



Dissertação
Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Construção Sustentável – Contributo para a Avaliação do Desempenho de Paredes Exteriores

Ruben José Morais Queiroga Pedrosa Évora

Leiria, Novembro de 2013



Dissertação
Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Construção Sustentável – Contributo para a Avaliação do Desempenho de Paredes Exteriores

Ruben José Morais Queiroga Pedrosa Évora

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor João António Esteves Ramos, Professor Coordenador da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, *Novembro de 2013*

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

De uma forma geral, quero agradecer às pessoas que me ajudaram a realizar este trabalho.

Em especial quero agradecer ao meu orientador, Doutor João Ramos, por toda ajuda, paciência, experiência e conhecimento que me transmitiu.

À minha família por estarem sempre ao meu lado e me apoiarem em todas as decisões.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

O trabalho desenvolvido nesta dissertação incidiu na análise quer da evolução de diferentes processos de edificação de alvenarias quer na melhoria do seu desempenho energético, aliando assim um maior conforto interno no edifício, reduzindo o processo de transferência de calor com o exterior e as consequentes necessidades de energia para o aquecimento e arrefecimento do meio ambiente interior. Tendo em conta o estado actual da crise energética, nomeadamente o recurso a energias fósseis, a optimização da eficiência energética deve ser tomada como alvo prioritário, promovendo uma menor factura energética e uma melhoria da pegada ecológica.

Portugal é um País pesadamente dependente dos combustíveis fósseis para a produção de energia eléctrica, grande parte desta consumida na climatização de edifícios. Assim, no presente trabalho abordam-se diferentes desempenhos energéticos de uma habitação considerando várias soluções de paredes exteriores. Como ponto principal de enfoque, será dada particular atenção ao tijolo térmico, solução de construção relativamente recente no nosso País, numa perspectiva de implementação de uma solução eco-eficiente.

Para simular exemplos de diferentes construções de alvenaria e comparar assim as suas “performances” foi ainda utilizado o *software Envolterm* tendo em vista a metodologia do regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios. Estudou-se um caso baseado na alvenaria de tijolo de uma célula de teste existente na ESTG/IPLeiria. A partir deste modelo foi possível explorar três hipóteses de paredes correntes no mercado nacional – alvenaria com pano duplo e com a caixa de ar totalmente preenchida com poliestireno expandido, alvenaria com pano simples de tijolo térmico e por fim alvenaria com pano simples de tijolo térmico e revestimento pelo exterior de poliestireno extrudido. Com estes três exemplos, foi possível abordar diversas funcionalidades do *software Envolterm*, desde a construção do modelo à introdução dos parâmetros ambientais, ganhos internos, equipamentos de climatização, etc.

O principal objectivo foi determinar se a aplicação de tijolo térmico em alvenarias seria uma opção viável e vantajosa em comparação com as soluções correntes, como por exemplo, alvenaria de pano duplo com caixa de ar.

Este estudo permitiu ainda perceber que o factor preponderante para a escolha do tipo de

material de construção habitacional não deve recair só no coeficiente de transmissão térmica do produto, mas ainda na análise de outras variáveis, como sejam, o preço da matéria-prima e o tempo de construção.

Palavras-chave: Alvenaria de tijolo, Conforto térmico, Tijolo térmico, RCCTE, Envolterm, Desempenho térmico de edifícios.

Abstract

The work in this thesis focused either on the analysis of the evolution of different processes of building walls and improving their energy performance, thus combining a greater indoor comfort in the building, reducing the heat transfer process with the exterior and the resulting needs for energy for heating and cooling of the interior environment.

Taking into account the current energy crisis, including the use of fossil energy, optimizing energy efficiency should be taken as priority target, promoting a lower energy bill and improving the ecological footprint.

Portugal is a country heavily dependent on fossil fuels to produce electricity, much of this consumption for heating buildings. As a main point of focus will be given particular attention to the brick thermal solution relatively recent construction in our country, with a view to implementing an eco - efficient solution. To simulate different examples of masonry construction and thus compare their "performance" was used *Envolterm software* methodology aimed at the regulation of the characteristics of thermal performance of buildings. It was studied a case based on the brickwork of a test cell existing in ESTG/IPLeiria. From this model it was possible to explore three hypotheses wall currents in the domestic market - masonry with double cloth with the air box completely filled with expanded polystyrene, masonry brick with plain cloth thermal and finally masonry brick with plain cloth and thermal coating from the outside of extruded polystyrene. With these three examples, it was possible to address several *Envolterm software* features, from model building to the introduction of environmental parameters, internal gains, HVAC.

The primary objective was to determine if the application of heat masonry brick would be a viable and advantageous in comparison to current solutions, for example, masonry double cloth with air box.

This study also realize that the key factor in choosing the type of housing construction material should not fall only on the heat transfer coefficient of the product but also in the analysis of other variables such as the price of raw materials and the time construction.

Keywords: Brick Masonry, Thermal Comfort, Thermal Brick, RCCTE, *Envolterm*, Thermal Performance of Buildings.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice de Figuras

Figura 1 - Gráfico de valores de CO ₂ emitidos em Portugal no período demonstrado. [3] ..	6
Figura 2 - Valores comparativos da percentagem de emissão de gases de estufa com o aumento/redução de emissões CO ₂ (Mt) [3].....	7
Figura 3 – Emissões médias no período de 2008-2011 de CO ₂ com valor representativo em percentagem. [3].....	8
Figura 4 – Distribuição do consumo energético geral de uma habitação em Portugal. [6].	10
Figura 5- Evolução aproximada das paredes em Portugal [9].....	11
Figura 6 – Habitação em Pedra na zona do rio Sabor, Entre Termos.....	12
Figura 7 – Muro de protecção em pedra.....	12
Figura 8 – 6 tipos de parede em alvenaria ordinária. Da esquerda para a direita e de cima para baixo: alvenaria de junta larga; pedra irregular; pedra lamelar; pedra irregular natural pedra irregular corrigida.	13
Figura 9 – Parede de alvenaria ordinária com pedra lamelar.	13
Figura 10 – Diferentes tipologias de alvenaria emparelhada. Da esquerda para a direita e de cima para baixo. Parede regular em fiadas iguais; irregular; regular em painéis; cantos adoçados, junta larga.	14
Figura 11 – Exemplos de pedras para a alvenaria Aparelhada.....	14
Figura 12 – Exemplo de parede com técnica de pedra aparelhada e ordinária.	14
Figura 13 – Construção em madeira.....	15
Figura 14 – Exemplo de tijolo em Adobe com adição de pedra miúda.....	16
Figura 15 – Exemplo de parede em Adobe com base de construção em pedra.	16
Figura 16 – Processo construtivo do tijolo de adobe.....	16
Figura 17 – Assentamento de tijolo adobe.	16
Figura 18 – Mecanismo de Taipal e Pilão	17
Figura 19 – Processo construtivo de uma parede em taipas.....	18
Figura 20 - Casa com parede em Taipa	18
Figura 21 – Paredes de taipas com travejamento em diferentes disposições [12].....	19
Figura 22 - Casa em Taipa de fasquio com reforço longitudinal em madeira.....	19
Figura 23 – Dois exemplos de paredes em taipa de fasquio.....	20
Figura 24 – Parede em taipa de rodízio.	20
Figura 25 – Construção de uma parede simples de alvenaria com tijolo cerâmico de furação horizontal e maciço respectivamente.....	21
Figura 26 – Revestimento com poliuretano projectado.....	22
Figura 27 – Revestimento com aglomerado de cortiça e lã de rocha respectivamente.	22
Figura 28 – Aspecto de uma parede de alvenaria dupla.	23
Figura 29 - Imagens de paredes de alvenaria dupla com poliestireno expandido e extrudido respectivamente.	23
Figura 30 – Fachadas com ETICS sem e com câmara de ar ventilada.....	24

Figura 31 – Tijolo térmico humedecido e criação da junta de argamassa respectivamente	25
Figura 32 – Assentamento da camada superior de tijolo.	25
Figura 33 – Nivelamento e conclusão da fiada.	25
Figura 34 – Bloco de betão de argila expandida e sua aplicabilidade.	26
Figura 35 – Exemplos de construção com painéis pré-fabricados pesados.	26
Figura 36 – Aspectos competitivos na construção tradicional	27
Figura 37- Aspectos de uma construção eco eficiente	28
Figura 38 – Construção sustentável	28
Figura 39 – Exemplo de um tijolo tradicional e de um tijolo térmico	30
Figura 40 - Jazida de Argila Vermelha	33
Figura 41 - Exemplo de um misturador de argila e forno de cozimento de tijolo respectivamente	33
Figura 42 - Exemplo de bloco de betão e sua edificação.	34
Figura 43 – Bloco de betão autoclavado e exemplo de construção de habitação com este material.	35
Figura 44 - Aplicação de placas EPS em parede.	37
Figura 45 - Linha de produção de poliestireno expandido	38
Figura 46 - Aplicação de placas de XPS em obra	39
Figura 47 - Linha de produção de placas XPS	40
Figura 48 - Poliuretano projectado	40
Figura 49 - Revestimento com aglomerado de cortiça.	41
Figura 50 – Remoção de cortiça.	43
Figura 51 - Placas de cortiça depois do processo de Autoclave.	43
Figura 52 - Aplicação de lã de vidro	44
Figura 53 - Rolo de Lã de Vidro	45
Figura 54 - Rolo de Lã de Rocha e sua aplicação respectivamente	46
Figura 55 - Produção de placas de lã de rocha	47
Figura 56 – Distribuição percentual de tipos de parede exterior [22]	49
Figura 57 – Célula de teste construída no Campus 2 do IPL	51
Figura 58 - Vista por satélite do IPL, local da construção marcado	51
Figura 59 - Passos da construção da célula	52
Figura 60 – Célula de teste concluída.	52
Figura 61 - Vista interior da célula de teste	52
Figura 62 - Formas de transmissão de calor	53
Figura 63 – Exemplos ilustrativos do balanço energético no Verão e no Inverno [24]	56
Figura 64 - Janela correspondente aos dados gerais.	58
Figura 65 - Janela corresponde à Envoltente exterior	60
Figura 66 - Coeficiente de transmissão térmica disponível no <i>Envolterm</i> .	63
Figura 67 - Menu corresponde à cobertura da célula de teste.	64
Figura 68 - Paredes e pavimentos exteriores da célula de teste	64
Figura 69 - Janela auxiliar correspondente à situação de um pavimento em contacto com o solo sem isolamento térmico	66

Figura 70 - Envolvente exterior da Parede de Tijolo Duplo com isolamento térmico de EPS na caixa de ar.	67
Figura 71 - Perdas da Parede de Tijolo Duplo com isolamento térmico de EPS na caixa de ar.	68
Figura 72 - Necessidades de aquecimento com Parede de Tijolo Duplo com isolamento térmico de EPS na caixa de ar.	68
Figura 73 - Necessidades de arrefecimento com Parede de Tijolo Duplo com isolamento térmico de EPS na caixa de ar.	69
Figura 74 - Envolvente exterior da Parede de tijolo térmico sem isolamento térmico.	69
Figura 75 - Perdas da Parede de tijolo térmico sem isolamento térmico.	70
Figura 76 - Necessidades de aquecimento com Parede de tijolo térmico sem isolamento térmico.	70
Figura 77 - Necessidades de arrefecimento com Parede de tijolo térmico sem isolamento térmico.	71
Figura 78 – Envolvente exterior da Parede de tijolo térmico e sistema ETICS.	71
Figura 79 - Perdas da Parede de tijolo térmico e sistema ETICS.	72
Figura 80 - Necessidades de aquecimento com Parede de tijolo térmico e sistema ETICS	72
Figura 81 - Necessidades de arrefecimento com Parede de tijolo térmico e sistema ETICS	73
Figura 82 - Comparação gráfica das soluções de paredes.	77

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Evolução da emissão de gases efeito de estufa em Portugal no respectivo período. [4]	6
Tabela 2 – Ciclo de vida dos materiais Vs. seu Impacte Ambiental	29
Tabela 3 – Dimensões mais utilizadas de tijolos construtivos.	30
Tabela 4 - Classificação de alguns isolamentos térmicos.	47
Tabela 5 - Coeficiente de transmissão térmica para estudo.....	55
Tabela 6- Estratégias de controlo térmico [25]	57
Tabela 7 – Tópicos da página geral do <i>Envolverm</i>	59
Tabela 8 - Informação a introduzir na janela “Envolvente exterior”	61
Tabela 9 - Exemplos de soluções inseridas no <i>software Envolverm</i>	62
Tabela 10 - Características do tijolo térmico Prélis Lda	63
Tabela 11 - Opções de preenchimento no Menu Paredes e Pavimentos	65
Tabela 12 – Soluções construtivas de parede de tijolo simuladas.....	67
Tabela 13 - Perdas térmicas por solução construtiva	74
Tabela 14 – Média de custos para a construção dos diferentes tipos de alvenaria em estudo, por empresas Portuguesas.....	76

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de Siglas

CO₂ – Dióxido de Carbono

GEE – Gases efeito de estufa

HFC – Hidrofluorcarbonetos

CH₄ – Metano

Gg – Gigagrama

Mt – Tonelada métrica

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

ETICS – External Thermal Insulation Composite System

W – Watt

m –Metro

°C – Grau Celsius

m² – Metro Quadrado

EPS – Poliestireno expandido

PS – Poliestireno Expansível

CFC – Clorofluorcarbonetos

HCFC – Hidroclorofluorcarbonetos

XPS – Poliestireno Extrudido

NO_x – Óxido Nitroso

SO₂ – Dióxido de Enxofre

λ – Condutibilidade térmica do material

e – Espessura do elemento

A – Área do elemento

dT/de - gradiente de temperatura

Q – Calor

h – Coeficiente Transmissão térmica

ΔT – Diferença de Temperatura

T_i – Temperatura interior

T_e – Temperatura exterior

U – Coeficiente transmissão térmico

Q_{vent} - Trocas de calor devido à ventilação do espaço

Q_{rad_sol} - Ganhos térmicos devido à radiação solar

Q_{gi} - Ganhos térmicos devido às cargas interiores

Ψ - Coeficiente de transmissão térmica linear

N_{ic} – Necessidades nominais de aquecimento

N_{vc} – Necessidades nominais de arrefecimento

Índice

CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL – CONTRIBUTO PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PAREDES EXTERIORES	I
AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABELAS	XIII
LISTA DE SIGLAS.....	XV
ÍNDICE	XVII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO	1
1.2 OBJECTIVOS	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE	3
2 ESTADO DA ARTE.....	5
2.1 ENQUADRAMENTO GERAL.....	5
2.2 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE PAREDES.....	10
2.3 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS.....	12
2.4 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS CORRENTES.....	21
2.5 OUTRAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	26
2.6 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	27
2.7 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS E MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.	28
2.7.1 CONSTRUÇÃO PESADA.....	29
2.7.2 ISOLAMENTOS TÉRMICOS	36
3 ESTUDO DE CASO	49
3.1 ENQUADRAMENTO	49
3.1.1 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DA CÉLULA DE TESTE.....	50
3.2 MECANISMOS DE TRANSMISSÃO DE CALOR.....	53
3.3 <i>SOFTWARE ENVOLTERM</i>	58
3.3.1 DADOS GERAIS.....	58
3.3.2 ENVOLVENTE EXTERIOR	60
3.3.3 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS.....	67
4 CONCLUSÃO	79
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
ANEXOS	83

1 Introdução

1.1 Enquadramento

Desde sempre o ser humano tem-se preocupado em encontrar um local seguro e confortável onde pudesse habitar, tentando evitar a sensação de desconforto térmico, tal como estar com calor ou frio, o que prejudica a sua produtividade e afecta o seu bem-estar. De todas as espécies existentes no planeta o Homem é o único ser que está em constante evolução de modo a tentar facilitar as suas tarefas e impondo padrões de conforto cada vez mais elevados. No entanto, desde a revolução industrial a descoberta dos combustíveis fósseis, começaram a surgir pressões ambientais nos ecossistemas e a esgotar-se alguns dos recursos naturais. Hoje, verificamos que existe uma maior preocupação relativamente à preservação ecológica do planeta. Tornando-se um dos maiores desafios o controlo de emissões para o meio aquático, terrestre e ar ambiente, para isso houve o surgimento de legislação específica que obriga os países a tomar medidas no sentido de redução de poluentes atmosféricos.

O protocolo de Quioto (1997) é um dos marcos históricos mais importantes no que diz respeito à preocupação do ser humano com o meio ambiente, surgindo assim, de forma convicta a temática da redução da pegada ecológica relativamente à emissão de gases de efeito de estufa responsáveis pelo aquecimento global.

No que diz respeito a este trabalho vai ser abordado o tema da selecção de diferentes soluções para a construção de alvenaria, de modo a estudar a redução dos consumos energéticos nos edifícios. Estes representam, em média, cerca de 40% do gasto energético na Europa, uma vez que com o aumento da exigência de conforto no interior das habitações houve a necessidade de instalação de equipamentos de aquecimento/refrigeração cada vez mais potentes, levando assim a um consumo energético maior. A continuidade desta situação é incomportável, levando à necessidade de criação de soluções mais ecológicas e que consigam tirar proveito da envolvente ambiental. O sector dos edifícios foi identificado como o mais vantajoso para a redução de consumos energéticos, com uma estimada redução de 1509 milhões de toneladas de equivalente de petróleo em 2050 e consequentemente com a vantagem da redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂). [1]

No sentido de regulamentar esta área houve o surgimento de legislação específica europeia e nacional, nomeadamente o sistema nacional de certificação energética e ambiental.

Esta legislação obriga em caso de venda ou aluguer, que seja conhecida a classe energética do

edifício. No caso de construção de edifícios novos é exigido à partida, o cumprimento de determinados requisitos mínimos de qualidade que condicionam a performance energética destes.

De modo a facilitar o trabalho de técnicos especializados, existem *softwares* que permitem simular diferentes situações e avaliar o desempenho energético de um edifício, permitindo escolher e comparar o uso de diferentes soluções construtivas existentes no mercado, assim como a necessidade de aplicação de materiais isolantes ou de materiais de construção com propriedades físicas que permitam maior inércia térmica como é o caso dos tijolos térmicos.

1.2 Objectivos

O principal objectivo deste trabalho consiste na avaliação do impacto de diferentes soluções de construção em alvenarias, nomeadamente a aplicação do tijolo térmico, o qual é recente no nosso mercado, bem como outros materiais de construção convencionais, com vista a encontrar uma solução optimizada, quer a nível térmico, quer a nível ambiental, quer ainda ao nível dos custos dos produtos e da construção.

Como meio de alcance deste objectivo principal definiram-se outros objectivos, parulares, mas fundamentais ao desenvolvimento do trabalho, nomeadamente:

- Explorar os diferentes processos construtivos implementados em Portugal ao longo do tempo;
- Analisar em que condições Portugal assinou o tratado de Quioto, bem como as directivas e métodos implementados no País, a fim de poder cumprir os seus objectivos;
- Conjuguar a aplicação do tijolo térmico com soluções de isolamento e construção tradicional no plano nacional;
- Explorar a utilização do *software Envolterm* para simulações térmicas;
- Simular um caso de estudo, actuando na constituição da solução construtiva das paredes, de modo a analisar a eficiência térmica de diferentes alvenarias em tijolo térmico com e sem isolamento térmico.
- Comparar custos de construção e aquisição de materiais associados a cada tipologia de parede.

1.3 Organização da Tese

Este trabalho encontra-se dividido em 5 capítulos, nomeadamente a Introdução, Estado da Arte, Estudo de caso, Conclusão e por fim as Referências Bibliográficas.

No presente capítulo é referida a motivação e o enquadramento da realização deste trabalho, tendo em conta o contexto actual da crise energética, nomeadamente o recurso a energias fósseis não renováveis e a crescente preocupação da população com o meio ambiente, assim como a respectiva contribuição do sector da construção nesta matéria. Neste capítulo são também abordados os objectivos do trabalho com enfoque principal na caracterização do tijolo térmico e utilização de *software* de apoio à caracterização do desempenho térmico.

No capítulo 2, dedicado ao estado da arte, é abordada a preocupação energética do País confrontado com o tratado de Quioto e as suas respectivas emissões de gases efeito de estufa. É referida a evolução dos sistemas construtivos de modo a chegarmos a uma construção mais sustentável e nas matérias primas, são analisados os impactos ambientais de materiais correntes para a edificação de edifícios e seus isolamentos. São igualmente abordadas, soluções construtivas de alvenarias utilizadas no nosso território Português, bem como as suas técnicas de aplicação.

O estudo de caso, abordado no capítulo 3, é constituído pela análise dos exemplos escolhidos para simulação, sendo igualmente feita uma breve descrição da célula de teste escolhida bem como o tipo de materiais seleccionados para teste. Finalmente são analisados os resultados das simulações escolhidas e são comparados com diferentes critérios.

A conclusão, descrita no capítulo 4 expõem as conclusões gerais que se obtiveram neste trabalho.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

2 Estado da Arte

2.1 Enquadramento Geral

Cada vez mais a preocupação energética aparece no vocabulário comum do nosso dia a dia. Quer seja na forma de poupança económica, de poupança de energia ou num investimento favorável a curto, médio ou longo prazo. Hoje em dia temos cada vez mais acesso a variados processos para rentabilizar ao máximo o meio onde nos encontramos. Há vários processos que poderão ser pensados na construção da própria casa, desde um posicionamento favorável solar, até ao tipo de revestimento térmico que deverá ser implementado/construído. Tudo isto se resume ao objectivo de proporcionar um maior conforto térmico exigido pelos utilizadores e por organismos através de legislação.

As variáveis climáticas que mais influenciam os edifícios, em termos de transferência de calor, são a temperatura do ar exterior, o vento e a radiação solar. Estas estabelecem fluxos energéticos do interior para o exterior maioritariamente no período de Inverno e do exterior para o interior no Verão. Deste modo, iremos nos encontrar sempre numa situação de ganhos ou perdas térmicas através da envolvente do edifício. [2]

Portugal ao assinar o tratado de Quioto comprometeu-se a limitar o aumento das suas emissões de GEE (gases efeito de estufa) em 27%, no período 2008-2012, em relação às emissões de 1990. Em 2004 encontrávamo-nos 21.8% acima da linha de alvo, sendo o factor que mais contribui para o aumento de emissões o sector de produção de energia eléctrica (Tabela 1). [3]

Portugal é um País pesadamente dependente dos combustíveis fósseis para a produção de energia eléctrica, assim esta deverá ser bem racionalizada.

Tabela 1 – Evolução da emissão de gases efeito de estufa em Portugal no respectivo período. [4]

Portugal Ano	Emissão de CO₂ Cg	Emissão de HFC Gg	Emissão de CH₄ Gg	Total Emissões Gg
2008	59,544	1,033	12,842	78,381
2007	61,524	937	12,415	79,871
2006	63,797	873	12,587	82,129
2005	68,285	785	12,411	86,622
2004	65,900	687	12,694	84,659
2003	63,717	610	12,817	82,280
2002	68,396	497	12,687	87,318
2001	64,401	391	12,247	82,768
2000	63,691	303	11,430	81,301
1999	64,870	208	12,288	83,324
1998	58,062	151	12,053	75,792
1997	53,390	110	11,595	71,003
1996	50,159	76	11,392	67,559
1995	52,997	55	11,281	69,997
1994	49,102	NR	11,041	65,736
1993	47,998	NR	10,570	63,907
1992	49,411	NR	10,572	65,488
1991	45,311	NR	10,444	61,271
1990	43,589	NR	10,168	59,291

Em 2008-2009, Portugal conseguiu obter a meta definida e atingir de uma forma satisfatória os valores propostos, conforme demonstrados na Figura 1,2 e 3.

