thema_Nullenergie/EuroSun_CoConferen_Graz_2010_Criteria_for_Definition_of_Net_Zero_Energy_Buildingsx.pdf> [Consultado em 15/11/2012].

Sartori, I et al. (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition framework. [Em linha]. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812000497#>> [Consultado em 02/08/2012].

Scott, K. (s.a.). *Can PV or Solar Thermal Systems be Cost Effective Ways of Reducing CO₂ Emissions for Residential Buildings?*. Londres (Inglaterra), University College London.

Simões, M. e Martins, S. (2009). *Sistemas de Aproveitamento da Energia do Mar*. Aveiro (Portugal), Universidade de Aveiro.

Soares, M. e Jornal Público (2014). Quase 60% da electricidade consumida em 2013 foi de origem renovável. [Em linha]. Disponível em <http://www.publico.pt/ecosfera/noticia/quase-60-da-electricidade-consumida-em-2013-foi-renovavel-1619592#/0>. [Consultado em 14/01/2014].

SouthernEnergy Management (s.a.). Residential Solar Thermal System.[Em linha]. Disponível em <http://www.ncpublicpower.com/Libraries/Solar_Energy_Studies/Residential_Case_Study.sflb.ashx>. [Consultado em 15/03/2013].

Souza, F. (2007). *Mecanismos de Desenvolvimento Limpo e Crédito de Carbono: As Potencialidades do Brasil*. São Paulo (Brasil), Bolsa de Mercadorias e Futuros.

T

Tian-yan, W. e Min, C. (2012). Research on Low-carbon Building Development Based on Whole Life. [Em linha]. Disponível em <www.sciencedirect.com> [Consultado em 10/06/2012].

Tirone, L. (s.a.). Construção Sustentável. [Em linha]. Disponível em <<http://inbec.com.br/josimardealmeida/wp-content/uploads/2012/02/CONSTRU%C3%87%C3%83O-SUSTENTAVEL.-LIVRO.Parametros-de-Avalia%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. [Consultado em 02/03/2013].

Tommasi, L. (2008). *Meio Ambiente e Oceanos*. São Paulo (Brasil), Senac.

Torgal, F. et al. (2011). *Embodied Energy Versus Operational Energy. Showing The Shortcomings Of The Energy Performance Building Directive (EPBD)*. Guimarães (Portugal), Universidade do Minho.

Twinn, C. (2003). BedZED. [Em linha]. Disponível em <http://www.arup.com/_assets/_download/download68.pdf>. [Consultado em 04/10/2003].

U

Udell, D. et alii (2010). Low-cost mounting arrangements for building-integrated wind turbines. [Em Linha]. Disponível em <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/we.386/abstract>> [Consultado em 08/1/2012].

Universe projects (2011). Recycling. [Em linha]. Disponível em <<http://www.universe-projects.com/factsheets/recycling>>. [Consultado em 18/02/2013].

V

Veiga, J. (2008). *Aquecimento Global – Frias Contendas Científicas*. São Paulo (Brasil), Senac.

Velasco, J. (2009). Energías renovables. Barcelona (Espanha), Editorial Reverté.

Vermerris, W. (2008). *Genetic Improvement of Bioenergy Crops*. Florida (E.U.A.), Florida University.

Victoria University of Wellington (2007). Embodied Energy Coefficients – Alphabetical. [Em linha]. Disponível em <<http://www.victoria.ac.nz/cbpr/documents/pdfs/ee-coefficients.pdf>>. [Consultado em 11/01/2013].

Voss, K. et al. (2012). *Nearly-zero, Net zero and Plus Energy Buildings – How definitions & regulations affect the solutions*, *REHVA Journal*, Dezembro, 23-27.

W

Wallhagen, M. et al. (2011). Basic building life cycle calculations to decrease contribution to climate change - Case study on an office building in Sweden. [Em linha]. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132311000515>>. [Consultado em 8/06/2012].

Wrap (2008). Recyclability efficiency metric. [Em linha]. Disponível em <<http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Recyclability%20Efficiency%20Metric.pdf>>. [Consultado em 20/02/2013].

Y

Yudelson, J. (2008). *The Green Building Revolution*. Washington (E.U.A), Island Press.

Yung, P. et al. (2012). An audit of life cycle energy analyses of buildings. [Em linha]. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0197397512000665>> [Consultado em 21/01/2013].

Z

Zilberman, I. (2004). *Introdução à Engenharia Ambiental*. Brasil, Editora da Ulbra.

Enquadramento Legal

Diretor-Geral de Energia e Geologia (2013). *Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013*. Lisboa (Portugal), Diário da República.

Diretor-Geral de Energia e Geologia (2013). *Despacho (extrato) n.º 15793-H/2013*. Lisboa (Portugal), Diário da República.

FEUP, FAUTL, ESTUA, INETI, IST ANMP, DGGE, IM, LNEC, AO, OE (2006). *Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*. Lisboa, Diário da República.

Ministério da Economia e Inovação (2006). *Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril - Sistema de Certificação Energética*. Lisboa, Diário da República.

Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações (2006). *Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)*. Lisboa, Diário da República.

Ministério da Economia e Inovação (2010). *Decreto-Lei n.º 118-A/2010 de 25 de Outubro*. Lisboa, Diário da República.

Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia (2013). *Portaria n.º 349-A/2013 de 29 de novembro*. Lisboa (Portugal), Diário da República.

Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia (2013). *Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de novembro*. Lisboa (Portugal), Diário da República.

Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia (2013). *Portaria n.º 349-C/2013 de 29 de novembro*. Lisboa (Portugal), Diário da República.

Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia (2013). *Portaria n.º 349-D/2013 de 29 de novembro*. Lisboa (Portugal), Diário da República.

Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, da Saúde e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social (2013). *Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro*. Lisboa (Portugal), Diário da República.

Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território (2011). *Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de Junho - Resíduos de Construção e Demolição (RCD)*. Lisboa, Diário da República.

Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (2008). *Decreto-Lei n.º 46/2008 de 12 de Março - Resíduos de Construção e Demolição (RCD)*. Lisboa, Diário da República.

Nações Unidas (1997). *Protocolo de Quioto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. Japão, Nações Unidas

Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 (2002). *Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios*. Bruxelas, Jornal Oficial das Comunidades Europeias.

Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009 (2009). *Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009 relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis*. Bruxelas, Jornal Oficial das Comunidades Europeias.

Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 (2010). *Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação)*. Estrasburgo, Jornal Oficial da União Europeia.

Anexo I

Diretiva 2010/31/UE de 19 de Maio de 2010

DIRECTIVA 2010/31/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO**de 19 de Maio de 2010****relativa ao desempenho energético dos edifícios****(reformulação)**

O PARLAMENTO EUROPEU E O CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA,

Tendo em conta o Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia, nomeadamente o n.º 2 do artigo 194.º,

Tendo em conta a proposta da Comissão Europeia,

Tendo em conta o parecer do Comité Económico e Social Europeu ⁽¹⁾,

Tendo em conta o parecer do Comité das Regiões ⁽²⁾,

Deliberando de acordo com o processo legislativo ordinário ⁽³⁾,

Considerando o seguinte:

- (1) A Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios ⁽⁴⁾, foi alterada ⁽⁵⁾. Devendo ser introduzidas novas alterações substanciais, é conveniente, por razões de clareza, proceder à sua reformulação.
- (2) Uma utilização prudente, racional e eficiente da energia deverá abranger, nomeadamente, os produtos petrolíferos, o gás natural e os combustíveis sólidos, que constituem fontes de energia essenciais e, simultaneamente, as principais fontes de emissão de dióxido de carbono.
- (3) Os edifícios representam 40 % do consumo de energia total na União. O sector está em expansão, pelo que será de esperar um aumento do seu consumo de energia. Por conseguinte, a redução do consumo de energia e a utilização de energia proveniente de fontes renováveis no sector dos edifícios constituem medidas importantes necessárias para reduzir a dependência energética da União e as emissões de gases com efeito de estufa. Conjugadas com uma utilização de energia proveniente de fontes renováveis, as medidas tomadas para reduzir o consumo

de energia na União permitirão à União cumprir o Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas, e honrar o seu compromisso a longo prazo de manter a subida da temperatura global abaixo dos 2 °C e o seu compromisso de reduzir até 2020 as emissões globais de gases com efeito de estufa em pelo menos 20 % em relação aos níveis de 1990, e em 30 % no caso de se alcançar um acordo internacional. A redução do consumo de energia e o aumento da utilização de energia proveniente de fontes renováveis têm igualmente um importante papel a desempenhar na promoção da segurança do aprovisionamento energético, na promoção dos avanços tecnológicos e na criação de oportunidades de emprego e desenvolvimento regional, especialmente nas zonas rurais.

- (4) A gestão da procura de energia é um instrumento importante, que permite à União influenciar o mercado global da energia e, por conseguinte, a segurança do abastecimento energético a médio e longo prazo.
- (5) O Conselho Europeu de Março de 2007 sublinhou a necessidade de aumentar a eficiência energética na União a fim de alcançar o objectivo de redução de 20 % do consumo de energia até 2020 e apelou a uma aplicação rápida e completa das prioridades estabelecidas na Comunicação da Comissão intitulada «Plano de Acção para a Eficiência Energética: Concretizar o Potencial». Este Plano de Acção identificou o potencial significativo de poupança de energia em condições economicamente rentáveis no sector dos edifícios. Na sua Resolução de 31 de Janeiro de 2008, o Parlamento Europeu preconizou o reforço das disposições da Directiva 2002/91/CE, tendo apelado por diversas vezes, a última das quais na sua Resolução de 3 de Fevereiro de 2009, relativa à Segunda Análise Estratégica da Política Energética, para que o objectivo de eficiência energética de 20 % em 2020 passe a ter carácter vinculativo. Além disso, a Decisão n.º 406/2009/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Abril de 2009, relativa aos esforços a realizar pelos Estados-Membros para redução das suas emissões de gases com efeito de estufa a fim de respeitar os compromissos de redução das emissões de gases com efeito de estufa da União até 2020 ⁽⁶⁾, fixa objectivos vinculativos de redução de CO₂ para os quais a eficiência energética no sector dos edifícios será essencial, e a Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Abril de 2009, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis ⁽⁷⁾, prevê a promoção da eficiência energética no contexto de um objectivo vinculativo para a energia proveniente de fontes renováveis equivalente a 20 % do consumo de energia total da União em 2020.

⁽¹⁾ JO C 277 de 17.11.2009, p. 75.

⁽²⁾ JO C 200 de 25.8.2009, p. 41.

⁽³⁾ Posição do Parlamento Europeu de 23 de Abril de 2009 (ainda não publicada no Jornal Oficial), posição do Conselho em primeira leitura de 14 de Abril de 2010 (ainda não publicada no Jornal Oficial), posição do Parlamento Europeu de 18 de Maio de 2010 (ainda não publicada no Jornal Oficial).

⁽⁴⁾ JO L 1 de 4.1.2003, p. 65.

⁽⁵⁾ Ver anexo IV, parte A.

⁽⁶⁾ JO L 140 de 5.6.2009, p. 136.

⁽⁷⁾ JO L 140 de 5.6.2009, p. 16.

