



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Estudo de Metodologia para a Etiquetagem Energética de Componentes de Alvenaria

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Território e Gestão do Ambiente

Autor

Tânia Pereira Moreira

Orientador

Nuno Albino Vieira Simões

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correcções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada.

Colaboração institucional



Coimbra, Julho, 2014

AGRADECIMENTOS

É nesta curta página que demonstro o quanto estou grata a todas as pessoas, que através das mais diversas contribuições possibilitaram a realização de um dos grandes desafios do meu percurso académico.

Deixo os meus agradecimentos:

Ao meu orientador Prof. Dr. Nuno Simões pela simpatia, franqueza e por todo o apoio dado durante este árduo e longo período. É de realçar a importância de todos os conselhos, esclarecimentos e materiais fornecidos para a realização deste projecto, mas quero sobretudo agradecer a disponibilidade para orientar esta dissertação.

Ao Márcio Gonçalves, membro da equipa de trabalho do ITeCons, pela sua valiosa colaboração, e por sempre ter manifestado grande disponibilidade no esclarecimento de qualquer dúvida.

A todos os colaboradores do ITeCons, particularmente ao Nilton Oliveira, pela hospitalidade e simpatia que sempre demonstraram.

Ao meu irmão Fernando Moreira pelo interesse e conselhos que permitiram o aperfeiçoamento do meu trabalho.

À minha restante família, amigos e colegas que sempre me apoiaram e incentivaram na realização desta dissertação, possibilitando um ambiente emocionalmente estável. Sem eles nada seria possível.

A todos o mais profundo e sincero **Obrigado!**

RESUMO

O sector residencial representa cerca de 40% do consumo energético a nível europeu, tornando-se necessária a alteração dos padrões de consumo através de medidas que possibilitem um aumento na eficiência energética.

É reconhecido que o desempenho energético dos edifícios não depende apenas dos sistemas instalados (electrodomésticos, iluminação, equipamentos de climatização, entre outros), mas também da sua envolvente (paredes, pavimentos, coberturas, vãos opacos e/ou envidraçados).

Neste sentido, e de modo a garantir um elevado desempenho energético e facilitar a escolha de produtos de construção, por parte dos fornecedores de soluções construtivas, projectistas, construtores e utilizadores dos edifícios, entre outros, considera-se pertinente, à semelhança do que já acontece com os electrodomésticos, e que passou a acontecer, recentemente, com as janelas, que sejam definidos critérios para a etiquetagem energética de produtos da construção (Directiva 2010/30/UE).

Esta dissertação apresenta assim, como objectivo, o desenvolvimento de uma metodologia que possibilite a etiquetagem energética de componentes de alvenaria, em particular tijolos cerâmicos e blocos de betão. Trata-se de uma metodologia em harmonia com a regulamentação europeia e nacional, baseada na diferenciação do desempenho energético dos produtos e que engloba quatro etapas fundamentais: preparação de dados climáticos, preparação de um edifício de referência, preparação das propriedades térmicas dos materiais e cálculo do desempenho energético para a estação de aquecimento e arrefecimento.

Em acréscimo à definição e posterior aplicação da metodologia é também realizada a comparação entre dois métodos de cálculo de desempenho energético, o método sazonal e o método horário.

Palavras-Chave: Etiquetagem energética, metodologia, propriedades térmicas, tijolos cerâmicos, blocos de betão.

ABSTRACT

The building sector accounts for 40% of the energy consumption in the European Union. In this sense, it has become of great importance to promote a change in consumption patterns, specifically through measures aimed at increasing energy efficiency.

It is known that the energy performance of buildings is not only dependent on the technical systems installed, such as appliances, lighting, cooling or ventilation systems, but also on all the elements that form part of the building envelope itself, e.g. walls, floors, roofs, opaque elements and/or glazing.

In this sense, and in order to ensure a high energy performance and facilitate the choice of construction products by manufacturers, designers, constructors and end-users, it is considered of major importance the definition of criteria for energy labelling (Directive 2010/30/UE), similar to what is already in place for appliances and most recently for windows.

The present dissertation aims at the development of a methodology enabling energy labelling of masonry components, particularly ceramic bricks and concrete blocks. The methodology, in harmony with European and National regulations, and based on the differentiation of the energy performance of products, encompasses four fundamental stages: the preparation of climatic data, the preparation of a reference building, the preparation of the materials' thermal properties and the calculation of the energy performance for the heating and cooling season.

In addition to the definition and subsequent application of the methodology, it is also held a comparison between two methods for calculating energy performance: the seasonal method and the hourly method.

Keywords: Energy labelling, methodology, thermal properties, ceramic bricks, concrete blocks.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Motivação.....	6
1.3	Objectivos.....	6
1.4	Estrutura da dissertação.....	7
2	ESTADO DA ARTE.....	9
2.1	Etiquetagem energética de soluções construtivas	9
2.2	Comportamento térmico e energético de alvenarias	11
2.3	Enquadramento normativo	13
2.4	Estudo do mercado	15
3	METODOLOGIA PARA A ETIQUETAGEM ENERGÉTICA DE ALVENARIAS	19
3.1	Introdução.....	19
3.2	Dados climáticos	20
3.3	Edifício de referência	22
3.4	Propriedades térmicas das alvenarias	23
3.5	Cálculo do desempenho energético	25
4	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	27
4.1	Preparação de dados climáticos.....	27
4.2	Preparação do edifício de referência	31
4.3	Preparação das propriedades térmicas das alvenarias	36
4.4	Cálculo do desempenho energético	38
4.4.1	Método sazonal.....	38
4.4.2	Método horário	40
5	DISCUSSÃO DE RESULTADOS	42
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Etiqueta energética para frigorífico; a) modelo antigo; b) modelo recente [14]....	4
Figura 1.2 – Relação entre <i>ecodesign</i> , etiquetagem energética e <i>eco-label</i> [16].....	5
Figura 2.1 – a) Etiqueta energética de janelas; b) Etiqueta de registo de janelas [19].....	10
Figura 2.2 – Configuração do bloco de betão leve proposto por Sousa <i>et al.</i> (2014) [27].....	12
Figura 3.1 – Esquema de síntese da metodologia para dois métodos de cálculo de desempenho energético (baseado na norma ISO 18292:2011) [17].....	20
Figura 3.2 – Zonas climáticas de Inverno e Verão para Portugal; a) zonas climáticas de Inverno, I1, I2 e I3; b) zonas climáticas de Verão, V1, V2 e V3	22
Figura 4.1 – Representação do edifício de referência; a) vista Sul/Este; b) vista Norte/Oeste.	32
Figura 4.2 – Representação simplificada de a) envolvente opaca; b) cobertura; c) pavimento do edifício de referência	34
Figura 4.3 – Identificação das PTL consideradas para o edifício de referência	35

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Características de tijolos cerâmicos comerciais [31].....	15
Quadro 2.2 – Características de blocos de betão comerciais [32], [33]	16
Quadro 3.1 – Critérios para a determinação da zona climática de Inverno	21
Quadro 3.2 – Critérios para a determinação da zona climática de Verão	21
Quadro 4.1 – Valores de referência para a estação de aquecimento	27
Quadro 4.2 – Valores de referência para a estação de arrefecimento.....	28
Quadro 4.3 – Zonas climáticas das cidades de Bragança, Leiria e Beja	28
Quadro 4.4 – Especificações do edifício de referência	31
Quadro 4.5 – Componentes da envolvente opaca do edifício de referência.....	32
Quadro 4.6 – Componentes da cobertura do edifício de referência	33
Quadro 4.7 – Componentes do pavimento do edifício de referência	33
Quadro 4.8 – Valores das propriedades térmicas de alvenarias admitidas para a aplicação da metodologia	36
Quadro 4.9 – Cenários de massa volúmica e calor específico para simulação através do método horário.....	37
Quadro 5.1 – Valores limite de resistência térmica e necessidades energéticas para cada classe energética.....	48

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1 – Consumo de energia final por sector de actividade para o período 2000-2012 em Mtep para EU-28 [5].....	2
Gráfico 4.1 – Comportamento energético das cidades de Bragança, Leiria e Beja para as estações de aquecimento e arrefecimento.....	29
Gráfico 4.2 – Comparação das necessidades energéticas de aquecimento (Nic) e arrefecimento (Nvc) através da utilização de um ficheiro climático médio (FM) e a média das 3 cidades representativas (M3).....	30
Gráfico 4.3 – Comparação gráfica de diferentes cenários para verificação da influência da massa volúmica e calor específico no comportamento energético do edifício.....	37
Gráfico 4.4 – Necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento (método sazonal)	39
Gráfico 4.5 – Necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento para 3 classes de inércia térmica	40
Gráfico 4.6 – Necessidades energéticas para os meses de Janeiro e Julho (método horário) ..	41
Gráfico 5.1 – Comparação gráfica do método sazonal e horário para os meses de Janeiro e Julho	42
Gráfico 5.2 – Comparação discriminada entre o método sazonal e dinâmico para a estação de aquecimento.....	43
Gráfico 5.3 – Verificação do efeito da correcção das pontes térmicas lineares na estação de aquecimento.....	44
Gráfico 5.4 – Comparação discriminada entre o método sazonal e dinâmico para a estação de arrefecimento	45
Gráfico 5.5 – Resultados totais da aplicação da metodologia através do método sazonal e horário.....	46
Gráfico 5.6 – Definição da classificação energética através do método sazonal	47
Gráfico 5.7 – Definição da classificação energética através do método horário.....	47

SIMBOLOGIA

∈ – Pertence a

λ – Condutibilidade térmica, em W/(m.°C)

$\lambda_{equiv.}$ – Condutibilidade térmica equivalente, em W/(m.°C)

Ψ – Coeficiente de transmissão térmica linear, em W/(m.°C)

ρ – Massa volúmica, em kg/m³

α – Difusividade térmica, em m²/s

c_p – Calor específico, em J/(kg.°C)

e – Espessura, em m

F_g – Fracção envidraçada

g – Factor solar do vidro

g_T – Factor solar global com todos os dispositivos permanentes ou móveis activados

g_{vi} – Factor solar do vidro para uma incidência normal ao vão

L – Classe de permeabilidade ao ar da janela

N_{ic} – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento, em kWh/(m².ano)

N_{vc} – Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento, em kWh/(m².ano)

R_T – Resistência térmica, em (m².°C)/W

U – Coeficiente de transmissão térmica, em W/(m².°C)

U_w – Coeficiente de transmissão térmica da janela, em W/(m².°C)

Grandezas físicas

°C – Graus Celsius

cm – Centímetros

h – Horas

J – Joule

kg – Quilograma

kWh - Quilowatt-hora

m² – Metros quadrados

m³ – Metros cúbicos

mm – Milímetros

Mtep – Milhares de toneladas de petróleo equivalente

W – Watt

SIGLAS

ACV – Avaliação do ciclo de vida

ADENE – Agência para a energia

AQS – Águas quentes sanitárias

CE – Comissão Europeia

EPS – Poliestireno expandido

GD – Graus-dia

GEE – Gases com efeito de estufa

ITeCons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LNEG – Laboratório Nacional de Engenharia e Geologia

NUTS III – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos de nível III

NZEB – *Net Zero Energy Buildings*

PTL – Pontes térmicas lineares

REH – Regulamento do desempenho energético dos edifícios de habitação

SCE – Sistemas de certificação energética de edifícios

SEEP – Sistema de etiquetação energética de produtos

UE – União Europeia

UE-28 – Vinte e oito Estados-membro da União Europeia

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

O crescimento da população mundial, bem como a alteração dos seus hábitos e necessidades, têm provocado uma pressão excessiva sobre os recursos energéticos e conseqüentemente, um aumento na emissão de gases com efeito de estufa (GEE). Medidas a nível mundial como o Protocolo de Quioto, que prevê a redução de emissões de GEE, ou as Conferências das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio de Janeiro, 1992 e 2012; Joanesburgo, 2002), que pretendem vincular um compromisso político relativamente ao desenvolvimento sustentável, têm vindo a demonstrar-se ferramentas indispensáveis para um crescimento sustentado. É de particular relevância, também para um contexto nacional, referir o surgimento, em 2007, da estratégia de crescimento Europa 2020. A Comissão Europeia (CE) adoptou para os 28 Estados-membros, uma estratégia ambiciosa que contempla como parte dos objectivos fundamentais, a diminuição de 20% das emissões de GEE comparativamente aos níveis registados em 1990, o aumento para 20% as fontes de energia renovável e o aumento de 20% na eficiência energética, demonstrando a crescente preocupação com estas problemáticas [1].

O sector energético é o principal pilar da indústria, população e economia, representando a origem de cerca de 80% das emissões de GEE. Por estas razões e devido ao aumento do preço da energia e à diminuição da competitividade europeia, a energia é o um dos grandes desafios da União Europeia (UE). Como estratégia para contrariar as presentes tendências é pertinente verificar que a UE prevê incentivos a processos de certificação energética tanto a nível de edifícios como de produtos [2].

O sector residencial representa uma percentagem significativa no consumo final de energia. Quando é feita uma análise do consumo energético por sector (Gráfico 1.1), verificam-se valores aproximados de 38% (doméstico e serviços), para o período 2000-2012, sendo portanto, um sector com representatividade no potencial de poupança de energia a nível europeu [3], [4]. Devido à necessidade de uma mudança de paradigma no que remete ao consumo energético do sector residencial, são importantes instrumentos que possibilitem um aumento no desempenho energético, como a certificação energética de edifícios e a análise ecológica e energética de

produtos, por parte dos produtores/consumidores, através de abordagens como *ecodesign*, etiquetagem energética e rótulo ecológico.

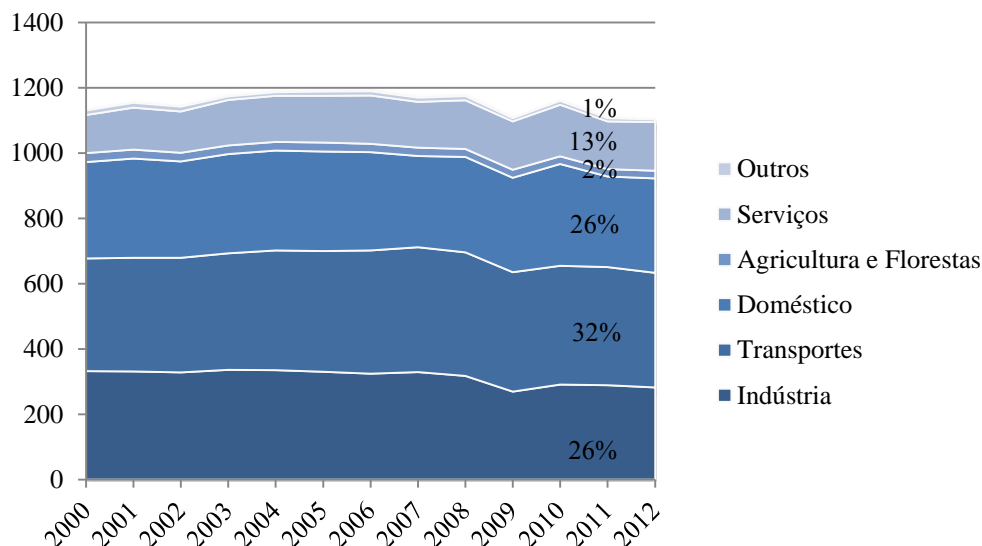


Gráfico 1.1 – Consumo de energia final por sector de actividade para o período 2000-2012 em Mtep para EU-28 [5]

A melhoria do desempenho energético está, portanto, centrada em três componentes principais:

- Melhoria do desempenho energético de edifícios (Directiva 2010/31/EU);
- Conceção ecológica dos produtos (Directiva 2009/125/EC);
- Etiqueta energética (Directiva 2010/30/EU).