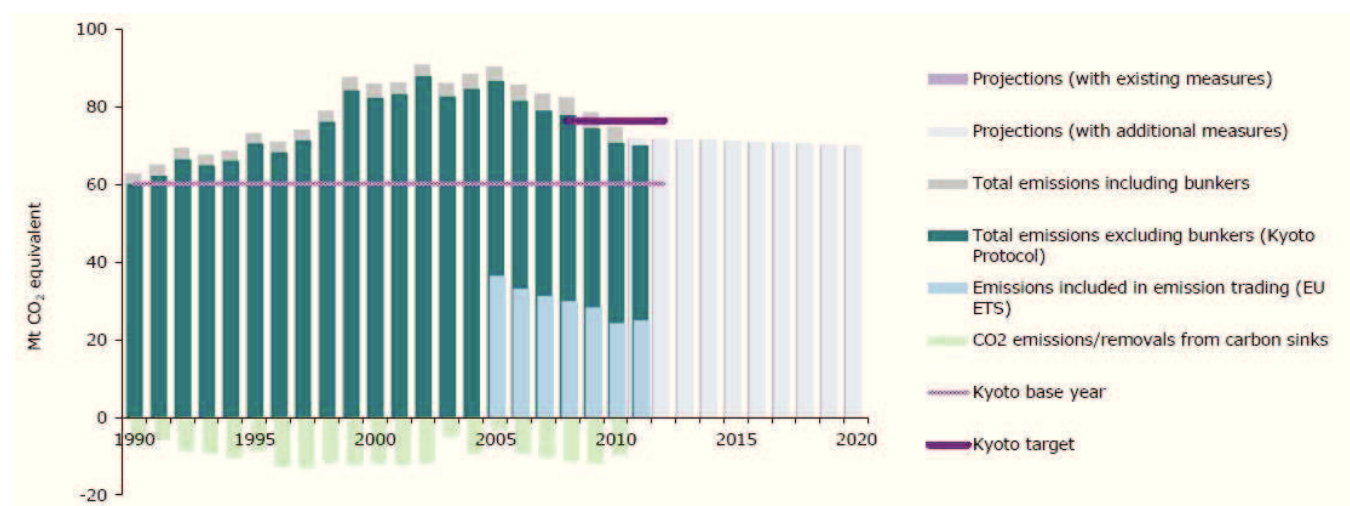


Figura 1 - Gráfico de valores de CO₂ emitidos em Portugal no período demonstrado. [3]

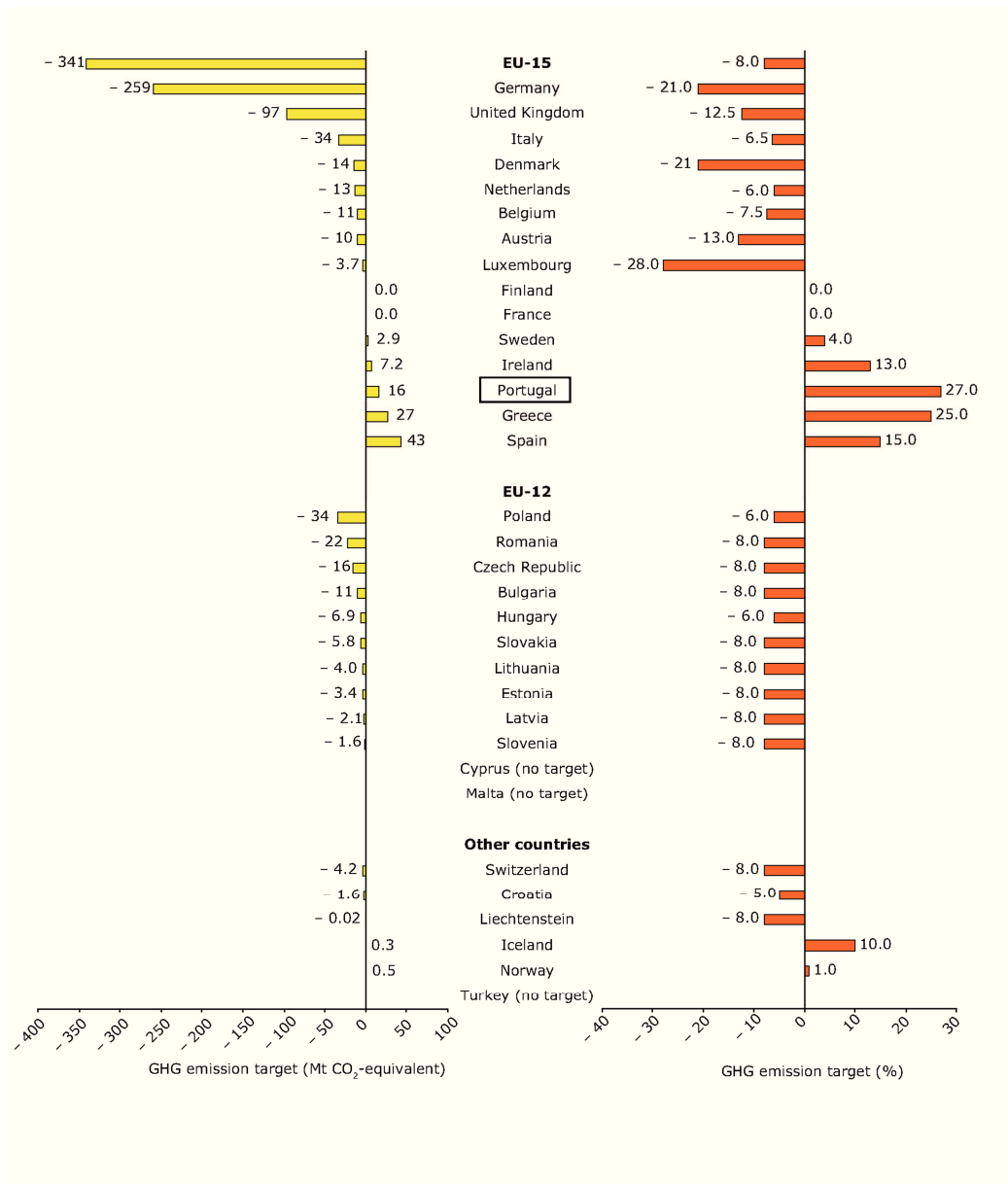


Figura 2 - Valores comparativos da percentagem de emissão de gases de estufa com o aumento/redução de emissões CO₂ (Mt) [3]

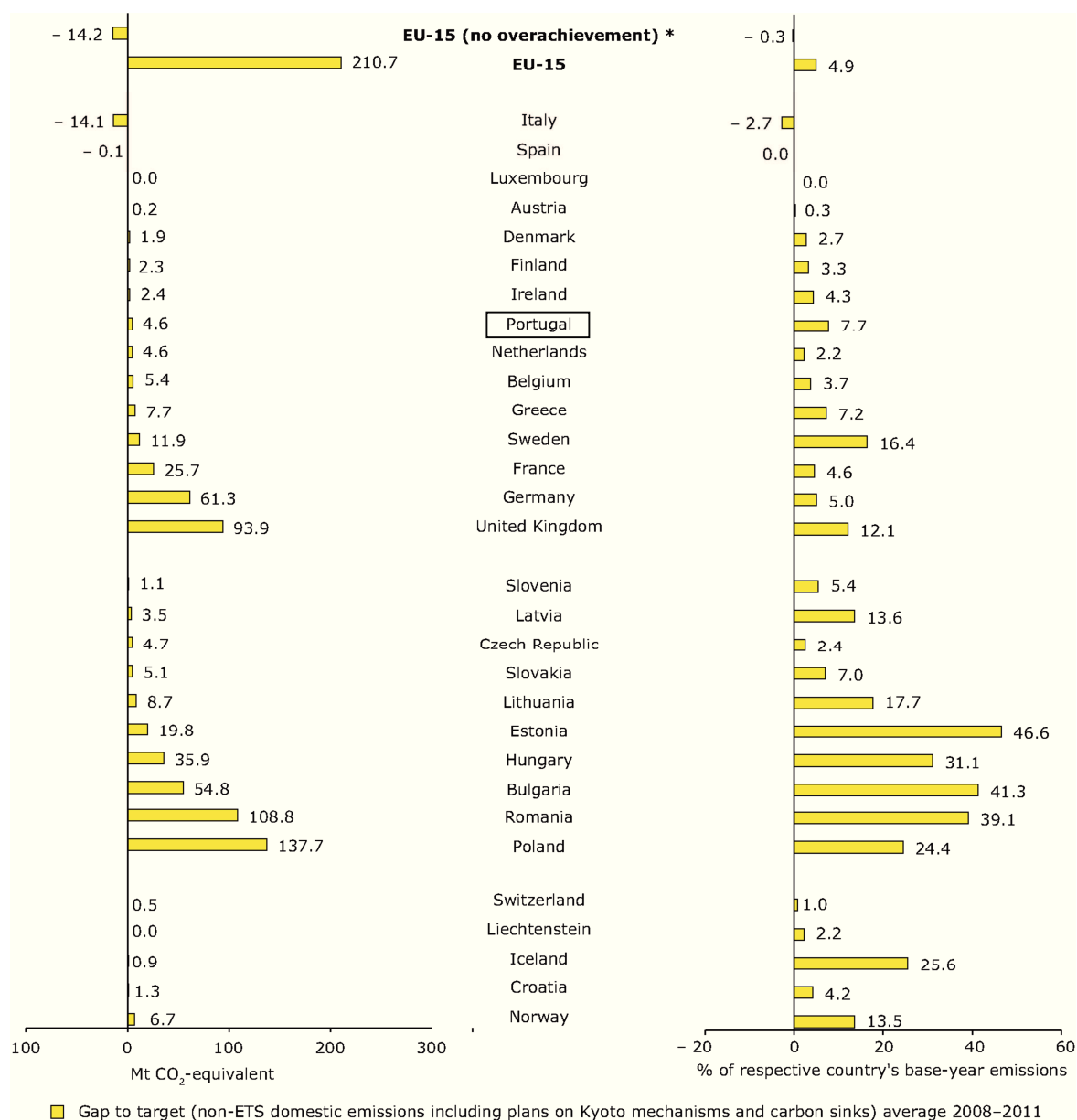


Figura 3 – Emissões médias no período de 2008-2011 de CO₂ com valor representativo em percentagem. [3]

De facto, como podemos ver por estes indicadores, caminhamos para uma maior eficiência energética aliada a uma redução da pegada ecológica, tendo Portugal somente emitido 21,7% de GEE, bem abaixo dos 27% propostos para o período 2008-2012. [3]

Um dos pontos que podemos analisar para esta melhoria é de facto a implementação de legislação e soluções energéticas eficientes. Esta ocorreu em vários sectores e em diversos sentidos, mas iremos focar-nos na que permitiu uma redução substancial da energia despendida nas nossas habitações para a climatização, em particular o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro. Este foi o primeiro instrumento legal que, em Portugal,

impôs requisitos ao projecto de novos edifícios e de grandes remodelações de forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios sem necessidades excessivas de energia, quer no Inverno, quer no Verão.

Mais de uma dezena de anos passados, verifica-se que o RCCTE constituiu um marco significativo na melhoria da qualidade da construção em Portugal, havendo hoje uma prática quase generalizada de aplicação de isolamento térmico nos edifícios.

Entretanto, alguns dos pressupostos do RCCTE, tal como definido na 1ª versão publicada em 1990, têm vindo a alterar-se. Enquanto no final da década de 1980 eram poucos os edifícios que dispunham de meios activos de controlo das condições ambientes interiores, verifica-se actualmente uma penetração muito significativa de equipamentos de climatização, com um número significativo de edifícios novos a preverem equipamentos de aquecimento, mesmo no sector residencial, e equipamentos de ar condicionado, sobretudo os de pequena dimensão, dando portanto lugar a consumos de energia reais para controlo do ambiente interior dos edifícios, o que se tem traduzido por um crescimento dos consumos de energia no sector habitacional bastante acima da média nacional.

A União Europeia, publicou em 4 de Janeiro de 2003 a Directiva n.º 2002/91/CE, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios, que, entre outros requisitos, impõe aos Estados-membros o estabelecimento e actualização periódica de regulamentos para melhorar o comportamento térmico dos edifícios novos e reabilitados. [5] Assim, por transposição de Directiva Europeia, acima referida, surge o Decreto-Lei 80/2006. Enquanto a primeira versão do RCCTE pretendia limitar potenciais consumos e era, portanto, relativamente pouco exigente nos seus objectivos concretos devido às questões de viabilidade económica face a potenciais consumos baixos, justifica-se agora uma contabilização mais realista de consumos que com muito maior probabilidade possam ocorrer, evoluindo portanto na direcção de maiores exigências de qualidade térmica da envolvente dos edifícios.

Actualmente, em média na União Europeia, as habitações a partir de 2010 somente gastam 2% de energia para climatizar a habitação no sentido de proporcionar bem-estar. Já em Portugal sobe para 8,8%, como mostra a Figura 4 [6].

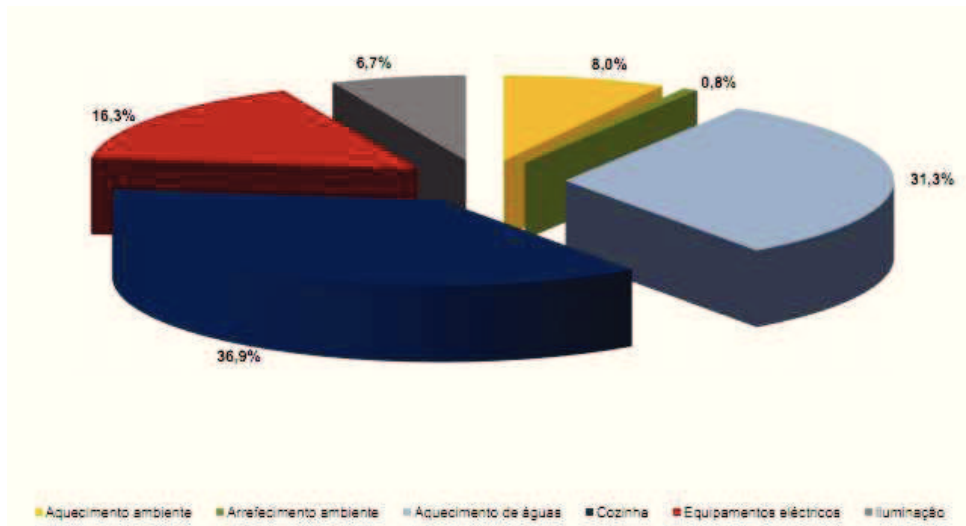


Figura 4 – Distribuição do consumo energético geral de uma habitação em Portugal. [6]

Graças a soluções com isolamento térmico, à disposição da construção quando esta é efectuada de raiz, passando por implementação de painéis solares ou foto voltaicos, aliando-nos assim à natureza e não contra ela, muitas vezes em detrimento do efeito estético, permitiu-nos fortalecer os laços que o Homem tem com a Natureza para preservar os seus recursos ambientais e coabitar num ecossistema mais verde e amigo do ambiente. A ecologia é uma verdade presente no nosso dia-a-dia.

2.2 Evolução dos Sistemas Construtivos de Paredes

Desde o início da Humanidade o ser humano preocupou-se em encontrar um abrigo como sejam as cavernas e grutas para obter um aumento da sua segurança e conforto face às condições climáticas adversas existentes no meio ambiente. No entanto, estes abrigos naturais possuíam vários inconvenientes, eram fixos e muita das vezes mal situados.

Nesta época o grande cerne da questão era a busca incessante por alimento, obrigando assim o homem a movimentar-se. Devido a esta necessidade começam a surgir os primeiros abrigos artificiais com madeira, ramos de árvore e todo o tipo de matérias-primas disponíveis nesses locais.

Com a sua evolução social, o ser humano começa a olhar para estes pontos não só como zonas de segurança mas também locais de trabalho, armazenamento de produtos e também de descanso e bem-estar, fazendo assim com que o mesmo passe mais tempo no seu interior. A preocupação estética e procura por locais mais diversificados obrigaram o ser humano a afinar a construção dos seus próprios abrigos, começando assim a surgir o conceito de habitação. Embora as elaborações das suas construções mantivessem-se com as matérias-primas

existentes nos locais onde este se encontrava denotava-se um maior cuidado na sua construção. Construções erguidas quase na sua totalidade com troncos de madeira e forradas com vegetação, amarradas com fios ou a substituição da vegetação por barro.

A pedra apesar de também ser um elemento bastante utilizado na construção, devido à sua relativa facilidade de acesso e robustez, o seu domínio principal era na área Europeia. [7]

Com a evolução do ser humano, também evoluíram as técnicas de construção.

A partir do século XX podemos assim olhar para as alvenarias das habitações como um dos elementos vitais que separa a envolvente exterior do nosso meio interior.

Em Portugal, a evolução destas parte pelo material de construção, pedra ou tijolo maciço.

Durante os anos 50 a construção de paredes recaía num pano interior de tijolo furado criando ou não uma caixa de ar entre uma alvenaria de pedra ou de tijolo maciço, conferindo uma elevada inércia térmica à construção.

Já nos anos 60 começa a cair em desuso a utilização de matéria prima bruta e opta-se por se efectuar uma construção mais leve utilizando como material preferencial a alvenaria de tijolo furado, formando assim paredes duplas com um dos panos mais espesso, ou então com ambos de espessura média. Nos anos 80 começaram a utilizar-se materiais específicos para o isolamento térmico colocados na caixa-de-ar das paredes, ocupando total ou parcialmente esse espaço. [8]

Na Figura 5 exemplifica-se as soluções tipificadas das paredes nas diferentes décadas do século XX.

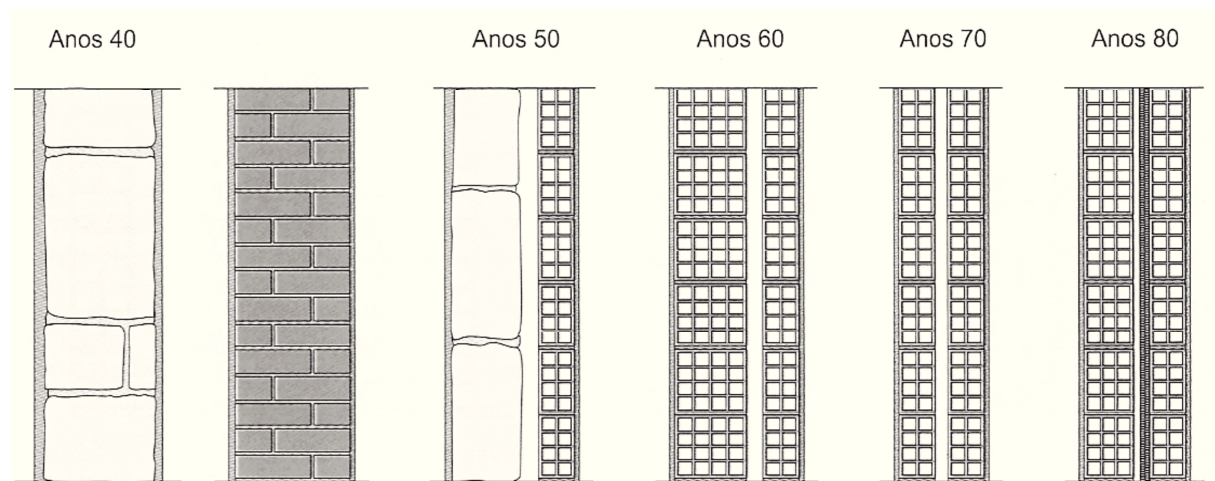


Figura 5- Evolução aproximada das paredes em Portugal [9]

Actualmente, a panoplia de opções para construção é bastante diversificada. No entanto a argila ainda é das matérias mais fortemente industrializadas. Originando como produto final o tijolo cerâmico, fortemente difundido pela construção em toda a Europa.

2.3 Soluções Construtivas

Podemos definir o termo alvenaria como uma ligação de elementos naturais ou artificiais para a edificação de uma construção.

Os primeiros elementos a serem utilizados na formação destas foram elementos naturais, maioritariamente os que existam com bastante opulência e facilidade de acesso. É o caso das pedras naturais, retiradas directamente da natureza. A sua forma e efeito podem ser encontrados numa panóplia de opções, fornecendo assim à construção uma adaptação única. A sua resistência mecânica, aguentando edificações elevadas somente com a sobreposição de várias camadas de pedra, bem como a sua dificuldade de penetrabilidade tornou este tipo de material bastante comum nas construções primordiais. A sua resistência às condições atmosféricas também era tomada em conta (Figura 6 e 7).



Figura 6 – Habitação em Pedra na zona do rio Sabor, Entre Termos



Figura 7 – Muro de protecção em pedra

Igualmente presente na nossa construção, temos as paredes de alvenaria ordinária. Esta difere da construção em pedra seca pelos elementos ligantes, normalmente cal ou barro e pelos formatos mais irregulares desta. O processo assim é mais célere e fácil tendo em conta que não exige tanto cuidado na selecção da pedra para a montagem e o seu posicionamento. Normalmente este tipo de construção sofre depois um revestimento em reboco (Figura 8 e 9). [10]

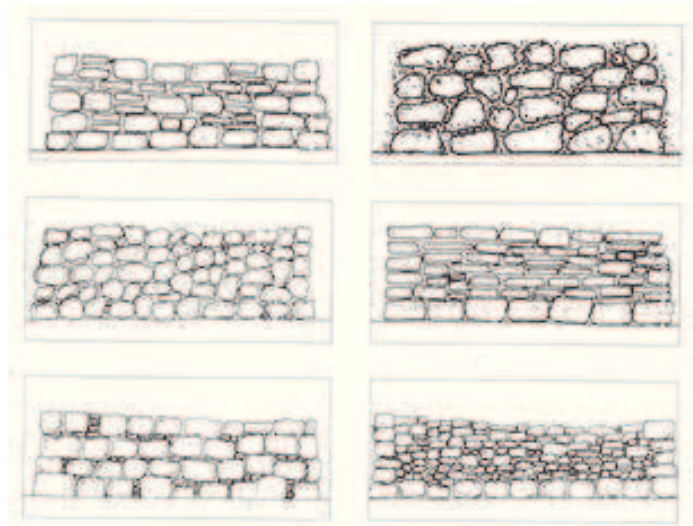


Figura 8 – 6 tipos de parede em alvenaria ordinária. Da esquerda para a direita e de cima para baixo: alvenaria de junta larga; pedra irregular; pedra lamelar; pedra irregular natural pedra irregular corrigida.



Figura 9 – Parede de alvenaria ordinária com pedra lamelar.

A alvenaria de pedra aparelhada trata-se de uma construção em pedra cuidada, onde a escolha para formar um parâmetro é tido em conta e o aparelhamento destas seja possível pelo menos numa face. Assim, as arestas podem ser aperfeiçoadas com o objectivo de lhe retirar as maiores irregularidades (Figura 10, 11 e 12). [10]

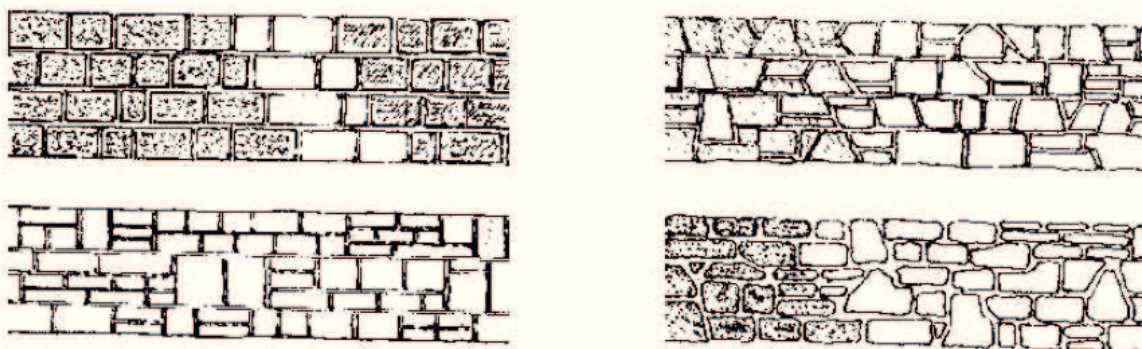


Figura 10 – Diferentes tipologias de alvenaria emparelhada. Da esquerda para a direita e de cima para baixo. Parede regular em fiadas iguais; irregular; regular em painéis; cantos adoçados, junta larga.