- (6) O Conselho Europeu de Março de 2007 reafirmou o compromisso da União no desenvolvimento da energia proveniente de fontes renováveis à escala da União, tendo subscrito como objectivo obrigatório uma quota de 20 % de energia proveniente de fontes renováveis até 2020. A Directiva 2009/28/CE estabelece um quadro comum para a promoção da energia proveniente de fontes renováveis.
- (7) É necessário instituir acções mais concretas para realizar o grande potencial não concretizado de poupança de energia nos edifícios e para reduzir as grandes diferenças entre os Estados-Membros no que respeita aos resultados neste sector.
- (8) As medidas destinadas a melhorar o desempenho energético dos edifícios deverão ter em conta as condições climáticas e locais, bem como o ambiente interior e a rentabilidade económica. Essas medidas não deverão afectar outros requisitos relativos aos edifícios, tais como a acessibilidade, a segurança e a utilização prevista do edifício.
- (9) O desempenho energético dos edifícios deverá ser calculado com base numa metodologia que poderá ser diferenciada a nível nacional e regional. Esta metodologia abrange, para além das características térmicas, outros factores com influência crescente, como as instalações de aquecimento e ar condicionado, a aplicação de energia proveniente de fontes renováveis, os sistemas de aquecimento e arrefecimento passivo, os sombreamentos, a qualidade do ar interior, a luz natural adequada e a concepção dos próprios edifícios. A metodologia para o cálculo do desempenho energético deverá abranger o desempenho energético do edifício ao longo de todo o ano, e não apenas durante a estação do ano em que o aquecimento é necessário. Essa metodologia deverá ter em conta as normas europeias em vigor.
- (10) É da exclusiva responsabilidade dos Estados-Membros estabelecer requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios e dos elementos construtivos. Esses requisitos deverão ser estabelecidos tendo em vista alcançar um equilíbrio óptimo em termos de rentabilidade entre os investimentos efectuados e os custos de energia economizados ao longo do ciclo de vida do edifício, sem prejuízo do direito dos Estados-Membros de fixarem requisitos mínimos mais eficientes em termos energéticos do que os níveis de eficiência óptimos em termos de minimização de custos. Deverá prever-se a possibilidade de os Estados-Membros procederem periodicamente à revisão dos seus requisitos mínimos de desempenho energético em função do progresso técnico.
- (11) O objectivo de alcançar níveis rentáveis ou óptimos de eficiência energética pode justificar, em certas circunstâncias, como, por exemplo, variações climáticas, que os Estados-Membros fixem, para componentes de edifícios, requisitos de desempenho rentáveis ou óptimos que, na prática, limitariam a instalação de produtos de construção que cumprem as normas estabelecidas pela legislação da União, desde que esses requisitos não constituam um entrave injustificável ao mercado.
- (12) Ao estabelecerem requisitos de desempenho energético para os sistemas técnicos dos edifícios, os Estados-Membros deverão utilizar, sempre que disponível e adequado, instrumentos harmonizados, nomeadamente métodos de ensaio e de cálculo e categorias de eficiência energética desenvolvidos ao abrigo de medidas de aplicação da Directiva 2009/125/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de Outubro de 2009, relativa à criação de um quadro para definir os requisitos de concepção ecológica dos produtos relacionados com o consumo de energia ⁽¹⁾, e da Directiva 2010/30/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010, relativa à indicação do consumo de energia e de outros recursos por parte dos produtos relacionados com a energia, por meio de rotulagem e outras indicações uniformes relativas aos produtos (reformulação) ⁽²⁾, a fim de garantir a coerência com iniciativas conexas e de minimizar, na medida do possível, a eventual fragmentação do mercado.
- (13) A presente directiva não prejudica os artigos 107.º e 108.º do Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia (TFUE). Consequentemente, o termo «incentivo» utilizado na presente directiva não deverá ser interpretado como constituindo um auxílio estatal.
- (14) A Comissão deverá estabelecer um quadro para uma metodologia comparativa para calcular os níveis óptimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético. Os Estados-Membros deverão utilizar este quadro para comparar os resultados com os requisitos mínimos de desempenho energético que tenham aprovado. Caso se verifiquem discrepâncias significativas, isto é, que excedam 15 %, entre os níveis óptimos de rentabilidade calculados para os requisitos mínimos de desempenho energético e os requisitos mínimos de desempenho energético em vigor, os Estados-Membros deverão justificar a diferença ou prever medidas adequadas para reduzir essa discrepância. O ciclo de vida económico estimado de um edifício ou de um seu componente deverá ser fixado pelos Estados-Membros, tendo em conta as práticas correntes e a experiência na definição de ciclos de vida económicos típicos. Os resultados dessa comparação e os dados utilizados para os obter deverão ser regularmente comunicados à Comissão. Esta poderá assim avaliar e comunicar os progressos efectuados pelos Estados-Membros para atingir os níveis óptimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético.

⁽¹⁾ JO L 285 de 31.10.2009, p. 10.

⁽²⁾ Ver página 1 do presente Jornal Oficial.

- (15) Os edifícios têm impacto no consumo de energia a longo prazo. Por conseguinte, dado o longo ciclo de renovação para os edifícios existentes, os edifícios novos e os edifícios existentes sujeitos a grandes obras de renovação deverão cumprir requisitos mínimos de desempenho energético adaptados ao clima local. Uma vez que a aplicação de sistemas alternativos de fornecimento de energia não é em geral aproveitada em todo o seu potencial, deverão ser tidos em conta sistemas alternativos de fornecimento de energia para os novos edifícios, independentemente da sua dimensão, em conformidade com o princípio de garantir antes de mais que as necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento sejam reduzidas aos níveis óptimos de rentabilidade.
- (16) As grandes renovações de edifícios existentes, independentemente da sua dimensão, constituem uma oportunidade para tomar medidas rentáveis para melhorar o desempenho energético. Por razões de rentabilidade, deverá ser possível limitar os requisitos mínimos de desempenho energético às partes renovadas mais relevantes para o desempenho energético do edifício. Os Estados-Membros poderão optar por definir «grandes obras de renovação» quer em termos de uma percentagem da superfície envolvente do edifício, quer em termos do valor do edifício. Se um Estado-Membro decidir definir as grandes obras de renovação em termos do valor do edifício, poderão ser utilizados valores como o valor actuarial ou o valor corrente baseado no custo da reconstrução, excluindo o valor do terreno no qual o edifício se encontra.
- (17) São necessárias medidas para aumentar o número de edifícios que não se limitem a cumprir os actuais requisitos mínimos de desempenho energético, mas que os ultrapassem, reduzindo assim tanto o consumo de energia como as emissões de dióxido de carbono. Para tal, os Estados-Membros deverão elaborar planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia e comunicá-los regularmente à Comissão.
- (18) Estão a ser postos em prática ou adaptados os instrumentos financeiros da União e outras medidas com o objectivo de estimular a adopção de medidas de eficiência energética. Esses instrumentos financeiros a nível da União incluem, nomeadamente, o Regulamento (CE) n.º 1080/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Julho de 2006, relativo ao Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional⁽¹⁾, alterado para permitir maiores investimentos em eficiência energética na habitação; a parceria público-privada relativa a uma iniciativa intitulada «Edifícios europeus eficientes em termos energéticos», destinada a promover as tecnologias verdes e o desenvolvimento de sistemas e materiais eficientes em termos energéticos em edifícios novos e renovados; a iniciativa do Banco Europeu de Investimento (BEI) intitulada «Iniciativa de financiamento da energia sustentável da UE», destinada a permitir nomeadamente investimentos na eficiência energética, e o Fundo «Marguerite», liderado pelo BEI: Fundo Europeu 2020 para a Energia, as Alterações Climáticas e as Infra-estruturas; a Directiva 2009/47/CE do Conselho, de 5 de Maio de 2009, que altera a Directiva 2006/112/CE relativa às taxas reduzidas de Imposto sobre o Valor Acrescentado⁽²⁾; o instrumento dos fundos estruturais e de coesão Jeremie (Recursos Europeus Comuns para as Micro e as Médias Empresas); o Mecanismo de Financiamento em matéria de Eficiência Energética; o Programa-Quadro para a Competitividade e a Inovação, que inclui o Programa «Energia Inteligente-Europa II», centrado especificamente na eliminação de entraves ao mercado relativos à eficiência energética e à energia proveniente de fontes renováveis através, por exemplo, do mecanismo de assistência técnica ELENA (Assistência Europeia à Energia Local); o Pacto de Autarcas; o Programa Empreendedorismo e Inovação; o Programa de Apoio à Política das TIC – 2010, e o Sétimo Programa-Quadro de Investigação. Refira-se também o apoio financeiro do Banco Europeu de Reconstrução e Desenvolvimento às medidas relacionadas com a promoção da eficiência energética.
- (19) Os instrumentos financeiros da União deverão ser utilizados para conferir efeito prático aos objectivos da presente directiva, sem no entanto substituir as medidas nacionais. Deverão ser utilizados, nomeadamente para proporcionar meios adequados e inovadores de financiamento para catalisar o investimento em medidas de eficiência energética. Poderão desempenhar um papel importante no desenvolvimento de fundos, instrumentos ou mecanismos de eficiência energética nacionais, regionais e locais, que ofereçam essas possibilidades de financiamento aos proprietários privados, às pequenas e médias empresas e às empresas de serviços energéticos.
- (20) A fim de proporcionar informação adequada à Comissão, os Estados-Membros deverão elaborar listas de medidas em vigor e de medidas propostas, inclusive de natureza financeira, para além das previstas na presente directiva, susceptíveis de promover os objectivos da presente directiva. As medidas em vigor e as medidas propostas identificadas pelos Estados-Membros podem incluir, nomeadamente, medidas destinadas a reduzir os entraves jurídicos e de mercado existentes e a fomentar investimentos e/outras actividades que visem aumentar a eficiência energética dos edifícios novos e existentes, contribuindo potencialmente para reduzir a pobreza energética. Tais medidas podem incluir, nomeadamente, assistência e aconselhamento técnico gratuitos ou subsidiados, subsídios directos, sistemas de empréstimo subsidiados, empréstimos a baixo juro, regimes de subsídios e regimes de garantia de empréstimos. As autoridades públicas e outras entidades poderão ligar a aplicação dessas medidas financeiras ao desempenho energético indicado e às recomendações dos certificados de desempenho energético.

⁽¹⁾ JO L 210 de 31.7.2006, p. 1.

⁽²⁾ JO L 116 de 9.5.2009, p. 18.

- (21) A fim de limitar a sobrecarga que os relatórios representam para os Estados-Membros, deveria ser possível integrar os relatórios exigidos pela presente directiva nos planos de acção para eficiência energética a que se refere o n.º 2 do artigo 14.º da Directiva 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril de 2006, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos⁽¹⁾. O sector público dos Estados-Membros deverá dar o exemplo no domínio do desempenho energético dos edifícios e, conseqüentemente, os planos nacionais deverão estabelecer objectivos mais ambiciosos para os edifícios ocupados por autoridades públicas.
- (22) Os potenciais compradores e inquilinos de um edifício ou de uma fracção autónoma deverão receber, através do certificado de desempenho energético, informações correctas sobre o desempenho energético do edifício e conselhos práticos sobre a forma de o melhorar. As campanhas de informação podem servir para incentivar os proprietários e inquilinos a melhorar o desempenho energético dos seus edifícios ou fracções. Os proprietários e inquilinos de edifícios comerciais deverão ser igualmente incentivados a trocar informações sobre o consumo de energia real, a fim de garantir que estejam disponíveis todos os dados para tomarem decisões informadas sobre as melhorias necessárias. O certificado deverá conter também informações sobre o impacto real dos sistemas de aquecimento e arrefecimento nas necessidades energéticas do edifício, no seu consumo de energia primária e nas suas emissões de dióxido de carbono.
- (23) As autoridades públicas deverão dar o exemplo e procurar executar as recomendações incluídas no certificado de desempenho energético. Os Estados-Membros deverão incluir nos respectivos planos nacionais medidas destinadas a incentivar as autoridades públicas a adoptarem atempadamente melhorias em matéria de eficiência energética e a executarem as recomendações incluídas no certificado de desempenho energético logo que possível.
- (24) Os edifícios ocupados por autoridades públicas e os edifícios frequentemente visitados pelo público deverão dar o exemplo mostrando que as considerações ambientais e energéticas são tomadas na devida conta, pelo que deverão ser sujeitos regularmente à certificação energética. A divulgação ao público de informações sobre o desempenho energético deverá ser reforçada afixando de forma visível os certificados de desempenho energético, em especial nos edifícios acima de certa dimensão ocupados por autoridades públicas ou frequentemente visitados pelo público, como lojas e centros comerciais, supermercados, restaurantes, teatros, bancos e hotéis.
- (25) Nos últimos anos tem vindo a aumentar o número de aparelhos de ar condicionado nos países europeus. Este facto cria importantes dificuldades nas horas de ponta, devido ao aumento do preço da energia eléctrica e à deterioração do equilíbrio energético. Deverá ser dada prioridade a estratégias que contribuam para melhorar o desempenho térmico dos edifícios durante o Verão. Para tal, deverão privilegiar-se medidas que evitem o sobreaquecimento, tais como a protecção solar e uma inércia térmica suficiente na construção do edifício, e o desenvolvimento e aplicação de técnicas de arrefecimento passivo, principalmente as que melhoram a qualidade do clima interior e o microclima em torno dos edifícios.
- (26) A manutenção e a inspecção regular dos sistemas de aquecimento e de ar condicionado por pessoal qualificado contribuem para manter estes dispositivos correctamente regulados de acordo com as suas especificações e garantem o seu funcionamento optimizado do ponto de vista do ambiente, da segurança e da energia. Deverá proceder-se a uma avaliação independente de todo o sistema de aquecimento e de ar condicionado a intervalos regulares durante o seu ciclo de vida, e em especial antes da sua substituição ou modernização. Para minimizar os encargos administrativos para os proprietários e inquilinos, os Estados-Membros deverão procurar combinar, na medida do possível, as inspecções e as certificações.
- (27) Uma abordagem comum da certificação do desempenho dos edifícios e da inspecção dos sistemas de aquecimento e de ar condicionado, executadas por peritos qualificados e/ou acreditados, cuja independência deverá ser garantida com base em critérios objectivos, contribuirá para nivelar as condições no que respeita aos esforços desenvolvidos nos Estados-Membros em matéria de economia de energia no sector dos edifícios e proporcionará transparência aos potenciais proprietários ou utentes no que respeita ao desempenho energético do mercado imobiliário da União. A fim de garantir a qualidade dos certificados de desempenho energético e da inspecção dos sistemas de aquecimento e de ar condicionado em toda a União, deverá ser estabelecido um mecanismo de controlo independente em cada Estado-Membro.
- (28) As autoridades locais e regionais são essenciais para a correcta aplicação da presente directiva, pelo que deverão ser consultadas e chamadas a participar, sempre que adequado e nos termos da legislação nacional aplicável, nas questões de planeamento, no desenvolvimento dos programas destinados a providenciar informação e formação e a aumentar a sensibilização do público, e na aplicação da presente directiva a nível nacional e regional. Essas consultas podem servir igualmente para promover a prestação de orientação adequada aos responsáveis locais pelo planeamento e aos inspectores dos edifícios no desempenho das tarefas necessárias. Além disso, os Estados-Membros deverão habilitar e incentivar os arquitectos e responsáveis pelo planeamento a ponderar a combinação óptima das melhorias em matéria de eficiência energética, o recurso a energia proveniente de fontes renováveis e às redes urbanas de aquecimento e arrefecimento no planeamento, concepção, construção e renovação de zonas industriais ou residenciais.