A certificação energética de edifícios em Portugal é regida pelo Decreto-lei 118/2013, de 20 de Agosto de 2013, denominado por Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), de aplicação obrigatória e tem como objectivo principal contribuir para um aumento no desempenho energético dos edifícios. Pretendem-se melhorias ao nível do comportamento térmico das envolventes e também dos sistemas técnicos instalados, sistemas de climatização, de preparação de águas quentes sanitárias (AQS), de iluminação e de aproveitamento de energias renováveis, impondo assim requisitos de eficiência energética e valores mínimos na utilização de fontes de energia renovável. Esta regulamentação, como metodologia de identificação das propriedades térmicas dos produtos, já reconhece validade no sistema de etiqueta energética de produtos ou soluções construtivas [6].

A par da certificação energética pretende-se que a partir de 2020, o padrão de construção se baseie no conceito de edifícios de energia quase nula (*NZEB's*), atingindo-se o auge da eficiência energética para o futuro parque edificado europeu [6].

A Directiva 2009/125/CE, de 21 de Outubro de 2009, define os requisitos mínimos para a concepção ecológica de produtos que consomem energia, mais correntemente denominada de *ecodesign*. *Ecodesign* surge para melhorar os produtos através da promoção da sua eficiência energética e a da eficiência na utilização dos recursos na sua concepção, promovendo portanto a diminuição dos custos associados a cada produto e um desenvolvimento sustentável. Para a determinação do cumprimento dos requisitos mínimos impostos pela directiva, o elemento chave é a avaliação do ciclo de vida (ACV) dos produtos. Esta pretende quantificar a energia e os materiais utilizados e os possíveis impactes ambientais provocados nas suas fases do ciclo de vida, desde da extracção da matéria-prima até ao seu final de vida como resíduo, sendo que são considerados os mais diferentes aspectos ambientais em cada uma das fases. Trata-se de uma ferramenta que prevê a introdução no mercado e a livre circulação de produtos desde de que estes cumpram os requisitos mínimos impostos [7].

Como elemento principal para a elaboração deste trabalho surge o sistema de etiquetação energética. A etiquetação energética pretende possibilitar a comparação entre produtos com a mesma função, numa tentativa de alcançar uma significativa diminuição no consumo de energia, ou seja, um aumento na eficiência energética, adquirindo destaque como mecanismo para atingir as metas proposta para a UE [8]. A etiqueta energética tem como objectivo principal facilitar as escolhas dos consumidores e direccioná-los para produtos mais eficientes.

A etiquetação energética, ao contrário do *ecodesign*, centra-se exclusivamente na fase de utilização do produto, excluindo a ACV, que por si só pode ser uma desvantagem para o sistema. Há conhecimento de propostas para alargar a etiqueta energética para um “rótulo de concepção ecológica”, que passaria a abranger o desempenho ambiental dos produtos. Colocou-se a possibilidade de introduzir na etiqueta informações como pegada de carbono, pegada hídrica, depleção dos recursos e contaminação de água, relativas ao ciclo de vida do produto [9], [10].

Até à entrada em vigor da Directiva 2010/30/EU, de 19 de Maio de 2010, transposta para a ordem jurídica nacional como decreto-lei nº 63/2011, de 9 de Maio, apenas seriam alvo de etiquetação energética, os produtos com impacte directo no consumo de energia, passando posteriormente a estar abrangidos, de igual forma, os produtos que tenham influência, mesmo que indirecta, no consumo energético [8], [11]. Desta forma surge a possibilidade de etiquetar produtos de construção, que exercem impacte indirecto no consumo energético dos edifícios.

A classificação é definida através de uma escala alfabética de 7 elementos de A a G por ordem decrescente de eficiência. A Directiva 2010/30/EU prevê a eventual utilização de mais três classes, respectivamente, A+, A++ e A+++, motivada por exemplo pelo que acontece com as máquinas de lavar a loiça que em virtude do progresso tecnológico e imposições relativas à directiva *ecodesign*, apresentavam em geral uma classe energética elevada (A), explicando assim a necessidade de alargar o número de classes e de reavaliações dos critérios inicialmente definidos [12].

Em 2013 surge um novo modelo de etiqueta energética, no entanto alguns electrodomésticos continuam a utilizar o modelo antigo (Figura 1.1). Ambos os modelos são caracterizados por serem de percepção simples por parte dos consumidores, e para além da identificação do produto e da classe energética apresentam outras informações como o consumo de energia, o consumo de água, o tamanho e os níveis sonoros caso sejam aplicáveis [13].

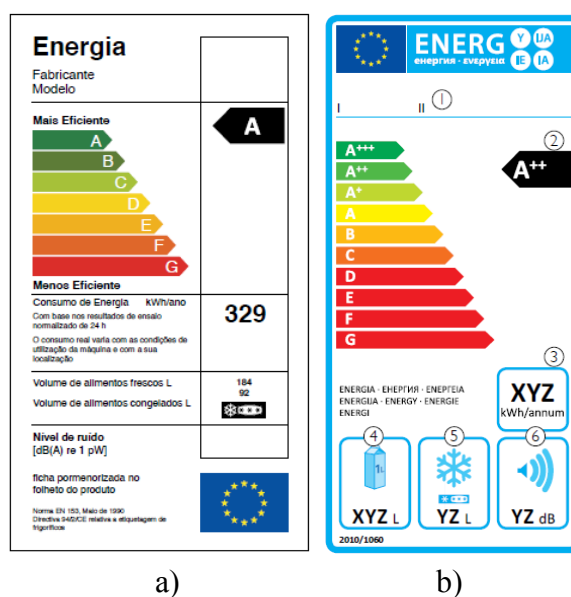


Figura 1.1 – Etiqueta energética para frigorífico; a) modelo antigo; b) modelo recente [14]

É interessante entender que, segundo um estudo realizado com cerca de 20000 famílias os principais factores que conduzem as famílias a optar por produtos com classe energética superior, conhecendo o sistema de etiquetagem, estão em grande parte relacionados com os custos da energia da região e das características das residências, permitindo concluir que a consciência ambiental sobre o consumo energético ainda não está completamente presente na sociedade. Surpreendentemente, as características socioeconómicas revelaram-se pouco significativas na escolha de produtos mais eficientes [15].

O rótulo ecológico ou *Eco-label* possibilita a valorização de uma gama alargada de produtos, no entanto é de particular interesse evidenciar todos os produtos que, directa ou indirectamente, estejam relacionados com o consumo de energia. Para produtos consumidores de energia é-lhes concedida a etiqueta ecológica desde de que, em termos de *ecodesign*, apresentem um comportamento acima da média e que perante a etiquetagem energética apresentem uma boa classificação. O rótulo ecológico traz vantagens devido ao aumento de visibilidade no mercado, dos produtos e respectivos produtores, provocando alterações significativas no “pensar” ecológico das empresas [1], [16].

Na Figura 1.2 é possível verificar a relação entre os 3 instrumentos, *ecodesign*, etiquetagem energética e *eco-label* para um produto directamente relacionado com o consumo de energia (lâmpada). Constata-se um estrangulamento relativamente à eficiência energética à medida que as características energéticas e ecológicas dos produtos se elevam. Resumidamente, podemos definir *ecodesign* como um instrumento que pretende banir os produtos com baixa eficiência, enquanto por sua vez a etiquetagem energética possibilita uma comparação entre produtos semelhantes, mas com desempenhos energéticos distintos. Finalmente, o *eco-label* define-se como uma bonificação para produtos que se distinguem energeticamente [16].

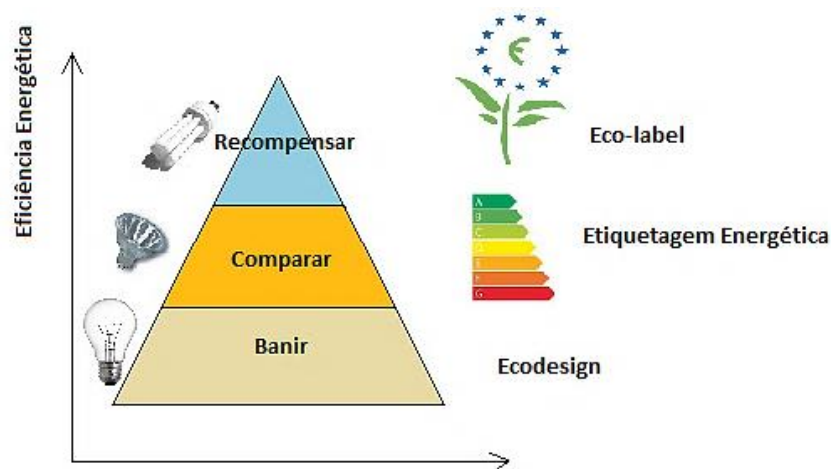


Figura 1.2 – Relação entre *ecodesign*, etiquetagem energética e *eco-label* [16]

Após breve enquadramento acerca de instrumentos que possibilitam e incentivam o aumento da eficiência energética e a consciencialização dos desafios energéticos que a Europa enfrenta, a possibilidade de criar uma etiqueta energética de produtos não regulados torna-se clara e objectiva. Por isso, no âmbito das alterações da directiva sobre etiquetagem energética e devido

à importância do desempenho energético dos edifícios surgem os componentes de alvenaria¹, mais concretamente os tijolos cerâmicos e blocos de betão para utilização essencialmente em paredes/fachadas de edifícios, como elementos com elevado potencial de poupança de energia no sector residencial e potenciais alvo de um sistema de etiquetação energética.

1.2 Motivação

A possibilidade de uma contribuição significativa para a poupança de energia a nível nacional, e conseqüente redução de emissões de GEE, devido à diminuição do consumo energético e de recursos são as grandes motivações de um projecto desta natureza. Desta forma, num contexto de eficiência energética, pretende-se contribuir para o desenvolvimento de uma metodologia de etiquetação energética de componentes de alvenaria, adequada à realidade portuguesa.

As alvenarias representam uma grande percentagem das soluções construtivas habitualmente adoptadas a nível nacional. Assim pela sua representatividade no sector residencial, pela importância que fluxos globais de calor através da envolvente e, conseqüentemente, pelo seu potencial na economia energética, os tijolos cerâmicos e blocos de betão tornam-se produtos meritoriamente passíveis de estudo.

A etiquetação pretende facilitar a escolha de produtos com elevado desempenho energético por parte dos fornecedores, projectistas, construtores, utilizadores, entre outros, bem como valorizar os produtos etiquetados, tal como já acontece com as janelas, que representam os primeiros componentes construtivos sujeitos a etiquetação energética voluntária a nível nacional.

1.3 Objectivos

Para atingir resultados credíveis é necessário traçar um conjunto de objectivos principais que servirão também de base à estrutura deste trabalho.

Numa fase inicial, pretende-se realizar uma revisão do estado da arte de modelos de etiquetação energética, especificamente sistemas aplicáveis a soluções construtivas, e do comportamento térmico e energético das alvenarias, de modo a compreender a importância dos materiais de alvenaria para o universo construtivo.

¹ Alvenaria – associação de elementos naturais ou artificiais. A ligação é, normalmente, assegurada por uma argamassa. Os elementos naturais são pedras irregulares ou regulares, os artificiais podem ser cerâmicos, de betão ou outros [42].

Para garantir o interesse, e identificar os materiais alvo do estudo é essencial realizar um levantamento dos componentes de alvenaria existentes no mercado nacional, bem como das suas principais características de relevância para o estudo. Neste campo é também importante determinar quais as normas essenciais para os diversificados métodos de ensaio utilizados para a obtenção das referidas características e de parâmetros necessários para o desenvolvimento das etapas da metodologia.

Como objectivo fulcral situa-se a definição de uma metodologia para a etiquetação energética de alvenarias. Pretende-se uma metodologia concisa, onde os métodos de cálculo sejam realizados em ambiente suficientemente próximo do ambiente de utilização real do produto. Esta compreende uma sequência de procedimentos intermédios como:

- Preparação de dados climáticos de Portugal para as estações climáticas de aquecimento (Inverno) e de arrefecimento (Verão);
- Preparação de dados de um edifício de referência. Esta fase tem como objectivo a definição de um edifício de referência com as características geométricas e termofísicas perfeitamente definidas;
- Preparação das propriedades térmicas das alvenarias. Trata-se de uma fase de extrema importância e com elevada necessidade de rigor. Esta passará pela identificação das propriedades de maior relevância no que diz respeito ao comportamento térmico das alvenarias.
- Cálculo do desempenho energético. A fase final traduz o resultado de todas as fases indicadas anteriormente, onde se realiza o cálculo do desempenho energético para um conjunto diversificado de situações [17], [18];

Para uma análise mais diferenciada, pretende-se explorar o cálculo do desempenho energético em duas vertentes, através do método sazonal e do método horário. Assim, verificar-se-á se a escala de classificação energética depende, ou não, da abordagem metodológica definida.

Por fim, pretende-se a discussão dos resultados e a verificação da fiabilidade da metodologia e dos métodos, com vista à criação de uma escala de classificação, para uma possível implementação de etiqueta energética em alvenarias.

1.4 Estrutura da dissertação

De forma a facilitar a leitura desta dissertação apresenta-se a sua estrutura principal. O trabalho encontra-se dividido em 7 capítulos, estes pretendem abordar os assuntos a que se dedicam de forma objectiva e organizada.

No presente capítulo, Introdução, pretende-se apresentar as motivações e as temáticas base do trabalho, a sua relevância, os principais objectivos a alcançar e de que forma se pretendem atingir.

O segundo capítulo, Estado da Arte, apresenta uma investigação acerca de sistemas de etiquetação energética de produtos, mais concretamente, de soluções construtiva e estudos respeitantes ao comportamento térmico e energético das alvenarias. Finalizando com um breve enquadramento normativo e um estudo de mercado a nível nacional, de tijolos cerâmicos e blocos de betão, respectivas características.

No terceiro capítulo, Metodologia de Etiquetação Energética de Alvenarias, é apresentada de forma completa todos os elementos fundamentais para a criação de uma escala de classificação de etiquetação energética.

Na sequência do capítulo anterior surge o quarto capítulo, Aplicação da Metodologia, onde se apresenta a aplicação da metodologia, segundo pressupostos representativos da realidade portuguesa.

No capítulo Discussão de Resultados é apresentada uma análise pormenorizada dos resultados obtidos e uma comparação entre métodos de cálculo de desempenho energético, para a subsequente definição de uma escala de classificação energética.