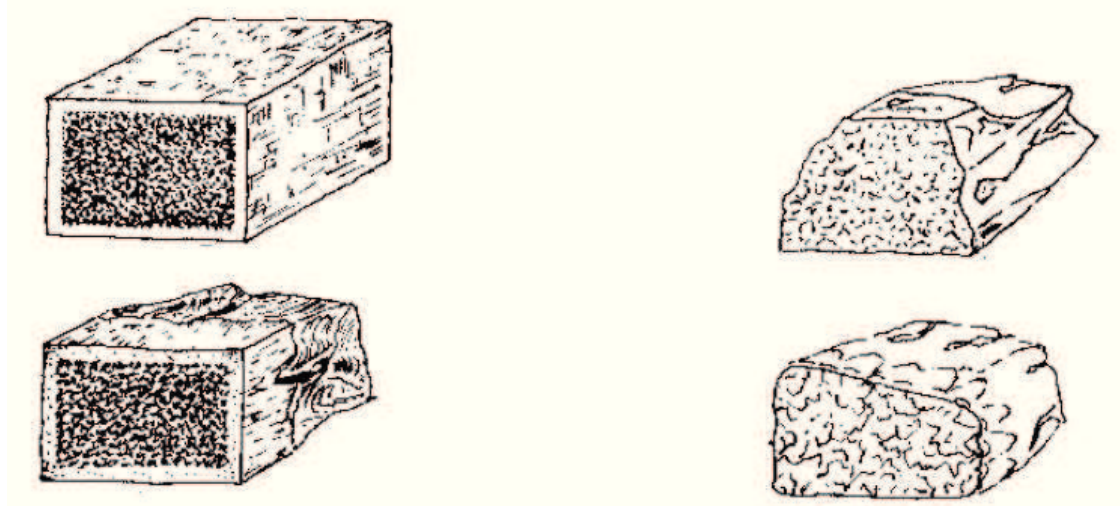


Figura 11 – Exemplos de pedras para a alvenaria Aparelhada.

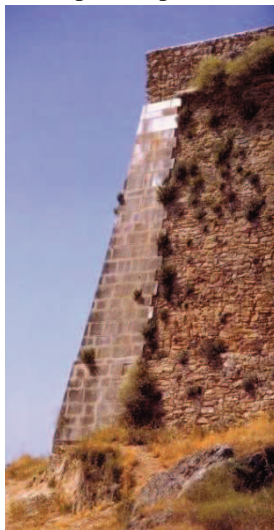


Figura 12 – Exemplo de parede com técnica de pedra aparelhada e ordinária.

A madeira, como mais um elemento natural e de relativa facilidade de acesso, foi igualmente um recurso a ser utilizado. A sua capacidade de moldagem para o trabalho bem como boas características à compressão e tracção, fizeram com que este elemento se torna-se propicio com a sua presença nas construções a solo, ou combinados com outros elementos.

O seu método de construção partida por uma estrutura feita com tábuas de madeira colocadas na vertical e na horizontal. Poderia eventualmente receber um reforço de tábuas pregada na diagonal e travadas com um ripado horizontal (Figura 13).



Figura 13 – Construção em madeira

Portugal não foi excepção quando se iniciou uma busca e evolução de soluções alternativas para novos tipos de materiais de construção. Eram assim tido em considerações, diferentes aspectos para que se pudesse empregar essa matéria prima na área construtiva.

Inicialmente para substituição da pedra natural, surgiram os blocos artificiais, conhecidos também como adobe. Estes possuíam uma composição bastante dependente da sua localização geográfica e dos materiais localmente disponíveis. Em geral apresentavam terra crua bastante argilosa contendo algumas vezes na sua composição, pedra miúda, cascalho, pedaços de madeira ou mesmo palha. O seu cozimento era efectuado ao sol, denotando assim algum cuidado na protecção destes à chuva e do contacto directo com o solo. Estes eram particularmente fracos na sua resistência mecânica em comparação com os blocos de pedra natural, mas com um excelente desempenho a nível térmico. As suas dimensões não estavam fixadas, variando assim com a necessidade de aplicação e experiência do produtor/utilizador (Figura 14, 15, 16 e 17).



Figura 14 – Exemplo de tijolo em Adobe com adição de pedra miúda.



Figura 15 – Exemplo de parede em Adobe com base de construção em pedra.

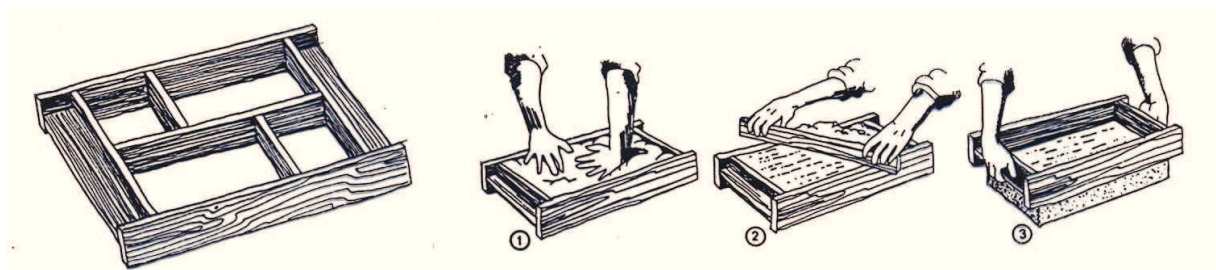


Figura 16 – Processo construtivo do tijolo de adobe.

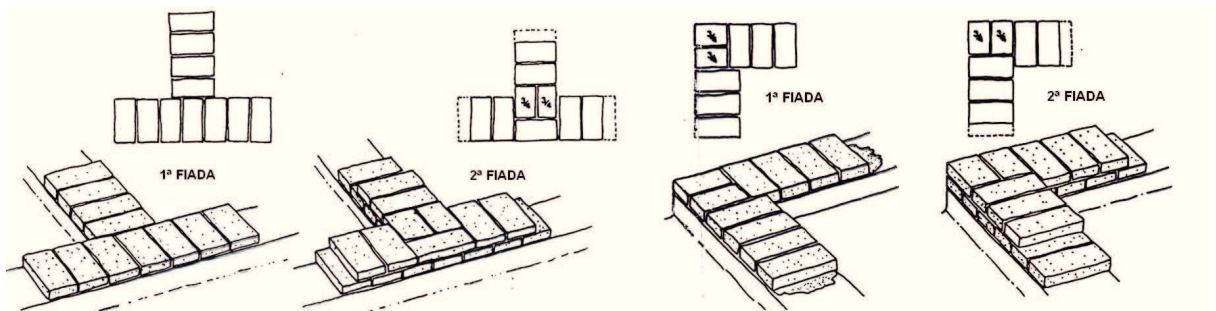


Figura 17 – Assentamento de tijolo adobe.

Uma outra solução construtiva e mais avançada fora as paredes de taipas. Existindo na forma simples, de fasquio ou em rodízio. A sua confecção consistia em barro socado, podendo conter reforços longitudinais em madeira, sendo que esta opção era muito pouco praticada. A sua forma de execução consistia em montar taipais de madeira em forma de caixão, técnica ainda utilizada na aplicação de cimento. Na parte baixa eram fixados com cunhas e na superior com um torniquete para conferir a pressão necessária. As suas dimensões variam um pouco consoante a zona geográfica, da carga a suportar e da sua altura, mas em norma possuíam 1 m de altura por 3 a 4 m de comprimento. A espessura desta também rondava 1 m. Dentro, era colocado barro já amassado em pequenas quantidades e comprimido utilizando um pilão, ou com a ajuda dos pés, este processo era replicado até ao preenchendo na sua totalidade da forma. Após secagem desta composição, o taipal era desmontado e reutilizado na posição imediatamente a seguir. Prolongando assim o seu processo, até à conclusão da alvenaria (Figura 18 e 19). [11] Tal como nas paredes de adobe, estas também eram frágeis às condições climáticas, assim, o cuidado de as proteger da água proveniente da chuva e da humidade do solo era também tomado em consideração. O tempo de secagem deste processo varia entre os 4 a 6 meses, passado esses, as paredes podiam receber um revestimento para melhorar a protecção contra o seu desgaste acelerado em contacto com água ou erosão com o vento (Figura 20).

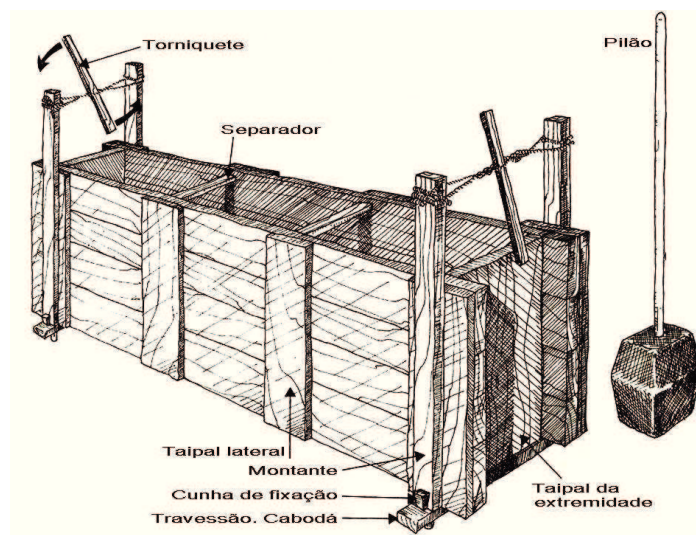


Figura 18 – Mecanismo de Taipal e Pilão

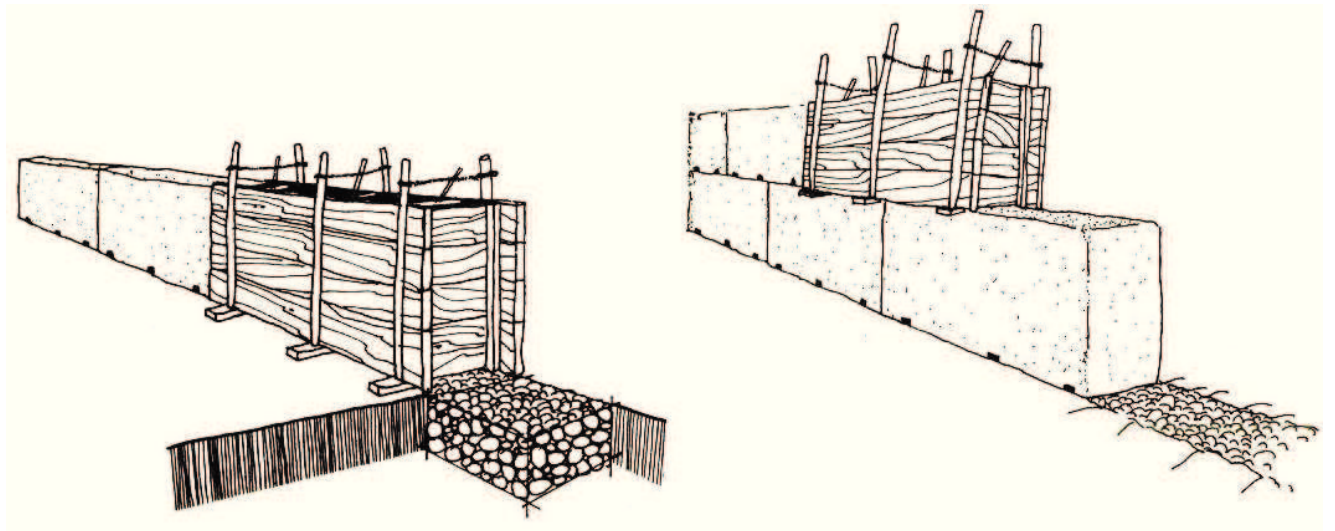


Figura 19 – Processo construtivo de uma parede em taipas



Figura 20 - Casa com parede em Taipa

Para um aumento de resistência mecânica deste tipo de estrutura foi implementado no processo a adição de elementos em madeira ao longo da sua longitude. Este processo era mais propício para a edificação de igrejas ou cadeias (Figura 21 e 22). [12]

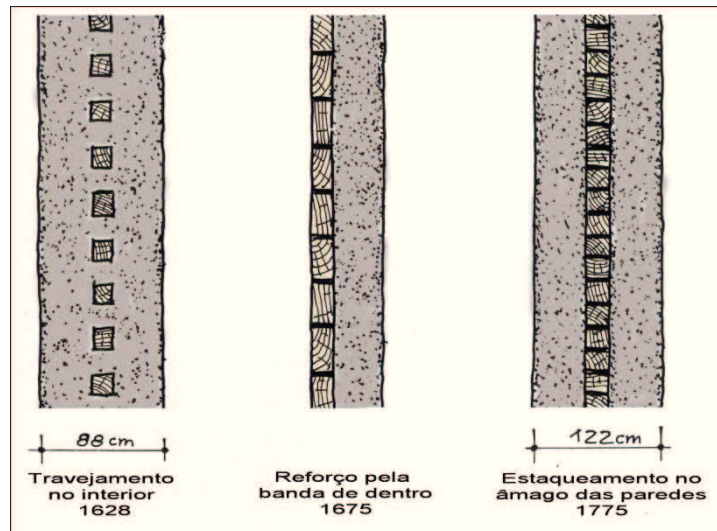


Figura 21 – Paredes de taipas com travejamento em diferentes disposições [12]



Figura 22 - Casa em Taipa de fasquio com reforço longitudinal em madeira

Já a construção de paredes em taipa de fasquio engloba um emparelhar de tábuas horizontal entre uma estrutura de madeira na vertical travada no topo com um ripado horizontal, o fasquio. Conferindo assim uma maior resistência mecânica como se poderá ver na Figura 23.



Figura 23 – Dois exemplos de paredes em taipa de fasquio.

A construção mais complexa das três é a em forma de rodízio já que esta é composta por uma estrutura de vigas de madeira em gaiola ou esqueleto e que a combinação destes elementos propicia uma estrutura mais resistente e pesada que as suas antecessoras, mas permitindo-lhe um movimento bastante elástico, sem que existisse desabamento da estrutura (Figura 24). Esta técnica surgiu em Portugal pós terramoto de 1755 (conhecida também como construção Pombalina).



Figura 24 – Parede em taipa de rodízio.

2.4 Soluções construtivas correntes

Actualmente, o tijolo de argila é o material mais utilizado na edificação das nossas construções. Com ele, a obra ganha rapidez e economia. Considerado como uma pedra artificial, até ao princípio do século XIX este era feito num processo de fabrico manual, mas com o aumento populacional e a era da industrialização, rapidamente este tijolo cerâmico de furação horizontal ou maciço tornou-se um produto industrializado a larga escala e o seu processo de elaboração passou a ser basicamente composto pela extrusão da mistura e cozedura em fornos próprios potenciando assim a sua aplicabilidade na construção (Figura 25). Por possuir diferentes tamanhos de construção, a rapidez no tempo de execução de assentamento também é evidenciado, acelerando assim a construção das paredes. [13]

Pode actualmente ser encontrado em alvenarias de parede simples, duplas, ou mais frequentemente com isolamentos entre a caixa-de-ar de ambos os panos, preenchendo assim total ou parcialmente o seu espaço, sobretudo nas zonas mais frias do País.

A sua combinação com outro tipo de materiais serve para lhe conferir um aumento das propriedades isolantes térmicas e acústicas. Passa desde o Poliestireno expandido, extrudido, poliuretano projectado, aglomerado de cortiça ou mesmo lã de rocha (Figura 26 e 27). É um material resistente à compressão e por ser furado, cria alvenarias leves. Os resíduos criados em obra podem ser reaproveitados na construção de outros materiais.



Figura 25 – Construção de uma parede simples de alvenaria com tijolo cerâmico de furação horizontal e maciço respectivamente.



Figura 26 – Revestimento com poliuretano projectado.



Figura 27 – Revestimento com aglomerado de cortiça e lã de rocha respectivamente.

A sua aplicabilidade deverá ser feita em fiadas sempre molhados para garantir uma aderência adequada com a argamassa. A fiada deve ficar perfeitamente horizontal, rectilínea e não sobressair da superfície exterior. A espessura da argamassa nunca deve exceder a espessura de 1,5 cm e deverá preencher a totalidade do intervalo entre tijolos. A argamassa que é expelida do assentamento do tijolo, deve ser recolhida e aplicada para encher as juntas verticais dos tijolos. [13]

Passando para a construção de uma parede de alvenaria dupla, não é mais que dois panos de parede simples intercalados por uma caixa-de-ar (Figura 28). A espessura desta é bastante variável. Na construção destas para além dos cuidados descritos anteriormente, deve ser tomada em consideração alguns aspectos, tais como a criação de uma caleira com drenagem exterior para o escoamento das águas condensadas no interior da caixa de ar. É igualmente importante assegurar que a caixa de ar se encontra completamente desobstruída e a própria caleira de dreno limpa. O isolamento deve ser aplicado na parede interior e devidamente fixado para que o mesmo não se desloque ou caia com o passar do tempo (Figura 26 e 27).

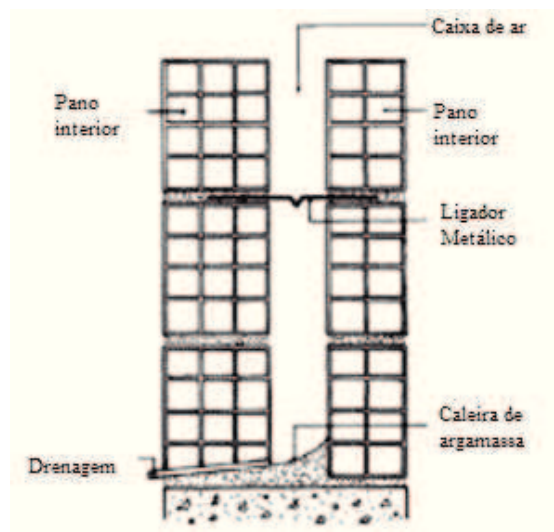


Figura 28 – Aspecto de uma parede de alvenaria dupla.



Figura 29 - Imagens de paredes de alvenaria dupla com poliestireno expandido e extrudado respectivamente.

Têm-se verificado uma evolução de soluções para as fachadas e, em alternativa da construção de paredes duplas, há a opção de paredes simples com um revestimento de isolamento pelo exterior, normalmente denominadas por ETICS.

Esta solução é reconhecida como tendo elevada qualidade podendo ser aplicada com caixa-de-ar ventilada ou directamente fixada à parede. O sistema é composto assim por um suporte de fixação, por uma camada de material de isolamento térmico, pela câmara de ar ventilada,

dispositivos de fixação e material final de revestimento (Figura 30). O material a ser aplicado na fachada pode variar desde placas de fenólicos, pedra natural, alumínio ou placas cerâmicas. [14]

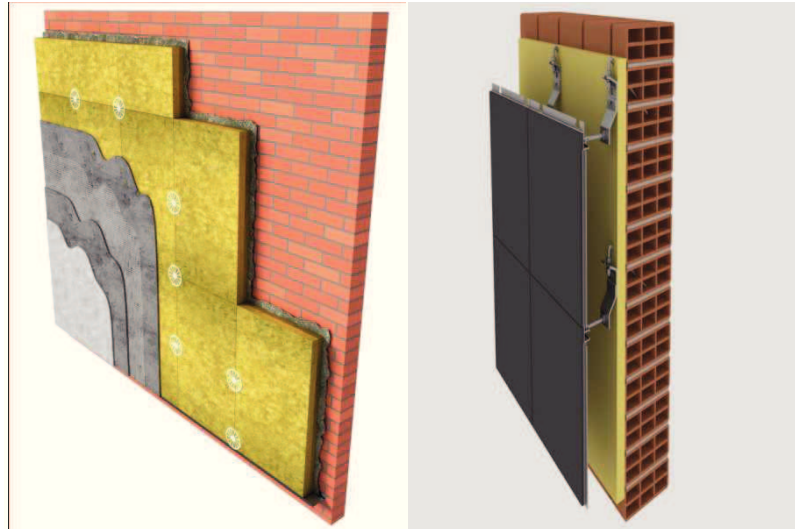


Figura 30 – Fachadas com ETICS sem e com câmara de ar ventilada.

Uma outra solução, igualmente apresentada no nosso mercado, é a construção com tijolo térmico. Estes, permitem a edificação com paredes de um só pano oferecendo boas prestações térmicas equiparadas às de pano duplo. Como consequência, a utilização de tijolos de termoargila térmicos simplifica o processo de execução de paredes de enchimento já que a especial configuração do bloco garante uma colocação simples, de modo a que a construção seja rápida e fácil, não necessitando, assim, de mão de obra especializada. No entanto, o seu valor de produção tende a ser mais elevado.

Este é aplicado humedecendo inicialmente a zona do assentamento de modo a evitar a desidratação da argamassa. De seguida deve ser efectuada uma junta de argamassa interrompida no meio da fileira de modo a criar uma caixa divisória de ar entre elas como se pode visualizar na Figura 31. Isto, irá melhorar a eficiência térmica do elemento da parede.



Figura 31 – Tijolo térmico humedecido e criação da junta de argamassa respectivamente

Por fim devemos assentar a nova fiada de tijolos por cima, verificando que a argamassa penetra nos alvéolos e com a ajuda de um martelo e bolha de ar nivelar e alinhar os mesmos. Este processo torna-se mais simples já que os tijolos possuem ranhuras de encaixe entre eles, permitindo assim uma melhor fixação (Figura 32 e 33).



Figura 32 – Assentamento da camada superior de tijolo.



Figura 33 – Nivelamento e conclusão da fiada.

2.5 Outras soluções construtivas

Existem também no mercado outras soluções para além das apresentadas acima.

Estas surgem pela necessidade de escassez de matéria prima ou para especialização habitacional.

O bloco de betão leve com argila expandida é um exemplo. O bloco é elevado a temperaturas altas, produzindo assim grânulos com micro poros fechados. O seu resultado é de um material com elevada eficiência térmica e com bastante leveza, resistente ao fogo bem como facilidade de assentamento e ausência de aplicação de reboco pelo interior. No entanto possui um reduzido isolamento acústico, uma fraca resistência ao choque e um elevado grau de absorção de humidade. O seu preço elevado de produção também é um factor determinante para a sua pouca aplicabilidade (Figura 34).



Figura 34 – Bloco de betão de argila expandida e sua aplicabilidade.

Como solução rápida também poderemos optar por colocação de painéis pré-fabricados pesados. Estes possuem uma rápida instalação, mas são de difícil transporte para a obra, já que a sua dimensão e peso são bastante elevados. O seu valor de produção também o coloca como uma alternativa pouco viável à construção habitacional. (Figura 35)



Figura 35 – Exemplos de construção com painéis pré-fabricados pesados.

2.6 Construção Sustentável

O pensamento sustentável surge bem antes da sua implementação. Na década de 80, começa a aparecer a preocupação ambientalista em nichos populacionais com repercussões a nível Nacional e Global. A protecção do ambiente associa-se de igual forma com o elevado consumo de combustíveis e o efeito negativo que esse poderá trazer ao Planeta. Toma-se a consciência de que a prática descontrolada e desenfreada de construção sem qualquer tipo de “estudo” ambiental começa a enfraquecer as nossas fontes de recursos naturais, e assim a extinguirem aos poucos estas, num futuro não muito longínquo. [15]

Um dos sectores que mais consumo energético tem é sem sombra de dúvida a da indústria de construção civil. De modo que seja minimizada a pegada deste gigante a nível global, começou-se a analisar o impacto negativo deste para o Homem e para o planeta, urgindo assim o conceito de “Desenvolvimento Sustentável”.

Os factores que tradicionalmente se salientavam como sendo os mais prioritários na construção civil, eram o Custo, Tempo e Qualidade. (Figura 36)

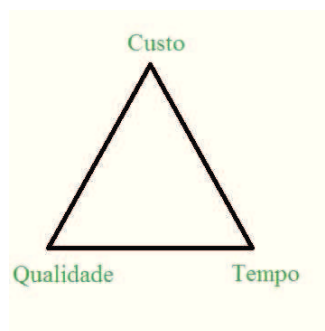


Figura 36 – Aspectos competitivos na construção tradicional

A qualidade devia-se manter ao nível de satisfação e cativação do cliente ao mesmo tempo que a optimização de produtividade fosse sempre melhorada para reduzir o tempo de entrega da obra. Tudo isto não influenciando o preço final do projecto. Isto seria o conhecido sistema de construção civil “Pré-Sustentável”.