⁽¹⁾ JO L 114 de 27.4.2006, p. 64.

- (29) Os instaladores e os construtores são essenciais para a correcta aplicação da presente directiva. Nessa medida, um número adequado de instaladores e de construtores deverá possuir, através de formação e de outras medidas, as qualificações adequadas para a instalação e integração das tecnologias necessárias eficientes em termos energéticos e que utilizem energias renováveis.
- (30) Os Estados-Membros deverão ter em conta a Directiva 2005/36/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 7 de Setembro de 2005, relativa ao reconhecimento das qualificações profissionais ⁽¹⁾, no que diz respeito ao reconhecimento mútuo dos peritos profissionais contemplados na presente directiva, e a Comissão deverá prosseguir as suas actividades ao abrigo do Programa Energia Inteligente-Europa sobre as orientações e recomendações relativas às normas para a formação desses peritos profissionais.
- (31) A fim de reforçar a transparência do desempenho energético no mercado imobiliário não residencial da União, deverão ser estabelecidas condições uniformes para um regime facultativo comum para a certificação do desempenho energético dos edifícios não residenciais. Nos termos do artigo 291.º do TFUE, as regras e princípios gerais aplicáveis ao controlo pelos Estados-Membros do exercício das competências de execução conferidas à Comissão deverão ser previstos previamente num regulamento aprovado de acordo com o processo legislativo ordinário. Continua a aplicar-se a Decisão 1999/468/CE, de 28 de Junho de 1999, que fixa as regras de exercício das competências de execução atribuídas à Comissão ⁽²⁾, com excepção do procedimento de regulamentação com controlo, que não é aplicável.
- (32) Deverão ser atribuídos poderes à Comissão para aprovar actos delegados, nos termos do artigo 290.º do TFUE, destinados a adaptar ao progresso técnico certas partes do enquadramento geral estabelecido no anexo I e a elaborar um quadro metodológico para o cálculo dos níveis óptimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético. É particularmente importante que a Comissão proceda às consultas adequadas durante os trabalhos preparatórios, nomeadamente a nível de peritos.
- (33) Atendendo a que o objectivo da presente directiva, a saber, a melhoria do desempenho energético dos edifícios, não pode ser suficientemente alcançado pelos Estados-Membros, devido à complexidade do sector dos edifícios e à incapacidade dos mercados imobiliários nacionais para dar uma resposta adequada aos desafios da eficiência energética, e pode, pois, devido à dimensão e aos efeitos da acção proposta, ser mais bem alcançado ao nível da União, a União pode tomar medidas em conformidade com o princípio da subsidiariedade consagrado no artigo 5.º do Tratado da União Europeia. Em conformidade com o princípio da proporcionalidade consa-
- grado no mesmo artigo, a presente directiva não excede o necessário para alcançar aquele objectivo.
- (34) A obrigação de transpor a presente directiva para o direito nacional deverá limitar-se às disposições que tenham sofrido alterações substantivas relativamente à Directiva 2002/91/CE. A obrigação de transpor as disposições que não foram alteradas decorre dessa directiva.
- (35) A presente directiva não prejudica as obrigações dos Estados-Membros relativas aos prazos de transposição para o direito nacional e de aplicação da Directiva 2002/91/CE.
- (36) Nos termos do ponto 34 do Acordo Interinstitucional «Legislar Melhor» ⁽³⁾, os Estados-Membros são incentivados a elaborar, para si próprios e no interesse da União, os seus próprios quadros, que ilustrem, na medida do possível, a correlação entre a presente directiva e as medidas de transposição, e a divulgá-los,

APROVARAM A PRESENTE DIRECTIVA:

Artigo 1.º

Objecto

1. A presente directiva promove a melhoria do desempenho energético dos edifícios na União, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, bem como exigências em matéria de clima interior e de rentabilidade.
2. A presente directiva estabelece requisitos no que se refere:
 - a) Ao quadro geral comum para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios e das fracções autónomas;
 - b) À aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios novos e das fracções autónomas novas;
 - c) À aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos:
 - i) edifícios existentes, fracções autónomas e componentes de edifícios sujeitos a grandes renovações,
 - ii) elementos construtivos da envolvente dos edifícios com impacto significativo no desempenho energético da envolvente quando forem renovados ou substituídos, e
 - iii) sistemas técnicos dos edifícios quando for instalado um novo sistema ou quando o sistema existente for substituído ou melhorado;

⁽¹⁾ JO L 255 de 30.9.2005, p. 22.

⁽²⁾ JO L 184 de 17.7.1999, p. 23.

⁽³⁾ JO C 321 de 31.12.2003, p. 1.

- d) Aos planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia;
- e) À certificação energética dos edifícios ou das fracções autónomas;
- f) À inspecção regular das instalações de aquecimento e de ar condicionado nos edifícios; e
- g) Aos sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspecção.

3. Os requisitos previstos na presente directiva constituem requisitos mínimos e não obstam a que os Estados-Membros mantenham ou introduzam medidas de protecção mais estritas. Essas medidas devem ser compatíveis com o Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia e notificadas à Comissão.

Artigo 2.º

Definições

Para efeitos da presente directiva, entende-se por:

1. «Edifício», uma construção coberta, com paredes, na qual é utilizada energia para condicionar o clima interior;
2. «Edifício com necessidades quase nulas de energia», um edifício com um desempenho energético muito elevado, determinado nos termos do anexo I. As necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades;
3. «Sistema técnico do edifício», o equipamento técnico para o aquecimento, o arrefecimento, a ventilação, a preparação de água quente e a iluminação de um edifício ou de uma fracção autónoma, ou para uma combinação destas funções;
4. «Desempenho energético de um edifício», a energia calculada ou medida necessária para satisfazer a procura de energia associada à utilização típica do edifício, que inclui, nomeadamente, a energia utilizada para o aquecimento, o arrefecimento, a ventilação, a preparação de água quente e a iluminação;
5. «Energia primária», a energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis que não passou por um processo de conversão ou de transformação;
6. «Energia proveniente de fontes renováveis», a energia proveniente de fontes não fósseis renováveis, nomeadamente eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica e dos

oceanos, hídrica, de biomassa, de gases dos aterros, de gases das instalações de tratamento de águas residuais e de biogases;

7. «Envolvente do edifício», o conjunto dos elementos de um edifício que separam o seu ambiente interior do exterior;
8. «Fracção autónoma», uma secção, um andar ou um apartamento num edifício, concebidos ou modificados para serem usados autonomamente;
9. «Componente de um edifício», um sistema técnico do edifício ou um elemento da sua envolvente;
10. «Grandes renovações», as obras de renovação de um edifício em que:
 - a) O custo total da renovação relacionada com a envolvente do edifício ou com os sistemas técnicos do edifício é superior a 25 % do valor do edifício, excluindo o valor do terreno em que este está situado, ou
 - b) É renovada mais de 25 % da superfície da envolvente do edifício.

Os Estados-Membros podem decidir aplicar as opções a) ou b).

11. «Norma europeia», uma norma aprovada pelo Comité Europeu de Normalização, pelo Comité Europeu de Normalização Electrotécnica ou pelo Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações, posta à disposição do público;
12. «Certificado de desempenho energético», um certificado reconhecido por um Estado-Membro ou por uma pessoa colectiva por ele designada, que indica o resultado do cálculo do desempenho energético do edifício ou de uma fracção autónoma segundo uma metodologia aprovada nos termos do artigo 3.º;
13. «Co-geração», a geração simultânea, num só processo, de energia térmica e eléctrica e/ou de energia mecânica;
14. «Nível óptimo de rentabilidade», o desempenho energético que leva ao custo mais baixo durante o ciclo de vida económico estimado, em que:
 - a) O custo mais baixo é determinado tendo em conta os custos de investimento, de manutenção e de funcionamento relacionados com a energia (incluindo custos e poupanças de energia, a categoria do edifício em causa e as receitas resultantes da energia produzida), quando aplicável, e os custos de eliminação, quando aplicável; e

- b) O ciclo de vida económico estimado é determinado pelos Estados-Membros. Diz respeito ao ciclo de vida económico restante estimado de um edifício, se os requisitos de desempenho energético forem fixados para o edifício no seu conjunto; ou ao ciclo de vida económico de um componente, se os requisitos de desempenho energético forem fixados para os componentes do edifício.

O nível óptimo de rentabilidade situa-se dentro dos níveis de desempenho se a análise de custo-benefício calculada em função do ciclo de vida económico estimado for positiva;

15. «Sistema de ar condicionado», a combinação dos componentes necessários para fornecer uma forma de tratamento do ar interior, em que a temperatura é controlada ou pode ser baixada;
16. «Caldeira», o conjunto formado pelo corpo da caldeira e pelo queimador, destinado a transmitir a fluidos o calor libertado por um processo de queima;
17. «Potência nominal útil», a potência calorífica máxima, expressa em kW, fixada e garantida pelo construtor, que pode ser fornecida em funcionamento contínuo, respeitando o rendimento útil por ele anunciado;
18. «Bomba de calor», uma máquina, um dispositivo ou uma instalação que transferem calor dos elementos naturais circundantes, como o ar, a água ou o solo, para os edifícios ou processos industriais invertendo o fluxo de calor natural de forma a que este passe de uma temperatura mais baixa para uma temperatura mais alta. No caso de bombas de calor reversíveis, a transferência de calor pode fazer-se também do edifício para os elementos naturais circundantes;
19. «Redes urbanas de aquecimento» ou «Redes urbanas de arrefecimento», a distribuição de energia térmica sob a forma de vapor, de água quente ou de líquidos refrigerados a partir de uma fonte de produção central através de um sistema de transporte e distribuição para múltiplos edifícios ou locais, para o aquecimento ou arrefecimento de espaços ou processos industriais.

Artigo 3.º

Aprovação da metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios

Os Estados-Membros aplicam uma metodologia para o cálculo do desempenho energético dos edifícios em conformidade com o quadro geral comum estabelecido no anexo I.

Esta metodologia é aprovada a nível nacional ou regional.

Artigo 4.º

Estabelecimento de requisitos mínimos de desempenho energético

1. Os Estados-Membros tomam as medidas necessárias para assegurar que sejam estabelecidos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios ou das fracções autónomas a fim de alcançar níveis óptimos de rentabilidade. O desempenho energético é calculado de acordo com a metodologia a que se refere o artigo 3.º. Os níveis óptimos de rentabilidade são calculados de acordo com o quadro de metodologia comparativa a que se refere o artigo 5.º, quando esse quadro estiver definido.

Os Estados-Membros tomam as medidas necessárias para assegurar que sejam estabelecidos requisitos mínimos de desempenho energético para os elementos construtivos que façam parte da envolvente do edifício e que tenham um impacto significativo no desempenho energético da envolvente quando forem substituídos ou reabilitados, a fim de alcançar níveis óptimos de rentabilidade.

Ao estabelecer estes requisitos, os Estados-Membros podem fazer uma distinção entre edifícios novos e edifícios existentes e entre diferentes categorias de edifícios.