No penúltimo capítulo, Considerações Finais, apresentam-se as principais conclusões de todo o trabalho realizado, as dificuldades encontradas na sua realização e possíveis trabalhos futuros na área de etiquetação energética de produtos.

No capítulo Referências Bibliográficas é possível verificar todos os elementos sob os quais este trabalho foi sustentado. Encontra-se organizado de forma numérica, possibilitando ao leitor a rápida percepção da fonte da informação.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Etiquetação energética de soluções construtivas

Dado o enfoque principal deste trabalho prevê-se necessária a realização de um estado da arte referente a sistemas de etiquetação para soluções construtivas. Devido à recente entrada em vigor da Directiva 2010/30/EU, de 19 de Maio de 2010, que veio introduzir a possibilidade de etiquetação energética a outra tipologia de produtos, não é conhecido um número significativo de sistemas de etiquetação. Num contexto, fundamentalmente, nacional é de salientar a criação do sistema de etiquetação energética de produtos (SEEP), gerido pela agência para a energia (ADENE), direccionado para o sector da construção. Como primeiro produto construtivo sujeito a etiquetação energética voluntária surgem as janelas, em Maio de 2013 [19].

A etiquetação energética das janelas surge devido à sua importância no comportamento térmico e energético dos edifícios. Trata-se de um elemento que fragiliza as envolventes exteriores dos edifícios, pois ocorrem significativas perdas e ganhos de calor no Inverno e no Verão. No entanto são elementos com extrema importância em termos de iluminação e qualidade do ar interior, que consequentemente garantem a salubridade dos espaços. Devido às evidências apresentadas surge uma grande diversidade de estudos, no âmbito do efeito dos envidraçados no comportamento energético global dos edifícios, que incentivaram a criação de uma etiqueta energética de janelas.

Tratando-se de um produto indirectamente relacionado com o consumo de energia e não sujeito a acto delegado, a etiqueta energética é de cariz voluntário, ao contrário do que acontece com a etiquetação de lâmpadas e luminárias, aparelhos de ar condicionado, máquinas de lavar e secar, frigoríficos, televisores e fornos eléctricos [20].

A metodologia para a etiquetação energética de janelas baseia-se na norma ISO 18292:2011, de Abril de 2011 (*“Energy performance of fenestration systems for residential buildings- Calculation procedure”*). Para a sua aplicação, os principais parâmetros necessários são: o coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w), o factor solar do vidro (g) e a classe de permeabilidade ao ar (L). Os parâmetros fundamentais são obtidos, pelas empresas, para a

obtenção da marcação CE, não sendo necessário qualquer género de procedimento ou ensaio adicional, por parte dos fornecedores, para a aplicação da metodologia de etiquetagem.

A etiqueta energética utilizada pelo SEEP (Figura 2.1) contempla as seguintes elementos e informações:

- 1) *QR Code* – permite o acesso a informação adicional sobre o produto através de meios tecnológicos;
- 2) Tipo de produto/subsistema, marca, modelo e referência do produto (ID SEEP);
- 3) Classes energéticas – 7 classes de A a G com possibilidade de expansão;
- 4) Desempenho energético expresso em kWh/m².mês;
- 5) Parâmetros técnicos como U_w , g , L e atenuação acústica.

Outro elemento essencial é a etiqueta de registo que é colocada estrategicamente para acompanhar o produto durante o seu tempo de vida. Esta contém o número único de produto, a classe energética, tipo de produto, *QR code* e etiqueta *NFC tag*. A etiqueta de registo garante algumas vantagens como: o acesso à informação do produto pelo cliente final, facilitar no processo de obtenção de dados na certificação energética, facilitar a manutenção ou substituição do produto, e permitir a realização de uma distribuição geográfica dos produtos etiquetados [19]. A Directiva 2010/30/EU indica também a necessidade uma ficha informativa que acompanha os produtos.

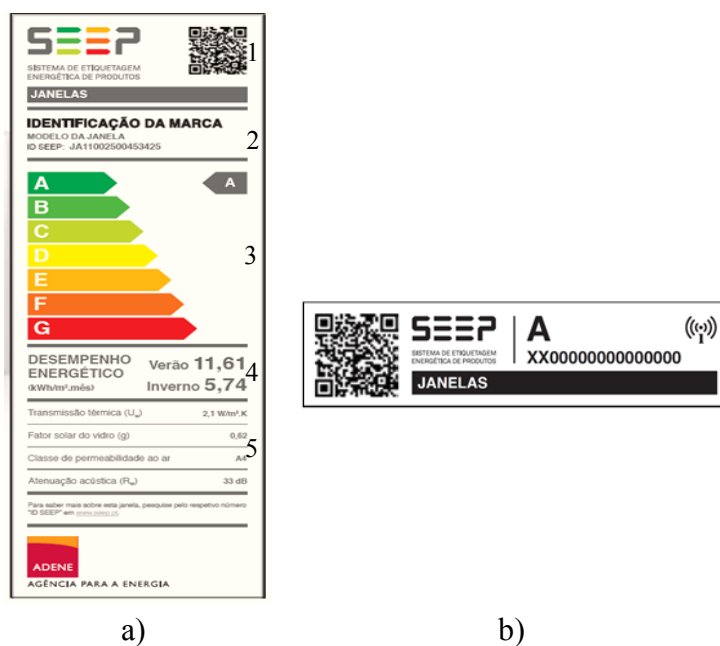


Figura 2.1 – a) Etiqueta energética de janelas; b) Etiqueta de registo de janelas [19]

O presente estudo partilha, em grande parte, os objectivos da metodologia de etiquetagem energética de janelas. É pretendido alargar a gama de produtos indirectamente relacionados com o consumo de energia sujeitos a etiquetagem energética, com vista a um aumento da eficiência energética.

2.2 Comportamento térmico e energético de alvenarias

Na ausência de informações relativas a metodologias para a etiquetagem energética de componentes de alvenaria, torna-se de extrema importância uma compreensão do comportamento térmico e o desempenho energético destes, quando se pretende desenvolver uma metodologia de etiquetagem energética de alvenarias.

O comportamento térmico e energético de alvenarias é um tema que tem vindo a ser alvo de estudo ao longo de vários anos, revelando a importância destes elementos no desempenho global dos edifícios, e preocupações com o consumo energético a nível residencial. Podemos, igualmente, constatar uma preocupação ao nível da optimização de soluções construtivas, com vista ao aumento da eficiência energética. São apresentados assim uma diversidade de estudos que abordam temáticas de particular interesse.

Al-Sanea *et al.* [21] estudaram qual a espessura de massa térmica² ideal para obter uma poupança de energia desejada, concluindo que a espessura e a localização da camada de massa térmica numa parede isolada podem contribuir para um aumento na eficiência energética dos edifícios. Os mesmos autores, num estudo posterior [22], identificaram para além de outros, os efeitos do tipo de material de alvenaria em soluções de resistência térmica fixa. Estes mostraram que para uma espessura de massa térmica crítica o material com maior potencial de poupança de energia são os blocos de betão maciços, tendo em consideração que, as soluções alvo de estudo tinham dois tipos de materiais de alvenaria, blocos de betão maciços e ocós.

Al-Sanea e Zedan [23] analisaram o efeito das juntas de argamassa presentes nas estruturas de alvenaria, através de um método dinâmico, verificando que estas agem como ponte térmica linear³ e que consequentemente reduzem a resistência térmica da envolvente. Já anteriormente, Wakili e Tanner [24] através de um método laboratorial e experimental verificaram a influência das juntas de argamassa, identificando factores que devem entrar em consideração como a

² Massa térmica – refere-se a materiais que absorvem, armazenam e libertam calor - como betão, tijolos e/ou pedra.

³ Pontes térmicas lineares – zonas em que, pela sua geometria, ocorrem concentrações de fluxos de calor. Estas estão normalmente associadas a ligações entre diferentes elementos da envolvente [43].

percentagem de argamassa que penetra nos vazios dos tijolos, a não simetria das juntas e a anisotropia dos materiais cerâmicos.

Também a nível económico são estudados os potenciais de poupança de energia em edifícios, provenientes da utilização de diferentes tipos de materiais de alvenaria. Um estudo realizado na Turquia, que integrou conceitos como espessura ideal, poupança e *pay-back* energético e ainda custo total, onde foram incluídos os custos da alvenaria, consumo de energia e materiais, concluiu que a maior poupança ocorre para materiais com menor condutibilidade térmica [25].

Al-Hadhrami e Ahmad [26] avaliaram o desempenho térmico de diversos tipos de tijolos cerâmicos e blocos de betão, demonstrando que os tijolos cerâmicos apresentam maior eficácia ao nível do comportamento térmico. Indicam também que a argamassa presente nas ligações apresenta grande influência no comportamento global.

As crescentes preocupações com o desempenho térmico dos edifícios têm provocado alterações nas soluções construtivas, e neste contexto, Sousa *et al.* [27] propõem um bloco de betão leve (Figura 2.2) com características que possibilitam um melhoramento no comportamento térmico e, conseqüentemente, uma poupança de energia. Este bloco foi otimizado tendo em consideração o posicionamento dos furos, número de filas, tamanho e forma dos espaços vazios e a geometria das juntas de argamassa. Também Zukowski e Haese [28] apresentaram um de tijolo oco preenchido por isolamento nos espaços vazios, constituindo um material com elevada resistência térmica e sem necessidade de camadas de isolamento nas soluções de parede.

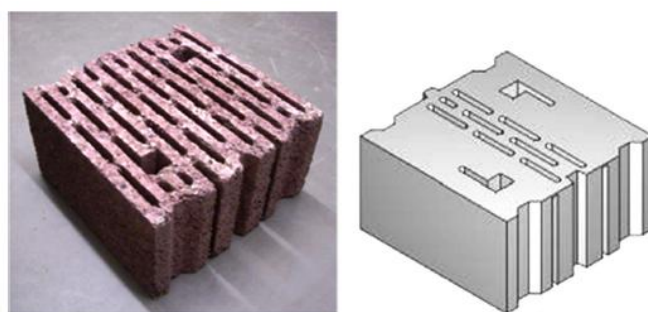


Figura 2.2 – Configuração do bloco de betão leve proposto por Sousa *et al.* (2014) [27]

Para concluir a sequência de estudos, apresentasse o estudo realizado numa *passive house*⁴ familiar com construção em alvenaria. Este contempla etapas como, descrição do edifício em

⁴ *Passive house* – “é um conceito construtivo que define um padrão que é eficiente, sob o ponto de vista energético, confortável, economicamente acessível e sustentável” [44].

estudo, definição das soluções construtivas e uma análise do desempenho energético, através do *software* DesignBuilder. Os resultados revelaram que a espessura de isolamento pode ser reduzida várias vezes se os materiais, como tijolos, forem mais eficientes. Para além disso são indicadas vantagens no rendimento térmico global do edifício e também a nível da resistência ao fogo, transporte de água, entre outras [29]. Este estudo apresenta especial relevância, pois apresenta a utilização de simulação dinâmica, para o cálculo do desempenho térmico global, particularmente, de tijolos cerâmicos furados. É notória a partilha de objetivos com o estudo de metodologia para a etiquetagem energética de componentes de alvenaria.

Através destes estudos podemos verificar, resumidamente, que os aperfeiçoamentos nos materiais de alvenaria e a escolha de produtos com elevado desempenho térmico podem trazer vantagens ao nível do aumento da eficiência energética e até a nível económico. Contudo também são apresentadas algumas fragilidades.

Os diversos estudos apresentados são, portanto, o confirmar da importância dos componentes de alvenaria e da aplicação de pressupostos semelhantes aos pretendidos neste trabalho. Estes permitem, para além do que já referido, justificar a pertinência e o interesse do desenvolvimento de uma metodologia que permita a comparação destes produtos. É de notar que, a etiquetagem energética de produtos pode favorecer o surgimento de materiais mais eficientes, pois tem a capacidade de promover a concorrência de mercado.

2.3 Enquadramento normativo

Para a criação de uma metodologia harmonizada é importante a identificação das ferramentas disponíveis para a obtenção das diferentes propriedades e características, consideradas essenciais para o presente estudo. Neste subcapítulo pretende-se permitir uma rápida percepção da vasta base normativa deste. Assim, realizou-se um levantamento e identificação de normas e publicações que indicam metodologias e métodos para a obtenção de diversas características como: resistência térmica (R_T), coeficiente de transmissão térmica (U), dimensões, entre outras, através de métodos numéricos, experimentais e simplificados.

Algumas das normas e publicações utilizadas e/ou de interesse para o estudo estão indicadas seguidamente:

- Métodos numéricos:
 - Norma EN ISO 10211:2007 – “*Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – Detailed calculation*”, estabelece

especificações para o cálculo numérico de fluxos de calor, que permitem avaliar a perda total de um edifício ou parte dele; temperaturas mínimas de superfície para avaliação do risco de condensação e também pode ser utilizada para a determinação de coeficientes de transmissão térmica linear.

- Métodos experimentais:
 - Norma EN ISO 8990:1994 – “*Thermal insulation – Determination of steady-state thermal transmission properties – Calibrated and guarded hot box*”, estabelece os princípios necessários à determinação do coeficiente de transmissão térmica através do método laboratorial *hot box*.
 - Norma EN 1934:1998 – “*Thermal performance of buildings – Determination of thermal resistance by hot box method using heat flow meter – Masonry*”, estabelece princípios para a determinação da resistência térmica de alvenarias através do método experimental *hot box*.
 - Grupo de Normas EN 772 – “*Methods of test for masonry units*”, grupo de normas que estabelecem métodos para a determinação de um grande número de propriedades de materiais de alvenaria, tais como dimensões, percentagem de furação, densidade real e aparente, entre outras.

- Métodos simplificados:
 - Norma EN 1745:2012 – “*Masonry and masonry products. Methods for determining thermal properties*”; descreve os métodos de ensaios para a determinação das propriedades térmicas de alvenarias.
 - Norma EN ISO 6946:2007 – “*Building components and building elements-thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method*”, estabelece um método simplificado para o cálculo da resistência térmica e coeficiente de transmissão térmica de componentes e elementos de construção, à exceção de alguns elementos como portas e janelas.
 - Norma ISO 14683:2007 – “*Thermal bridges in building construction – Linear thermal transmittance – Simplified methods and default values*”, estabelece métodos simplificados para a determinação do fluxo de calor através de pontes térmicas lineares, apresentando no seu anexo A valores padrão de coeficiente de transmissão térmica linear.
 - Grupo de Normas EN 771 – “*Specification for masonry units*”, estabelecem especificações para unidades de alvenaria.

- ITE 50 – publicação desenvolvida pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), apresenta de forma tabelada valores para os coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios [30].

Para além de possibilitar um enquadramento normativo, o levantamento realizado será crucial, em capítulos posteriores, quando advier a necessidade de adopção de soluções construtivas e definição das respectivas propriedades.