Após a implementação das preocupações ambientais, iniciou-se um novo ciclo em que colocamos como factores principais o desgaste de recursos materiais, as emissões nocivas para a saúde e a biodiversidade. Assim, torna-se importante estabelecer de igual forma uma elevada qualidade nos padrões construtivos, mas tendo sempre em conta a minimização do impacto ambiental provocado na dilaceração de matérias-primas e destruição do meio envolvente. Se possível, criar edifícios que se fundam com o meio ambiente. Não esquecendo porém, na fase do projecto que deverá estar em sintonia com a redução da pegada ecológica,

reduzindo assim as emissões de gases nocivos para o ser humano. (Figura 37)

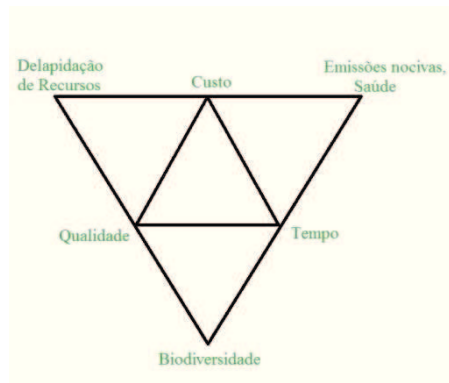


Figura 37- Aspectos de uma construção eco eficiente

Aliando assim estes seis pontos em três centrais teremos resumido as condicionantes económicas, a qualidade Ambiental e a Equidade Social [16], conforme esquematizado na Figura 38

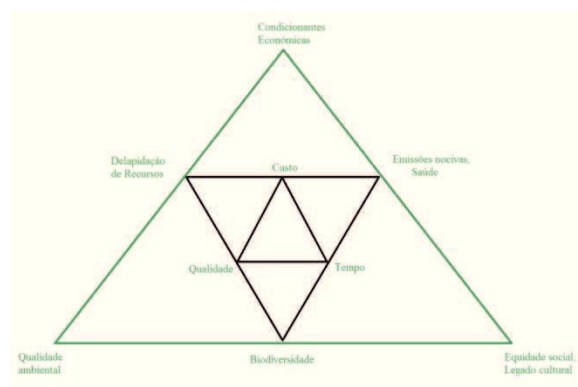


Figura 38 – Construção sustentável

2.7 Soluções Construtivas e Materiais de Construção.

Ao implementarmos uma construção num meio ambiente devemos ter a preocupação de a fazer de uma forma ecológica. É importante que o seu impacto seja mínimo ou mesmo nulo. Uma forma de abordarmos este ponto deverá ser pela escolha dos materiais de construção. Durante o ciclo e fim de vida destes devemos estar conscientes da sua perigosidade tanto para o Homem como para o ambiente. Quer seja na emissão de substâncias cancerígenas, químicas ou irritantes, relacionadas com patologias do foro respiratório ou que possam afectar negativamente a água e o ar circundante colocando em risco a saúde pública e o ecossistema respectivo.

Ao seleccionarmos o tipo de material para edificação, quer para isolamento, devemos ter em

conta sempre o seu impacto ao longo do ciclo de vida do edifício. Na Tabela 2 podemos analisar quais os principais pontos de foco para análise. [17]

Tabela 2 – Ciclo de vida dos materiais Vs. seu Impacte Ambiental

Fase do Ciclo de Vida	Impacte Ambiental
Pré-Produção (extracção de recursos)	Poluição do ar Poluição da água Danos ecológicos e paisagísticos Impactes ambientais Resíduos/Desperdícios
Produção	Poluição do ar Poluição da água Resíduos/Desperdícios
Construção	Poluição do ar Poluição da água Danos ecológicos e paisagísticos Impactes sociais Resíduos/Desperdícios
Utilização e manutenção	Poluição da água Poluição do ar local Poluição do ambiente interior/problemas de saúde
Demolição	Danos ecológicos e paisagísticos Poluição do ar devido à incineração Possibilidades de reciclagem / montante efectivamente reciclado Eliminação de resíduos de demolição

2.7.1 Construção pesada

Ao longo do tempo a actividade construtiva utilizou o tijolo cerâmico como uns dos principais materiais a serem empregues nas edificações. A utilização deste material foi o resultado de inúmeras condicionantes que o ser humano impôs para tornar a sua construção mais segura.

Este teria de ser resistente às intempéries e ao fogo, ser isolante ao calor e ao frio, de montagem fácil e produção rápida e económica. [13]

O tijolo mais comum é o tijolo furado com canais paralelos às suas maiores arestas. No entanto, podemos também optar pelo modelo do tijolo térmico ou tijolo de termoargila (Figura 39). Este possui furações verticais e a sua espessura de material é superior, conferindo assim uma maior massa e consequentemente inércia térmica à construção. As suas principais características são a, resistência, inércia, estabilidade dimensional, incombustibilidade, além

de boas propriedades de isolamento térmico e acústico.

Os modelos mais utilizados no nosso mercado são os que se encontram no quadro abaixo representado. (Tabela 3)

Tabela 3 – Dimensões mais utilizadas de tijolos construtivos.

Especificação	Comprimento (cm)	Altura (cm)	Espessura (cm)
Tijolo tradicional	30	20	11
Tijolo tradicional	30	20	15
Tijolo tradicional	30	20	22
Tijolo térmico	30	19	29

De salientar que os modelos com a espessura de 11 e 15 cm são normalmente utilizados em simultâneo fazendo assim uma parede dupla de alvenaria, criando entre eles uma caixa-de-ar que poderá ser preenchida com materiais isolantes ou não.

A durabilidade destes produtos é bastante elevada e proveniente de materiais inorgânicos sendo o principal a argila. Esta é moldada a frio e por fim endurecida a 900 graus Célsius.

Durante a sua exposição funcional não liberta qualquer tipo de substância nocivas e no fim do seu ciclo de vida pode ser reutilizada ou reciclada. A sua montagem não requer mão-de-obra especializada e a sua produção é de um custo reduzido.

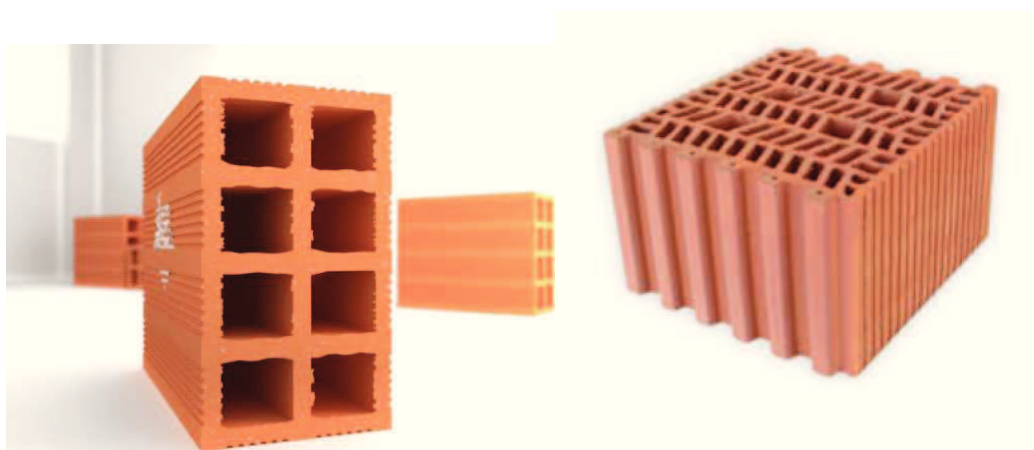


Figura 39 – Exemplo de um tijolo tradicional e de um tijolo térmico

De seguida, apresentam-se alguns exemplos de materiais pesados para a construção analisados do ponto de vista da sua origem, processo produtivo e impactes associados:

- **Tijolo Cerâmico**

Origem

Estes tijolos são produzidos a partir da argila, mais conhecida como barro. A argila é um minério extraído de uma jazida. É um material sedimentar de grão muito fino (inferior a 0,005mm), derivado duma rocha constituída essencialmente por silicatos de alumínio hidratados. A decomposição de granito e rochas magmáticas tem como resultado o quartzo, a mica e o barro.

Processo Produtivo

No processo produtivo, a argila é extraída por retroescavadora, que faz o carregamento de um camião basculante. O camião leva ao depósito onde se faz a mistura dos tipos de argila. No misturador é controlada a humidade da argila que desce por gravidade ao cortador, que tem como objectivo reduzir a argila pastosa em lâminas finas, fazendo-a passar entre dois cilindros de ferro fundido que, além de triturarem por esmagamento os pedaços ainda não desfeitos, produzem mais uma mistura. Adicionando água esta mistura é transportada até à máquina de fabricar tijolos a vácuo, onde alimentadores forçam-no a passar através das grelhas, fragmentando-o em pequenas porções reduzindo, ao mínimo, o ar contido ou incluído na massa cerâmica. Aqui a mistura obtida é inserida nos moldes de tijolos nesta fase ainda contínuos, sendo cortados em tamanhos pré-definidos. São então transportados por tapete rolante à secagem, onde permanecerão um mínimo de 10 dias. Pode ainda para acelerar o processo ser utilizada a caldeira e exaustores, onde permanecem um tempo mínimo de 72 horas.

Após secagem, as peças são transportadas até os fornos e empilhadas a fim de que a queima se processe de forma homogénea em todas as peças. Após o cozimento, as peças deverão permanecer até que adquiram a temperatura ambiente, sendo, então, encaminhadas para o controle de qualidade e posteriormente para a expedição e consumo.

Impactes Associados

Como toda a extracção de minério, requer a montante operações de recuperação paisagística para diminuir o impacte ambiental causado a jusante.

Além de que durante a produção há consumo de energia térmica e eléctrica, geram-se emissões de CO₂ e consumo de água, pelo que se deve recorrer a planos de gestão ambiental para minimizar os impactes.

- **Tijolo de Termoargila (térnicos)**

Origem

Estes tijolos são produzidos a partir da argila expandida. A argila é um minério extraído de uma jazida. É um material sedimentar de grão muito fino (inferior a 0,005mm), derivado duma rocha constituída essencialmente por silicatos de alumínio hidratados. A decomposição de granito e rochas magmáticas tem como resultado o quartzo, a mica e o barro.

Processo Produtivo

No processo produtivo, a argila é extraída por retroescavadora, que faz o carregamento de um camião basculante (Figura 40). O camião leva ao depósito onde se faz a mistura dos tipos de argila.

No misturador é controlada a humidade da argila que desce por gravidade ao cortador, que tem como objectivo reduzir a argila pastosa em lâminas finas, fazendo-a passar entre dois cilindros de ferro fundido que, além de triturarem por esmagamento os pedaços ainda não desfeitos, produzem mais uma mistura (Figura 41).

A argila expandida é produzida em grandes fornos rotativos, utilizando esta argila que se expande a altas temperaturas (1100⁰C), transformando-a num produto leve, de elevada resistência mecânica, ao fogo e aos principais ambientes ácidos e alcalinos, como os outros materiais cerâmicos. Adicionam-se esferas de poliestireno expandido (esferovite) e outros materiais granulares combustíveis que desaparecem durante o processo de cozedura, produzindo uma fina porosidade na massa cerâmica constituinte do bloco. A configuração interna dos orifícios verticais e o sistema de juntas confere às paredes produzidas com blocos de termoargila grande isolamento térmico e acústico.

Impactes Associados

Como toda a extracção de minério, requer a montante operações de recuperação paisagística para diminuir o impacte ambiental causado a jusante.

Além de que durante a produção há consumo de energia térmica e eléctrica, geram-se emissões de CO₂ e consumo de água, pelo que se deve recorrer a planos de gestão ambiental para minimizar os impactes. [18]



Figura 40 - Jazida de Argila Vermelha



Figura 41 - Exemplo de um misturador de argila e forno de cozimento de tijolo respectivamente

- **Bloco de Betão**

O bloco de betão é bastante utilizado para pavilhões industriais ou garagens de edifícios. Nas ilhas também é recorrente ser utilizado como meio de construção tendo em vista a dificuldade de obtenção de matéria-prima para a produção do tijolo argiloso.

Estes podem ser maciços, ou perfurados. O seu peso próprio, poder de absorção de humidade, fraco isolamento térmico e dificuldade de abertura de roços para instalação de tubagens são factores que não aconselham o seu emprego em edifícios correntes de habitação. A sua montagem é semelhante à do tijolo argiloso, no entanto possui menos propriedades isolantes, um elevado peso e aumenta o grau de dificuldade na abertura de roços. No entanto é excelente para a compressão, elevada resistência ao fogo e bom isolamento acústico, oferecendo assim vantagens que em alguns casos podem superar largamente os inconvenientes acima citados.

Devido às suas dimensões uniformes e ao aspecto agradável das suas faces, podem ser utilizados em paredes de face à vista, ou então englobando revestimentos de pouca espessura (Figura 42).



Figura 42 - Exemplo de bloco de betão e sua edificação.

- **Bloco de Betão Autoclavado**

Os blocos de betão celular autoclavado, são constituídos por uma mistura de cimento, cal gorda, areia argilosa, água e pó de alumínio, funcionando este último como produtor de bolhas de hidrogénio produzindo espaços de ar no meio da estrutura (Figura 43). A cura deste bloco é efectuada em autoclave. Uma acção de vapor de água com pressão e temperatura controladas.

As suas propriedades de isolamento térmico são excelentes, assim como isolamento acústico. Bastante leves e com uma durabilidade acentuada. Fácil execução na abertura de roços e boa resistência mecânica. No entanto a sua montagem deve ser especializada e o preço da matéria prima bastante elevado. Em Portugal, a introdução inicial do betão celular autoclavado teve pouco sucesso por sucessivos erros de aplicação, que se traduziu numa ideia geralmente negativa acerca deste material. Esta má imagem surgiu por desconhecimento das características e das tecnologias adequadas. No entanto, quando devidamente aplicado este é um material de alta qualidade e competitivo.



Figura 43 – Bloco de betão autoclavado e exemplo de construção de habitação com este material.

Origem

O betão descende de aglutinação de inertes que derivam da natureza. As matérias primas mais significativas são o calcário, a marga e a argila, extraídos de pedreiras onde a “lavra” – processo de extracção, é desenvolvida a céu aberto, através do desmonte de rocha por explosivo.

Processo Produtivo

A exploração das pedreiras é feita em patamares, sendo o desmonte efectuado com explosivos, os quais são introduzidos em furos abertos por máquinas perfuradoras. As fábricas de betão encontram-se frequentemente situadas junto a rochas carbonatadas.

Estas matérias-primas, após moídas, transformam-se num produto designado por “cru”, que é armazenado e homogeneizado em silos próprios. O “cru”, após um pré aquecimento, entra então no forno que ao aquecer desenrola as reacções fisicoquímicas do processo de clinquerização, obtendo-se o produto “clinker”.

Depois de se obter o cimento para o fabrico dos blocos de betão adiciona-se areia, aditivos e água, formando uma pasta que assenta e endurece por hidratação. Após endurecer nos moldes para blocos, mantém a sua rigidez e estabilidade. Este endurecimento deve-se principalmente à formação de silicatos hidratados de cálcio.

Impactos Associados

A extracção desta matéria-prima para fabricar o betão é altamente prejudicial ao ambiente, senão forem de seguida desenvolvidos trabalhos de recuperação paisagística de forma a diminuir o impacto.

Os principais aspectos ambientais, para além dos inerentes à exploração da pedreira, considerados relevantes são: o consumo de energia térmica e eléctrica, as emissões atmosféricas nomeadamente das partículas, consumo de água e emissões de ruído.

2.7.2 Isolamentos Térmicos

O objectivo do isolamento térmico, através da aplicação de materiais adequados, é dificultar a dissipação de calor de um corpo ou de um ambiente.

Os materiais que apresentam uma condutibilidade térmica inferior a $0,065 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ e uma resistência térmica superior a $0,030 \text{ (m}^2\cdot^\circ\text{C)/W}$ são considerados isolamento térmico [19].

Existem vários factores que devem ser levados em consideração para escolher o tipo de material de isolamento térmico, nomeadamente:

- O material de isolamento deve ter baixa condutividade térmica e alta resistência térmica;
- O material de isolamento deve ser um material de ‘longa vida’;
- O material de isolamento não deve ser afectado por agentes externos;
- O material de isolamento não deve emitir agentes nocivos para o ambiente durante a sua fase de ciclo;
- O material de isolamento deve ser reutilizado ou reciclado no fim do seu ciclo de vida.

Seguem-se alguns exemplos dos isolamentos mais comuns encontrados nas construções habitacionais analisados do ponto de vista da sua origem, processo produtivo e impactos associados.

- **Poliestireno Expandido (EPS)**

Também conhecido com o nome de “EPS” ou “esferovite” as aplicações do poliestireno expandido na construção civil são extraordinariamente variadas. É uma espuma termoplástica cuja estrutura assenta em esferas cheias de ar produzidas através de vapor de água.

É um dos tipos de materiais mais utilizados no isolamento térmico (Figura 44). Este não é afectado pelo tempo, não se desgasta e permanece na construção ao longo da vida do edifício.

O poliestireno expandido é um material celular rígido, que se pode apresentar numa multiplicidade de formas e aplicações. A sua principal vantagem é a sua baixa condutibilidade térmica. A estrutura de células fechadas, cheias de ar, dificulta a passagem do calor o que confere ao EPS um grande poder isolante.

As propriedades do EPS impõem a sua correcta aplicação para que seja garantido um desempenho adequado ao longo do tempo. Este material não constitui alimento (substrato) para o desenvolvimento de animais ou microrganismos. Em caso de grande acumulação de sujidade sobre uma placa, poderão surgir bolores que, no entanto, não afectarão o EPS. Todas

as propriedades do EPS mantêm-se inalteradas ao longo da vida do material.

É resistente ao envelhecimento e quimicamente deve ter-se em consideração a radiação solar directa, bem como outros tipos de radiações ricas em energia, que deterioram o EPS por alterarem a sua estrutura química. Este processo é, porém, lento e dependente da intensidade de radiação e do tempo de exposição embora em conjunto com as intempéries, o processo possa ser acelerado.

A estrutura celular do EPS também é danificada por solventes ou vapores destes, sendo este processo acelerado em temperaturas elevadas.

O EPS pode ocasionalmente ser atacado por roedores ou outros animais. Por isso, é necessário prever, quer o correcto armazenamento do mesmo antes da sua aplicação, quer a sua aplicação de forma a impedir o acesso desses animais às placas de EPS.



Figura 44 - Aplicação de placas EPS em parede

Origem

O poliestireno expandido, mais conhecido por EPS, é um produto sintético proveniente do petróleo e deriva da natureza, tal como o vidro, a cerâmica e os metais. A matéria prima deste material é o poliestireno (PS) expansível, um polímero de estireno que contém um agente expensor e é obtido, a partir do petróleo, por meio de diversas transformações químicas.

Processo Produtivo

Numa primeira fase o poliestireno é expandido por um pré-expansor através de aquecimento por contacto com vapor de água, resultando um granulado de partículas de EPS constituídas por pequenas células fechadas, que são armazenadas para estabilização. Ao longo deste processo o espaço dentro das células é preenchido pelo ar circundante. O granulado

estabilizado é introduzido em moldes e novamente exposto a vapor de água, o que provoca a soldadura do mesmo; assim obtém-se um material expandido, que é rijo e contém uma grande quantidade de ar (Figura 45).

Impactes Associados

O fabrico não comporta nenhum risco para a saúde humana nem para o ambiente. O processo de fabrico não utiliza gases das famílias CFC e HCFC (que provocam a destruição da camada do ozono). Por se tratar de um polímero e por ser muito leve o seu processo de fabrico consome pouca energia.

Quimicamente, o EPS consiste de só dois elementos, o carbono e o hidrogénio. Os EPS não contém qualquer produto tóxico ou perigoso para o ambiente e camada de ozono (está isento de CFCs). O gás contido nas células é o ar.

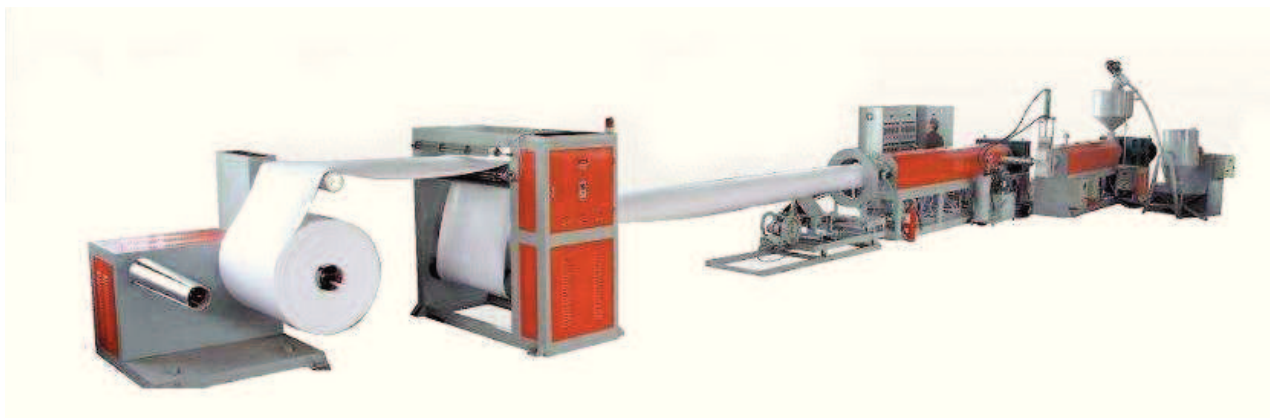


Figura 45 - Linha de produção de poliestireno expandido

- **Poliestireno Extrudido (XPS)**

O XPS é um dos melhores materiais tanto para aplicações gerais como para aplicações especializadas (Figura 46). A sua excelente resistência à humidade, impermeabilidade, resistência à podridão e corrosão, resistência à compressão controlada e a capacidade de manter o poder de isolamento faz com que a espuma XPS seja uma das opções válidas para este tipo de solução. A estrutura de células fechadas e falta de espaços vazios no XPS ajuda a espuma a resistir à penetração de humidade, muito melhor do que outros tipos de materiais isolantes. São combustíveis e ardem rapidamente se expostas a fogo intenso, sofrendo alterações dimensionais irreversíveis quando expostas a altas temperaturas por longo período de tempo. A temperatura máxima de trabalho, em serviço permanente, é de 75°C, sendo o valor mínimo de -50°C. Não é um material propício ao aparecimento de bolor e quaisquer

outras eflorescências e não têm qualquer valor nutritivo para roedores ou insectos. Não são afectadas por chuva, neve ou gelo. A sujidade acumulada é facilmente lavável, no entanto, devem ser protegidas da radiação solar directa. Quando adequadamente aplicadas, a vida útil destas placas é estimada em período de tempo igual ao da vida útil do edifício ou construção em que se inserem.



Figura 46 - Aplicação de placas de XPS em obra

Origem

O poliestireno extrudido, também conhecido por XPS, é um produto sintético proveniente do petróleo e deriva da natureza, tal como o vidro, a cerâmica e os metais. A matéria-prima deste material é o poliestireno, um polímero de estireno, que é extrudido e passa de um estado sólido a um estado fundido, que depois arrefece e volta a um estado sólido.

Processo Produtivo

A extrusão deste polímero consiste na geração e o uso de um fluxo contínuo das matérias-primas para produzir o material. O polímero é continuamente transformado de um estado sólido a um estado fundido, e logo transportado e forçado em altas pressões mediante um molde. O desenho do molde corresponde à forma do produto a ser manufacturado. Logo, a reversibilidade do processo de fusão permite que o perfil fundido arrefeça para obter o produto final, que se traduz numa estrutura rígida e uniforme de pequenas células fechadas que se apresenta sob a forma de placas coloridas (Figura 47).

Impactes Associados

O fabrico não comporta nenhum risco para a saúde humana nem para o ambiente. O processo de fabrico não utiliza gases das famílias CFC e HCFC (que provocam a destruição da camada do ozono). Por se tratar de um polímero e por ser muito leve o seu processo de fabrico consome pouca energia.