Estes requisitos devem ter em conta as condições gerais de clima interior a fim de evitar possíveis impactos negativos, como uma ventilação inadequada, e as condições locais, a utilização a que se destina o edifício e a sua idade.

Os Estados-Membros não são obrigados a estabelecer requisitos mínimos de desempenho energético que não sejam rentáveis durante o ciclo de vida económico estimado.

Os requisitos mínimos de desempenho energético devem ser revistos periodicamente, no mínimo de cinco em cinco anos, e, se necessário, actualizados a fim de reflectir o progresso técnico no sector dos edifícios.

2. Os Estados-Membros podem decidir não estabelecer ou não aplicar os requisitos a que se refere o n.º 1 às seguintes categorias de edifícios:

- a) Edifícios oficialmente protegidos como parte de um ambiente classificado ou devido ao seu valor arquitectónico ou histórico especial, na medida em que o cumprimento de certos requisitos mínimos de desempenho energético poderia alterar de forma inaceitável o seu carácter ou o seu aspecto;
- b) Edifícios utilizados como locais de culto ou para actividades religiosas;

- c) Edifícios temporários com um período de utilização máximo de dois anos, instalações industriais, oficinas e edifícios agrícolas não residenciais com necessidades reduzidas de energia e edifícios agrícolas não residenciais utilizados por um sector abrangido por um acordo sectorial nacional sobre desempenho energético;
- d) Edifícios residenciais utilizados ou destinados a ser utilizados quer durante menos de quatro meses por ano quer por um período anual limitado e com um consumo de energia previsto de menos de 25 % do que seria previsível em caso de utilização durante todo o ano;
- e) Edifícios autónomos com uma área útil total inferior a 50 m².

Artigo 5.º

Cálculo dos níveis óptimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético

1. Até 30 de Junho de 2011, a Comissão estabelece, por meio de actos delegados ao abrigo dos artigos 23.º, 24.º e 25.º, um quadro para uma metodologia comparativa para o cálculo dos níveis óptimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e dos componentes de edifícios.

O quadro para a metodologia comparativa é estabelecido de acordo com o anexo III e deve distinguir entre edifícios novos e edifícios existentes e entre diferentes categorias de edifícios.

2. Os Estados-Membros calculam os níveis óptimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético utilizando o quadro para a metodologia comparativa estabelecido em conformidade com o n.º 1 e parâmetros relevantes, como as condições climáticas e a acessibilidade prática da infra-estrutura energética, e comparam os resultados deste cálculo com os requisitos mínimos de desempenho energético em vigor.

Os Estados-Membros apresentam à Comissão um relatório com todos os dados e hipóteses utilizados para estes cálculos, e os resultados desses cálculos. O relatório pode ser incluído nos planos de acção para a eficiência energética a que se refere o n.º 2 do artigo 14.º da Directiva 2006/32/CE. Os Estados-Membros apresentam estes relatórios à Comissão a intervalos regulares não superiores a cinco anos. O primeiro relatório é apresentado até 30 de Junho de 2012.

3. Caso o resultado da comparação efectuada nos termos do n.º 2 mostre que os requisitos mínimos de desempenho energético em vigor são menos eficientes do ponto de vista energético que os níveis óptimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho, o Estado-Membro em causa justifica essa diferença à Comissão no relatório a que se refere o n.º 2, e, se essa diferença não puder ser justificada, junta um plano indicando as medidas apropriadas para que essa diferença possa ser reduzida de forma significativa até à próxima revisão dos requisitos mínimos de desempenho energético a que se refere o n.º 1 do artigo 4.º

4. A Comissão publica um relatório sobre os progressos dos Estados-Membros para atingirem os níveis óptimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético.

Artigo 6.º

Edifícios novos

1. Os Estados-Membros tomam as medidas necessárias para assegurar que os edifícios novos cumpram os requisitos mínimos de desempenho energético estabelecidos em conformidade com o artigo 4.º

Relativamente aos edifícios novos, os Estados-Membros asseguram que, antes do início da construção, seja estudada e tida em conta a viabilidade técnica, ambiental e económica de sistemas alternativos de elevada eficiência, tais como os a seguir enumerados, caso estejam disponíveis:

- a) Sistemas descentralizados de fornecimento energético baseados em energias provenientes de fontes renováveis;
- b) Co-geração;
- c) Redes urbanas ou colectivas de aquecimento ou arrefecimento, em especial baseadas total ou parcialmente em energia proveniente de fontes renováveis;
- d) Bombas de calor.

2. Os Estados-Membros asseguram que a análise dos sistemas alternativos a que se refere o n.º 1 seja documentada e esteja disponível para efeitos de verificação.

3. A análise dos sistemas alternativos pode ser efectuada em relação a edifícios individuais, a grupos de edifícios similares ou a tipologias comuns de edifícios na mesma zona. No que diz respeito aos sistemas colectivos de aquecimento e arrefecimento, a análise pode ser efectuada para o conjunto de todos os edifícios ligados ao sistema numa mesma zona.

Artigo 7.º

Edifícios existentes

Os Estados-Membros tomam as medidas necessárias para assegurar que, aquando da realização de grandes renovações em edifícios, o desempenho energético do edifício ou da sua parte renovada seja melhorado, a fim de cumprir os requisitos mínimos de desempenho energético estabelecidos em conformidade com o artigo 4.º, na medida em que tal seja possível do ponto de vista técnico, funcional e económico.

Os requisitos são aplicáveis ao edifício renovado ou à fracção autónoma no seu conjunto. Adicionalmente ou em alternativa, podem ser aplicados requisitos aos componentes renovados.

Os Estados-Membros tomam, além disso, as medidas necessárias para assegurar que quando um elemento da envolvente do edifício e que tenha um impacto significativo no seu desempenho energético for renovado ou substituído, o desempenho energético desse satisfaça os requisitos mínimos de desempenho energético, na medida em que tal seja possível do ponto de vista técnico, funcional e económico.

Os Estados-Membros determinam esses requisitos mínimos de desempenho energético em conformidade com o artigo 4.º

No que diz respeito aos edifícios sujeitos a grandes renovações, os Estados-Membros incentivam a análise e tomada em consideração dos sistemas alternativos de elevada eficiência a que se refere o n.º 1 do artigo 6.º, na medida em que tal seja possível do ponto de vista técnico, funcional e económico.

Artigo 8.º

Sistemas técnicos dos edifícios

1. Para efeitos de optimização da utilização de energia nos sistemas técnicos dos edifícios, os Estados-Membros estabelecem requisitos relativos ao desempenho energético geral, à instalação correcta e ao dimensionamento, ajustamento e controlo adequados dos sistemas técnicos instalados nos edifícios existentes. Os Estados-Membros podem aplicar igualmente esses requisitos aos sistemas técnicos a instalar nos novos edifícios.

Os requisitos para os sistemas são estabelecidos para a instalação de novos sistemas técnicos nos edifícios e para a substituição ou melhoria dos sistemas existentes, e são aplicados na medida em que tal seja possível do ponto de vista técnico, económico e funcional.

Os requisitos para os sistemas abrangem, pelo menos, os seguintes elementos:

- a) Sistemas de aquecimento;
- b) Sistemas de fornecimento de água quente;
- c) Sistemas de ar condicionado;
- d) Grandes sistemas de ventilação;

ou uma combinação destes elementos.

2. Os Estados-Membros incentivam a introdução de sistemas de contagem inteligentes para os edifícios em construção ou sujeitos a grandes renovações, não deixando de garantir, neste contexto, a observância do disposto no ponto 2 do anexo I da Directiva 2009/72/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de Julho de 2009, que estabelece regras comuns para o mercado interno da electricidade⁽¹⁾. Os Estados-Membros podem igualmente incentivar, se for caso disso, a instalação de

sistemas de controlo activos, nomeadamente sistemas de automatização, controlo e monitorização, destinados a poupar energia.

Artigo 9.º

Edifícios com necessidades quase nulas de energia

1. Os Estados Membros asseguram que:
 - a) O mais tardar em 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia; e
 - b) Após 31 de Dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia.

Os Estados-Membros elaboram planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia. Os planos nacionais podem incluir objectivos diferenciados consoante a categoria de edifícios em causa.

2. Além disso, os Estados-Membros, seguindo o exemplo do sector público, desenvolvem políticas e tomam medidas, como, por exemplo, o estabelecimento de objectivos, para incentivar a transformação de todos os edifícios remodelados em edifícios com necessidades quase nulas de energia de energia, e informam a Comissão nos planos nacionais a que se refere o n.º 1.

3. Os planos nacionais devem incluir, nomeadamente, os seguintes elementos:

- a) Uma descrição pormenorizada da forma como a definição de edifícios com necessidades quase nulas de energia é aplicada na prática pelo Estado-Membro, que reflecta as condições nacionais, regionais ou locais dos edifícios, e que inclua um indicador numérico da utilização de energia primária, expressa em kWh/m² por ano. Os factores de energia primária aplicados para a determinação da utilização de energia primária podem basear-se em valores anuais médios a nível nacional ou regional, e podem ter em conta as normas europeias pertinentes;
- b) Objectivos intermédios para melhorar o desempenho energético dos edifícios novos, até 2015, a fim de preparar a execução do disposto no n.º 1;
- c) Informações sobre as políticas e as medidas financeiras ou de outro tipo tomadas no contexto dos n.ºs 1 e 2 para fomentar a criação de edifícios com necessidades quase nulas de energia, incluindo uma descrição pormenorizada dos requisitos e das medidas nacionais respeitantes à utilização de energia proveniente de fontes renováveis nos edifícios novos e nos edifícios existentes sujeitos a grandes renovações no contexto do n.º 4 do artigo 13.º da Directiva 2009/28/CE e dos artigos 6.º e 7.º da presente directiva.

⁽¹⁾ JO L 211 de 14.8.2009, p. 55.

4. A Comissão avalia os planos nacionais a que se refere o n.º 1, em particular no que se refere à adequação das medidas previstas pelo Estado-Membro relativamente aos objectivos da presente directiva. A Comissão, tendo devidamente em conta o princípio da subsidiariedade, pode solicitar mais informações específicas a respeito dos requisitos estabelecidos nos n.ºs 1, 2 e 3. Neste caso, o Estado-Membro em causa apresenta as informações solicitadas ou propõe alterações num prazo de nove meses a contar do pedido da Comissão. Na sequência da sua avaliação, a Comissão pode formular uma recomendação.

5. Até 31 de Dezembro de 2012, e em seguida de três em três anos, a Comissão publica um relatório sobre os progressos alcançados pelos Estados-Membros para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia. Com base nesse relatório, a Comissão elabora um plano de acção e, se necessário, propõe medidas para aumentar o número desses edifícios e para incentivar melhores práticas no que respeita à transformação rentável de edifícios existentes em edifícios com necessidades quase nulas de energia.

6. Os Estados-Membros podem decidir não aplicar os requisitos estabelecidos nas alíneas a) e b) do n.º 1 em determinados casos específicos justificáveis em que a análise de custos-benefícios para todo o ciclo de vida económico do edifício em questão seja negativa. Os Estados-Membros comunicam à Comissão os princípios subjacentes aos regimes legislativos aplicáveis.

Artigo 10.º

Incentivos financeiros e entraves ao mercado

1. Tendo em vista a importância de facultar financiamento adequado e outros instrumentos para potenciar o desempenho energético dos edifícios e a transição para edifícios com necessidades quase nulas de energia, os Estados-Membros tomam medidas apropriadas para ponderar quais são, de entre esses instrumentos, aqueles que assumem maior relevância tendo em conta as circunstâncias nacionais.

2. Até 30 de Junho de 2011, os Estados-Membros elaboram uma lista das medidas e dos instrumentos existentes e, se for caso disso, propostos, inclusive de carácter financeiro, para além dos exigidos pela presente directiva, que promovam os objectivos da presente directiva.

A lista é actualizada pelos Estados-Membros de três em três anos. Os Estados-Membros enviam essas listas à Comissão, podendo, para o efeito, incluí-las nos planos de acção de eficiência energética a que se refere o n.º 2 do artigo 14.º da Directiva 2006/32/CE.

3. A Comissão analisa a eficácia das medidas existentes e propostas, enumeradas na lista a que se refere o n.º 2, e dos instrumentos relevantes da União, em termos de apoio à execução da presente directiva. Com base nessa análise, e tendo devidamente em conta o princípio da subsidiariedade, a Comissão pode formular pareceres ou recomendações para os regimes nacionais específicos e para a coordenação com as instituições financeiras da União e internacionais. A Comissão pode incluir a sua análise, bem como os eventuais pareceres ou recomenda-

ções, no seu relatório sobre os planos de acção para a eficiência energética a que se refere o n.º 5 do artigo 14.º da Directiva 2006/32/CE.