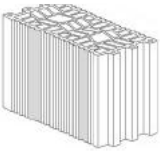

2.4 Estudo do mercado

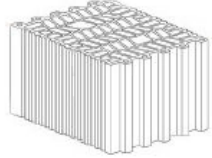
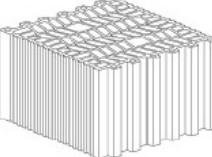
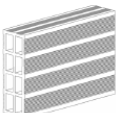
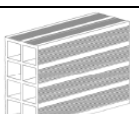
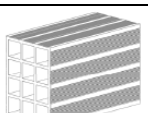
Como já referido anteriormente, os produtos de alvenaria são os elementos fundamentais deste estudo, sendo por isso necessário identificar os produtos presentes no mercado nacional, bem como as suas características térmicas. A realização deste possibilita o desenvolvimento de uma metodologia adaptada à realidade portuguesa.

Nos Quadros 2.1 e 2.2 encontram-se os principais produtos de algumas empresas nacionais, respectivamente, tijolos cerâmicos e blocos de betão.

A recolha baseou-se essencialmente em parâmetros dimensionais e térmicos, no entanto poderão ser importantes parâmetros como, por exemplo, propriedades acústicas para presença na etiqueta energética. As informações estão disponíveis nas variadas fichas técnicas ao dispor dos clientes, sendo que para a obtenção de algumas propriedades houve necessidade de cálculo.

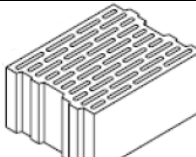
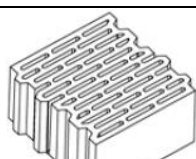
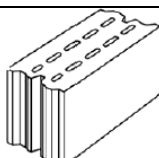
Quadro 2.1 – Características de tijolos cerâmicos comerciais [31]

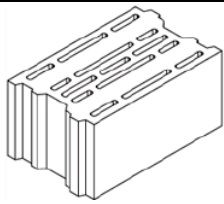
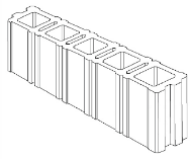

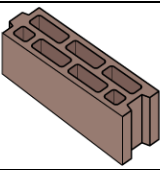
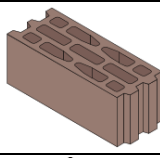
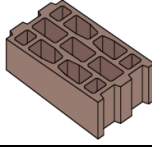

Produto (comprimento-altura- largura, em cm)	Desenho	Coefficiente de transmissão térmica* [W/(m ² °C)]	Resistência térmica [(m ² °C)/W]	Condutibilidade térmica equivalente* [W/(m°°C)]
Tijolo Térmico 30x19x14		1,04	0,79	0,177
Tijolo Térmico 30x19x19		0,93	0,9	0,211

Tijolo Térmico 30x19x24		0,81	1,07	0,224
Tijolo Térmico 30x19x29		0,64	1,40	0,207
Tijolo Tradicional 30x20x7		2,38	0,25	0,28
Tijolo Tradicional 30x20x11		2,17	0,29	0,379
Tijolo Tradicional 30x20x15		1,69	0,42	0,357

*Valores Calculados

Quadro 2.2 – Características de blocos de betão comerciais [32], [33]

Produto (comprimento-altura- largura, em mm)	Desenho	Coefficiente de transmissão térmica [W/(m ² C)]	Resistência térmica* [(m ² C)/W]	Condutibilidade térmica equivalente* [W/(m°C)]
Bloco Termoacústico 400x190x315		0,51	1,72	0,183
Bloco Megatérmico 350x190x380		0,42	2,15	0,177
Bloco Isoargila 400x190x150		1,27	0,57	0,263
Bloco Isoargila 400x190x200		1,16	0,64	0,313

Bloco Isoargila 400x190x250		0,91	0,88	0,284
Bloco Freebloco 560x190x110		1,42	0,53	0,208
Bloco Isoltermix 500x200x300		0,36	2,6	0,115
Bloco Térmico 490x190x150		1,7	0,42	0,357
Bloco Térmico 490x190x200		1,3	0,6	0,333
Bloco Térmico 490x190x300		1,1	0,74	0,405
Bloco Isoltics Térmico 500x200x250		1,08	0,76	0,329

*Valores calculados

Perante algumas das soluções disponíveis no mercado, podemos verificar que os valores de resistência térmica (R_T), coeficiente de transmissão térmica (U) e de condutibilidade térmica equivalente ($\lambda_{equivalente}$) encontram-se num intervalo de valores de:

- Tijolos cerâmicos:
 - $R_T \in [0,25 \text{ a } 1,4] \text{ (m}^2\text{°C)/W}$;
 - $U \in [0,64 \text{ a } 2,38] \text{ W/(m}^2\text{°C)}$;
 - $\lambda_{equivalente} \in [0,177 \text{ a } 0,379] \text{ W/(m}^2\text{°C)}$.

- Blocos de Betão:
 - $R_T \in [0,42 \text{ a } 2,6] \text{ (m}^2\text{C)/W}$;
 - $U \in [0,38 \text{ a } 1,7] \text{ W/(m}^2\text{C)}$;
 - $\lambda_{equivalente} \in [0,115 \text{ a } 0,405] \text{ W/(m}^2\text{C)}$.

Os blocos de betão tradicionais não se encontram representados pois não são disponibilizadas as características térmicas dos mesmos, no entanto são esperados valores de resistência térmica baixos para estes materiais. Este facto provoca um intervalo de valores que poderá induzir que os blocos de betão apresentam, declaradamente, características superiores aos tijolos cerâmicos.

Verifica-se ainda que há maior diversidade de blocos de betão, surgindo produtos com espessuras mais elevadas e soluções mais sofisticadas, comparativamente aos tijolos cerâmicos. Um exemplo disso é o bloco de betão Isoltermix, que apresenta uma estrutura bastante sofisticada, com incorporação de um material isolante.

É também possível verificar que a resistência térmica de um tijolo térmico pode ser até 46,8% mais elevada que um tijolo convencional com dimensões semelhantes, demonstrando que a configuração destes pode trazer benefícios consideráveis.

3 METODOLOGIA PARA A ETIQUETAGEM ENERGÉTICA DE ALVENARIAS

3.1 Introdução

Neste capítulo é pretendida a descrição da metodologia que permitirá a comparação entre produtos da mesma família e conseqüente criação de uma etiqueta energética voluntária de alvenarias. Trata-se de uma metodologia adaptada ao contexto nacional e pretende que a adopção da etiqueta por parte dos produtores seja simples e financeiramente viável.

A metodologia de etiquetagem energética de alvenarias surge fundamentada na norma ISO 18292:2011 – “Energy performance of fenestration systems for residential buildings – Calculation procedure”, já anteriormente essencial para a criação da metodologia de etiquetagem energética de janelas, e neste momento para isolamentos e argamassas térmicas. Ocorrem alterações, principalmente, no que remete a dados de entrada devido às características específicas dos tijolos cerâmicos e blocos de betão.

À semelhança da norma ISO 18292:2011 a metodologia prevê a necessidade de definição de quatro etapas fundamentais:

- Preparação de dados climáticos;
- Preparação de um edifício referência;
- Preparação das propriedades térmicas dos materiais;
- Cálculo do desempenho energético.

Para a última etapa é relevante indicar que a norma ISO 18292:2011 indica a possibilidade de utilização de três métodos para o cálculo do desempenho energético, o método sazonal, o método horário e o método mensal. No presente estudo serão efectuados dois dos métodos descritos, o sazonal e o horário para perceber se a base de cálculo utilizada influencia a classificação dos produtos.

Nos subcapítulos seguintes são realizadas breves descrições dos objectivos principais para cada etapa passando, subsequentemente, à sua aplicação no capítulo 4 que possibilitará a criação de uma escala de classificação em função do desempenho energético dos produtos de alvenaria.

Na Figura 3.1 é possível observar esquematicamente uma síntese da metodologia de etiquetagem e os parâmetros essenciais para cada uma das etapas em função do método de cálculo utilizado.

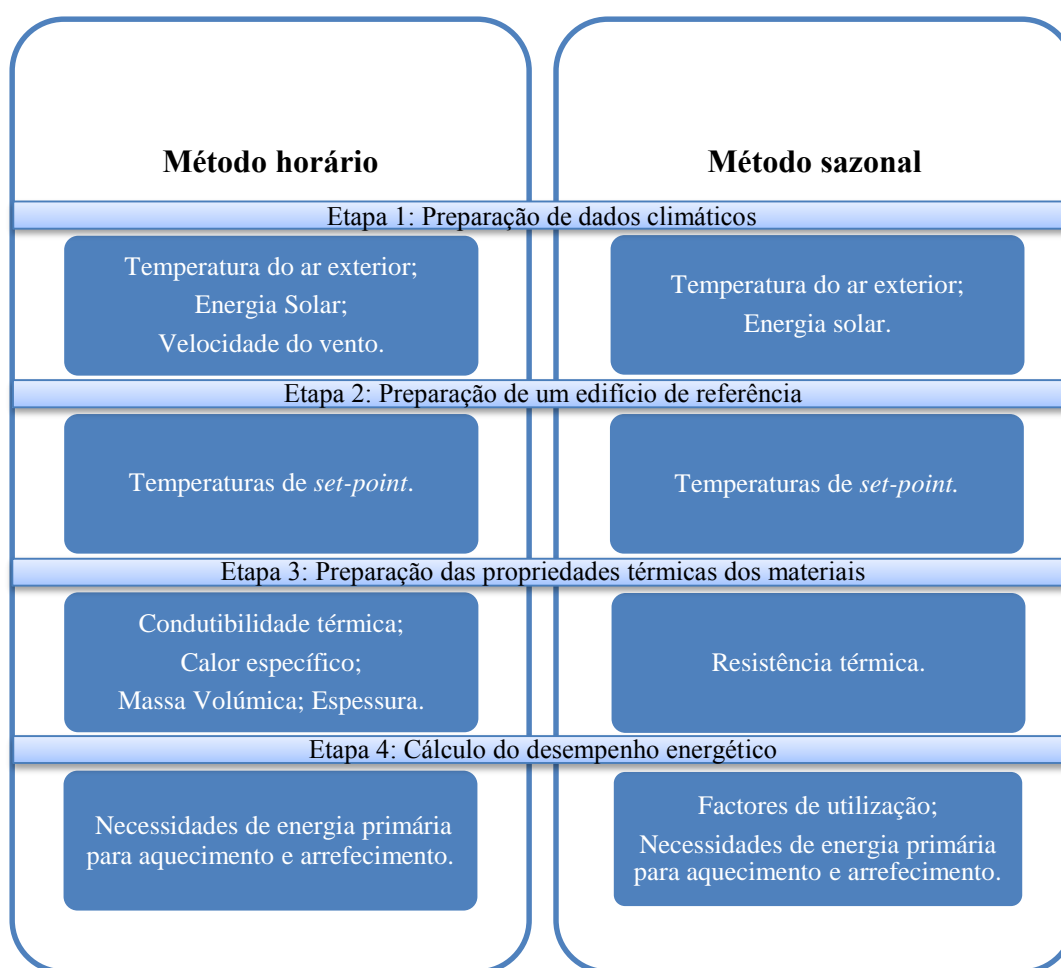


Figura 3.1 – Esquema de síntese da metodologia para dois métodos de cálculo de desempenho energético (baseado na norma ISO 18292:2011) [17]

3.2 Dados climáticos

A Directiva 2010/31/EU de 19 de Maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios indica que todos os edifícios devem cumprir requisitos mínimos de desempenho

energético adaptados ao clima local [34], tornando-se por isso crucial a definição de dados climáticos para a(s) localização(ões) geográfica(s) do edifício de referência.

A etapa inicial da metodologia baseia-se essencialmente na regulamentação nacional ao nível do desempenho energético de edifícios (REH) e segundo esta, o zonamento climático de Portugal apoia-se numa Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III. Adicionalmente, são referenciadas três zonas climáticas de Inverno e três zonas climáticas de Verão devido a requisitos de qualidade térmica da envolvente [6].

A determinação das zonas climáticas de Inverno baseia-se no número de graus-dias (GD), enquanto a definição das zonas climáticas de Verão baseia-se na temperatura média exterior da correspondente estação ($\theta_{ext,v}$). Os dados indicados estão estabelecidos no REH segundo o zonamento NUTS III. Para além destes são contemplados dados como a altitude, duração da estação de aquecimento, a energia solar média mensal durante a estação (estação de aquecimento) e a energia solar acumulada durante a estação (estação de arrefecimento).

Os critérios para a definição das zonas climáticas encontram-se presentes nos Quadros 3.1 e 3.2 [6].

Quadro 3.1 – Critérios para a determinação da zona climática de Inverno

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 < GD \leq 1800$	$GD > 1800$
Zona climática	I1	I2	I3

Quadro 3.2 – Critérios para a determinação da zona climática de Verão

Critério	$\theta_{ext,v} \leq 20^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22^{\circ}\text{C}$	$\theta_{ext,v} > 22^{\circ}\text{C}$
Zona climática	V1	V2	V3

A distribuição geográfica das diferentes zonas climáticas, Inverno e Verão está representada na Figura 3.2. É crucial a representação climática de todo o território nacional, garantindo a versatilidade da metodologia relativamente ao zonamento climático.

Para a aplicação do método de cálculo do desempenho energético horário revela-se importante a identificação adicional da velocidade do vento, tal como indica a norma ISO 18292:2011.

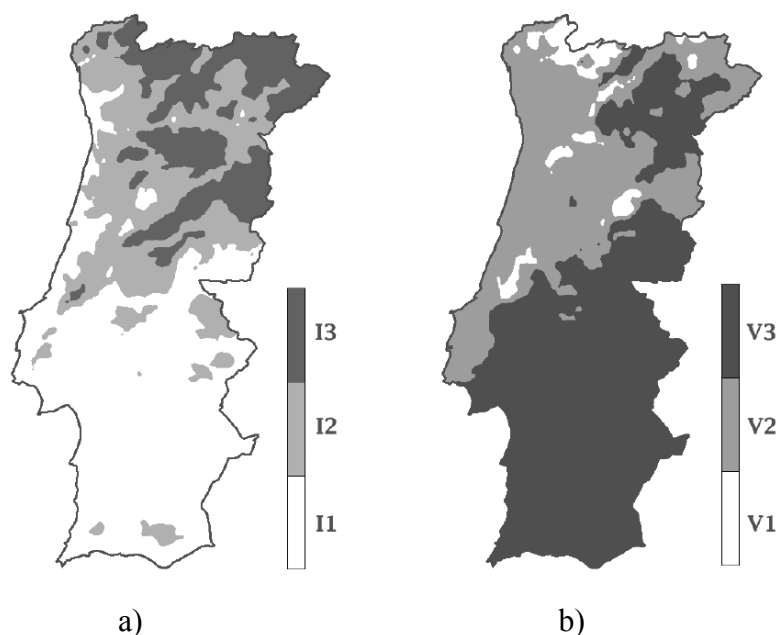


Figura 3.2 – Zonas climáticas de Inverno e Verão para Portugal; a) zonas climáticas de Inverno, I1, I2 e I3; b) zonas climáticas de Verão, V1, V2 e V3

3.3 Edifício de referência

Para a aplicação da metodologia para a etiquetação energética de produtos de alvenaria um dos passos fundamentais é a definição de um edifício de referência. Este deve representar o mais possível a realidade nacional. A correcta reprodução do parque edificado nacional permite a criação de uma metodologia harmonizada.