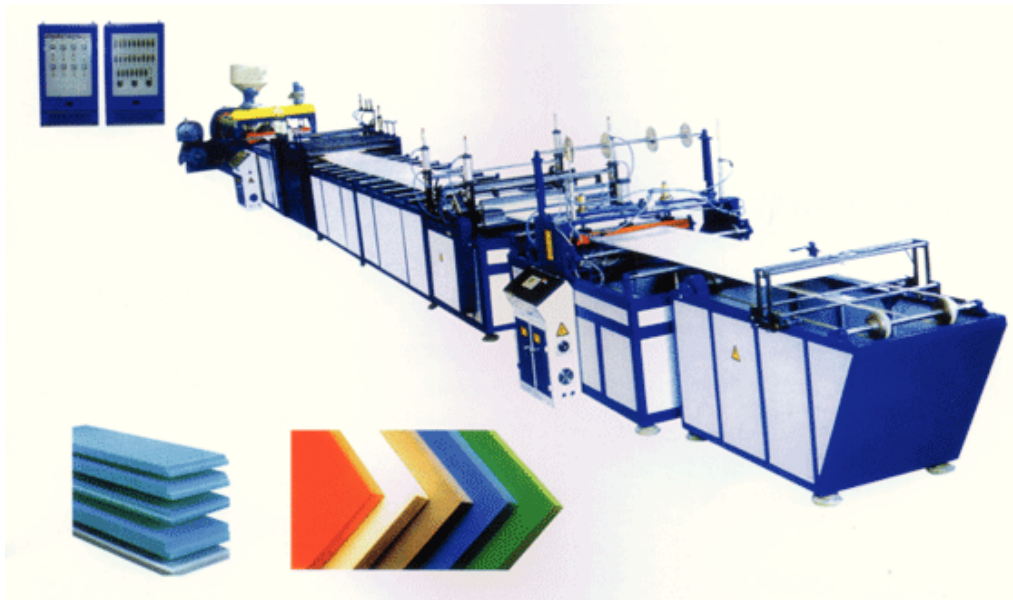


Figura 47 - Linha de produção de placas XPS

- **Poliuretano projectado**

Trata-se de um material plástico celular fabricado com matérias-primas em estado líquido (Poliol + Isocianeto) através de uma máquina que projecta estes componentes nas superfícies a isolar. A reacção química que se dá é rápida e exotérmica.

A sua estrutura contínua melhora o desempenho térmico visto que não possui juntas e isola os pilares e alçados das pontes térmicas (Figura 48). Possui uma boa resistência mecânica e é de aplicação rápida. A mão de obra para aplicação do mesmo é a mais especializada de todas.



Figura 48 - Poliuretano projectado

- **Aglomerado de Cortiça**

A cortiça é formada por um agregado de células de paredes quintuplas, sendo duas delas completamente impermeáveis, daí a sua leveza, a sua elasticidade e a sua impermeabilidade a gases e líquidos, características que lhe conferem propriedades isolantes de calor, frio, som e vibrações. Segundo as dimensões dos granulados utilizados e da massa volúmica do produto obtido, obtém-se os aglomerados negros de cortiça tipo térmico, tipo acústico ou tipo vibrático e ainda os aglomerados de cortiça para revestimento de pisos, comercialmente conhecidos por “parquets”. De fácil instalação, as qualidades únicas da cortiça oferecem vantagens difíceis de equiparar (Figura 49). É constituída por milhões de células suberosas – cada célula funciona como um isolante acústico e térmico e amortecedor em miniatura de pressão absorvendo os choques. Recuperando a sua forma vezes sem conta, indiferentemente da intensidade de uso ou do período de tempo, a cortiça mantém sempre a sua elasticidade. Estas qualidades únicas tornam-na ideal para ser utilizada como isolante acústico e térmico – durante um período de vida bastante longo. Algumas recolhas realizadas em edifícios com mais de 50 anos mostraram que após esse período de tempo o aspecto e as propriedades essenciais das placas de aglomerado de cortiça expandida se mantinham inalteradas. [18]



Figura 49 - Revestimento com aglomerado de cortiça

Origem

O Aglomerado de Cortiça Expandida deriva de uma matéria-prima totalmente natural e renovável - a cortiça, cuja extracção da árvore se enquadra no seu ciclo de vida. Tem origem na árvore de sobreiro, que sobrevive sem herbicidas químicos, fertilizantes ou irrigação. É ainda a única árvore que se regenera após a tirada – processo de obtenção da cortiça virgem. Assim, a cultura do sobreiro não implica a delapidação ou a degradação do ambiente, não apresenta aspectos ambientais negativos associados a outras culturas florestais destinadas a transformações industriais, contribui para a fixação de uma fauna natural variada e apoia

diversas actividades de pastorícia, cinegéticas e outras.

Desde os tempos mais remotos que a técnica de descortiçamento atingiu um equilíbrio raro na exploração de recursos naturais. O equilíbrio entre a superfície de descortiçamento e a estatura dos sobreiros é perfeita e requintada e ciclicamente, de nove em nove anos, procede-se à extracção deste valioso tecido vegetal, que os sobreiros se encarregam de regenerar.

Processo produtivo

O aglomerado de cortiça expandida é um produto em que a aglutinação dos grânulos da matéria-prima se efectua exclusivamente em consequência da expansão volumétrica e da exsudação das resinas naturais da cortiça, por acção da temperatura transmitida pelo vapor de água. É assim produzido um aglomerado unicamente constituído por cortiça, razão pela qual também se designa por aglomerado puro de cortiça.

Após a pré-preparação da matéria-prima, esta é triturada, limpa de impurezas, ensilada e seca, até se alcançar um teor ponderal de água ideal para a operação de cozimento.

Seguidamente a aglomeração dos grânulos de cortiça natural processa-se num autoclave, no qual é injectado vapor de água aquecido a temperaturas superiores a 300^o C. Neste método forma-se um bloco paralelepípedo de cortiça, funcionando o próprio autoclave como molde. Após o completo arrefecimento e a estabilização dimensional seguem-se as fases de corte e de acabamento, em que os blocos são seccionados em placas, é acertada a esquadria destas e, eventualmente, são submetidas a uma lixagem da superfície para efeitos decorativos (Figura 50 e 51).

Impactes associados

A produção do Aglomerado de Cortiça Expandida utiliza apenas vapor de água aquecido, em geral recorrendo a geradores de vapor alimentados com os próprios resíduos da trituração e de acabamentos (pó de cortiça). No fabrico não se introduzem quaisquer aglutinantes, colas, aditivos ou agentes de expansão externos à própria cortiça natural e eventualmente perigosos durante a aplicação, o uso ou após a remoção no final da vida útil.

Durante a aplicação não coloca problemas de segurança ou de saúde devendo adoptar-se simplesmente as regras básicas relevantes de higiene e de segurança no trabalho.



Figura 50 – Remoção de cortiça



Figura 51 - Placas de cortiça depois do processo de Autoclave

- **Lã de Vidro**

A manta de lã de vidro é um material isolamento térmico flexível, leve e de muito fácil instalação, uma vez que basta estender os rolos sobre a superfície vertical a isolar (Figura 52). Rolos contínuos podem ser cortados à mão e podem apresentar-se com uma barreira para vapor já incluída na face inferior. Há no entanto que ter o cuidado de ao instalar este tipo de isolamentos, não deixar espaços não isolados, uma vez que basta uma pequena área não estar devidamente isolada para poderem surgir problemas relacionados com um deficiente isolamento térmico. Há também de ter o cuidado de não colocar qualquer tipo de revestimento sobre as mantas que possam comprimi-las, uma vez que isso prejudica largamente a performance deste tipo de isolamentos.

Aquando da aplicação é obrigatória a utilização de vestuário adequado, uma vez que a fibra de vidro é nociva para a pele e olhos.



Figura 52 - Aplicação de lã de vidro

Origem

A origem da lã de vidro provém de uma substância líquida inorgânica obtida através de um composto básico de vários elementos: a sílica, em forma de areia, que assume o papel de vitrificante, o carbonato de sódio, sulfato de sódio e potássio, para que a temperatura de fusão seja mais baixa, e o carbonato de cálcio e magnésio, como estabilizantes para conferirem a este material uma elevada resistência à humidade.

Processo Produtivo

A lã de vidro é um componente fabricado em alto-forno a partir de sílica e sódio, que elevados a temperatura de aproximadamente 1500⁰C, formam uma massa em estado plástico de altíssima viscosidade, que aumenta à medida que arrefece, mantendo-se em estado de sobre fusão sem cristalizar. Este aglomerado foi desenvolvido especificamente para melhorar o isolamento termo acústico aplicado ao edifício.

A lã de vidro pode ser apresentada na forma de mantas que, ao serem instaladas, adquirem a forma da máquina ou imóvel que se vai isolar. Nesse caso, o produto não recebe aplicação de resina, sendo comercializado na forma de grandes rolos (Figura 53).

Impactes associados

A sua produção está associada à geração de partículas para a atmosfera e à emissão de gases tipo NO_x, SO₂ e CO₂. Implica gastos significativos de energia e água. A lã de vidro é do tipo de fibra que não tem nenhuma relação com as fibras de amianto, actualmente alvo de restrições de uso. A lã de vidro é um material não cancerígeno. Também não contribui para a proliferação de ratos, insectos, fungos e bactérias.



Figura 53 - Rolo de Lã de Vidro

- **Lã De Rocha**

A manta de lã de rocha é tal como a lã de vidro um material de isolamento térmico flexível, leve e de muito fácil instalação, uma vez que basta estender os rolos sobre a superfície vertical ou horizontal a isolar (Figura 54). Há que ter o cuidado de não colocar qualquer tipo de revestimento sobre as mantas que possam comprimi-las, uma vez que isso prejudica largamente a performance deste tipo de isolamentos. A lã de rocha apresenta as seguintes características: é um bom isolante térmico e acústico, é incombustível, resistente à água, a estrutura é estável, imputrescível, anti-parasitas, não corrosiva e não é atacada por sais nem por ácidos. É não nociva à saúde ao contrário da lã de vidro porém o seu manuseamento e aplicação deverão ser feito com vestuário e luvas adequadas. Não resultam substâncias poluentes das matérias-primas nem dos produtos acabados. É utilizado largamente na impermeabilização e isolamento de paredes duplas. Além de não reter água, uma vez que possui uma estrutura não capilar, as alterações perante eventuais condensações são nulas. Não provoca alergias, não apodrece, permite a passagem do ar, recupera sempre a espessura original após retirada a força que a deformou e tem durabilidade ilimitada. [20]



Figura 54 - Rolo de Lã de Rocha e sua aplicação respectivamente

Origem

A lã de rocha é produzida a partir de rochas vulcânicas de basalto fundido, após temperaturas elevadas de 1500 °C, de seguida são transformadas numa fição dupla de fibras ou filamentos precisos e suaves. É fabricada em forma de placas ou cobertores semi-sólidos. A lã de rocha é caracterizada pela alta capacidade de prova ao fogo, não é inflamável, e o método de fabricação de fibra torna o isolamento acústico muito eficaz, para além de ser um excelente isolante térmico.

Processo Produtivo

A lã de rocha é produzida a partir de lã mineral. Depois de aquecer as rochas basálticas e outros minerais a cerca de 1500°C, estes são transformados em filamentos que, aglomerados com soluções de resinas orgânicas, permitem a fabricação de produtos leves e flexíveis ou até muito rígidos, dependendo do grau de compactação (Figura 55).

Impactes Associados

A sua fabricação implica gasto de energia e gera emissões de CO₂, no entanto se lhe atribuirmos um uso adequado, no que diz respeito ao isolamento térmico, a economia de energia gerada poderá superar este impacte negativo.



Figura 55 - Produção de placas de lã de rocha

Os isolantes térmicos podem ser classificados quanto a: natureza – mineral, vegetal ou sintética; estrutura – fibrosa, celular ou mista; modo de Produção – pré-fabricados ou formados “in-situ”; apresentação – rígidos, semi-rígidos ou granulares. Na Tabela 4 são apresentados vários isolantes térmicos com a respectiva classificação [21].

Tabela 4 - Classificação de alguns isolamentos térmicos.

Produto	Natureza	Estrutura	Produção	Condutibilidade térmica (W/m.°C)
Lã de Rocha	Mineral	Fibrosa	Placas, Mantas	0.04
Lã de Vidro	Mineral	Fibrosa	Placas, Mantas	0.04
Vidro celular	Mineral	Celular	Placas	0.05
Aglomerado negro de cortiça	Vegetal	Celular	Placas; Granel	0.045
Fibra de coco	Vegetal	Celular	Placas; Mantas	0.044
Poliestireno expandido	Sintético	Celular	Placas	0.04
Poliestireno extrudido	Sintético	Celular	Placas	0.035
Poliuretano	Sintético	Celular	<i>In situ</i>	0.03

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

3 Estudo de Caso

3.1 Enquadramento

Uma das principais soluções geralmente adoptada para um aumento do conforto térmico nas nossas residências é a implementação do isolamento térmico na envolvente dos edifícios.

No entanto, existem inúmeras habitações no nosso País de construção leve sem recurso a qualquer tipo de isolamento térmico nas paredes, ou então, com uma insuficiente espessura do mesmo, mantendo assim uma baixa resistência térmica e obrigando os proprietários a utilizar equipamentos de climatização adicionais. As más soluções construtivas por deficiente execução das paredes duplas, permitindo assim uma degradação do isolamento térmico, é também responsável pelas más condições habitacionais que encontramos hoje em dia. Estas escolhas incorrectas são muitas vezes fruto da falta de mão de obra especializada ou por razões económicas.

Na Figura 56 podemos verificar uma distribuição percentual do tipo de paredes exterior representativa do nosso País.

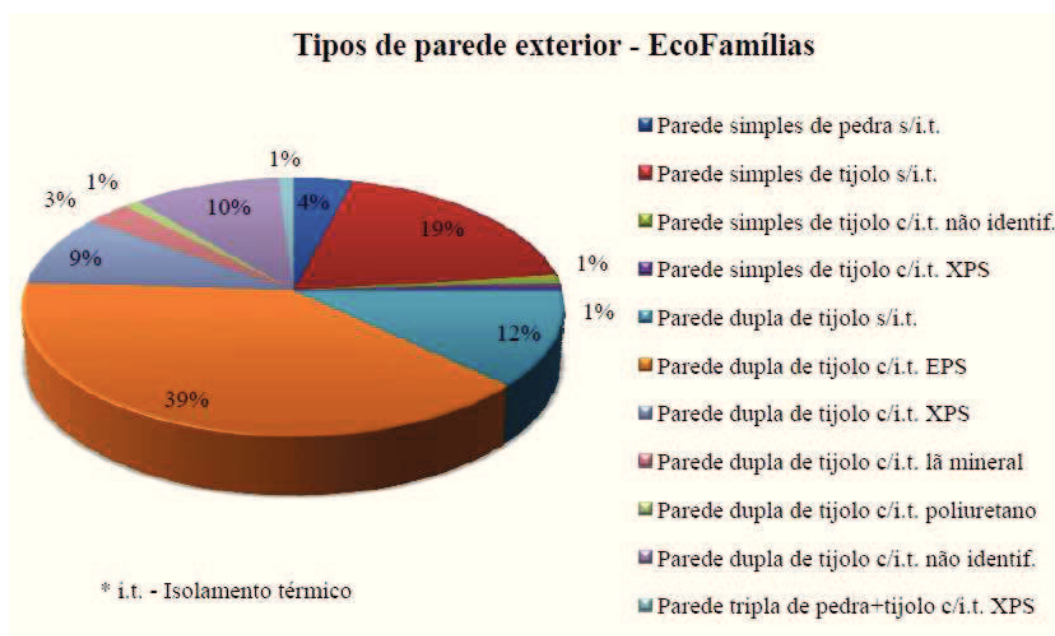


Figura 56 – Distribuição percentual de tipos de parede exterior [22]

Da análise desta figura é possível verificar que a percentagem de edifícios com paredes exteriores sem isolamento térmico atinge os 35%. Outro factor a apontar é que 25% das habitações analisadas foram construídas com paredes simples, tecnologia construtiva que, mesmo possuindo isolamento, é mais susceptível a posteriores anomalias, caso estas não sejam revestidas adequadamente, que também influenciarão o conforto térmico. Ou seja, cerca de 40% do universo avaliado, de acordo com as tecnologias construtivas das suas habitações, não apresenta qualidade na construção e provavelmente terá problemas de insuficiência de conforto térmico. [22]

De modo a analisarmos quais as soluções de alvenaria mais eficientes em termos de desempenho térmico, iremos simular várias soluções no *software Envolverm*.

Esta é uma ferramenta desenvolvida em parceria pelas empresas IberFibran, Extrusal e Guardian Glass, ambas dedicadas à construção de material para isolamento térmico habitacional. O objectivo seria criar um *software* de cálculo com a finalidade de realizar o ante-projecto térmico, tendo por base a legislação publicada em 4 de Abril de 2006, nomeadamente o DL n°80 - novo RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios).

A escolha deste *software* deve-se ao facto de se encontrar amplamente disseminado no mercado de construção e ser uma ferramenta imprescindível para projectistas na área de optimização térmica, assim como engenheiros mecânicos, engenheiros civis e arquitectos.

O facto de ser de distribuição e instalação gratuita foi também um ponto tido em conta.

3.1.1 Descrição Sumária da Célula de Teste.

Em consonância com um trabalho a ser desenvolvido por alunos do IPL, foi sugerido efectuar um estudo de uma célula para ensaios experimentais construída no Campus 2 do Instituto para análise do desempenho térmico de paredes construídas com tijolo térmico, bem como da cobertura em telha cerâmica com beiral ventilado, ao longo do ano (Figura 57 e 58).

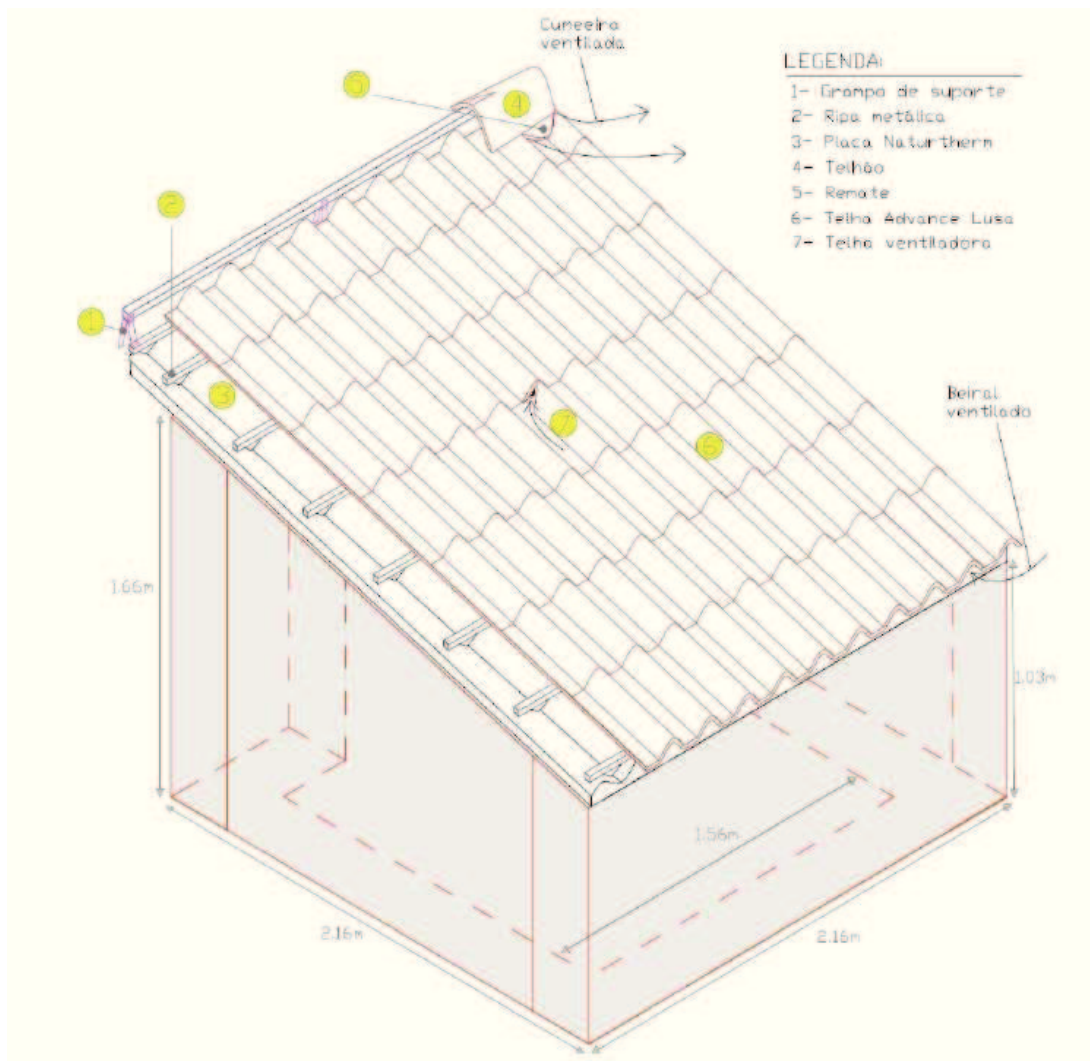


Figura 57 – Célula de teste construída no Campus 2 do IPL

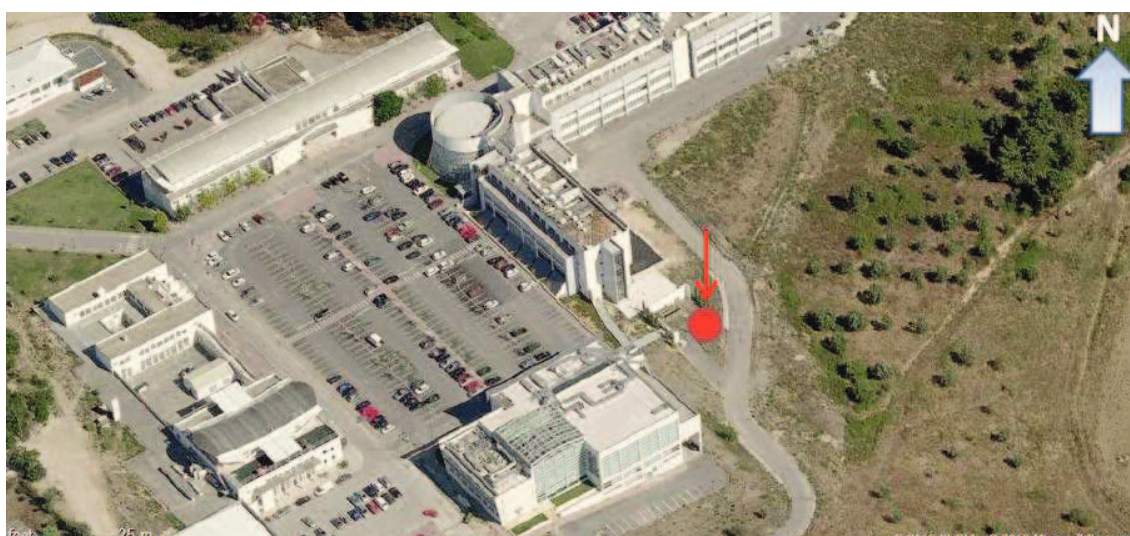


Figura 58 - Vista por satélite do IPL, local da construção marcado

A sua exposição solar encontra-se direccionada com a cobertura inclinada para Sul.
A célula de ensaios foi construída, em parede simples de alvenaria de tijolo térmico e sobre a mesma aplicado revestimento de argamassa (reboco). Esta não possui alicerces e foi aplicada directamente numa placa de betão que se encontrava no local (Figura 59, 60 e 61).



Figura 59 - Passos da construção da célula



Figura 60 – Célula de teste concluída.



Figura 61 - Vista interior da célula de teste

Apesar de existirem várias marcas e modelos no mercado de tijolo térmico, o material utilizado foi oferecido pela empresa Prélis, Lda.

Assim, as características dos produtos testados na simulação terão por base os dados demonstrados por esta empresa.

De salientar que o *software Envolverm* tem uma base de dados criada com produtos das empresas IberFibran, Extrusal e Guardian Glass, logo os dados da Prélis Lda não são apresentados como produtos base. Mas, mais uma vez devido à flexibilidade do programa, este permite que consigamos alterar os valores padrão para os pretendidos na obra.