4. A Comissão apoia, se for caso disso, os Estados-Membros que o solicitem na elaboração de programas nacionais ou regionais de apoio financeiro com o objectivo de aumentar a eficiência energética dos edifícios, especialmente dos edifícios existentes, favorecendo o intercâmbio de melhores práticas entre as autoridades ou organismos responsáveis a nível nacional ou regional.

5. A fim de melhorar o financiamento destinado a apoiar a execução da presente directiva, e tendo devidamente em conta o princípio da subsidiariedade, a Comissão apresenta, de preferência até 2011, uma análise que tenha em conta, nomeadamente, os seguintes aspectos:

- a) A eficácia, a adequação do nível e o montante efectivamente utilizado dos fundos estruturais e dos programas-quadro destinados a aumentar a eficiência energética dos edifícios, em particular no sector da habitação;
- b) A eficácia da utilização de fundos do BEI e de outras instituições financeiras públicas;
- c) A coordenação dos planos de financiamento da União e nacionais e de outras formas de apoio susceptíveis de potenciar o estímulo ao investimento em eficiência energética, e a adequação desses fundos para a consecução dos objectivos da União.

Com base nessa análise, e em conformidade com o quadro financeiro plurianual, a Comissão pode apresentar ao Parlamento Europeu e ao Conselho, se o considerar apropriado, propostas respeitantes a instrumentos da União.

6. Ao concederem incentivos para a construção ou para as grandes renovações de edifícios, os Estados-Membros tomam em conta os níveis óptimos de rentabilidade do desempenho energético.

7. O disposto na presente directiva não impede os Estados-Membros de concederem incentivos para edifícios novos, para renovações ou para componentes que excedam os níveis óptimos de rentabilidade.

Artigo 11.º

Certificado de desempenho energético

1. Os Estados-Membros tomam as medidas necessárias para estabelecer um sistema de certificação do desempenho energético dos edifícios. O certificado de desempenho energético deve incluir o desempenho energético do edifício e valores de referência, como, por exemplo, requisitos mínimos de desempenho energético, para que os proprietários ou inquilinos do edifício ou da fracção autónoma possam comparar e avaliar o seu desempenho energético.

O certificado de desempenho energético pode incluir informações suplementares, tais como o consumo energético anual dos edifícios não residenciais e a percentagem de energia proveniente de fontes renováveis no consumo energético total.

2. O certificado de desempenho energético inclui recomendações para uma melhoria rentável ou otimizada em termos de custos do desempenho energético de um edifício ou de uma fracção autónoma, a menos que não haja potencial razoável para essa melhoria em comparação com os requisitos de desempenho energético em vigor.

As recomendações incluídas no certificado de desempenho energético abrangem:

- a) As medidas aplicáveis no quadro de grandes intervenções de renovação da envolvente do edifício ou do sistema ou sistemas técnico do edifício; e
- b) As medidas relativas a componentes individuais do edifício, independentemente de grandes intervenções de renovação da envolvente do edifício ou do sistema ou sistemas técnicos do edifício;

3. As recomendações incluídas no certificado de desempenho energético devem ser tecnicamente viáveis para o edifício em causa, e podem também fornecer uma estimativa em relação ao leque de períodos de amortização do investimento ou de custos-benefícios em termos de custos ao longo do seu ciclo de vida económico.

4. O certificado de desempenho energético indica onde o proprietário ou o inquilino podem obter informações mais pormenorizadas, inclusive quanto à rentabilidade das recomendações constantes do certificado de desempenho energético. A avaliação da rentabilidade das recomendações deve basear-se num conjunto de condições-padrão, tais como o cálculo das poupanças de energia, os preços da energia subjacentes e uma previsão preliminar dos custos. O certificado de desempenho energético contém, além disso, informações sobre as medidas a tomar para pôr em prática as recomendações. O proprietário ou o inquilino podem igualmente receber outras informações sobre aspectos afins, tais como auditorias de energia ou incentivos financeiros ou de outro tipo, e possibilidades de financiamento.

5. Sem prejuízo das regras nacionais, os Estados-Membros incentivam as autoridades públicas a terem em conta o papel exemplar que deverão assumir no domínio do desempenho energético dos edifícios, nomeadamente pondo em prática as recomendações incluídas no certificado de desempenho energético emitido para os edifícios de que sejam proprietárias dentro do respectivo prazo de validade.

6. A certificação das fracções autónomas pode basear-se:

- a) Numa certificação comum de todo o edifício; ou

- b) Na avaliação de outra fracção autónoma representativa, com as mesmas características relevantes em termos de energia, situada no mesmo edifício.

7. A certificação de habitações unifamiliares pode basear-se na avaliação de outros edifícios representativos de concepção e dimensões semelhantes e com um desempenho energético real semelhante, desde que essa correspondência possa ser garantida pelo perito que emite o certificado de desempenho energético.

8. A validade do certificado de desempenho energético não pode ser superior a 10 anos.

9. Até 2011, a Comissão aprova, em consulta com os sectores envolvidos, um regime voluntário comum da União Europeia para a certificação do desempenho energético dos edifícios não residenciais. Essa medida é aprovada pelo procedimento consultivo a que se refere o n.º 2 do artigo 26.º. Os Estados-Membros são incentivados a reconhecer ou a aplicar esse regime, ou a utilizá-lo em parte, adaptando-o às circunstâncias nacionais.

Artigo 12.º

Emissão dos certificados de desempenho energético

1. Os Estados-Membros asseguram que seja emitido um certificado de desempenho energético para:

- a) Os edifícios ou fracções autónomas construídos, vendidos ou arrendados a um novo inquilino; e
- b) Os edifícios com uma área útil total ocupada por uma autoridade pública superior a 500 m² e frequentemente visitada pelo público. Em 9 de Julho de 2015, este limiar de 500 m² é reduzido para 250 m².

O requisito de emissão de um certificado não é aplicável sempre que esteja disponível um certificado válido emitido em conformidade com a Directiva 2002/91/CE ou com a presente directiva, para o edifício ou para a fracção autónoma em causa.

2. Os Estados-Membros exigem que, quando forem construídos, vendidos ou arrendados edifícios ou fracções autónomas, o certificado de desempenho energético, ou uma cópia, seja mostrado ao novo inquilino ou ao potencial comprador e entregue ao comprador ou ao novo inquilino.

3. Se um edifício for vendido ou arrendado antes da construção, os Estados-Membros podem exigir que o vendedor forneça uma avaliação do seu desempenho energético futuro, em derrogação aos n.ºs 1 e 2; neste caso, o certificado de desempenho energético é emitido, o mais tardar, logo que o edifício esteja construído.

4. Os Estados-Membros exigem que, sempre que sejam colocados à venda ou em arrendamento:

- edifícios com certificado de desempenho energético,
- fracções autónomas de um edifício com certificado de desempenho energético, e
- fracções autónomas com certificado de desempenho energético,

o indicador de desempenho energético do certificado de desempenho energético do edifício ou da fracção autónoma, conforme o caso, seja mencionado nos anúncios publicados nos meios de comunicação comerciais.

5. O disposto no presente artigo é aplicado em conformidade com as regras aplicáveis a nível nacional em matéria de propriedade.

6. Os Estados-Membros podem excluir da aplicação dos n.ºs 1, 2, 4, e 5 do presente artigo as categorias de edifícios a que se refere o n.º 2 do artigo 4.º

7. Os eventuais efeitos dos certificados de desempenho energético em termos de acções judiciais são decididos em conformidade com as regras nacionais.

Artigo 13.º

Afixação dos certificados de desempenho energético

1. Nos edifícios com uma área útil total ocupada por autoridades públicas superior a 500 m² e frequentemente visitada pelo público, para os quais tenha sido emitido um certificado de desempenho energético nos termos do n.º 1 do artigo 12.º, os Estados-Membros devem tomar as medidas necessárias para assegurar que o certificado de desempenho energético seja afixado em posição de destaque, claramente visível para o público em geral.

Em 9 de Julho de 2015, este limiar de 500 m² é reduzido para 250 m².

2. Nos edifícios com uma área útil total superior a 500 m² frequentemente visitada pelo público, para os quais tenha sido emitido um certificado de desempenho energético nos termos do n.º 1 do artigo 12.º, os Estados-Membros devem tomar as medidas necessárias para assegurar que o certificado de desempenho energético seja afixado em posição de destaque, claramente visível para o público em geral.

3. O disposto no presente artigo não impõe a obrigação de afixar as recomendações incluídas no certificado de desempenho energético.

Artigo 14.º

Inspecção dos sistemas de aquecimento

1. Os Estados-Membros estabelecem as medidas necessárias para a realização de inspecções periódicas às partes acessíveis dos sistemas utilizados para o aquecimento de edifícios, nomeadamente o gerador de calor, o sistema de controlo e a bomba ou bombas de circulação, com caldeiras de potência nominal útil, para fins de aquecimento de espaços, superior a 20 kW. As inspecções incluem uma avaliação do rendimento da caldeira e da adequação da sua capacidade em função das necessidades de aquecimento do edifício. A avaliação da adequação da capacidade da caldeira não precisa de ser repetida se não forem efectuadas modificações no sistema de aquecimento ou em algo que altere as necessidades de aquecimento do edifício.

Os Estados-Membros podem reduzir a frequência dessas inspecções ou aligeirá-las, conforme adequado, sempre que exista um sistema electrónico de monitorização e controlo.

2. Os Estados-Membros podem estabelecer frequências de inspecção diferentes em função do tipo e da potência nominal útil do sistema de aquecimento, tendo devidamente em conta os custos da inspecção do sistema de aquecimento e as poupanças de energia estimadas susceptíveis de resultar da inspecção.

3. Os sistemas de aquecimento com caldeiras de potência nominal útil superior a 100 kW devem ser inspecionados pelo menos de dois em dois anos.

Para as caldeiras a gás, este período pode ser aumentado para quatro anos.

4. Em vez de aplicarem os n.ºs 1, 2 e 3, os Estados-Membros podem decidir tomar medidas para assegurar que sejam fornecidas aos utilizadores recomendações sobre a substituição das caldeiras, sobre outras alterações ao sistema de aquecimento e sobre soluções alternativas para avaliar a eficiência e a potência adequada da caldeira. O impacto geral desta abordagem é equivalente ao que resulta do disposto nos n.ºs 1, 2 e 3.

Os Estados-Membros que decidam aplicar as medidas referidas no primeiro parágrafo devem apresentar à Comissão, até 30 de Junho de 2011, um relatório sobre a equivalência entre essas medidas e as medidas a que se referem os n.ºs 1, 2 e 3 do presente artigo. Os Estados-Membros apresentam estes relatórios à Comissão de três em três anos. Os relatórios podem ser incluídos nos planos de acção para a eficiência energética a que se refere o n.º 2 do artigo 14.º da Directiva 2006/32/CE.

5. Após receber o relatório nacional de um Estado-Membro sobre a aplicação da opção descrita no n.º 4, a Comissão pode solicitar mais informações específicas acerca dos requisitos e da equivalência das medidas estabelecidas nesse número. Nesse caso, o Estado-Membro em causa apresenta as informações solicitadas, ou propõe alterações, num prazo de nove meses.

*Artigo 15.º***Inspecção dos sistemas de ar condicionado**

1. Os Estados-Membros estabelecem as medidas necessárias para a realização de inspecções periódicas às partes acessíveis dos sistemas de ar condicionado com potência nominal útil superior a 12 kW. As inspecções incluem uma avaliação do rendimento do sistema de ar condicionado e da adequação da sua potência em função dos requisitos de climatização do edifício. A avaliação da adequação da potência do sistema de ar condicionado não precisa de ser repetida se não forem efectuadas modificações no sistema ou em algo que altere as necessidades de arrefecimento do edifício.

Os Estados-Membros podem reduzir a frequência dessas inspecções ou aligeirá-las, conforme adequado, sempre que exista um sistema electrónico de monitorização e controlo.

2. Os Estados-Membros podem estabelecer frequências de inspecção diferentes em função do tipo e da potência nominal útil do sistema de ar condicionado, tendo devidamente em conta os custos da inspecção do sistema de ar condicionado e as poupanças de energia estimadas susceptíveis de resultar da inspecção.

3. Ao estabelecerem as medidas referidas nos n.ºs 1 e 2 do presente artigo, os Estados-Membros asseguram, tanto quanto económica e tecnicamente viável, que as inspecções sejam efectuadas em consonância com a inspecção dos sistemas de aquecimento e de outros sistemas técnicos a que se refere o artigo 14.º da presente directiva, e com a inspecção de fugas a que se refere o Regulamento (CE) n.º 842/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 17 de Maio de 2006, relativo a determinados gases fluorados com efeito de estufa ⁽¹⁾.