Segundo a norma ISO 18292:2011, os parâmetros necessários para a correcta definição do edifício de referência são:

- Geometria da construção, incluindo a distribuição de envidraçados em todas as orientações e respectivos sistemas e efeitos de sombreamento;
- Propriedades térmicas da envolvente do edifício (coeficiente de transmissão térmica (U), condutibilidade térmica, calor específico, massa volúmica);
- Ganhos internos (como por exemplo, definir o número padrão de ocupantes e dados de uso disponíveis na regulamentação nacional);

- Parâmetros de funcionamento do edifício, tais como a temperatura de *set-point*⁵ e o horário de funcionamento;
- Outros dados de entrada que se demonstrem necessários para o cálculo pelo método sazonal, mensal ou horário [17].

3.4 Propriedades térmicas das alvenarias

No subcapítulo propriedades térmicas das alvenarias é importante fazer referência ao esquema da Figura 3.1, pois estas terão de ser definidas segundo a necessidade do subcapítulo seguinte, cálculo do desempenho energético. As propriedades térmicas são definidas portanto individualizadamente consoante o método de cálculo de desempenho energético utilizado.

A principal propriedade térmica dos produtos de alvenaria para o método sazonal é:

A **resistência térmica**, relação entre a espessura e a condutibilidade térmica dos materiais. Esta fisicamente representa o 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 [35]. Simplificadamente, esta propriedade define-se como a capacidade de conservação de calor dos materiais.

$$R_t = \frac{e}{\lambda} \quad [(\text{m}^2\text{C})/\text{W}] \quad (1)$$

Em que:

e – Espessura, [m];

λ – Condutibilidade térmica, [W/(m.°C)].

Esta propriedade é obrigatória para a obtenção da marcação CE, por isso é de fácil obtenção para a aplicação da metodologia. Pode de igual forma, ser obtido o coeficiente de transmissão térmica (U) que é definido segundo a equação 2 e representa a 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 o elemento separa [6].

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_t + R_{se}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{C})] \quad (2)$$

⁵ Temperatura de *set-point* – define-se como a temperatura que um determinado sistema de climatização terá de atingir, esta representa o ideal de conforto do utilizador do edifício.

Em que:

R_{si} e R_{se} – Resistência superficial interior e exterior, $[(m^2C)/W]$.

Para o método horário é necessário a preparação de um maior número de propriedades, tais como:

A **espessura** (e) do material, característica essencial e de fácil obtenção, esta permite diferenciar facilmente os materiais.

A **condutibilidade térmica** (λ) que é uma propriedade que caracteriza os materiais ou produtos termicamente homogêneos, e que representa a quantidade de calor que atravessa uma espessura unitária de um material, quando entre duas faces planas e paralelas se estabelece uma diferença unitária de temperatura [30].

O **calor específico** (c_p) que se define como a energia necessária para elevar uma unidade de temperatura de uma unidade de massa de uma substância [36].

A **massa volúmica** (ρ) que é o quociente entre a massa e o volume ou seja representa a concentração de uma substância num determinado volume.

Os produtos estudados são normalmente materiais não homogêneos pois apresentam espaços de ar, por isso a abordagem é feita em termos de **condutibilidade térmica equivalente** ($\lambda_{equiv.}$), que compreende a quantidade de calor que atravessa o material e os referidos espaços de ar, possibilitando o tratamento dos tijolos e blocos como materiais homogêneos. O mesmo acontece com a massa volúmica e o calor específico, onde se tem em consideração as propriedades do ar [$\rho_{ar} \approx 1,2 \text{ kg/m}^3$ e $c_{par} \approx 1005 \text{ J/(kg}^\circ\text{C)}$] para a definição dos valores das respectivas propriedades.

A **difusividade térmica** (α), apresentada na equação 3, surge como propriedade relevante para compreender a resposta dinâmica das soluções construtivas. Esta define-se como a razão entre o calor conduzido através de um material e o calor armazenado por unidade de volume. Quando nos referimos a soluções construtivas esta representa a resposta temporal a uma variação de temperatura na superfície exterior, ou seja o atraso térmico [36].

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \quad [m^2/s] \quad (3)$$

3.5 Cálculo do desempenho energético

O cálculo do desempenho energético é o culminar de todas as etapas anteriores. Este será abordado através de dois métodos, o método sazonal e o método horário.

- **Método de cálculo sazonal**

O procedimento de cálculo do método sazonal está descrito na norma EN ISO 13790:2008 - “Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling” [37], no entanto o método sazonal é baseado na regulamentação nacional ao nível do desempenho energético de edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH - DL 118/2013, de 20 de Agosto) que transpõe a metodologia proposta pela norma referida.

Os principais elementos que servirão de base à metodologia são as necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, que segundo o REH obtêm-se através das equações 4 e 5. Estas compreendem parâmetros como transferência de calor por transmissão através da envolvente e por ventilação e ganhos térmicos brutos.

- **Necessidades nominais de energia útil para aquecimento**

$$N_{ic} = \frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}}{A_p} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})] \quad (4)$$

Em que:

$Q_{tr,i}$ – Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios, [kWh];

$Q_{ve,i}$ – Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, [kWh];

$Q_{gu,i}$ – Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes, [kWh];

A_p – Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior [m²].

- **Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento**

$$N_{vc} = (1 - \eta_v) Q_{g,v} / A_p \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})] \quad (5)$$

Em que:

η_v – Factor de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento;

$Q_{g,v}$ – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento, [kWh];

A_p – Área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m²].

Para o método sazonal a norma ISO 18292:2001 indica a necessidade de definição dos factores de utilização de ganhos (η_i, η_v). Estes parâmetros são considerados pelo REH, sendo que já estão incorporados nas equações de cálculo das necessidades nominais de energia útil. Na estação de aquecimento o factor de utilização está implícito no cálculo dos ganhos térmicos úteis, enquanto na estação de arrefecimento este surge, imediatamente, na equação de cálculo das necessidades energéticas (equação 5). Segundo o REH estes são obtidos tendo em consideração a transferência de calor por transmissão através da envolvente dos edifícios, a transferência de calor por ventilação, os ganhos térmicos brutos e a inércia térmica do edifício, da respectiva estação.

- **Método de cálculo horário**

O método de cálculo horário é como expectável mais específico. A desagregação numérica das equações para o cálculo das necessidades de energia útil, para as estações de aquecimento e arrefecimento é bastante complexa optando-se pela utilização de um modelo de simulação dinâmica.

Para o cálculo do desempenho energético horário é utilizado o *software* DesignBuilder versão 3.4.0.041 [38], trata-se de uma ferramenta que permite a verificação do desempenho energético dos edifícios, incluindo uma grande diversidade de factores que influenciam o comportamento dos edifícios como iluminação, ventilação, infiltrações, entre outras.

Após introdução no *software* dos dados climáticos, do edifício de referência e respectivas soluções construtivas e as propriedades térmicas dos materiais, este apresenta uma grande diversidade de resultados dos quais se destacam as necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento, representadas pelo *software* como *total cooling* e *zone heating*.

4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

4.1 Preparação de dados climáticos

Na etapa inicial da metodologia realizou-se a definição dos dados climáticos sendo que de forma a contemplar todas as zonas climáticas e abranger todo o território nacional, optou-se pela utilização de três cidades, **Bragança, Beja e Leiria**.

Nos Quadros 4.1 e 4.2 estão disponíveis os valores necessários à definição das zonas climáticas das estações de aquecimento e arrefecimento, bem como para o cálculo dos diferentes parâmetros das equações 4 e 5 e para as simulações dinâmicas, da etapa de cálculo do desempenho energético, fornecidos pelo REH para as três regiões NUTS III correspondentes às três cidades definidas [6].

Quadro 4.1 – Valores de referência para a estação de aquecimento

NUTS III	z	M	GD	$\theta_{ext,i}$	G_{Sul}
Alto Trás-os-Montes	680	7,3	2015	5,5	125
Pinhal Litoral	126	6,6	1323	9,6	140
Baixo Alentejo	178	5,0	1068	10,7	155

Em que:

z – altitude, [m];

M – duração da estação de aquecimento, [meses];

GD – número de graus-dias, na base de 18 °C, correspondente à estação convencional de aquecimento, [°C];

$\theta_{ext,i}$ – temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento, [°C];

G_{Sul} – energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a Sul, [kWh/m².mês].

Quadro 4.2 – Valores de referência para a estação de arrefecimento

NUTS III	z	$\theta_{ext,v}$	I_{sol}			
			Norte	Este	Sul	Oeste
Alto Trás-os-Montes	680	21,5	220	475	425	475
Pinhal Litoral	126	20,1	225	500	415	500
Baixo Alentejo	178	24,7	225	510	405	510

Em que:

z – altitude, [m];

$\theta_{ext,v}$ – temperatura exterior média, [°C];

I_{sol} – energia solar acumulada durante a estação recebida em superfícies verticais para os quatro pontos cardeais, [kWh/m² acumulados de Junho a Setembro].

Após análise dos valores dos quadros anteriores e seguindo os critérios indicados no subcapítulo 3.2, foi possível definir as zonas climáticas de Inverno e Verão, sintetizadas no Quadro 4.3. É de notar que a solução com mais representatividade (Bragança, Leiria e Beja) em termos de zonas climáticas não contempla a zona climática de Verão V1, devido ao facto de a respectiva regulamentação não apresentar nenhuma região NUTS III com esta característica, a zona climática V1 apenas é obtida através de correcções de altitude. A ausência desta zona apresenta pouca relevância pois corresponde a uma área diminuta do território nacional, verificável na Figura 3.2.

Quadro 4.3 – Zonas climáticas das cidades de Bragança, Leiria e Beja

	NUTS III	Zonas climáticas	
		Inverno	Verão
Bragança	Alto Trás-os-Montes	I3	V2
Leiria	Pinhal Litoral	I2	V2
Beja	Baixo Alentejo	I1	V3

As três cidades apresentam comportamentos bastante diferenciados para ambas as estações, como podemos verificar no Gráfico 4.1, onde é apresentado o comportamento energético em função da resistência térmica dos materiais. O comportamento apresentado dificulta o tratamento dos resultados da metodologia, uma vez que na estação de arrefecimento a cidade de Bragança, caracterizada por condições climáticas severas (V3), apresenta mais do dobro das

necessidades energéticas das restantes cidades. O mesmo sucede para a estação de arrefecimento, onde a cidade de Beja apresenta uma elevada disparidade no consumo energético relativamente às restantes cidades.

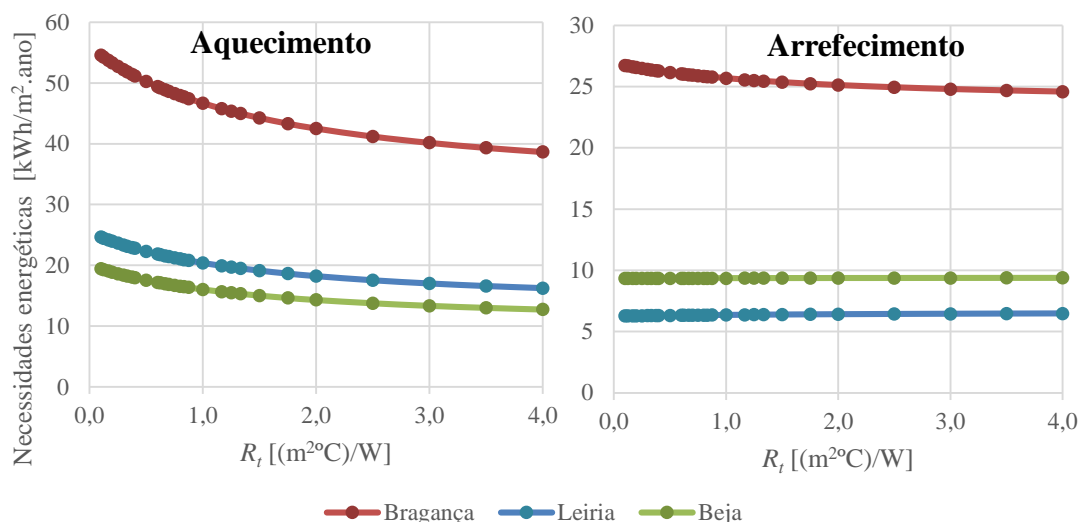


Gráfico 4.1 – Comportamento energético das cidades de Bragança, Leiria e Beja para as estações de aquecimento e arrefecimento

Tendo em conta os pressupostos indicados, optou-se pela utilização de um ficheiro climático representativo, obtido através da média aritmética das características de Inverno e de Verão das três cidades. O ficheiro apresenta assim as seguintes valores de referência, para a estação de aquecimento: altitude de 328 m, duração da estação de aquecimento de 6,3 meses, número de graus-dias de aproximadamente 1469°C, uma temperatura exterior média do mês mais frio de 8,6°C e energia solar média mensal de 140 kWh/m². Para a estação de arrefecimento: uma temperatura exterior média de 22,1°C e uma energia solar acumulada a norte de 223 kWh/m², a sul de 415 kWh/m² e a este e oeste de 497 kWh/m².

De forma a verificar a fiabilidade da utilização de um ficheiro climático médio recorreu-se ao método sazonal, numa base anual, para realizar o cálculo do desempenho individual para cada uma das cidades, permitindo a comparação da média dos valores das três cidades com os obtidos através da utilização do ficheiro médio. Os resultados do procedimento estão representados no Gráfico 4.2, onde podemos verificar as diferenças em termos de necessidades energéticas em função da resistência dos materiais de alvenaria.

O procedimento permitiu verificar que a principal diferença está presente no cálculo das necessidades energéticas de arrefecimento, compreendendo um erro entre 13% e 16,8% enquanto as necessidades de aquecimento apresentam erros no intervalo de 2,9 e 4%, sendo que as necessidades globais não apresentam valores de erro acima de 7,7%. É desta forma justificável a utilização de um ficheiro média.