3.2 Mecanismos de transmissão de calor

O calor é uma das formas de transferência de energia de um local para o outro, existindo na essência 3 mecanismos de transferência de calor como se pode observar na figura: radiação térmica, convecção e condução. Só a primeira é que é possível na ausência de matéria. Apresenta-se na figura 62 as 3 formas de transmissão de calor. [23]

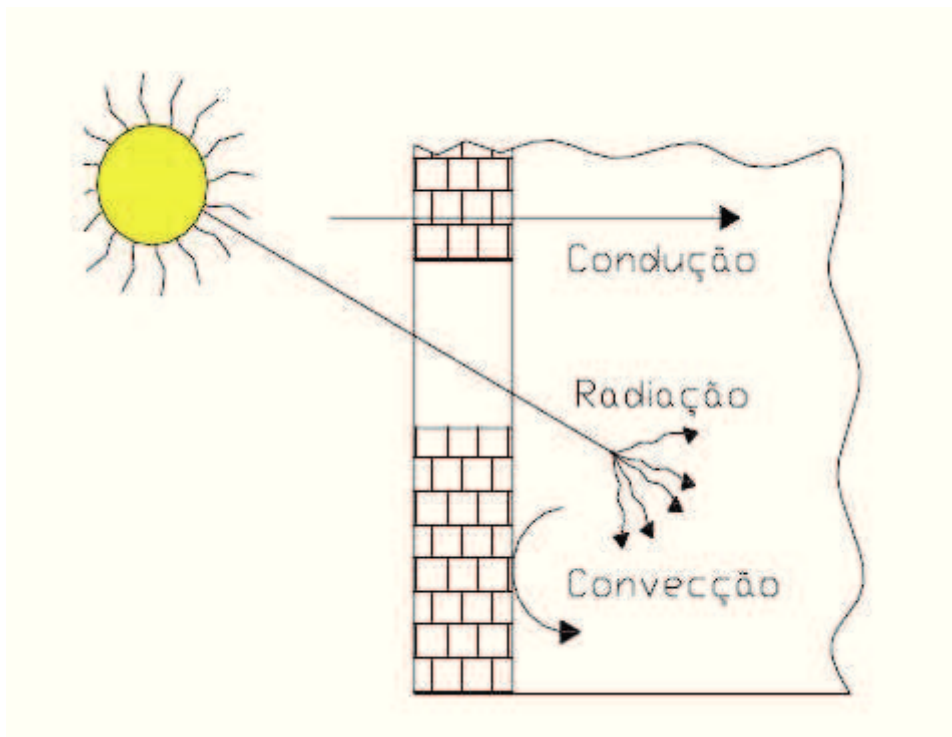


Figura 62 - Formas de transmissão de calor

Condução – Esta é a forma de transferência de calor através de um material ou mais que um, desde que em contacto directo entre si. Quanto maior for a sua condutibilidade térmica, mais rápido o calor será transferido. O fluxo de calor corre sempre na direcção da redução da temperatura. No caso dos edifícios, o processo de transmissão de calor mais significativo é este, dependendo da condutividade térmica dos materiais - λ [W/m.°C] e da espessura do elemento da envolvente - e [m], como se pode verificar na Lei de Fourier para a condução (Equação 1).

$$Q = -(\lambda . A) . \frac{dT}{de} \tag{1}$$

em que:

A= área do elemento (m²)

dT/de = gradiente de temperatura (°C/m)

Convecção – É o mecanismo de transferência de calor associado ao movimento de distanciamento e aproximação de gases de superfície. Quando a massa de um fluido está em contacto com uma superfície quente, as suas moléculas separam-se e dispersam-se, fazendo com que a sua massa se torne menos densa, distanciando-o da superfície, horizontal ou verticalmente. O fluido mais frio, e distante dessa superfície quente, torna-se mais denso que o fluido aquecido, aproximando-o assim da superfície quente. Cria-se assim, um movimento de convecção natural sendo a transferência de energia modelada pela equação 2.

$$Q = h . A . \Delta T$$

em que:

(2)

h = Coeficiente de transmissão térmica (W.m⁻².°C⁻¹)

A= área do elemento (m²)

ΔT = Diferença entre a temperatura ambiente e a superfície do objecto. (°C)

Radiação Térmica – Quando ondas electromagnéticas atravessam o espaço e entram em contacto com um objecto, essas ondas transferem a energia na forma de calor que transportam na forma de onda electromagnética na gama do infravermelho para esse mesmo local.

Com estas 3 formas de transmissão de calor podemos confirmar que os edifícios estão constantemente a efectuar trocas de calor com o meio. Quer seja por radiação térmica, convecção ou condução. Sendo que a última é a mais significativa.

Assim, a contabilização desta troca de calor num elemento pode ser medida pela seguinte equação 3.

$$Q_{cond} = U.A.(T_i - T_e)$$

em que:

(3)

U - Coeficiente de transmissão térmica do elemento ($W/m^2 \cdot ^\circ C$);

A - Área do elemento (m^2);

T_i - Temperatura interior ($^\circ C$);

T_e - Temperatura exterior ($^\circ C$);

Para o nosso caso em estudo iremos utilizar o U fornecido pelos fabricantes e demonstrado na Tabela 5:

Tabela 5 - Coeficiente de transmissão térmica para estudo

Tipo de parede	Elemento	Espessura de alvenaria (m)	U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
Parede dupla com EPS na caixa de ar	Barro Vermelho + Poliestireno Expandido (EPS)	0,11 + 0,15 alvenaria 0,03 EPS	0,6
Parede de tijolo térmico	Barro Vermelho	0,29 alvenaria	0,7
Parede de tijolo térmico com revestimento pelo exterior de XPS em sistema ETICS	Barro Vermelho + Poliestireno Extrudido (XPS)	0,29 alvenaria 0,02 XPS	0,5

Devemos olhar para o balanço energético de um edifício nos dois períodos do ano (Figura 63). Isto é, na época do verão e inverno. Pois o sentido do fluxo de calor irá ser diferente em cada um deles. No verão iremos pretender arrefecer o edifício (Q_{arref}) e no inverno iremos ter necessidades de aquecimento (Q_{aque}). Assim, representamos o balanço energético nas seguintes equações 4 e 5 para os diferentes estágios do ano.

$$Q_{arref} = Q_{cond} + Q_{vent} + Q_{gi} + Q_{rad_sol} \quad (4)$$

$$Q_{aque} = Q_{cond} + Q_{vent} - Q_{gi} - Q_{rad_sol} \quad (5)$$

em que:

Q_{vent} - Trocas de calor devido à ventilação do espaço:

Q_{rad_sol} - Ganhos térmicos devido à radiação solar:

Q_{gi} - Ganhos térmicos devido às cargas interiores. (pessoas e equipamentos)

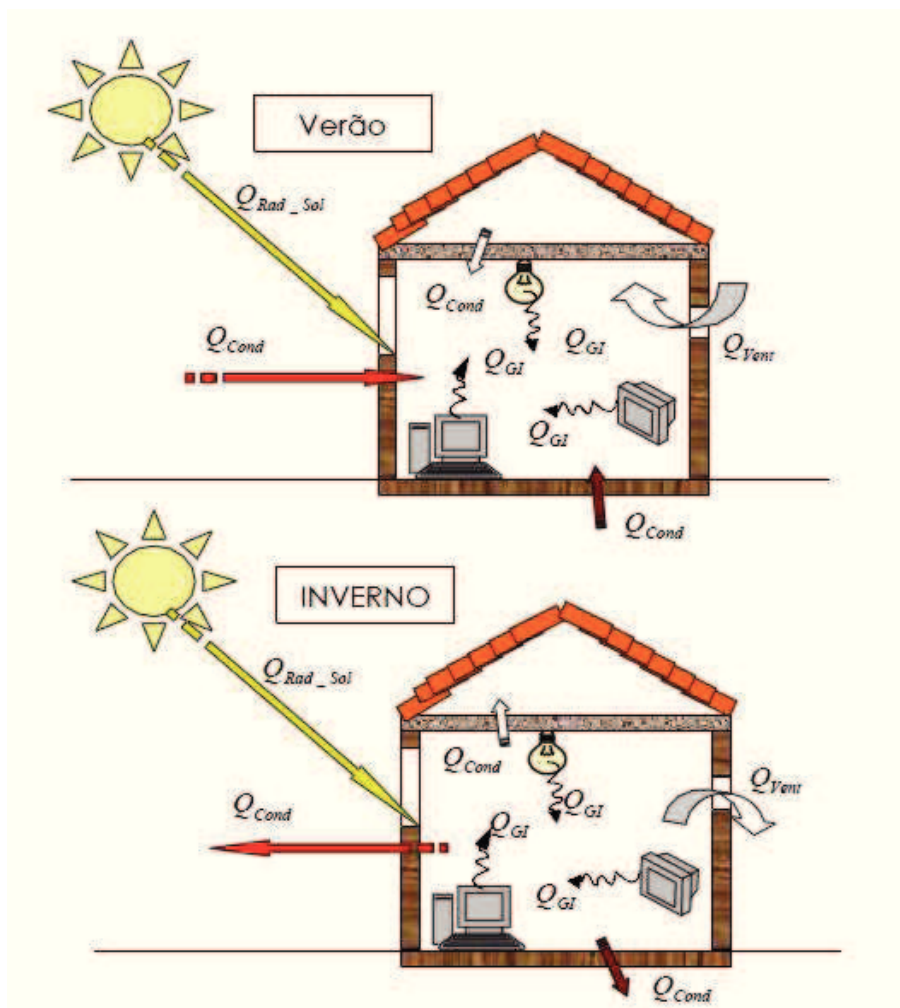


Figura 63 – Exemplos ilustrativos do balanço energético no Verão e no Inverno [24]

De modo a minimizar o impacto das diferentes condições climáticas nas nossas habitações, e tirando assim o máximo proveito energético na estação fria e arrefecimento na estação quente, devemos seguir algumas estratégias na implementação de novas construções, indicadas na Tabela 6:

Tabela 6- Estratégias de controlo térmico [25]

	Inverno		Verão	
Estratégias	Promover ganhos	Restringir perdas	Restringir ganhos	Promover perdas
Condução	–	Minimizar a condução		
Ventilação	–	Minimizar a infiltração diurna		Promover Ventilação nocturna
Radiação	Ganhos solares	–	Protecção solar	Arrefecimento radiativo

No Inverno, sendo necessário aquecer os edifícios, a estratégia correcta será a de captar a radiação solar disponível. A orientação a sul é aquela que propicia maiores ganhos solares. O percurso do sol no Inverno é vantajoso para esta orientação, uma vez que o seu percurso se efectua para azimutes muito próximos do Sul geográfico.

No Verão, torna-se necessário minimizar os ganhos solares, uma vez que, no seu percurso de nordeste (onde nasce) até noroeste (onde se põe), o sol “vê” todas as orientações, sendo que é a horizontal (coberturas) a que maior nível de radiação recebe [26].

Em Portugal, no litoral Norte e Centro, a influência marítima ameniza o Verão, sendo o Inverno mais exigente que o Verão, o que deverá motivar uma maior capacidade do edifício para captar os ganhos solares. Os Graus dias de Aquecimento variam entre 2090 (Penalva do Castelo) e 1530 (Cadaval). No Verão, devido à preponderância da influência estabilizadora marítima, verificam-se junto à costa menores amplitudes térmicas diárias relativamente a regiões interiores de maior influência continental.

Estratégias Bioclimáticas a seguir:

Inverno – Restringir condução; promover os ganhos solares.

Verão – Restringir condução; restringir ganhos solares. Promover ventilação nocturna.

Deverá haver especial cuidado na promoção dos ganhos solares a Sul (Inverno), porém sem esquecer a protecção dos envidraçados de modo a restringir os ganhos solares de Verão [26].

3.3 Software Envolterm

3.3.1 Dados Gerais

No menu inicial são introduzidos os dados gerais da obra, conforme demonstrado na Figura 64 e indicado na Tabela 7.

Figura 64 - Janela correspondente aos dados gerais.

Tabela 7 – Tópicos da página geral do *Envolterm*

Designação do Campo	Descrição	Exemplo
Projecto	Título do projecto	Célula de teste IPL
Fracção Autónoma nº	Identificação da fracção autónoma	A
Região	Identificação da região onde se localiza o edifício (Continente, Açores ou Madeira)	Continente
Concelho	Identificação do concelho onde se localiza o edifício (as possibilidades de resposta dependem da “Região”)	Leiria
Zona	Identificação da zona de Verão: região Norte e região Sul (apenas válido para Portugal continental)	Zona Norte
Data	Data a indicar no projecto de licenciamento	1 Janeiro de 2013
Tipo de Fracção / Edifício	Função prevista para o edifício (residencial ou serviços)	Residencial
Tipo de Utilização	Número de dias que o edifício ou fracção autónoma se encontra encerrada (apenas para serviços)	Permanente
Potência de Climatização	Potência dos sistemas de climatização (aquecimento, arrefecimento e AQS)	0 kW
Área útil de pavimento (Ap)	Indicação da área útil de pavimento (m ²)	3.36 m ²
Pé direito médio (Pd)	Indicação do pé direito médio (m)	1,34m
Altitude	Altitude do edifício relativamente ao nível do mar (m)	0m
Distância do Edifício à costa	Distância do edifício à costa	Entre 5km e 10km
Nome	Nome do técnico responsável pelo projecto de licenciamento	Ruben Évora
Inscrito na sua associação profissional com o nº	Número da cédula profissional do técnico responsável pelo projecto de licenciamento	123456

Preenchidos estes pontos devemos passar de seguida ao separador Envolvente exterior.

3.3.2 Envoltente Exterior

Aqui deve ser descrito o tipo de paredes a aplicar na célula de teste. Este ponto encontra-se dividido em 5 partes, com as seguintes designações.

- Paredes Exteriores;
- Pavimentos Exteriores;
- Coberturas exteriores;
- Paredes e Pavimentos (Solo);
- Pontes Térmicas Lineares.

Para o nosso caso só iremos aplicar dados no separador paredes exteriores, coberturas exteriores e pavimentos (solo).

Começando no campo de paredes exteriores, esta permite introduzir os dados referentes aos elementos da parte opaca da envolvente, nomeadamente paredes exteriores, como exemplificado na Figura 65.

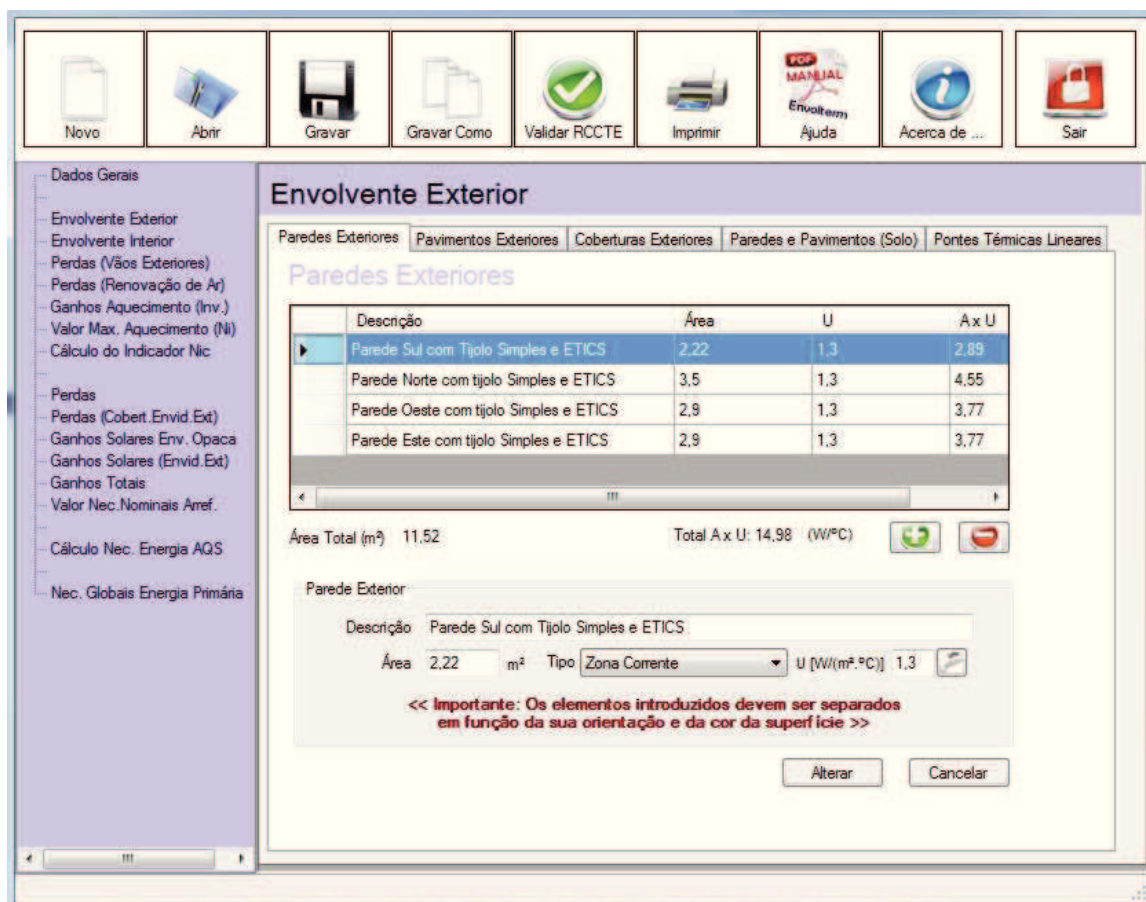


Figura 65 - Janela corresponde à Envoltente exterior

Os dados a serem inseridos neste campo apresentam-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Informação a introduzir na janela “Envolvente exterior”

Designação do Campo	Descrição	Exemplo
Descrição	Breve descrição do elemento construtivo em análise	Parede Norte com Tijolo Simples e ETICS
Área	Área do elemento construtivo (m ²)	2,22 m ²
Tipo	Tipo de zona (zona corrente ou ponte térmica plana)	Zona corrente
U	Coefficiente de transmissão térmica do elemento construtivo em análise (W/m ² .°C)	1,3 W/m ² .°C

Uma vez introduzidos os dados de um elemento basta carregar no botão “Adicionar” para o guardar na listagem e passar ao próximo elemento.

A introdução de um novo elemento, aproveitando parte da informação já introduzida num outro elemento, é possível:

O coeficiente de transmissão térmico (U) das paredes, pavimentos e coberturas exteriores pode ser determinado de duas formas, nomeadamente:

- Introdução manual do valor de U;
- Definição do tipo de solução construtiva e selecção de um produto da Iberfibran.

De forma a facilitar o cálculo do desempenho energético em edifícios e aplicar a metodologia do novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), é necessário consultar tabelas que apresentem os coeficientes de transmissão térmica de constituintes da envolvente dos edifícios, conhecer os valores convencionais de cálculo de condutibilidade térmica de materiais e das resistências térmicas de superfícies. [19].

A segunda solução fornece automaticamente o valor de U de uma solução construtiva tipo cujo isolamento térmico utilizado é fabricado pela Iberfibran. Foram inseridas várias soluções para as quais é necessário escolher o tipo de elemento, os materiais constituintes e a espessura de isolamento térmico pretendida. A título de exemplo apresentam-se de seguida na Tabela 9 algumas soluções tipificadas no *software Envolterm*.

Tabela 9 - Exemplos de soluções inseridas no *software Envolterm*

Elemento construtivo	Tipo de Material	Espessura de isolamento térmico	
Parede dupla com isolante na caixa-de-ar	Tijolo furado (0,11 + 0,15 m)	FIBRANECO WL 30 mm	
		FIBRANECO WL 40 mm	
		FIBRANECO WL 50 mm	
		FIBRANECO WL 60 mm	
		FIBRANECO WL 70 mm	
	Tijolo furado (0,15 + 0,15)	x 6 espessuras	FIBRANECO WL 80 mm
			Tijolo furado/maciço (0,11 m + 0,11 m)
			Tijolo furado/maciço (0,15 m + 0,11 m)
			Bloco de betão normal (0,11 m + 0,11 m)
			Bloco de betão normal (0,11 m + 0,15 m)
Bloco de betão normal (0,15 m + 0,11 m)			
Bloco de betão leve (0,11 m + 0,11 m)			
Bloco de betão leve (0,11 m + 0,15 m)			
Parede simples com isolamento pelo exterior (ETICS) x 5 tipo de materiais x 6 espessuras			
Parede simples com isolamento pelo exterior (Fachada ventilada) x 5 tipo de materiais x 6 espessuras			
Parede simples com isolamento pelo interior x 5 tipo de materiais x 6 espessuras			
Pavimento elevado (isolamento exterior tipo ETICS) x 7 tipo de materiais x 6 espessuras			
Pavimento elevado (isolamento exterior com espaço de ar não ventilado) x 7 tipo de materiais x 6 espessuras			
Pavimento elevado (isolamento exterior com espaço de ar ventilado) x 7 tipo de materiais x 6 espessuras			
Pavimento elevado (isolamento interior aplicado directamente sob a betonilha) x 7 tipo de materiais x 6 espessuras			
Cobertura inclinada com isolamento na vertente sobre a estrutura x 7 tipo de materiais x 6 espessuras			
Cobertura inclinada leve (fixação mecânica) x 1 tipo de material x 6 espessuras			
Cobertura em desvão (isolante sobre a laje de esteira) x 7 tipo de materiais x 6 espessuras			

Para recorrer à funcionalidade que permite obter o valor de U de uma solução tabelada é necessário responder às três questões seguintes (Figura 66):

- Tipologia do elemento construtivo;
- Tipo de material;
- Espessura do material;

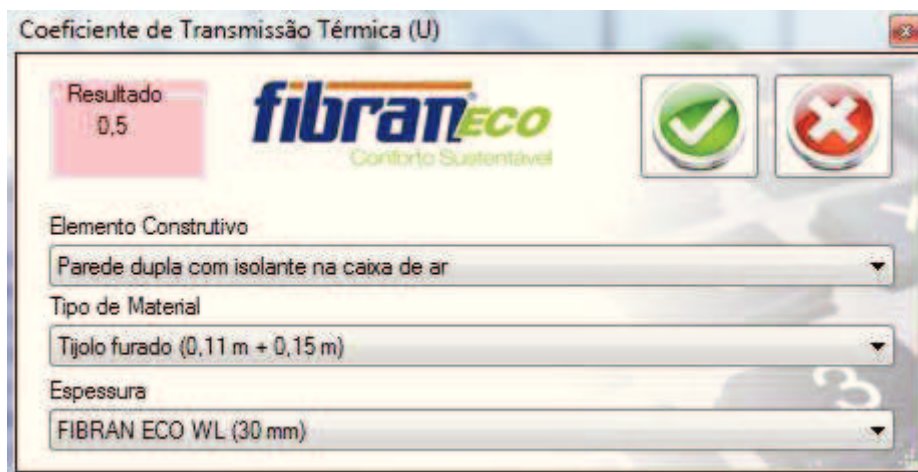


Figura 66 - Coeficiente de transmissão térmica disponível no *Envolterm*.

Tendo em conta que o tijolo térmico utilizado na célula de testes é da empresa Prélis Lda, o valor do coeficiente de transmissão térmico para o exemplo da construção com tijolo térmico será aplicado manualmente e encontra-se na Tabela 10.

Tabela 10 - Características do tijolo térmico Prélis Lda

Ref.	Peso Unitário	U (W/m ² .°C)	Peças por m ²
30x19x24	12,5kg	0,81	16
30x19x29	15,5kg	0,70	16

Apesar da análise ser representativa para os materiais constituintes da parede, na simulação com o *software Envolverm* podemos introduzir os valores totais da célula de teste. Assim, os valores constituintes da cobertura também são contabilizados. A forma de inserção é a mesma que a demonstrada acima para as paredes. (Figura 67)

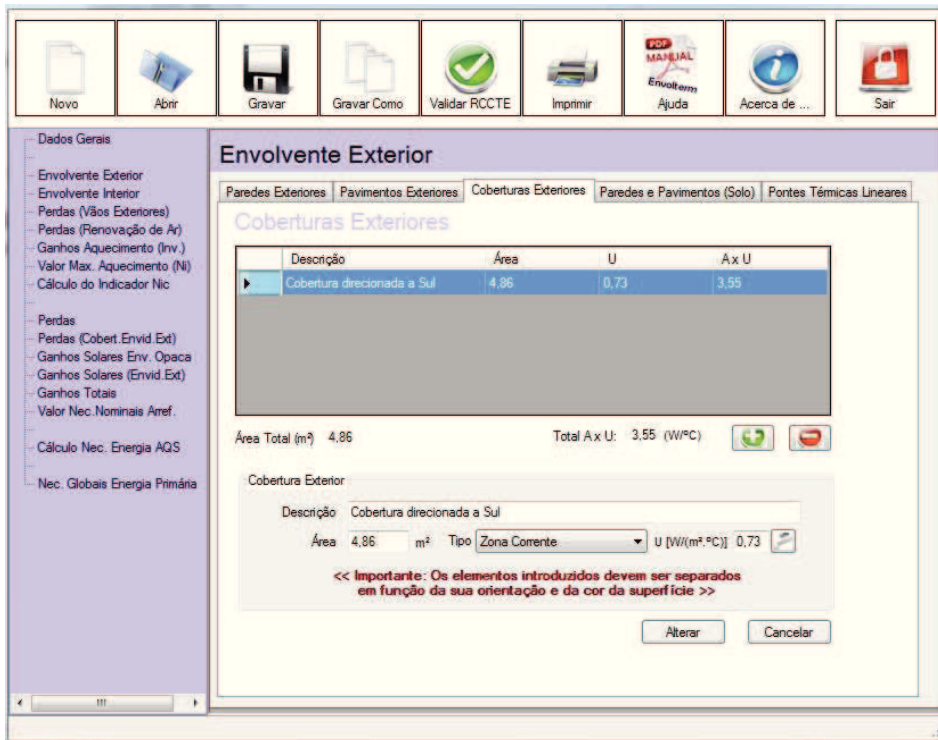


Figura 67 - Menu corresponde à cobertura da célula de teste.