4. Em vez de aplicarem os n.ºs 1 e 2, os Estados-Membros podem decidir tomar medidas para assegurar que os utilizadores sejam aconselhados quanto à substituição dos sistemas de ar condicionado ou quanto a outras modificações do sistema de ar condicionado, o que pode passar por inspecções para avaliar a eficiência e a potência adequada do sistema de ar condicionado. O impacto geral desta abordagem é equivalente ao que resulta do disposto nos n.ºs 1, 2 e 3.

Os Estados-Membros que decidam aplicar as medidas referidas no primeiro parágrafo devem apresentar à Comissão, até 30 de Junho de 2011, um relatório sobre a equivalência entre essas medidas e as medidas a que se referem os n.ºs 1, 2 e 3 do presente artigo. Os Estados-Membros apresentam estes relatórios à Comissão de três em três anos. Os relatórios podem ser incluídos nos planos de acção para a eficiência energética a que se refere o n.º 2 do artigo 14.º da Directiva 2006/32/CE.

5. Após receber o relatório nacional de um Estado-Membro sobre a aplicação da opção descrita no n.º 4, a Comissão pode solicitar mais informações específicas acerca dos requisitos e da

equivalência das medidas estabelecidas nesse número. Nesse caso, o Estado-Membro em causa apresenta as informações solicitadas, ou propõe alterações, num prazo de nove meses.

*Artigo 16.º***Relatórios sobre a inspecção dos sistemas de aquecimento e de ar condicionado**

1. Após cada inspecção de um sistema de aquecimento ou de ar condicionado, é emitido um relatório de inspecção. Deste relatório devem constar o resultado da inspecção efectuada em conformidade com os artigos 14.º ou 15.º, e recomendações para uma melhoria rentável do desempenho energético do sistema inspecionado.

As recomendações podem basear-se numa comparação do desempenho energético do sistema inspecionado com o do melhor sistema disponível viável e com o de um sistema de tipo semelhante no qual todos os componentes relevantes atinjam o nível de desempenho energético exigido pela legislação aplicável.

2. O relatório de inspecção é entregue ao proprietário ou ao inquilino do edifício.

*Artigo 17.º***Peritos independentes**

Os Estados-Membros asseguram que a certificação do desempenho energético dos edifícios e a inspecção dos sistemas de aquecimento e de ar condicionado sejam efectuadas de forma independente por peritos qualificados e/ou acreditados, actuando por conta própria ou ao serviço de organismos públicos ou de empresas privadas.

Os peritos são acreditados tendo em conta a sua qualificação.

Os Estados-Membros facultam ao público informações sobre formação e creditações. Asseguram igualmente que sejam facultadas ao público listas periodicamente actualizadas de peritos qualificados e/ou acreditados, ou listas periodicamente actualizadas de empresas acreditadas que ofereçam os serviços desses peritos.

*Artigo 18.º***Sistema de controlo independente**

1. Os Estados-Membros asseguram que sejam estabelecidos sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspecção dos sistemas de aquecimento e de ar condicionado em conformidade com o anexo II. Os Estados-Membros podem estabelecer sistemas separados para o controlo dos certificados de desempenho energético e para o controlo dos relatórios de inspecção de sistemas de aquecimento e de ar condicionado.

⁽¹⁾ JO L 161 de 14.6.2006, p. 1.

2. Os Estados-Membros podem delegar as responsabilidades pela aplicação prática dos sistemas de controlo independente.

Caso decidam fazê-lo, asseguram que os sistemas de controlo independente sejam postos em prática em conformidade com o anexo II.

3. Os Estados-Membros exigem que os certificados de desempenho energético e os relatórios de inspecção a que se refere o n.º 1 sejam facultados às autoridades ou aos organismos competentes, se estes o solicitarem.

Artigo 19.º

Avaliação

A Comissão, assistida pelo comité criado pelo artigo 26.º, procede à avaliação da presente directiva até 1 de Janeiro de 2017, o mais tardar, em função da experiência adquirida e dos progressos realizados durante a sua aplicação, e, se necessário, apresenta propostas.

Artigo 20.º

Informação

1. Os Estados-Membros tomam as medidas necessárias para informar os proprietários ou os inquilinos dos edifícios ou das fracções autónomas sobre os vários métodos e práticas que contribuem para a melhoria do desempenho energético.

2. Os Estados-Membros facultam aos proprietários ou aos inquilinos dos edifícios, em especial, informações sobre os certificados de desempenho energético e os relatórios de inspecção, sobre a sua finalidade e os seus objectivos, sobre as formas rentáveis de melhorar o desempenho energético do edifício e, se for caso disso, sobre os instrumentos financeiros disponíveis para melhorar o desempenho energético do edifício.

A pedido dos Estados-Membros, a Comissão apoia os Estados-Membros na realização de campanhas de informação para efeitos do n.º 1 e do primeiro parágrafo do presente número, que podem ser objecto de programas da União.

3. Os Estados-Membros asseguram que os responsáveis pela execução da presente directiva beneficiem de orientação e formação. A orientação e a formação assim facultadas incidem na importância de melhorar o desempenho energético e permitem que seja ponderada a forma óptima de combinar melhorias em termos de eficiência energética, a utilização de energia proveniente de fontes renováveis e a utilização de redes urbanas de aquecimento e arrefecimento, no contexto do planeamento, da concepção, da construção e da renovação de zonas industriais ou residenciais.

4. A Comissão é convidada a melhorar constantemente os seus serviços de informação, em particular o sítio internet criado como portal europeu para a eficiência energética dos edifícios, destinado aos cidadãos, aos profissionais e às autoridades, a fim de apoiar os Estados-Membros nas suas acções de informação e sensibilização. As informações disponíveis no sítio internet podem incluir ligações para a legislação pertinente a nível da União Europeia e de âmbito nacional, regional e local, ligações para os sítios Europa que apresentem os planos de acção para a eficiência energética, e ligações para os instrumentos financeiros disponíveis, bem como exemplos de melhores práticas à escala nacional, regional e local. No contexto do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional, a Comissão continua a prestar os seus serviços de informação e intensifica-os, a fim de facilitar a utilização dos fundos disponíveis, prestando assistência e informação às partes interessadas, nomeadamente autoridades nacionais, regionais e locais, no que se refere às possibilidades de financiamento, tendo em conta as últimas alterações do quadro regulamentar.

Artigo 21.º

Consulta

A fim de facilitar a execução efectiva da presente directiva, os Estados-Membros consultam as partes interessadas, incluindo as autoridades locais e regionais, em conformidade com a legislação nacional aplicável e sempre que for pertinente. Essa consulta assume particular importância para a aplicação do disposto nos artigos 9.º e 20.º

Artigo 22.º

Adaptação do anexo I ao progresso técnico

A Comissão adapta as partes 3 e 4 do anexo I ao progresso técnico por meio de actos delegados ao abrigo dos artigos 23.º, 24.º e 25.º

Artigo 23.º

Exercício da delegação

1. O poder de aprovar os actos delegados referidos no artigo 22.º é conferido à Comissão por um prazo de cinco anos com início em 8 de Julho de 2010. A Comissão apresenta um relatório relativo aos poderes delegados no mínimo seis meses antes do final daquele prazo de cinco anos. A delegação de poderes é renovada automaticamente por prazos de igual duração, salvo se o Parlamento Europeu ou o Conselho a revogarem nos termos do artigo 24.º

2. Sem prejuízo do prazo referido no n.º 1 do artigo 5.º, o poder de aprovar os actos delegados referidos no artigo 5.º é conferido à Comissão até 30 de Junho de 2012.

3. Assim que aprovar um acto delegado, a Comissão notifica-o simultaneamente ao Parlamento Europeu e ao Conselho.

4. O poder de aprovar actos delegados conferido à Comissão está sujeito às condições estabelecidas nos artigos 24.º e 25.º

Artigo 24.º

Revogação da delegação

1. A delegação de poderes referida nos artigos 5.º e 20.º pode ser revogada pelo Parlamento Europeu ou pelo Conselho.

2. A instituição que der início a um procedimento interno para decidir se tenciona revogar a delegação de poderes procura informar a outra instituição e a Comissão, num prazo razoável antes de tomar uma decisão final, indicando os poderes delegados que poderão ser objecto de revogação e os eventuais motivos da mesma.

3. A decisão de revogação põe termo à delegação dos poderes nela especificados. Produz efeitos imediatamente ou em data posterior nela fixada. A decisão de revogação não prejudica a validade dos actos delegados já em vigor. É publicada no *Jornal Oficial da União Europeia*.

Artigo 25.º

Objecções aos actos delegados

1. O Parlamento Europeu ou o Conselho podem formular objecções ao acto delegado no prazo de dois meses a contar da data de notificação.

Por iniciativa do Parlamento Europeu ou do Conselho, aquele prazo é prorrogado por dois meses.

2. Se, no termo desse prazo, nem o Parlamento Europeu nem o Conselho tiverem formulado objecções ao acto delegado, este é publicado no *Jornal Oficial da União Europeia* e entra em vigor na data nele fixada.

O acto delegado pode ser publicado no *Jornal Oficial da União Europeia* e entrar em vigor antes do termo desse período se tanto o Parlamento Europeu como o Conselho tiverem informado a Comissão de que decidiram não formular objecções.

3. Se o Parlamento Europeu ou o Conselho formularem objecções ao acto delegado, este não entra em vigor. A instituição que formular objecções ao acto delegado expõe os motivos das mesmas.

Artigo 26.º

Procedimento de Comité

1. A Comissão é assistida por um comité.

2. Sempre que se faça referência ao presente número, são aplicáveis os artigos 3.º e 7.º da Decisão 1999/468/CE, tendo em conta o disposto no seu artigo 8.º

Artigo 27.º

Sanções

Os Estados-Membros estabelecem o regime de sanções aplicáveis à violação das disposições nacionais aprovadas para efeitos da presente directiva e tomam as medidas necessárias para garantir a sua aplicação. As sanções previstas devem ser efectivas, proporcionadas e dissuasivas. Os Estados-Membros comunicam à Comissão as referidas disposições até 9 de Janeiro de 2013 e informam-na sem demora de qualquer alteração posterior que lhes diga respeito.

Artigo 28.º

Transposição

1. Os Estados-Membros aprovam e publicam, até 9 de Julho de 2012, as disposições legislativas, regulamentares e administrativas necessárias para dar cumprimento aos artigos 2.º a 18.º, 20.º e 27.º

No que respeita aos artigos 2.º, 3.º, 9.º, 11.º, 12.º, 13.º, 17.º, 18.º, 20.º e 27.º, os Estados-Membros aplicam essas disposições o mais tardar a partir de 9 de Janeiro de 2013.

No que respeita aos artigos 4.º, 5.º, 6.º, 7.º, 8.º, 14.º, 15.º e 16.º, os Estados-Membros aplicam essas disposições aos edifícios ocupados pelas autoridades públicas o mais tardar a partir de 9 de Janeiro de 2013 e aos outros edifícios o mais tardar a partir de 9 de Julho de 2013.

Os Estados Membros podem adiar até 31 de Dezembro de 2015 a aplicação do disposto nos n.ºs 1 e 2 do artigo 12.º no que se refere a fracções autónomas arrendadas. Tal não pode, todavia, conduzir a que o número de certificados emitidos seja inferior ao que se teria registado se a Directiva 2002/91/CE fosse aplicada no Estado-Membro em causa.

Quando os Estados-Membros aprovarem essas disposições, estas devem incluir uma referência à presente directiva ou ser acompanhadas dessa referência aquando da sua publicação oficial. Devem também incluir uma menção destinada a precisar que as remissões para a Directiva 2002/91/CE, contidas em disposições legislativas, regulamentares e administrativas, devem ser entendidas como sendo remissões para a presente directiva. As formas dessa referência e dessa menção são determinadas pelos Estados-Membros.

2. Os Estados-Membros comunicam à Comissão o texto das principais disposições de direito interno que aprovarem no domínio abrangido pela presente directiva.

Artigo 29.º

Revogação

A Directiva 2002/91/CE, com a redacção que lhe foi dada pelo regulamento indicado na Parte A do anexo IV, é revogada com efeitos a partir de 1 de Fevereiro de 2012, sem prejuízo das obrigações dos Estados-Membros relativas aos prazos de transposição para o direito nacional e de aplicação da referida directiva, indicados na Parte B do anexo IV.

As remissões para a Directiva 2002/91/CE devem ser entendidas como sendo remissões para a presente directiva e devem ser lidas de acordo com a tabela de correspondência constante do anexo V.