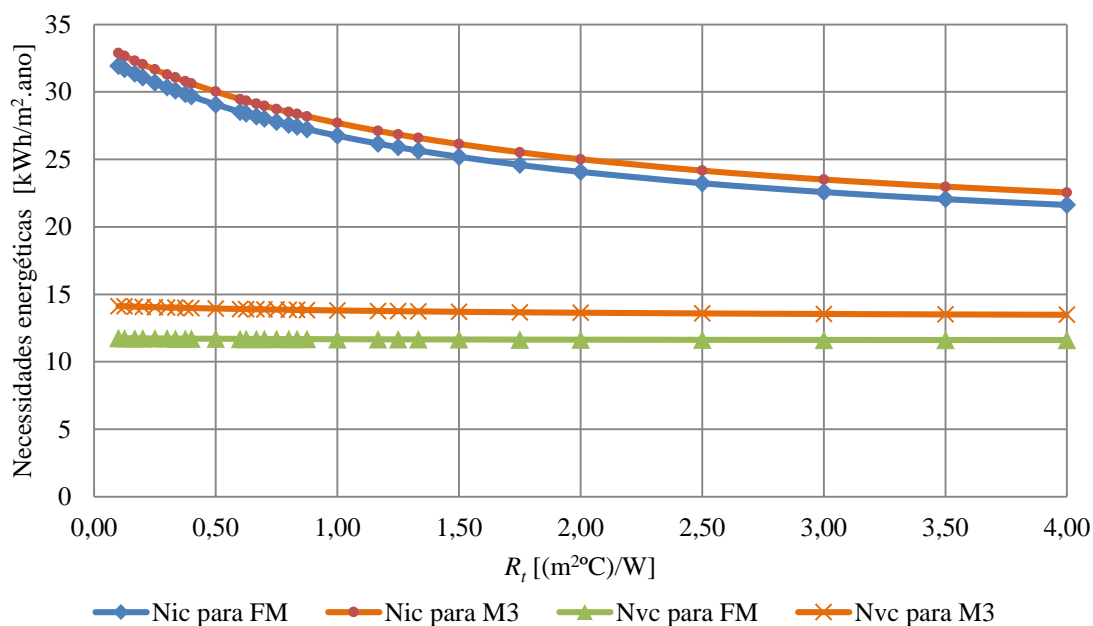


Gráfico 4.2 – Comparação das necessidades energéticas de aquecimento (Nic) e arrefecimento (Nvc) através da utilização de um ficheiro climático médio (FM) e a média das 3 cidades representativas (M3)

Para o cálculo do desempenho energético através do método horário procedeu-se de forma idêntica ao definido para o método sazonal, realizando uma média dos ficheiros climáticos das localizações consideradas, Bragança, Leiria e Beja. Os ficheiros climáticos utilizados são obtidos através da base de dados do Laboratório Nacional de Engenharia e Geologia (LNEG) [39], estes já contêm os dados necessários para a aplicação da metodologia, incluindo não só a velocidade do vento como também outras características, como por exemplo a radiação normal e difusa, a humidade relativa e a pressão atmosférica, revelando-se mais completo climaticamente do que os pressupostos indicados no REH.

4.2 Preparação do edifício de referência

Cumprindo a segunda etapa da metodologia é apresentada a definição do edifício de referência e os restantes dados de entrada para a realização das seguintes etapas. O edifício de referência definido pretende representar o mais, aproximadamente, possível a realidade nacional. Este foi obtido através de uma análise estatística de processos do sistema de certificação energética de edifícios (SCE), que conta com cerca de 700 mil certificados.

Trata-se de um edifício com 2 pisos de tipologia T3, enquadrado na categoria de Habitações unifamiliares de diversos tipos, segundo a alínea a), do ponto 5, do Anexo I, da Directiva 2010/31/EU. Segundo a ADENE o edifício mais representativo do parque edificado nacional apresenta as especificações apresentadas no Quadro 4.4 onde estão presentes as áreas da envolvente opaca, dos vãos envidraçados, da cobertura e do pavimento. Adicionalmente, é indicado que o edifício de referência apresenta uma área útil de pavimento de 165 m² e um pé direito médio de 2,7 m.

Quadro 4.4 – Especificações do edifício de referência

Fachada orientada a Sul	Área = 37,48 m ²
Fachada orientada a Norte	Área = 44,08 m ²
Fachada orientada a Oeste	Área = 40,78m ²
Fachada orientada a Este	Área = 40,78 m ²
Vãos envidraçados orientados a Sul	Área = 11,55 m ²
Vãos envidraçados orientados Norte	Área = 4,95 m ²
Vãos envidraçados orientados a Oeste	Área = 8,25 m ²
Vãos envidraçados orientados a Este	Área = 8,25 m ²
Cobertura	Área= 82,5 m ²
Pavimento	Área= 82,5 m ²

A representação gráfica do edifício de referência está presente na Figura 4.1, esta foi obtida através do *software* DesignBuilder, baseada nas especificações anteriormente indicadas.

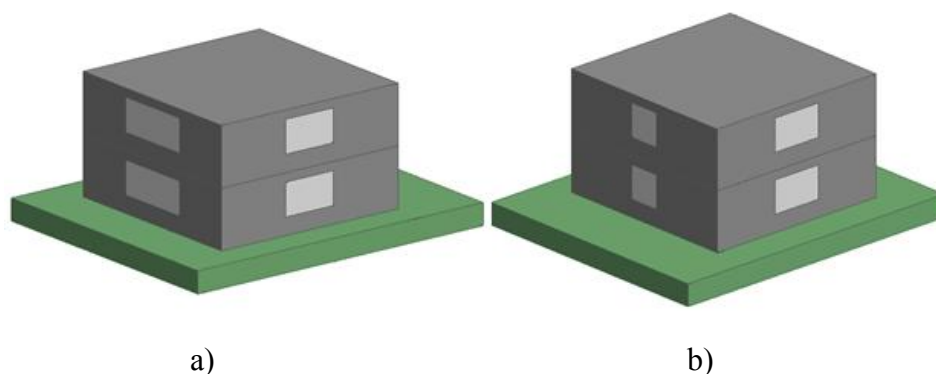


Figura 4.1 – Representação do edifício de referência; a) vista Sul/Este; b) vista Norte/Oeste

De igual relevância mostra-se a definição das soluções construtivas presentes na envolvente opaca, cobertura e pavimento apresentadas nos Quadros 4.5, 4.6 e 4.7, e respectivas representações gráficas simplificadas na Figura 4.2. Estas foram seleccionadas com base na publicação do LNEC, ITE 50 que apresenta uma grande diversidade de soluções. A correcta definição das diferentes soluções e das suas propriedades é de elevada importância para os resultados finais.

Em virtude do facto de o presente estudo incidir nos produtos de alvenarias, esta camada pertencente à envolvente opaca será estudada sistematicamente com diferentes características, evidenciando a sua influência no desempenho energético do edifício de referência.

Nos Quadros 4.5, 4.6 e 4.7 também é possível verificar diversas características como espessura, propriedades térmicas dos elementos construtivos, resistência térmica e o coeficiente de transmissão térmica das diferentes soluções.

Quadro 4.5 – Componentes da envolvente opaca do edifício de referência

Envolvente opaca	Espessura [m]	Condutibilidade térmica [W/(m.°C)]	Massa volúmica [kg/m ³]	Calor específico [J/(kg.°C)]	R_t [(m ² °C)/W]	U [W/(m ² °C)]
Reboco delgado	0,005	1	1600	850	Variável	Variável
Isolamento térmico (EPS)	0,06	0,04	14,3	1430		
Alvenaria	Variável	Variável	Variável	Variável		
Reboco	0,01	0,66	1600	1000		

Quadro 4.6 – Componentes da cobertura do edifício de referência

Cobertura	Espessura [m]	Condutibilidade térmica [W/(m.°C)]	Massa volúmica [kg/m ³]	Calor específico [J/(kg.°C)]	R_t [(m ² °C)/ W]	U [W/(m ² °C)]
Revestimento aderente	0,01	0,66	1600	1000	1,82	0,51
Isolamento térmico (EPS)	0,06	0,04	14,3	1430		
Sistema de impermeabilização	0,003	0,23	1000	1500		
Betão leve	0,1	0,46	1200	1000		
Laje maciça	0,12	2	2300	1000		
Reboco interior	0,01	0,66	1600	1000		

Quadro 4.7 – Componentes do pavimento do edifício de referência

Pavimento	Espessura [m]	Condutibilidade térmica [W/(m.°C)]	Massa volúmica [kg/m ³]	Calor específico [J/(kg.°C)]	R_t [(m ² °C)/W]	U [W/(m ² °C)]	
						Asc.	Desc.
Revestimento de piso	0,01	1,3	2300	1000	1,67	0,53	0,49
Betonilha de regularização	0,025	0,41	1200	840			
Laje maciça	0,12	2	2300	1000			
Isolamento térmico (EPS)	0,06	0,04	14,3	1430			
Fibrocimento	0,013	0,35	1400	850			

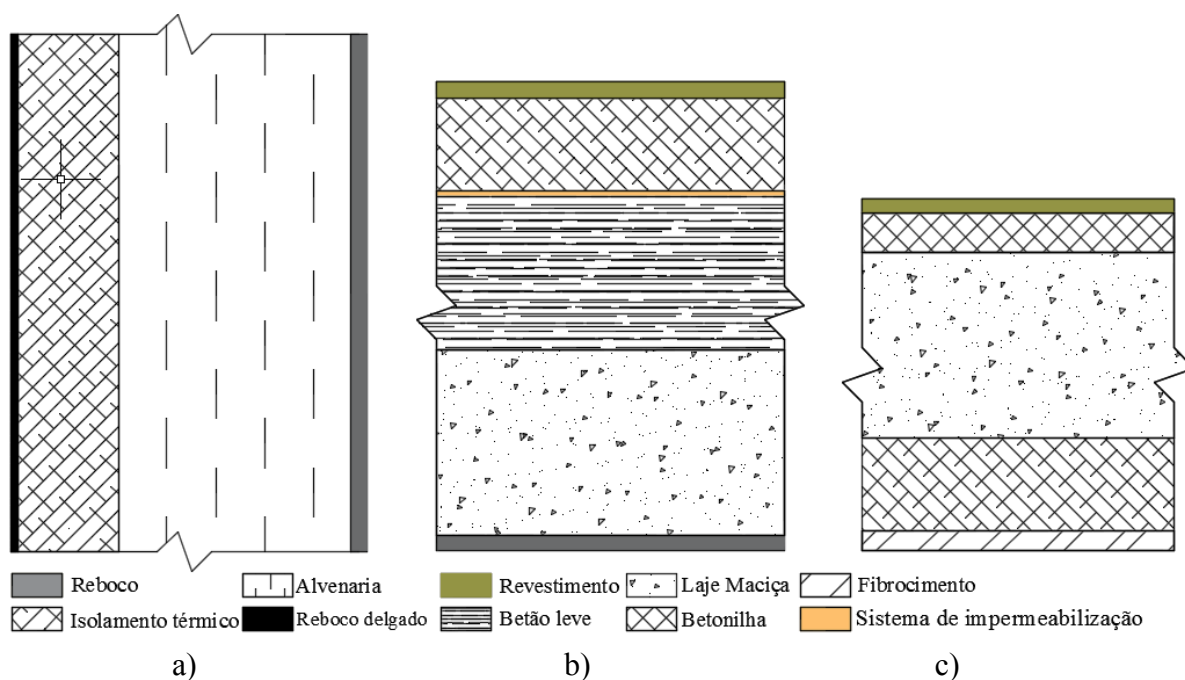


Figura 4.2 – Representação simplificada de a) envoltivo opaco; b) cobertura; c) pavimento do edifício de referência

Para os vãos envidraçados são necessários parâmetros e características adicionais que se revelam fulcrais para o cálculo dos ganhos solares. É importante salientar que não são considerados sistemas de protecção solar fixos, no entanto consideram-se persianas para protecção móvel. As características e parâmetros referidos são:

- Classe de Caixilharia 2;
- Permeabilidade da caixa de estore baixa;
- Vidro duplo com um coeficiente de transmissão térmica (U_w) de $2,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- Factor solar do vidro para uma incidência normal ao vão ($g_{,vi}$) de $0,75$;
- Fracção envidraçada (F_g) de $0,7$;
- Factor solar global com todos os dispositivos permanentes ou móveis activados ($g_{,T}$) de $0,04$. (Dados fornecidos pela ADENE);
- Considera-se os dispositivos móveis ativos apenas na estação de arrefecimento.

Relativamente aos ganhos internos é considerado um valor constante de $4 \text{ W}/\text{m}^2$, tentando representar os padrões de utilização da população portuguesa.

Garantir a salubridade interior dos edifícios é essencial, por isso são adoptados os valores de $0,4 \text{ h}^{-1}$ (Inverno) e $0,6 \text{ h}^{-1}$ (Verão) para as taxas nominais horárias de renovação de ar interior, assegurando o cumprimento dos valores mínimos impostos pelo REH.

Para o cálculo do desempenho energético através do método sazonal é necessária a definição da inércia térmica interior do edifício e identificação das pontes térmicas lineares (PTL), e os seus respectivos coeficientes de transmissão linear (Ψ).

A inércia térmica interna caracteriza-se como a capacidade do edifício em amortecer as acções térmicas exteriores e interiores, acções que podem provocar variações na temperatura interior. Assim, considerou-se uma inércia térmica média, segundo o REH na impossibilidade de verificar os requisitos que definem a classe de inércia térmica forte ou fraca, deve considerar-se uma classe de inércia térmica média.

Foram definidas pontes térmicas lineares para três tipos de ligação: ligação de fachada com pavimento sobre o exterior ou espaço não útil, uma vez que o pavimento do edifício se encontra em contacto com um desvão sanitário, com ventilação fraca; ligação de fachada com cobertura e ligação de duas paredes verticais em ângulo saliente (Figura 4.3). Os valores dos coeficientes de transmissão térmica linear para as PTL consideradas foram obtidos numericamente através do caderno de pontes térmicas lineares elaborado pelo ITeCons, em conformidade com a norma EN ISO 10211:2007. A utilização desta norma para o cálculo das PTL representa $\pm 5\%$ de erro, correspondendo à metodologia de determinação do Ψ com menor percentagem de erro [40].

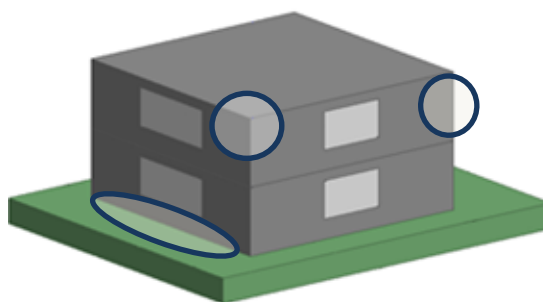


Figura 4.3 – Identificação das PTL consideradas para o edifício de referência

Por fim, é essencial definir as temperaturas de *set-point* a considerar para o edifício de referência, estas representam uma elevada importância para as etapas seguintes da metodologia. Admite-se que as temperaturas padrões de conforto são de 18°C na estação de aquecimento e de 25°C na estação de arrefecimento.

4.3 Preparação das propriedades térmicas das alvenarias

É nesta etapa que são definidas as propriedades térmicas da camada de alvenaria presente na envolvente opaca do edifício de referência. Através do estudo de mercado realizado, estabeleceu-se um intervalo, suficientemente, representativo dos materiais encontrados no mercado nacional.

No Quadro 4.8 estão presentes os valores admitidos para as propriedades térmicas definidas no subcapítulo 3.4, sendo que os valores admitidos abrangem os materiais cerâmicos e de betão.

Quadro 4.8 – Valores das propriedades térmicas de alvenarias admitidas para a aplicação da metodologia

Método sazonal	Resistência térmica [(m ² .°C)/W]	Entre 0,10 e 4
	Espessura [m]	0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3, 0,35; 0,4
Método horário	Condutibilidade térmica equivalente [W/(m.°C)]	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5
	Calor específico [J/(kg.°C)]	900
	Massa volúmica [kg/m ³]	800

Para a realização da sequência de cálculos no intervalo de resistência definido no Quadro 4.8 é necessário o cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U) da envolvente opaca, para isso utilizaram-se as propriedades dos elementos construtivos, definidas no Quadro 4.5 e resistências superficiais com os seguintes valores: $R_{se} = 0,04$ e $R_{si} = 0,13$ (m².°C)/W, para o sentido de fluxo de calor horizontal tal como indicado no REH. Através deste procedimento obteve-se um intervalo de valores para o U das fachadas de 0,18 a 0,56 W/(m².°C).