Passando para o separador Paredes e Pavimentos, a lógica é semelhante à dos preenchimentos anteriores. (Figura 68)

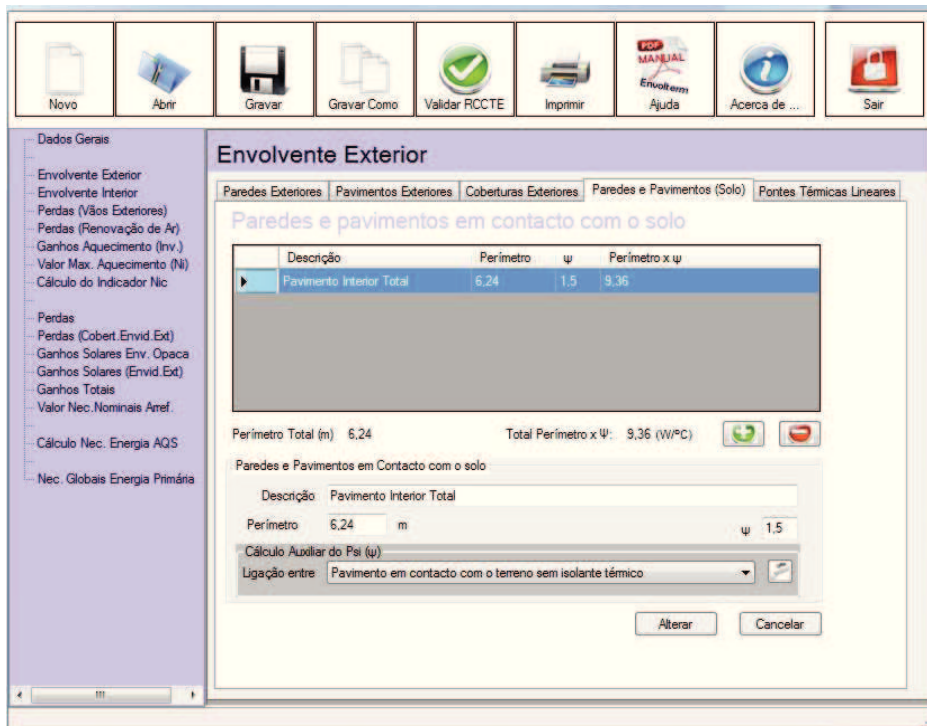


Figura 68 - Paredes e pavimentos exteriores da célula de teste

Os dados a preencher neste separador podem ser preenchidos como exemplificado na Tabela 11:

Tabela 11 - Opções de preenchimento no Menu Paredes e Pavimentos

Designação do Campo	Descrição	Exemplo
Descrição	Breve descrição do elemento construtivo em análise	Pavimento em contacto com laje de betão
Perímetro	Perímetro do pavimento ou desenvolvimento da parede, medido pelo interior (m)	6,24m
ψ	Coefficiente de transmissão térmica linear do elemento construtivo em análise (W/m.°C)	1,5 W/(m.°C)

O coeficiente de transmissão térmica linear das paredes e pavimentos em contacto com o solo pode ser determinado de duas formas:

- Introdução manual do valor ψ ;
- Escolha de uma solução tabelada no RCCTE.

A primeira solução permite introduzir qualquer valor ψ .

A segunda solução permite escolher uma solução tabelada no RCCTE para três casos distintos, nomeadamente:

- Pavimento em contacto com o terreno, sem isolante térmico (Tabela IV2.1 do RCCTE).
- Pavimento em contacto com o terreno, com isolante térmico perimetral (tabela omitida no RCCTE).
- Parede em contacto com o terreno (Tabela IV2.2 do RCCTE).

Em cada caso surgirá um menu auxiliar que permite determinar a situação desejada respondendo a várias questões. Na figura 69 apresenta-se o exemplo para a nossa célula de teste.

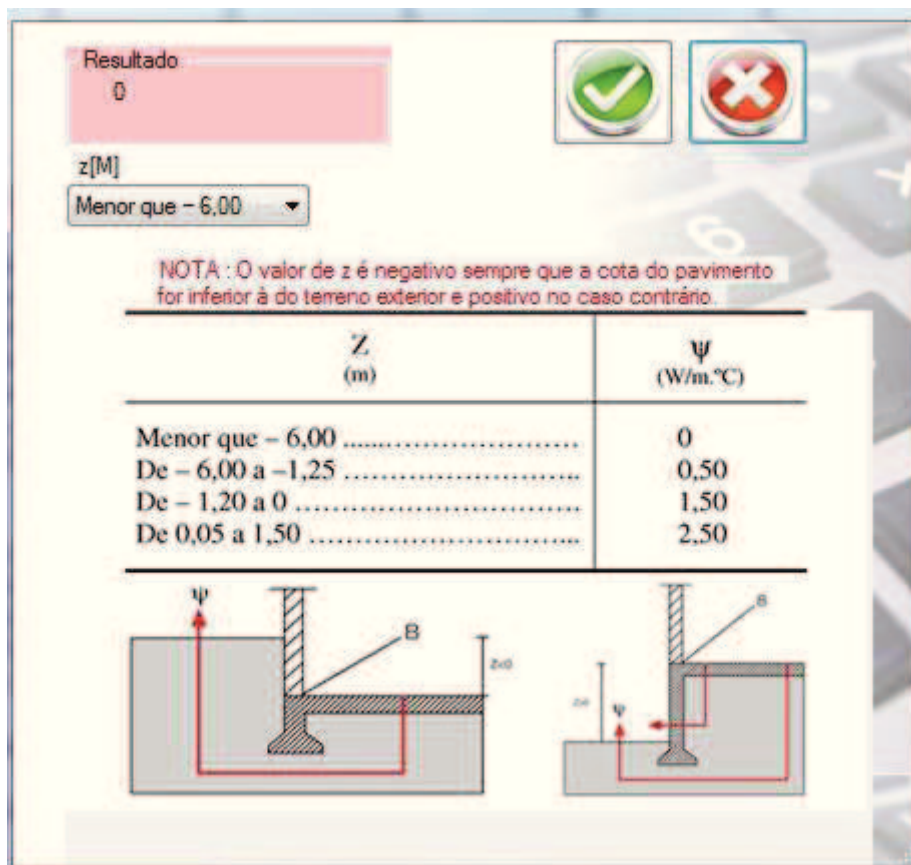


Figura 69 - Janela auxiliar correspondente à situação de um pavimento em contacto com o solo sem isolamento térmico

Para os nossos exemplos não iremos utilizar o resto das funcionalidades do *software* em questão, mas, como se poderá verificar na utilização do mesmo, este permite para além dos dados acima descritos aplicar valores para pontes térmicas lineares, pavimentos exteriores, bem como uma completa descrição dos espaços interiores não úteis da habitação.

3.3.3 Comparação de Resultados.

Para efectuarmos a comparação iremos utilizar 3 exemplos de estudo de alvenaria de tijolo com coeficientes de transmissão térmica semelhantes (Tabela 12).

Tabela 12 – Soluções construtivas de parede de tijolo simuladas.

Tipo de Parede	Tipo de Material	Espessura (m)	U (W/m ² . °C)
Parede dupla com isolamento térmico na caixa de ar	Barro Vermelho + Poliestireno Expandido (EPS)	0,15 + 0,11 alvenaria 0,03 EPS	0,6
Parede de Tijolo térmico	Barro Vermelho	0,29	0,7
Parede de tijolo térmico com XPS em sistema ETICS	Barro Vermelho + Poliestireno Extrudido (XPS)	0,29 alvenaria 0,02 XPS	0,5

Neste ponto só necessitaremos de substituir os coeficientes de transmissão térmica das paredes para retirar a comparação de resultados das perdas associadas. Assim:

Parede dupla com isolamento térmico de EPS na caixa de ar (Figura 70, 71, 72 e 73)

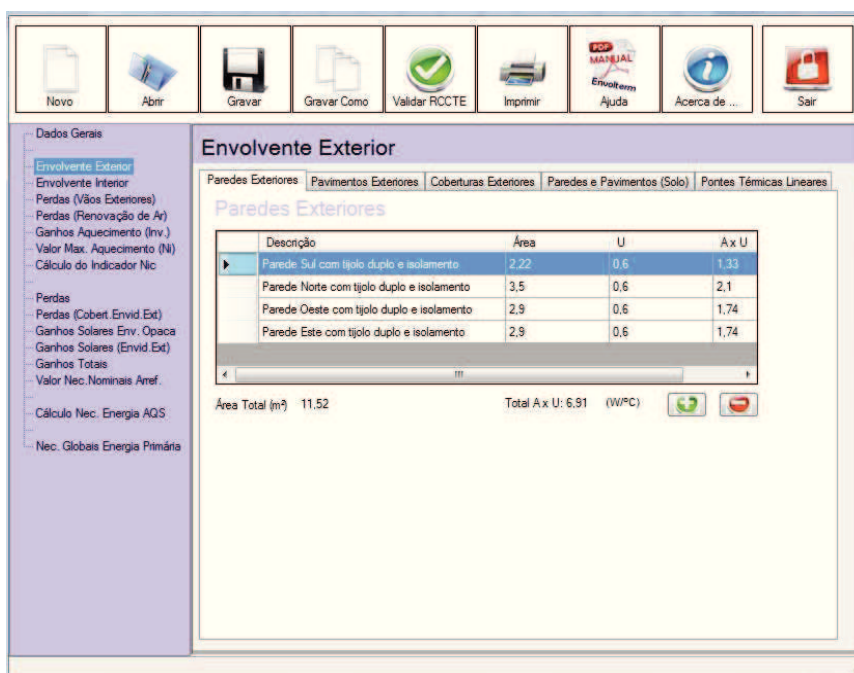


Figura 70 - Envoltório exterior da Parede de Tijolo Duplo com isolamento térmico de EPS na caixa de ar.

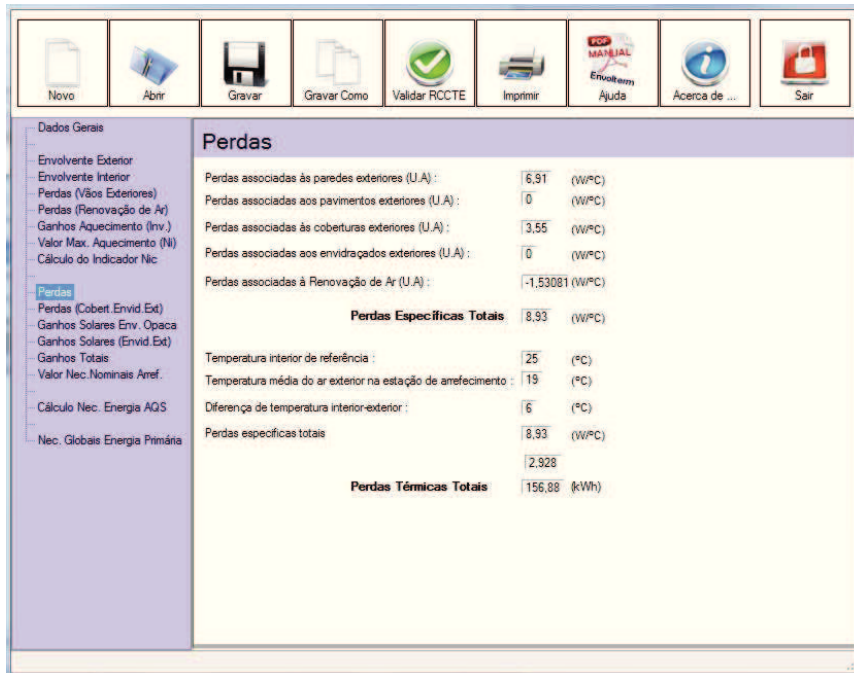


Figura 71 - Perdas da Parede de Tijolo Duplo com isolamento térmico de EPS na caixa de ar.

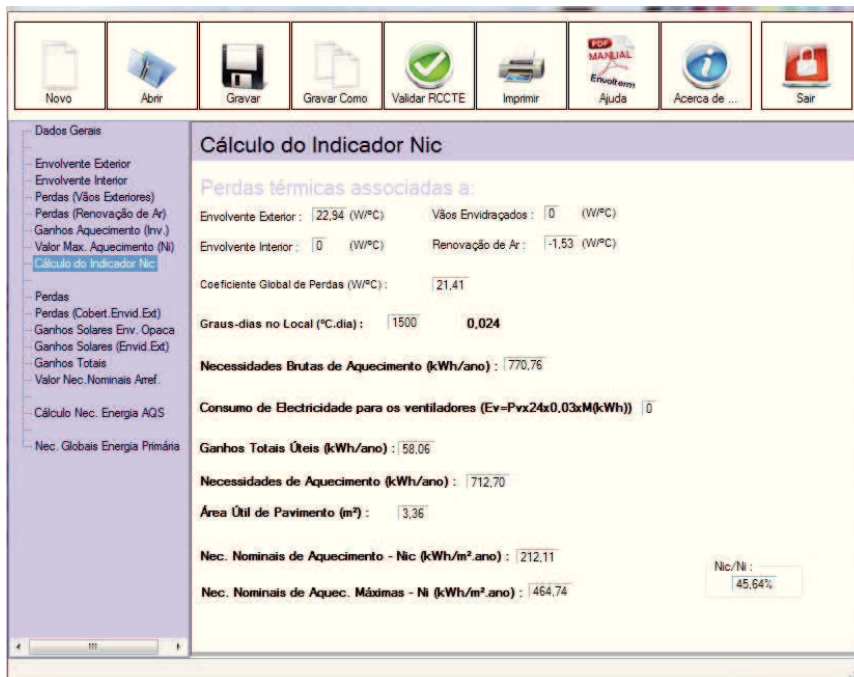


Figura 72 - Necessidades de aquecimento com Parede de Tijolo Duplo com isolamento térmico de EPS na caixa de ar.

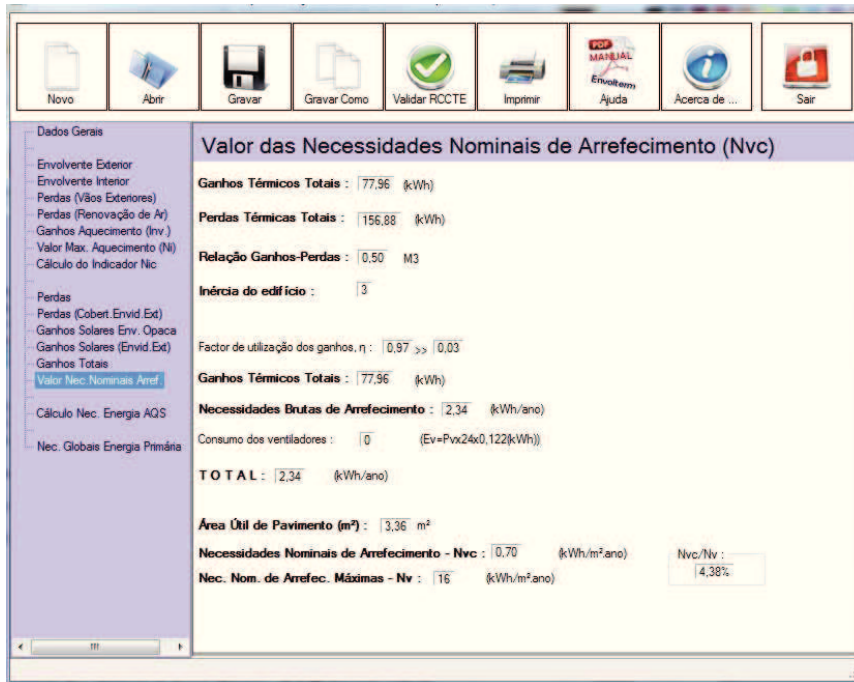


Figura 73 - Necessidades de arrefecimento com Parede de Tijolo Duplo com isolamento térmico de EPS na caixa de ar.

Parede com Tijolo térmico sem isolamento térmico (Figura 74, 75, 76 e 77)

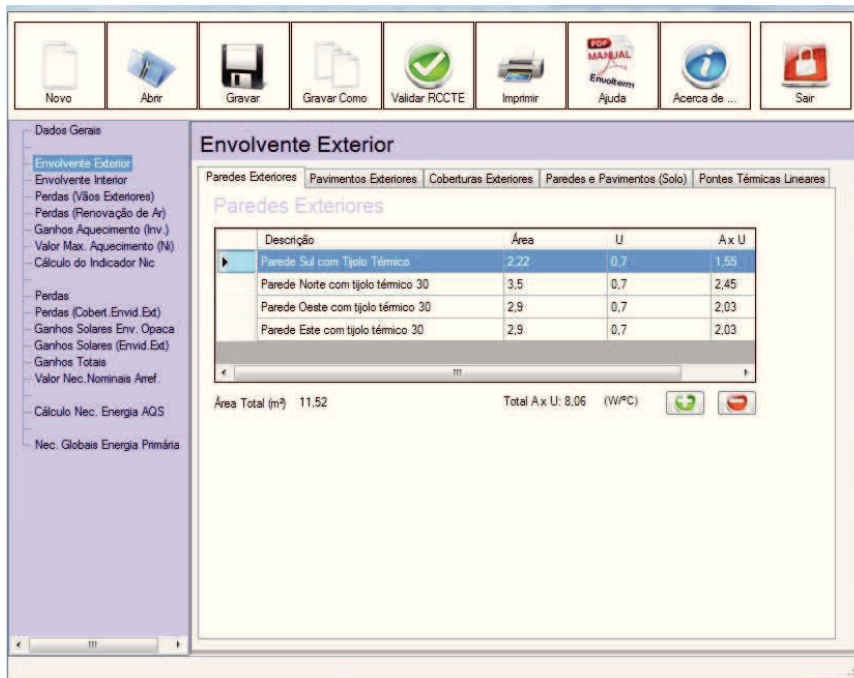


Figura 74 - Envolvente exterior da Parede de tijolo térmico sem isolamento térmico.

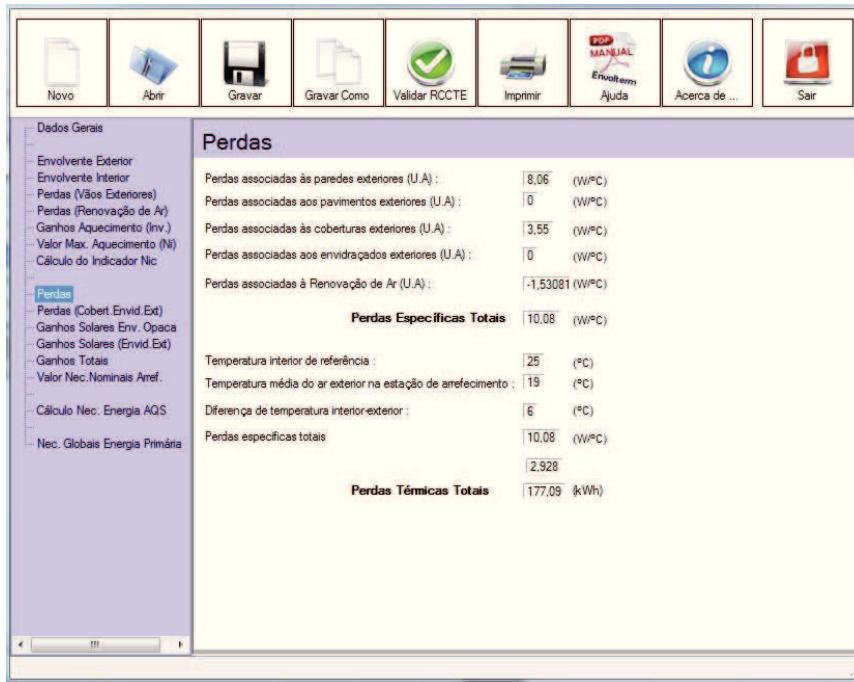


Figura 75 - Perdas da Parede de tijolo térmico sem isolamento térmico.

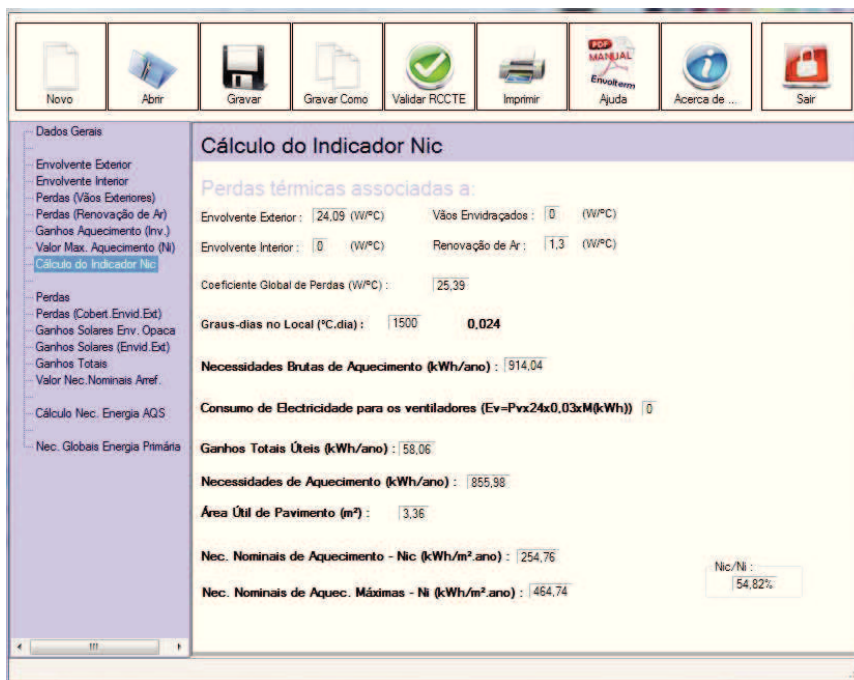


Figura 76 - Necessidades de aquecimento com Parede de tijolo térmico sem isolamento térmico.

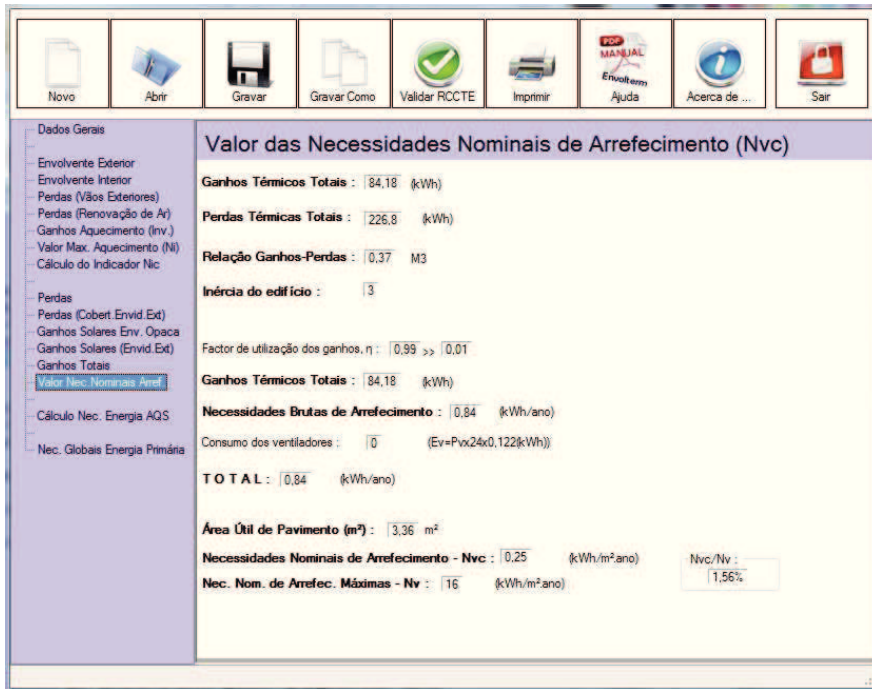


Figura 77 - Necessidades de arrefecimento com Parede de tijolo térmico sem isolamento térmico.