Artigo 30.º

Entrada em vigor

A presente directiva entra em vigor no vigésimo dia seguinte ao da sua publicação no *Jornal Oficial da União Europeia*.

Artigo 31.º

Destinatários

Os destinatários da presente directiva são os Estados-Membros.

Feito em Estrasburgo, em 19 de Maio de 2010.

Pelo Parlamento Europeu

O Presidente

J. BUZEK

Pelo Conselho

O Presidente

D. LÓPEZ GARRIDO

ANEXO I

**Quadro geral comum para a metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios
(referido no artigo 3.º)**

1. O desempenho energético de um edifício é determinado com base na energia anual calculada ou efectivamente consumida para satisfazer as diferentes necessidades associadas à sua utilização típica e reflecte as necessidades de energia de aquecimento e de energia de arrefecimento (a energia necessária para evitar o sobreaquecimento) para manter as condições de temperatura previstas do edifício, bem como as necessidades para preparação de água quente para uso doméstico.
2. O desempenho energético de um edifício é expresso de modo transparente e inclui um indicador de desempenho energético, bem como um indicador numérico da utilização de energia primária, em função de factores de energia primária por vector energético, podendo tomar-se como base as médias anuais ponderadas, nacionais ou regionais, ou um valor específico para a produção *in situ*.

A metodologia para calcular o desempenho energético dos edifícios deve ter em conta as normas europeias e deve ser coerente com a legislação aplicável da União, nomeadamente a Directiva 2009/28/CE.

3. A metodologia é estabelecida tendo em conta pelo menos os seguintes aspectos:
 - a) As seguintes características térmicas reais do edifício, incluindo as suas divisórias internas:
 - i) capacidade térmica,
 - ii) isolamento,
 - iii) aquecimento passivo,
 - iv) arrefecimento passivo, e
 - v) pontes térmicas;
 - b) Instalação de aquecimento e fornecimento de água quente, incluindo as respectivas características de isolamento;
 - c) Instalações de ar condicionado;
 - d) Ventilação natural e mecânica, que pode incluir a estanquidade ao ar da envolvente;
 - e) Instalação fixa de iluminação (em especial no sector não residencial);
 - f) Concepção, posicionamento e orientação dos edifícios, incluindo as condições climáticas exteriores;
 - g) Sistemas solares passivos e protecções solares;
 - h) Condições climáticas interiores, incluindo as de projecto;
 - i) Cargas internas.
4. Neste cálculo deve ser tida em conta, quando for caso disso, a influência positiva dos seguintes aspectos:
 - a) Condições locais de exposição solar, sistemas solares activos e outros sistemas de aquecimento e produção de electricidade baseados em energia proveniente de fontes renováveis;
 - b) Electricidade produzida por co-geração;
 - c) Redes urbanas ou colectivas de aquecimento e arrefecimento;
 - d) Iluminação natural.

5. Para efeitos deste cálculo, os edifícios devem ser devidamente classificados nas seguintes categorias:

- a) Habitações unifamiliares de diversos tipos;
 - b) Edifícios de apartamentos;
 - c) Edifícios de escritórios;
 - d) Estabelecimentos de ensino;
 - e) Hospitais;
 - f) Hotéis e restaurantes;
 - g) Instalações desportivas;
 - h) Edifícios destinados a serviços de comércio grossista e retalhista;
 - i) Outros tipos de edifícios que consomem energia.
-

ANEXO II

Sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspeção

1. As autoridades competentes, ou os organismos nos quais as autoridades competentes tenham delegado as responsabilidades pela aplicação prática do sistema de controlo independente, seleccionam de forma aleatória pelo menos uma percentagem estatisticamente significativa dos certificados de desempenho energético emitidos anualmente e procedem à sua verificação.

A verificação baseia-se nas opções adiante indicadas ou em medidas equivalentes:

- a) Verificação da validade dos dados sobre o edifício utilizados para emitir o certificado de desempenho energético e dos resultados declarados no certificado;
 - b) Verificação dos dados utilizados para emitir o certificado de desempenho energético e dos seus resultados, bem como das recomendações formuladas;
 - c) Verificação completa dos dados sobre o edifício utilizados para emitir o certificado de desempenho energético, verificação completa dos resultados declarados no certificado de desempenho energético, bem como das recomendações formuladas, e visita ao local do edifício, se possível, para verificar a correspondência entre as especificações contidas no certificado de desempenho energético e o edifício certificado.
2. As autoridades competentes, ou os organismos nos quais as autoridades competentes tenham delegado as responsabilidades pela aplicação prática do sistema de controlo independente, seleccionam de forma aleatória pelo menos uma percentagem estatisticamente significativa dos relatórios de inspeção emitidos anualmente e procedem à sua verificação.

ANEXO III

Quadro para a metodologia comparativa para a determinação dos níveis óptimos de rentabilidade dos requisitos de desempenho energético aplicáveis a edifícios e a componentes

Através do quadro para a metodologia comparativa, os Estados-Membros podem determinar o desempenho energético dos edifícios e dos seus componentes e os aspectos económicos das medidas relacionadas com o desempenho energético, e estabelecer uma relação entre estes elementos a fim de determinar o nível óptimo de rentabilidade.

O quadro para a metodologia comparativa é acompanhado de orientações quanto à forma como deve ser aplicado no cálculo dos níveis óptimos de rentabilidade do desempenho.

O quadro para a metodologia comparativa permite ter em conta os padrões de utilização, as condições climáticas exteriores, os custos de investimento, a categoria do edifício, os custos de manutenção e funcionamento (incluindo os custos e as poupanças de energia), as receitas resultantes da energia produzida, quando aplicável, e os custos da remoção, quando aplicável. O quadro deverá ter como base as normas europeias pertinentes no âmbito da presente directiva.

A Comissão faculta igualmente:

- orientações de acompanhamento do quadro para a metodologia comparativa, destinadas a permitir que os Estados-Membros tomem as medidas adiante enumeradas,
- informações sobre a evolução prevista dos preços da energia a longo prazo.

Para efeitos de aplicação do quadro para a metodologia comparativa nos Estados-Membros, são fixadas, a nível nacional, condições gerais expressas por parâmetros.

O quadro para a metodologia comparativa exige que os Estados-Membros:

- definam edifícios de referência caracterizados e representativos pela sua funcionalidade e localização geográfica, atendendo inclusive às condições climáticas interiores e exteriores. Os edifícios de referência incluem edifícios residenciais e não residenciais, tanto novos como já existentes,
- definam medidas de eficiência energética para serem avaliadas relativamente aos edifícios de referência. Podem ser medidas para um edifício no seu todo, para componentes individuais ou para uma combinação de componentes,
- procedam a uma avaliação das necessidades de energia final e primária dos edifícios de referência, bem como dos edifícios de referência com aplicação das medidas de eficiência energética definidas,
- efectuem um cálculo dos custos (isto é, do valor actual líquido) das medidas de eficiência energética (tal como referidas no segundo travessão) durante o ciclo de vida económico previsto, aplicadas aos edifícios de referência (tal como referidos no primeiro travessão), com base nos princípios do quadro para a metodologia comparativa.

Ao calcularem os custos das medidas de eficiência energética durante o ciclo de vida económico previsto, os Estados-Membros avaliam a rentabilidade dos diversos níveis de requisitos mínimos de desempenho energético. Tal permitirá determinar os níveis óptimos de rentabilidade para os requisitos de desempenho energético.

ANEXO IV

PARTE A

Directiva revogada e alterações subsequentes**(como referido no artigo 29.º)**

Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho
(JO L 1 de 4.1.2003, p. 65).

Regulamento (CE) n.º 1137/2008 do Parlamento Europeu e
do Conselho (JO L 311 de 21.11.2008).

apenas o ponto 9.9 do anexo

PARTE B

Prazos de transposição para o direito nacional e datas de aplicação**(como referido no artigo 29.º)**

| Directiva | Prazo de transposição | Data de aplicação |
|------------|-----------------------|--|
| 2002/91/CE | 4 de Janeiro de 2006 | 4 de Janeiro de 2009 apenas no que diz respeito aos artigos 7.º, 8.º e 9.º |

ANEXO V

Tabela de correspondência

| Directiva 2002/91/CE | Presente directiva |
|---|---|
| Artigo 1.º | Artigo 1.º |
| Ponto 1 do artigo 2.º | Ponto 1 do artigo 2.º |
| — | Pontos 2 e 3 do artigo 2.º |
| Ponto 2 do artigo 2.º | Ponto 4 do artigo 2.º e Anexo I |
| — | Pontos 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 do artigo 2.º |
| Ponto 3 do artigo 2.º | Ponto 12 do artigo 2.º |
| Ponto 4 do artigo 2.º | Ponto 13 do artigo 2.º |
| — | Ponto 14 do artigo 2.º |
| Ponto 5 do artigo 2.º | Ponto 15 do artigo 2.º |
| Ponto 6 do artigo 2.º | Ponto 16 do artigo 2.º |
| Ponto 7 do artigo 2.º | Ponto 17 do artigo 2.º |
| Ponto 8 do artigo 2.º | Ponto 18 do artigo 2.º |
| — | Ponto 19 do artigo 2.º |
| Artigo 3.º | Artigo 3.º e Anexo I |
| N.º 1 do artigo 4.º | N.º 1 do artigo 4.º |
| N.º 2 do artigo 4.º | — |
| N.º 3 do artigo 4.º | N.º 2 do artigo 4.º |
| — | Artigo 5.º |
| Artigo 5.º | N.º 1 do artigo 6.º |
| — | N.ºs 2 e 3 do artigo 6.º |
| Artigo 6.º | Artigo 7.º |
| — | Artigos 8.º, 9.º e 10.º |
| Primeiro parágrafo do n.º 1 do artigo 7.º | N.º 8 do artigo 11.º e n.º 2 do artigo 12.º |
| Segundo parágrafo do n.º 1 do artigo 7.º | N.º 6 do artigo 11.º |
| Terceiro parágrafo do n.º 1 do artigo 7.º | N.º 6 do artigo 12.º |
| N.º 2 do artigo 7.º | N.ºs 1 e 2 do artigo 11.º |
| — | N.ºs 3, 4, 5, 7 e 9 do artigo 11.º |
| — | N.ºs 1, 3, 4, 5 e 7 do artigo 12.º |
| N.º 3 do artigo 7.º | N.ºs 1 e 3 do artigo 13.º |
| — | N.º 2 do artigo 13.º |
| Alínea a) do artigo 8.º | N.ºs 1 e 3 do artigo 14.º |
| — | N.º 2 do artigo 14.º |
| Alínea b) do artigo 8.º | N.º 4 do artigo 14.º |
| — | N.º 5 do artigo 14.º |
| Artigo 9.º | N.º 1 do artigo 15.º |

| Directiva 2002/91/CE | Presente directiva |
|--------------------------------|---|
| — | N.ºs 2, 3, 4 e 5 do artigo 15.º |
| — | Artigo 16.º |
| Artigo 10.º | Artigo 17.º |
| — | Artigo 18.º |
| Artigo 11.º, proémio | Artigo 19.º |
| Alíneas a) e b) do artigo 11.º | — |
| Artigo 12.º | N.º 1 e segundo parágrafo do n.º 2 do artigo 20.º |
| — | Primeiro parágrafo do n.º 2 e n.ºs 3 e 4 do artigo 20.º |
| — | Artigo 21.º |
| Artigo 13.º | Artigo 22.º |
| — | Artigos 23.º, 24.º e 25.º |
| N.º 1 do artigo 14.º | N.º 1 do artigo 26.º |
| N.ºs 2 e 3 do artigo 14.º | — |
| — | N.º 2 do artigo 26.º |
| — | Artigo 27.º |
| N.º 1 do artigo 15.º | Artigo 28.º |
| N.º 2 do artigo 15.º | — |
| — | Artigo 29.º |
| Artigo 16.º | Artigo 30.º |
| Artigo 17.º | Artigo 31.º |
| Anexo | Anexo I |
| — | Anexos II a V |

Anexo II

Programas Informáticos de Análise de Ciclo de Vida

Programas Informáticos Europeus de análise de ciclo de vida

EQUER - Programa Informático Francês de análise de ciclo de vida

| EQUER | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|---|------------------------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Tipo de ferramenta de LCA | Ferramenta de análise de todo o edifício | | | | | | |
| Fases do Ciclo de Vida que inclui | Extração do material e transformação | Operação (energia, água, resíduos domésticos, transporte do ocupante do edifício) | | | Manutenção | Demolição e Gestão de Resíduos | |
| Tipo de Edifício aceitável | Industriais, institucionais, comerciais, residenciais (novas construções e grandes obras de renovação) | | | | | | |
| Categorias de impacto | Exaustor de recursos abióticos | Consumo de energia primária | Consumo de água | Acidificação | Eutrofização | Aquecimento global | Resíduos não radioativos |
| | Resíduos radioativos | Odores | Ecotoxicidade aquática | Toxicidade humana | Smog fotoquímico | | |
| Endereço eletrónico | http://www.cenerg.ensmp.fr/english/logiciel/indexequer.html | | | | | | |