Como é visível no quadro anterior, o calor específico e a massa volúmica não são variáveis, visto que após um breve estudo sobre a sua influência se conclui que estas propriedades exercem um efeito diminuto no desempenho energético do edifício. Para esta verificação realizou-se o cálculo do desempenho energético através do método horário para três cenários, obtendo os resultados presentes no Gráfico 4.3. Para a realização das simulações foram utilizados os mesmos intervalos de variação para as propriedades espessura e condutibilidade térmica, provocando alterações apenas nas propriedades sujeitas a análise (Quadro 4.9).

Após análise dos resultados foi possível verificar que os cenários I e III apresentam, respectivamente, uma discrepância média de, aproximadamente, 2,5 e 2,1% para a estação de

aquecimento, 0,9 e 1,1% para a estação de arrefecimento e um total de 1,6%, em relação ao cenário II, que corresponde ao cenário principal para o estudo. Conclui-se que se trata de valores reduzidos, que se traduzem num nível de significância baixo para propriedades massa volúmica e calor específico.

Optou-se pela utilização da simulação II para a realização da etapa de cálculo do desempenho energético, pois perante os materiais disponíveis no mercado e as suas características, os valores para a massa volúmica e calor específico desta demonstraram maior representatividade.

Quadro 4.9 – Cenários de massa volúmica e calor específico para simulação através do método horário

Cenários	ρ [kg/m ³]	c_p [J/(kg.°C)]
I	400	800
II	800	900
III	1400	1000

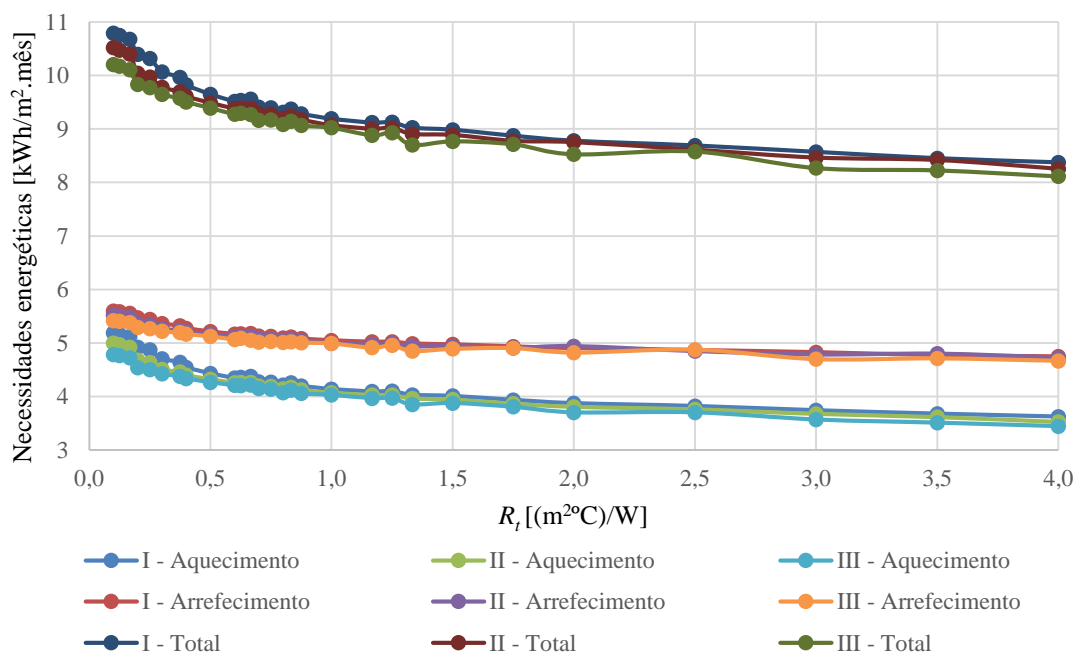


Gráfico 4.3 – Comparação gráfica de diferentes cenários para verificação da influência da massa volúmica e calor específico no comportamento energético do edifício

4.4 Cálculo do desempenho energético

4.4.1 Método sazonal

Para a aplicação deste método é utilizada a folha de cálculo, versão v3.03 em formato .xls, criada pelo Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção (ITeCons), esta ferramenta possibilita uma rápida aplicação do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, que traduz o método sazonal preconizado pela norma EN ISO 13790:2008 .

No presente estudo optou-se pela utilização das necessidades energéticas dos meses de Janeiro como representativo da estação de aquecimento e de Julho como mês representativo da estação de arrefecimento, tornando-se necessária uma adaptação da ferramenta desenvolvida pelo ITeCons, que se encontra numa base anual. Esta adaptação corresponde à alteração dos dados climáticos através de uma análise horária no *software* DesignBuilder. Evidencia-se que já anteriormente os dados climáticos sofreram alterações para a utilização de um ficheiro climático médio.

Apesar dos ajustamentos climáticos realizados na folha de cálculo optou-se pela utilização dos factores de utilização anuais, esta opção revela-se importante pois permite a consideração dos efeitos climáticos dos meses anteriores ao período em estudo, impedindo a consideração inicial do edifício como neutro termicamente. O factor de utilização é claramente superior para uma duração de estação maior, possibilitando assim uma aproximação da realidade.

Assim através da aplicação do método de cálculo do desempenho energético sazonal obtém-se o Gráfico 4.4, onde se verifica um decréscimo expectável das necessidades energéticas com o aumento da resistência térmica dos materiais de alvenaria. É de igual forma possível verificar que as necessidades de arrefecimento se mantêm praticamente constantes com a alteração da resistência dos materiais. As curvas de aquecimento e arrefecimento tendem a estabilizar, indicando que a partir de um determinado valor de resistência térmica, um aumento desta não reflecte um decréscimo significativo nas necessidades energéticas.

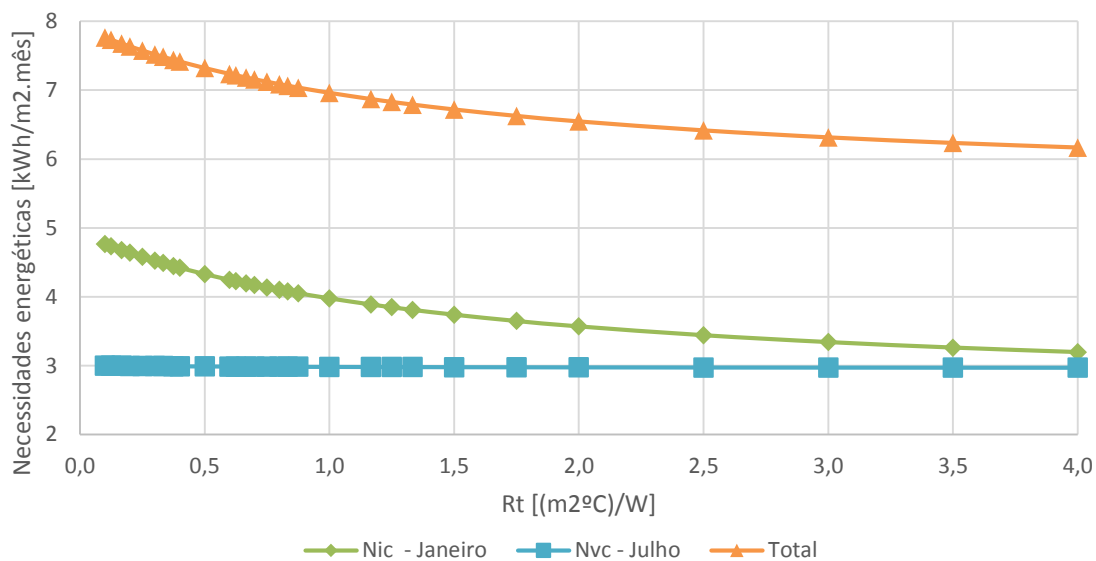


Gráfico 4.4 – Necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento (método sazonal)

Em acréscimo efectuou-se um estudo por forma a verificar a influência da inércia térmica no comportamento energético do edifício. Realizou-se o procedimento anterior alterando a inércia térmica do edifício para fraca e forte, possibilitando a abrangência de todas as classes de inércia térmica, dispostas pelo REH. Os resultados obtidos estão presentes nos Gráfico 4.5, onde é possível observar as curvas de necessidades energéticas para as estações de aquecimento e arrefecimento, representada pelo mês de Janeiro e Julho. Numericamente a inércia térmica interior exerce influência no cálculo dos factores de utilização de ganhos térmicos de ambas as estações, necessários para o cálculo das necessidades de energia útil.

Na estação de aquecimento observa-se um comportamento uniforme para todas as classes de inércia térmica, apresentando uma diferença média de necessidades energéticas de 15% para inércia térmica fraca e de 18% para uma inércia térmica forte, quando comparadas com a curva de inércia térmica média, inicialmente definida. Já na estação de arrefecimento o comportamento apresenta diferenças ligeiramente inferiores, surgindo valores na ordem de 12% para inércia fraca e de 13% para a inércia térmica forte. Este comportamento revela que a massa térmica do edifício demonstra maior relevância na estação de aquecimento, uma vez que provoca maiores variações no factor de utilização de ganhos térmicos.

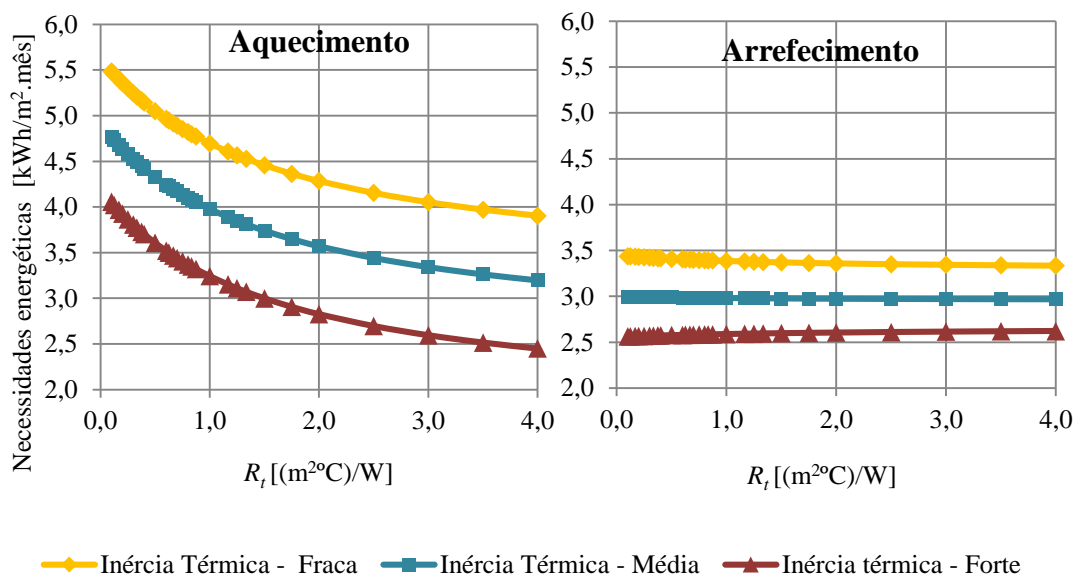


Gráfico 4.5 – Necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento para 3 classes de inércia térmica

4.4.2 Método horário

Como indicado anteriormente para o cálculo do desempenho energético através do método horário é utilizado o *software* DesignBuilder, onde se realizou o tratamento e a definição de todos os parâmetros necessários em concordância com as etapas anteriores.

O *software* apresenta grande versatilidade no tratamento dos resultados, possibilitando a extração dos resultados para um período horário, mensal ou anual, sendo que para o presente estudo é essencial obter os dados relativos aos meses de Janeiro e Julho, definidos como representativos das estações de aquecimento e arrefecimento, similarmente ao método sazonal.

No Gráfico 4.6 estão resumidos os resultados das diversas simulações dinâmicas realizadas com base nas propriedades presentes no Quadro 4.8. Os resultados foram sujeitos a uma correção devido à não consideração de pontes térmicas lineares por parte do *software*, tendo que se proceder à sua contabilização na estação de aquecimento, provocando evidentemente, um aumento no valor das necessidades energéticas, relativamente aos resultados originais. O procedimento de correção tem por base o valor correspondente ao obtido através do método sazonal, aproximadamente 1,5 kWh/m².

Os resultados revelaram novamente um comportamento decrescente em função da resistência térmica e as necessidades energéticas, para a estação de aquecimento valores superiores aos da estação de arrefecimento.

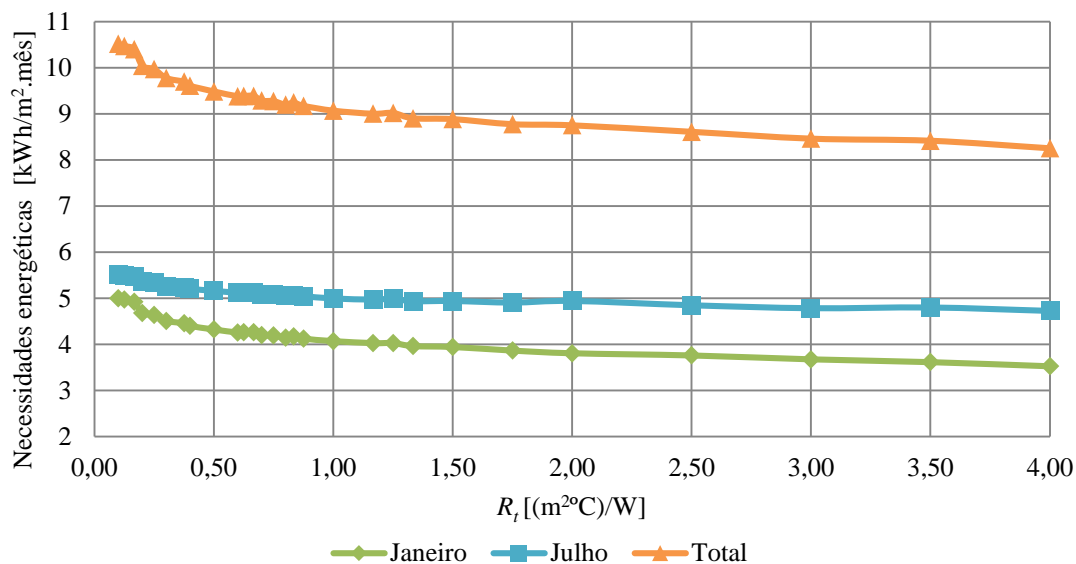


Gráfico 4.6 – Necessidades energéticas para os meses de Janeiro e Julho (método horário)

5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Após exposição da metodologia e a sua aplicação é importante analisar os resultados obtidos para a percepção das principais diferenças e fragilidades de ambos os métodos de cálculo, para uma correcta definição da escala de classificação energética dos materiais.