Parede com Tijolo térmico e sistema ETICS de XPS (Figura 78, 79, 80 e 81)

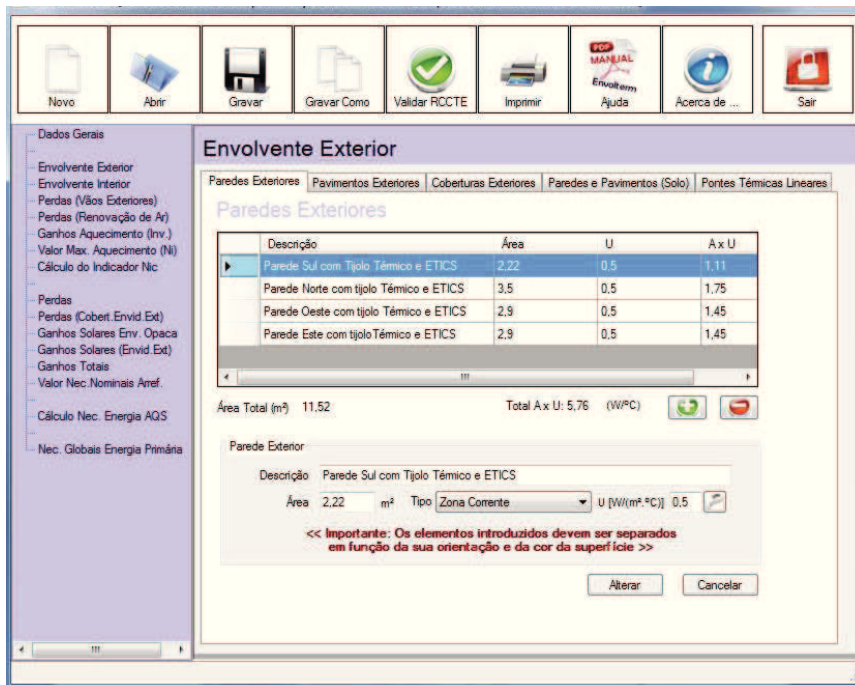


Figura 78 – Envoltente exterior da Parede de tijolo térmico e sistema ETICS

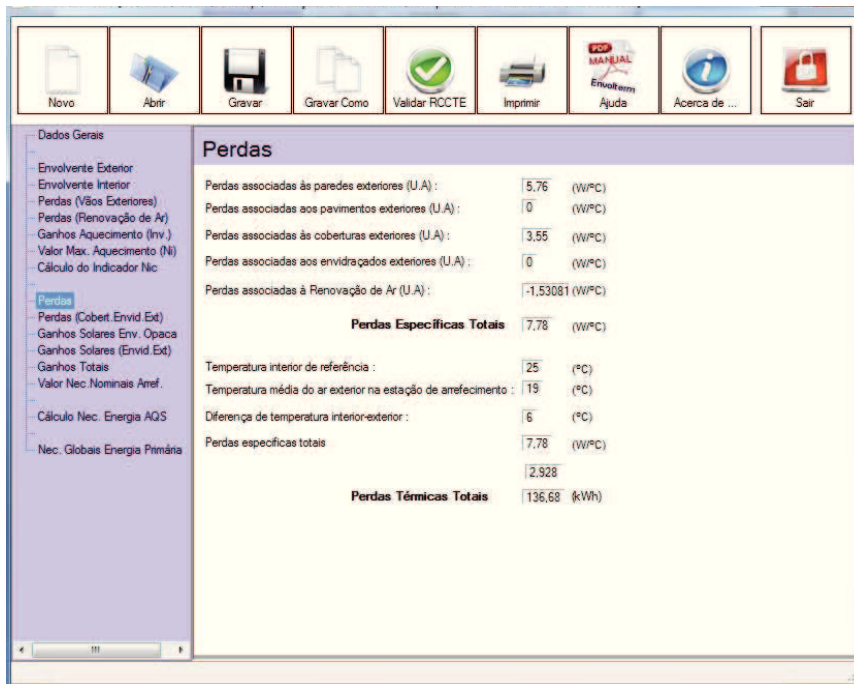


Figura 79 - Perdas da Parede de tijolo térmico e sistema ETICS

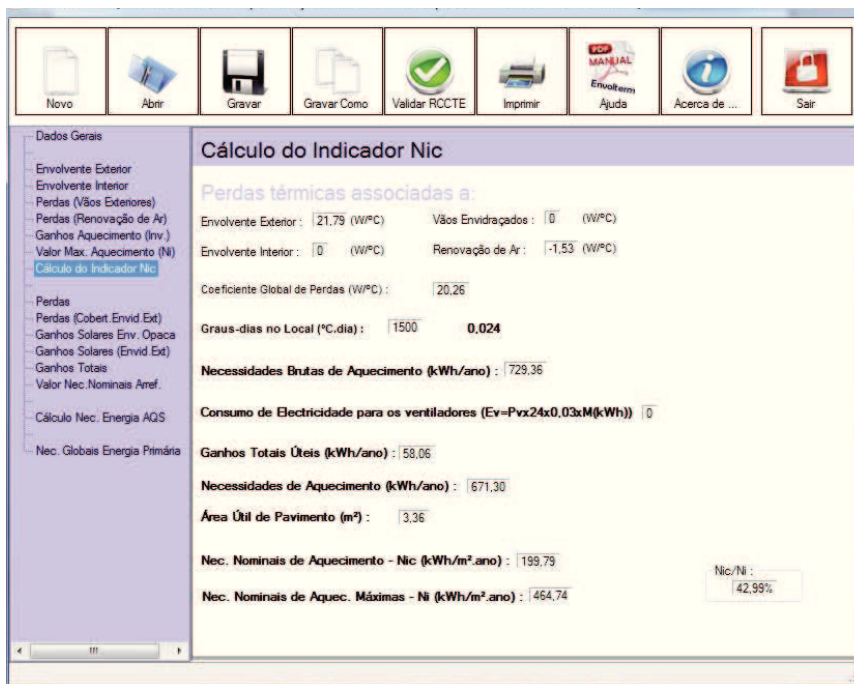


Figura 80 - Necessidades de aquecimento com Parede de tijolo térmico e sistema ETICS

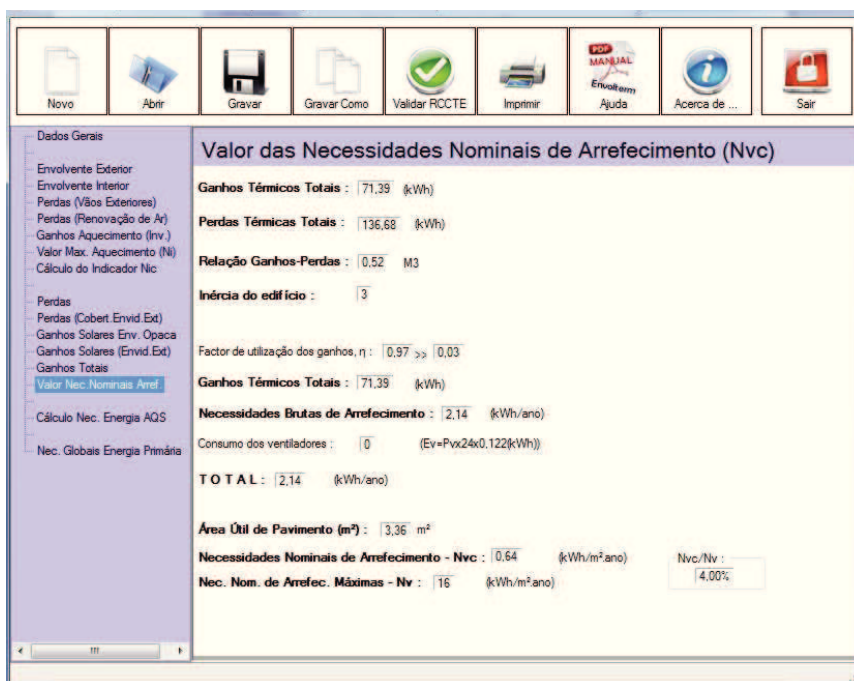


Figura 81 - Necessidades de arrefecimento com Parede de tijolo térmico e sistema ETICS

Analisando assim as perdas associadas às paredes exteriores, podemos concluir que aplicando uma parede de tijolo térmico com revestimento de ETICS face à parede dupla, iremos obter uma redução significativa de potência calorífica de 16,6%. Já a comparação entre tijolo térmico simples sem isolamento com o tijolo térmico com sistema ETICS, a diferença é ainda maior, subindo para 28,5%.

Ou seja, em termos de perdas pelas paredes podemos verificar que a mais eficiente será a solução de parede de tijolo térmico com revestimento de ETICS em XPS, de seguida a parede dupla com preenchimento em EPS e por fim a parede simples com o tijolo térmico sem isolamento térmico.

Relativamente às necessidades nominais de arrefecimento e aquecimento, verifica-se novamente a mesma situação que a anterior, como pode ser verificado na Tabela 13. Assim, em termos de eficiência energética a solução de parede com tijolo térmico e ETICS em XPS será a mais indicada relativamente às outras soluções testadas.

Tabela 13 - Perdas térmicas por solução construtiva

Tipo de Parede	Tipo de Material	Espessura (m)	U.A (W/°C)	Nic (kWh/m ² .ano)	Nvc (kWh/m ² .ano)
Parede dupla com isolamento térmico	Barro Vermelho + Poliestireno Expandido (EPS)	0,11 + 0,15 alvenaria 0,03 EPS	6,91	212,11	0,7
Parede de Tijolo térmico	Barro Vermelho	0,29	8,06	254,76	0,25
Parede de tijolo térmico de XPS em sistema ETICS	Barro Vermelho + Poliestireno Extrudido (XPS)	0,29 alvenaria 0,02 XPS	5,76	199,79	0,64

A análise para a escolha da aplicação do tipo de parede a utilizar em obra deve recair também sobre outros factores, como a reutilização do material, preço do produto, preço de mão-de-obra ou tempo de construção.

- **Reutilização:**

Em termos de consciencialização ambiental podemos verificar que das três hipóteses escolhidas, o barro vermelho encontra-se presente em todas elas. Este material pode ser reciclado ou valorizado como um agregado secundário através da incorporação deste resíduo em processos produtivos. Já o Poliestireno também se torna igualmente reaproveitável. Este pode ser recolhido e depois de limpo é colocado numa máquina para se retirar o gás presente no seu interior, tornando-o mais compacto. Seguidamente, poderá ser triturado, derretido ou granulado, voltando a ser uma matéria-prima que poderá ser utilizada na fabricação de diversos produtos, como molduras de quadros, sola de plástico para calçado ou até brinquedos.

- **Preço:**

Tendo em conta que no mercado existe um vasto leque de empresas de fornecimento de produtos para a construção civil, tentou-se obter valores o mais aproximados possíveis da realidade. Assim abordou-se empresas de construção civil para obter valores finais de venda com a aplicação de três tipos de alvenaria diferentes, assim como uma possível discriminação de valores da matéria-prima e tempo de montagem. Este valor poderá estar inflacionado em comparação com a compra directamente numa fábrica de produção. No entanto, o comum, será esse tipo de aquisição ser feito pela construtora. Assim, poderemos analisar os custos inerentes à construção de cada tipo de alvenaria, como poderão observar no quadro abaixo discriminado (Tabela 14).

Tabela 14 – Média de custos para a construção dos diferentes tipos de alvenaria em estudo, por empresas Portuguesas.

Tipo de Alvenaria	Material a aplicar	Espessuras (m)	Preço de material por m ² (€)	Preço de mão de obra por Homem (€/horas)	Tempo de construção por m ² em horas	Valor por m ² de Alvenaria (€)
Parede dupla com isolamento térmico	Tijolo furação horizontal	0,15	9	20	4	96,5
	Tijolo furação horizontal	0,11				
	Poliestireno Expandido	0,03	3,5			
	Restantes materiais como areia, cimento, calhas	n.d.	4			
Parede de Tijolo térmico	Tijolo de furação Vertical	0,29	16	20	1	38
	Restantes materiais como areia, cimento,	n.d.	2			
Parede de tijolo térmico com a aplicação de ETICS com XPS	Tijolo de furação Vertical	0,29	16	20	2	46
	Poliestireno Extrudido	0,02	5			
	Restantes materiais como areia, cimento,	n.d.	5			

Através da comparação de perdas térmicas por solução construtiva apresentadas na Tabela 13, podemos verificar que, além de obtermos uma redução de perdas pelas paredes na ordem dos 16,6% ao optarmos pela solução de tijolo térmico com a aplicação de ETICS com XPS, podemos também analisar, a partir da Tabela 14 e Figura 92, que o seu valor de construção é mais de metade em relação à construção da parede dupla.

Resumindo esta informação num gráfico de colunas, é possível comparar os três exemplos testados no *software Envolverm* (Figura 82).

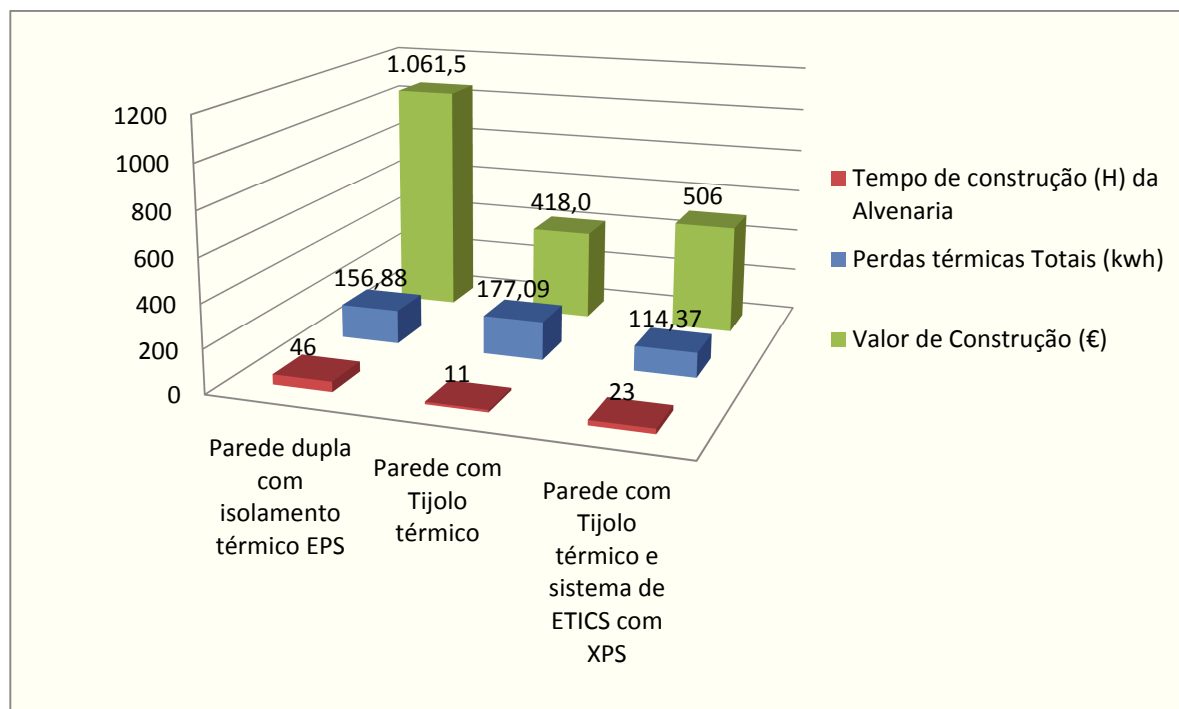


Figura 82 - Comparação gráfica das soluções de paredes

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

4 Conclusão

Actualmente existem no mercado inúmeras soluções construtivas para a edificação de alvenarias habitacionais. Utilizando a parede dupla com isolamento térmico como uma das soluções mais utilizadas na construção habitacional podemos verificar que comparativamente à opção de tijolo térmico sem isolamento térmico esta é mais eficiente a nível de perdas térmicas, em contra partida o seu custo de construção é mais elevado. A solução ideal será conjugar a solução de tijolo térmico, face à redução do custo global de construção das paredes, com o complemento de isolamento térmico pelo exterior. Assim não só possuirá menos perdas térmicas pelas envolventes exteriores da habitação, como o seu valor de construção será mais baixo quando comparado com a parede dupla com isolamento térmico na caixa de ar.

A nível de consciencialização ambiental, o tijolo térmico encontra-se igualmente bem posicionado em comparação ao tijolo tradicional, não existindo diferença na matéria prima de ambos, podendo ser reaproveitada no seu final de vida.

O seu custo de aquisição, apesar de ser mais elevado, acaba por compensar em obra, tendo em conta que a construção é efectuada com maior celeridade e menor custo.

O poliestireno expandido como extrudido também mantém as mesmas características no que toca a reutilização destes no final do ciclo de vida. Não são produtos tóxicos e não produzem elementos nocivos para o meio ambiente durante a sua funcionalidade.

Considerando os pontos acima referidos, poderemos concluir que a construção com o tijolo térmico e revestimento de ETICS em XPS é uma solução perfeitamente viável para o nosso mercado, cumprindo os requisitos tanto ambientais como térmicos para a construção de uma habitação mais amiga do ambiente, conciliando-a com uma redução da factura energética e do custo da construção.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

5 Referências Bibliográficas

- [1] International Energy Agency 2010
- [2] (Gonçalves, Graça, 2004)
- [3] European Environment Agency
- [4] <http://emissions.findthedata.org>
- [5] – Decreto Lei n.o. 80/2006
- [6] - DGEG - Direcção-Geral de Energia e Geologia
- [7] R. F. Navarro
- [8] Sousa, Hipólito, “Materiais para alvenaria. Apreciação de algumas produções e sugestões visando a melhoria da sua qualidade”, Tese de Mestrado em Construção de Edifícios. Porto, FEUP, 1988
- [9] Sousa, Hipólito, “Melhoria do comportamento térmico e mecânico das alvenarias por actuação na geometria dos elementos. Aplicação a blocos de betão de argila expandida”, Tese de doutoramento. Porto, FEUP, 1996
- [10] Branco, J. Paz, “Manual do Pedreiro”, M – 3, LNEC
- [11] BARDOU, Patrick e ARZOUMANIAN, Varoujan. Arquitecturas de adobe. Barcelona: Gustavo Gili, 1981
- [12] BARRETO, P. T. “Casas de câmara e cadeia” In: Arquitectura Oficial I
- [13] Simões, Abel, “O tijolo, velho e sempre o novo material de construção”, M291, LNEC
- [14] TEIXEIRA, Adriano (2006) – Características e Patologias de Soluções de Revestimento Térmico Exterior de Fachadas (ETICS). Dissertação de Mestrado, Departamento de Construção, Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- [15] Sandberg, 2007
- [16] Alexander, G.; The context of Renewable Energy Technologies, in Boyle, G. (ed); Renewable Energy – Power for a Sustainable future; Oxford University and Open University; Oxford; 1996
- [17] - Gonzalez, M. e Garcianavarro, J., Assessment of the decrease of CO2 emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environmental impact, Building and Environment, vol. 41, pp. 902-909, 2006.
- [18] – Ecocasa.pt

[19] – LNEG, 2006

[20] - VÁRIOS (2000), “Manual de alvenaria de tijolo”, APICER, CTCV,FCTUC, Coimbra

[21] – Freitas, 2000

[22] - Antunes, A.R., Alves, A.F., Delgado, A., Ferreira, F., Santos, P.S. e Milagre, R.,
Projecto EcoFamílias Relatório Final. QUERCUS, Lisboa, 2008.

[23] – Silva, P.C. Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais
através de Simulação em VisualDOE

[24] - p.Silva, 2006

[25] - P. Gouveia, 2008

[26] - INETI, 2004

Referências a imagens www.flickr.com

Anexos

Segue em anexo algumas definições relevantes no âmbito da presente dissertação retiradas do Regulamento das Características de comportamento térmico dos Edifícios.

Amplitude térmica diária (Verão) - valor médio das diferenças registadas entre as temperaturas máximas e mínimas diárias no mês mais quente.

Área de cobertura - área, medida pelo interior, dos elementos opacos da envolvente, horizontais ou com inclinação inferior a 60°, que separam superiormente o espaço útil do exterior ou de espaços não úteis adjacentes.

Área de paredes - área, medida pelo interior, dos elementos opacos da envolvente, verticais ou com inclinação superior a 60°, que separam o espaço útil do exterior, de outros edifícios, ou de espaços não úteis adjacentes.

Área de pavimento - área, medida pelo interior, dos elementos da envolvente que separam inferiormente o espaço útil do exterior ou de espaços não úteis adjacentes.

Área útil de pavimento - soma das áreas, medidas em planta pelo perímetro interior das paredes, de todos os compartimentos de uma fracção autónoma de um edifício, incluindo vestíbulos, circulações internas, instalações sanitárias, arrumos interiores e outros compartimentos de função similar e armários nas paredes.

Coefficiente 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;

Condutibilidade térmica - propriedade térmica típica de um material homogéneo que é igual à quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma camada de espessura e de área unitárias desse material por unidade de diferença de temperatura entre as suas duas faces.

Envolvente exterior - conjunto dos elementos do edifício ou da fracção autónoma que estabelecem a fronteira entre o espaço interior e o ambiente exterior.

Espaço útil - espaço correspondente à área útil de pavimento.

Estação convencional de aquecimento - período do ano com início no primeiro decêndio posterior a 1 de Outubro em que, para cada localidade, a temperatura média diária é inferior a 15°C e com termo no último decêndio anterior a 31 de Maio em que a referida temperatura ainda é inferior a 15°C.

Estação convencional de arrefecimento - conjunto dos quatro meses de Verão (Junho, Julho, Agosto e Setembro) em que é maior a probabilidade de ocorrência de temperaturas exteriores elevadas que possam exigir arrefecimento ambiente em edifícios com pequenas cargas internas.

Factor de utilização dos ganhos térmicos - fracção dos ganhos solares captados e dos ganhos internos que contribuem de forma útil para o aquecimento ambiente durante a estação de aquecimento.

Isolante térmico - material de condutibilidade térmica inferior a 0,065 W/m.°C, ou cuja resistência térmica é superior a 0,30 m².°C/W.

Necessidades nominais de energia útil de aquecimento (N_{ic}) - parâmetro que exprime a quantidade de energia útil necessária para manter em permanência um edifício ou uma fracção autónoma a uma temperatura interior de referência durante a estação de aquecimento.

Necessidades nominais de energia útil de arrefecimento (N_{vc}) - parâmetro que exprime a quantidade de energia útil necessária para manter em permanência um edifício ou uma fracção autónoma a uma temperatura interior de referência durante a estação de arrefecimento.

Necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias (N_{ac}) - parâmetro que exprime a quantidade de energia útil necessária para aquecer o consumo médio anual de referência de águas quentes sanitárias a uma temperatura de 60°C.

Necessidades nominais globais de energia primária (Ntc) - parâmetro que exprime a quantidade de energia primária correspondente à soma ponderada das necessidades nominais de aquecimento (Nic), de arrefecimento (Nvc) e de preparação de águas quentes sanitárias (Nac), tendo em consideração os sistemas adoptados ou, na ausência da sua definição, sistemas convencionais de referência, e os padrões correntes de utilização desses sistemas.

Pé-direito - altura média, medida pelo interior, entre o pavimento e o tecto de uma fracção autónoma de um edifício.

Ponte térmica plana - heterogeneidade inserida em zona corrente da envolvente, como pode ser o caso de certos pilares e talões de viga.

Resistência térmica de um elemento de construção - inverso da quantidade de calor por unidade de tempo e por unidade de área que atravessa o elemento de construção por unidade de diferença de temperatura entre as suas duas faces.

Resistência térmica total - inverso do coeficiente de transmissão térmica.

Solários (estufas, jardins de Inverno) - espaços fechados adjacentes a espaços úteis de uma fracção autónoma, dispondo de uma área envidraçada em contacto com o ambiente exterior e habitualmente destinados à captação de ganhos solares. Os solários (estufas, jardins de Inverno) não são considerados espaços úteis no âmbito da aplicação do RCCTE.

Temperaturas exteriores de projecto - temperatura exterior que não é ultrapassada inferiormente, em média, durante mais do que 2,5% do período correspondente à estação de aquecimento, ou excedida, em média, durante mais do que 2,5% do período correspondente à estação de arrefecimento, sendo portanto as temperaturas convencionadas para o dimensionamento corrente de sistemas de climatização.

Volume útil interior - é o volume do espaço fechado definido pelo produto da área útil de pavimento pelo pé-direito útil.