(Fonte: Adaptado de Bayer, 2010, p. 94 e 95)

Eco-Quantum e SimaPro - Programas Informáticos holandeses de análise de ciclo de vida

| Eco-Quantum | | | | | | |
|-----------------------------------|---|---------------------------------------|--|---|--|------------------------------|
| Tipo de ferramenta de LCA | Análise de todo o edifício | Ferramenta para utilizadores em geral | | | | |
| Fases do Ciclo de Vida que inclui | Materiais | Construção | Operação (energia) e Manutenção | | | |
| Tipo de Edifício aceitável | | | | | | |
| Categorias de impacto | Efeito de estufa | Toxicidade do ecossistema | Toxicidade para o homem e outros | | | |
| Endereço eletrónico | http://www.ivam.uva.nl/index.php?id=373&L=1 | | | | | |
| SimaPro | | | | | | |
| Tipo de ferramenta de LCA | Ferramenta de análise de produtos | | | Ferramenta para praticantes de Análise de Ciclo de Vida | | |
| Fases do Ciclo de Vida que inclui | "Berço-ao-túmulo" (Cradle-to-Grave) | | | | | |
| Tipo de Edifício aceitável | Produtos complexos, com ciclos de vida complexos | | | | | |
| Categorias de impacto | Alterações climáticas | Carcinogéneos | Substâncias orgânicas respiráveis prejudiciais | | Substâncias inorgânicas respiráveis prejudiciais | |
| | Eco toxicidade | Acidificação / e eutrofização | Uso de terreno | Minerais | Combustíveis fósseis | Destrução da camada de ozono |
| Endereço eletrónico | http://www.pre.nl/default.htm | | | | | |

(Fonte: Adaptado de Bayer, 2010, p. 96 e 98)

Envest, TEAM e Boustead - Programas Informáticos do Reino Unido de análise de ciclo de vida

| Envest | | | | | | |
|-----------------------------------|---|---|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Tipo de ferramenta de LCA | Ferramenta para utilizadores em geral | Ferramenta de análise de custos durante o ciclo de vida | | | Análise de todo o edifício | |
| Fases do Ciclo de Vida que inclui | Materiais | Construção | Operação (energia) e Manutenção | | Demolição e gestão de resíduos | |
| Tipo de Edifício aceitável | | | | | | |
| Categorias de impacto | Alterações climáticas | Esgotamento dos combustíveis fósseis | Destruição da camada de ozono | | Transporte de carga | Toxidade no ar para o homem |
| | Eliminação de resíduos | Extração de água | Deposição de ácidos | Extração de minerais | Eco toxidade | Toxidade na água para o homem |
| Endereço eletrónico | http://envestv2.bre.co.uk/account.jps | | | | | |

| TEAM | | |
|-----------------------------------|---|---|
| Tipo de ferramenta de LCA | Ferramenta de análise de produtos | Ferramenta para praticantes de Análise de Ciclo de Vida |
| Fases do Ciclo de Vida que inclui | Flexível para incluir ou excluir qualquer fase do ciclo de vida | |
| Tipo de Edifício aceitável | Não aplicável | |
| Categorias de impacto | | |
| Endereço eletrónico | https://www.ec.obilan.com/uk_team03.php | |

| Boustead | | |
|-----------------------------------|---|---|
| Tipo de ferramenta de LCA | Ferramenta de análise de produtos | Ferramenta para praticantes de Análise de Ciclo de Vida |
| Fases do Ciclo de Vida que inclui | "Berço-ao-túmulo" (Cradle-to-Grave) | |
| Tipo de Edifício aceitável | Não aplicável | |
| Categorias de impacto | Cálculo do inventário do Ciclo de vida | |
| Endereço eletrónico | http://www.boustead-consulting.co.uk/products.htm | |

(Fonte: Adaptado de Bayer, 2010, p. 96, 97 e 98)

Umberto - Programa Informático alemão de análise de ciclo de vida

| Umberto | | |
|-----------------------------------|---|---|
| Tipo de ferramenta de LCA | Ferramenta de análise de produtos | Ferramenta para praticantes de Análise de Ciclo de Vida |
| Fases do Ciclo de Vida que inclui | Flexível para incluir ou excluir qualquer fase do ciclo de vida | |
| Tipo de Edifício aceitável | Não aplicável | |
| Categorias de impacto | Avalia o fluxo de material e energia | |
| Endereço eletrónico | http://www.umberto.de/en/ | |

(Fonte: Adaptado de Bayer, 2010, p. 98)

Programas Informáticos Australianos de análise de ciclo de vida

Tabela – LCAid™ e LISA - Programas Informáticos australianos de análise de ciclo de vida

| LCAid™ | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|---|---|------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Tipo de ferramenta de LCA | Ferramenta de análise de todo o edifício | Ferramenta de análise da montagem do edifício | Ferramenta de análise de materiais | | | Ferramenta para utilizadores em geral | |
| Fases do Ciclo de Vida que inclui | Materiais | Construção | Operações (Energia + água + resíduos domésticos) e manutenção | | | Demolição e gestão de resíduos | |
| Tipo de Edifício aceitável | Todo o tipo | | | | | | |
| Categorias de impacto | Ciclo de Vida de gases de efeito estufa emitidos | Ciclo de vida encarnada energia | Destrução da camada de ozono | Nutrição | Materiais pesados | Acidificação | Smog de Verão e Inverno |
| | Carcinogénese | Resíduos Sólidos | Consumo de água | Combustíveis primários | | | |
| Endereço eletrónico | http://buildlca.rmit.edu.au/CaseStud/Buxton/BuxtonPS_LCAid_use.html | | | | | | |

| LISA | | | | | | |
|-----------------------------------|---|---------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| Tipo de ferramenta de LCA | Análise de todo o edifício | Ferramenta para utilizadores em geral | | | | |
| Fases do Ciclo de Vida que inclui | Materiais | Atividades locais | Construção | Operação (energia) e Manutenção | Demolição e gestão de resíduos | |
| Tipo de Edifício aceitável | Escritórios de vários andares , arranha-céus, grandes armazéns, pontes rodoviária e ferroviária | | | | | |
| Categorias de impacto | Utilização de recursos energéticos | Emissões de gases de efeito estufa | Partículas em suspensão | VOC não-metano | NO _x | SO _x |
| Endereço eletrónico | http://www.lisa.au.com/ | | | | | |

(Fonte: Adaptado de Bayer, 2010, p. 95 e 96)

Programas Informáticos norte-americanos de análise de ciclo de vida

ATHENA® Impact Estimator , ATHENA® EcoCalculator , BEES® e EIO-LCA -

Programas Informáticos norte-americano de análise de ciclo de vida

| ATHENA® Impact Estimator | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|--|--|--|----------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| Tipo de ferramenta de LCA | Ferramenta de análise de toda a Edifício | Ferramenta de Análise de Edifício | | Ferramenta para utilizadores em geral | | | |
| Fases do Ciclo de Vida que inclui | Extração de material e transformação | Transporte Relacionados construção no local (uso de energia + emissões relacionadas) | | Operação (Energia apenas) | Manutenção e substituição | Demolição e transporte para aterro | |
| Tipo de Edifício aceitável | Industriais, institucionais, comerciais, residenciais, tanto para novas construções e grandes obras de reabilitação | | | | | | |
| Categorias de impacto | Potencial de acidificação | Potencial de Aquecimento Global | Potenciais efeitos na saúde humana em termos respiratórios | Potencial de destruição da camada de ozono | Potencial contribuição para Smog | Potencial de eutrofização aquática | Energia Fóssil total |
| Endereço eletrónico | http://www.athenasmi.org/tools/impactEstimator/ | | | | | | |

| ATHENA® EcoCalculator | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------|------------------------------------|--|
| Tipo de ferramenta de LCA | Ferramenta de Análise de Edifício | | Ferramenta para utilizadores em geral | | | | |
| Fases do Ciclo de Vida que inclui | Extração de material e fabricação | | Transporte Relacionados | No local de construção das Assembleias | Manutenção e substituição | Demolição e transporte para aterro | |
| Tipo de Edifício aceitável | Industriais, institucionais, comerciais, residenciais para a construção nova e grande renovação | | | | | | |
| Categorias de impacto | Potencial de Aquecimento Global | Energia Primária Incorporado | Poluição de Ar | Poluição à Água | | Uso ponderado de recursos | |
| Endereço eletrónico | http://www.athenasmi.org/tools/ecoCalculator/index.html | | | | | | |

| BEES® | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|---------------------------------|--|---|----------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Tipo de ferramenta de LCA | Ferramenta de Análise de Ciclo de vida de materiais de construção | | Ferramenta para utilizadores em geral | Ferramenta de Análise de Custo no Ciclo de Vida | | | |
| Fases do Ciclo de Vida que inclui | Extração de material e transformação | | Transporte | Instalação | Manutenção | Reciclagem e Gestão de Resíduos | |
| Tipo de Edifício aceitável | Não aplicável | | | | | | |
| Categorias de impacto | Potencial de acidificação | Potencial de Aquecimento Global | Eutrofização de Combustíveis Fósseis | Esgotamento Qualidade do Ar Interior | Alteração de habitat | Ingestão de água | Critérios de Poluentes do Ar |
| | Saúde Humana | Potencial de formação de smog | Potencial de destruição da camada de ozono | Toxicidade ecológica | | | |
| Endereço eletrónico | http://www.bfrl.nist.gov/oe/software/BEES/nees.html | | | | | | |

| EIO-LCA | | |
|-----------------------------------|---|------------|
| Tipo de ferramenta de LCA | Ferramenta de avaliação da energia incorporada | |
| Fases do Ciclo de Vida que inclui | Extração de material e transformação | Transporte |
| Tipo de Edifício aceitável | Residencial, Comercial, Institucional, Industrial, Autoestradas e construção de pontes, construção de condutas de esgotos e de água, Manutenção e Reparação | |
| Categorias de impacto | | |
| Endereço eletrônico | http://www.eiolca.net/index.html | |

(Fonte: Adaptado de Bayer, 2010, p. 93 e 94)

Outros Programas Informáticos de análise de ciclo de vida

Tabela – LCAit, PEMS, PEMS, SBi LCA e GaBi – Programas Informáticos de análise de ciclo de vida

| LCAit | | |
|-----------------------------------|---|---|
| Tipo de ferramenta de LCA | Ferramenta de análise de produtos | Ferramenta para praticantes de Análise de Ciclo de Vida |
| Fases do Ciclo de Vida que inclui | Flexível para incluir ou excluir qualquer fase do ciclo de vida | |
| Tipo de Edifício aceitável | Não aplicável | |
| Categorias de impacto | Pode ser personalizado para produzir resultados LCIA | |
| Endereço eletrônico | http://www.einet.net/review/962195-588110/LCAiT.htm | |

| PEMS | | |
|-----------------------------------|---|---|
| Tipo de ferramenta de LCA | Ferramenta de análise de produtos | Ferramenta para praticantes de Análise de Ciclo de Vida |
| Fases do Ciclo de Vida que inclui | Flexível para incluir ou excluir qualquer fase do ciclo de vida | |
| Tipo de Edifício aceitável | Não aplicável | |
| Categorias de impacto | Dois métodos de cálculos de análise do ciclo de vida | |
| Endereço eletrônico | | |

| SBi LCA | | |
|-----------------------------------|--|---|
| Tipo de ferramenta de LCA | Ferramenta de análise de produtos | Ferramenta para praticantes de Análise de Ciclo de Vida |
| Fases do Ciclo de Vida que inclui | | |
| Tipo de Edifício aceitável | Não aplicável | |
| Categorias de impacto | Ferramenta de dados e inventário de Análise de Ciclo de Vida | |
| Endereço eletrônico | | |

| GaBi | | |
|-----------------------------------|---|---|
| Tipo de ferramenta de LCA | Ferramenta de análise de produtos | Ferramenta para praticantes de Análise de Ciclo de Vida |
| Fases do Ciclo de Vida que inclui | "Berço-ao-túmulo" (Cradle-to-Grave) | |
| Tipo de Edifício aceitável | Qualquer produto ou processo industrial | |
| Categorias de impacto | | |
| Endereço eletrônico | http://www.gabi-software.com/ | |

(Fonte: Adaptado de Bayer, 2010, p. 97, 98 e 99)