Quando é feita uma análise dos resultados em função do método de cálculo de desempenho energético utilizado são observáveis comportamentos diferentes, tal como indica o Gráfico 5.1, onde é claramente visível um afastamento no valor das necessidades energéticas, principalmente na estação de arrefecimento.

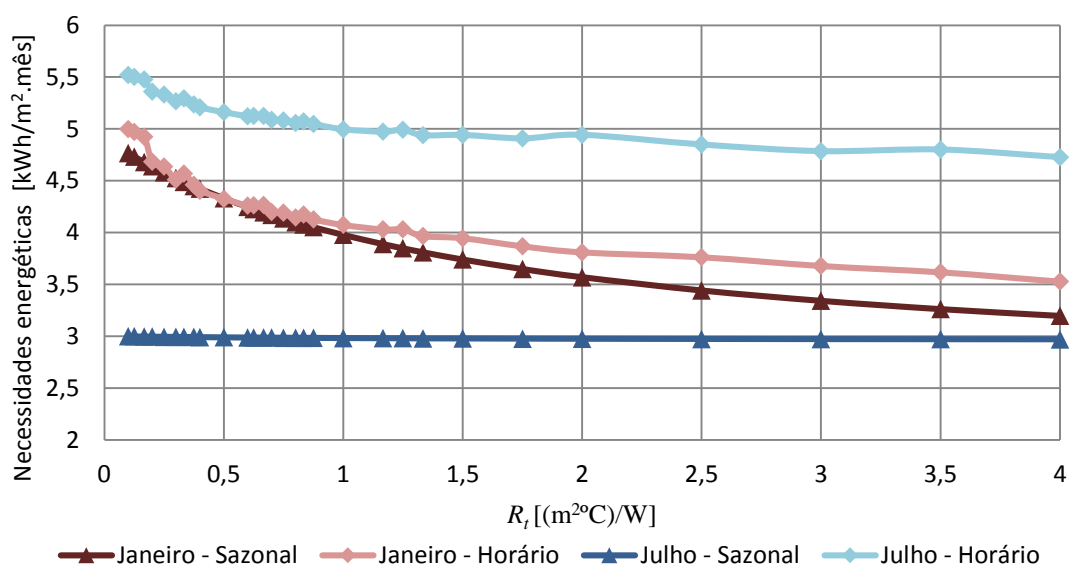


Gráfico 5.1 – Comparação gráfica do método sazonal e horário para os meses de Janeiro e Julho

Na estação de aquecimento é verificável uma aproximação nos resultados de ambos os métodos. Para uma avaliação mais pormenorizada é apresentada, no Gráfico 5.2, uma análise discriminada das perdas e ganhos tendo em consideração a influência dos diferentes parâmetros para o cálculo das necessidades de energia útil (transmissão de calor através da envolvente, transmissão de calor por ventilação e ganhos térmicos brutos). Primeiramente, é evidente a

desconsideração das pontes térmicas lineares pelo método dinâmico horário, no entanto os resultados da aplicação da metodologia já sofreram uma correcção no valor das PTL. O efeito da introdução das PTL está descrito no Gráfico 5.3, onde se verifica um aumento de 29% nas necessidades energéticas na estação de aquecimento. Nos parâmetros ventilação e infiltrações também se verifica uma disparidade, devido à não contabilização das infiltrações, agora por parte do método sazonal, resultando numa escala de valores inferior para o método sazonal. Esta diferença advém do facto de o método horário não contabilizar somente as perdas por transmissão de calor por ventilação, mas também as infiltrações resultantes do respectivo sistema de ventilação natural considerado para o edifício de referência. Verifica-se também uma diferença considerável nas perdas por transmissão de calor pela cobertura.

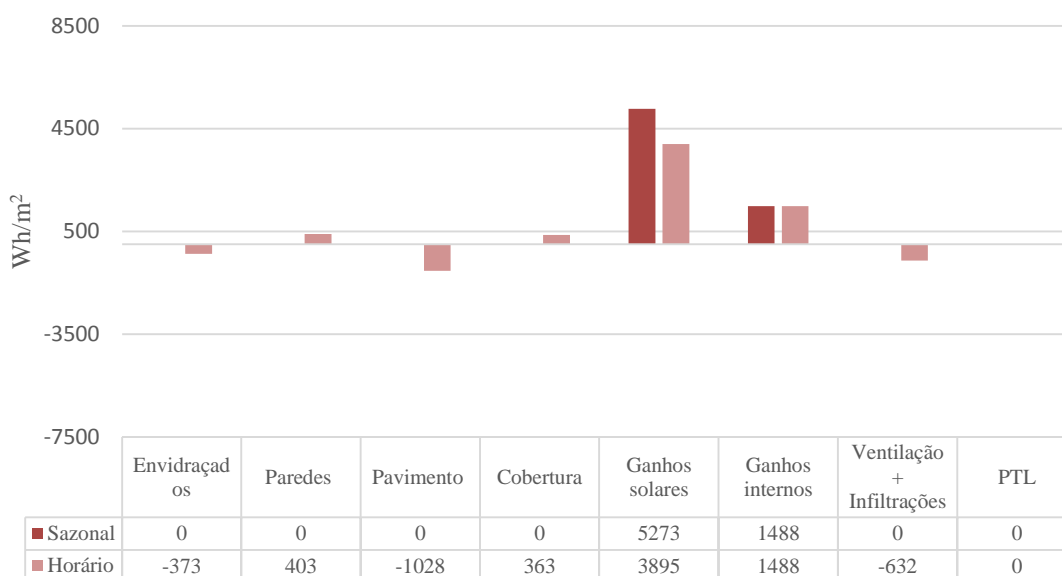


Gráfico 5.2 – Comparação discriminada entre o método sazonal e dinâmico para a estação de aquecimento

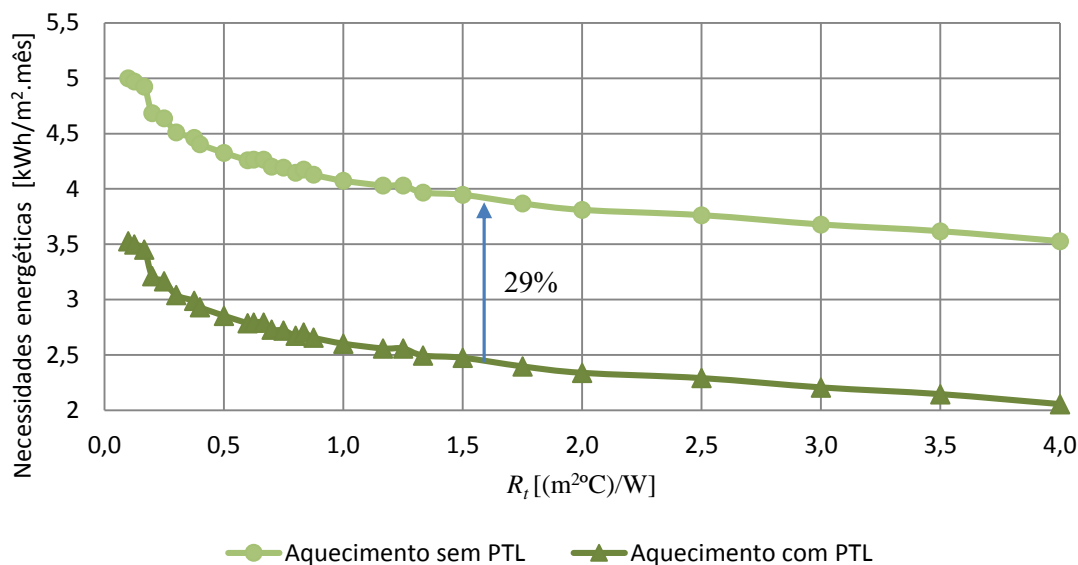


Gráfico 5.3 – Verificação do efeito da correção das pontes térmicas lineares na estação de aquecimento

É então na estação de arrefecimento que se verifica uma grande discrepância nos resultados dos diferentes métodos de cálculo. Quando voltamos a analisar a equação 5 para o cálculo das necessidades de energia útil para a estação de arrefecimento, podemos verificar que apenas são considerados os ganhos térmicos brutos. As componentes de transmissão de calor pela envolvente e por ventilação apenas são consideradas para a obtenção do factor de utilização de ganhos no Verão. Já o método horário contabiliza ganhos e perdas por transmissão de calor pela envolvente e por ventilação e apresenta também uma diferença nos ganhos solares (Gráfico 5.4), provocando valores de necessidades energéticas mais elevados por parte do método horário.

Similarmente, podemos verificar que segundo o Gráfico 5.1, o método horário revela um intervalo de necessidades energéticas bastante superior na estação de arrefecimento comparativamente ao método sazonal, onde a variação é quase nula. Ao considerar um balanço energético nos elementos da envolvente, o método horário contempla o efeito da massa térmica no Verão, ou seja a variação de materiais na envolvente opaca do edifício provoca decréscimos de necessidades mais acentuados.

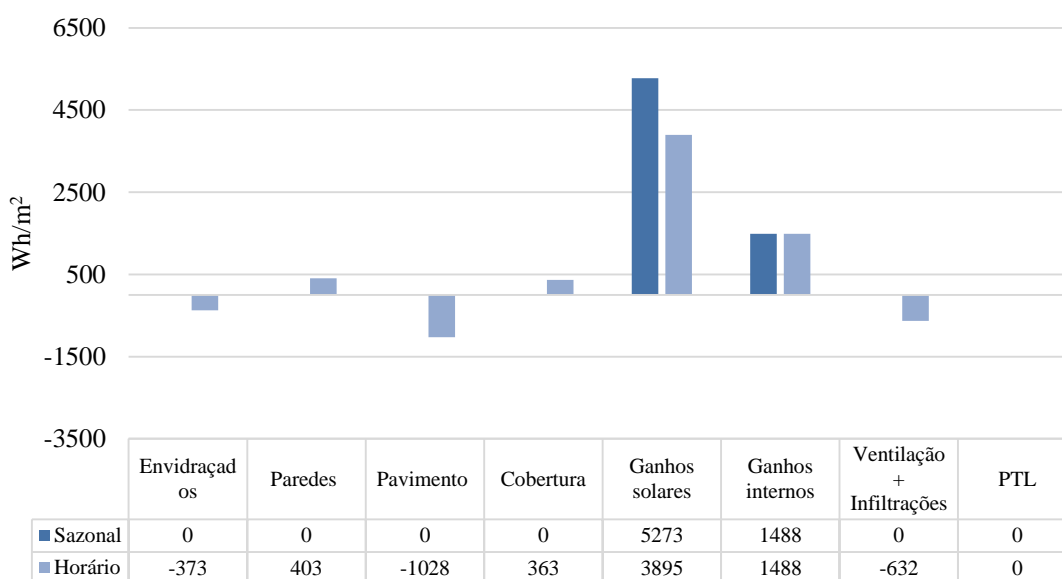


Gráfico 5.4 – Comparação discriminada entre o método sazonal e dinâmico para a estação de arrefecimento

Os Gráficos 5.2 e 5.3 foram obtidos através dos resultados da metodologia, para uma resistência dos componentes de alvenaria, escolhida aleatoriamente, de $2,5 \text{ (m}^2\text{C)/W}$, que apresenta um factor de utilização de ganhos na estação de aquecimento de $0,79$ e na estação de arrefecimento de $0,56$.

Considera-se também relevante reflectir acerca do comportamento das “curvas” obtidas pela união dos resultados. Quando analisamos os resultados do desempenho energético através do método horário é possível observar um comportamento ligeiramente menos uniforme ao longo do eixo de resistência térmica, comparativamente ao método sazonal. Com a utilização de um maior número de propriedades térmicas o comportamento energético do edifício com a variação das propriedades térmicas das alvenarias apresenta valores menos sequenciados, pois reflecte-se o efeito da difusividade térmica descrita pela equação 3, presente no subcapítulo 3.4. Ao fazer variar a condutibilidade térmica estamos a provocar variações no atraso térmico da envolvente que, consequentemente, provoca uma variação nas necessidades energéticas. Ao variar somente a resistência térmica o mesmo não aconteceria, pois estaríamos a desprezar o efeito da massa térmica na capacidade de resposta do edifício a variações de temperatura.

Chegada a fase da definição de uma escala de classificação energética é relevante fazer uma análise dos resultados das necessidades de energia útil totais (Gráfico 5.5), uma vez que a classificação será obtida através dos totais de necessidades das estações de aquecimento e

arrefecimento. Como expectável, após as análises posteriores, ocorre uma diferença média de cerca de 24% entre os resultados totais dos métodos, devido principalmente aos resultados da estação de arrefecimento, que revelaram uma elevada disparidade, tal como indica o Gráfico 5.1.

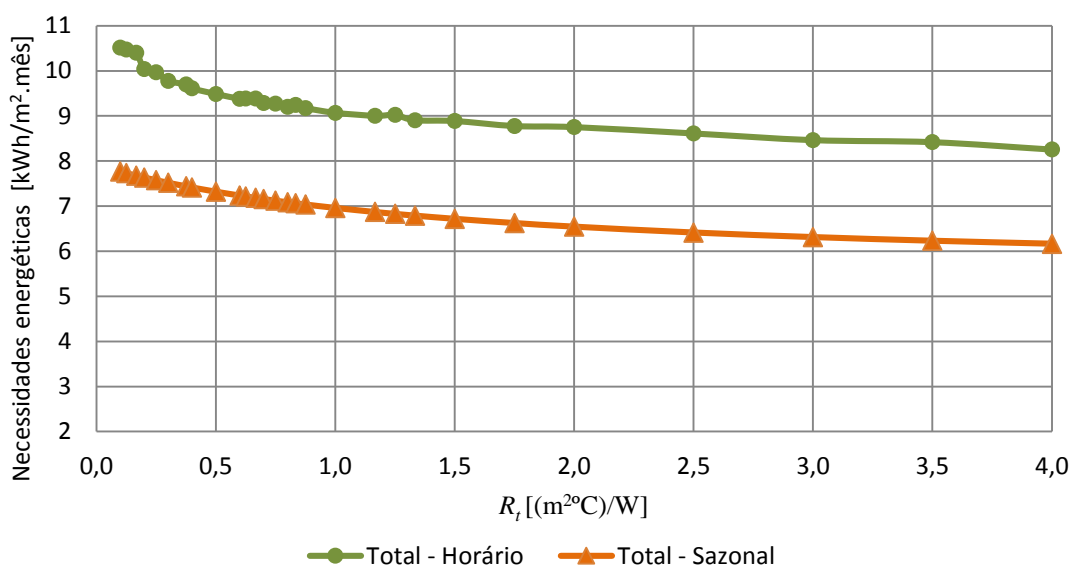


Gráfico 5.5 – Resultados totais da aplicação da metodologia através do método sazonal e horário

A classificação energética, segundo a Directiva 2010/30/EU é representada segundo uma escala alfabética de A a G, por ordem decrescente de desempenho energético. Os resultados obtidos permitem uma classificação através dos dois métodos de cálculo do desempenho energético, mas anteriormente foram necessárias algumas considerações.

Primeiramente, para a determinação da escala de classificação energética definiu-se que para uma resistência térmica igual ou superior a 2 (m²C)/W os materiais pertencem à classe A, permitindo assim a criação de uma classificação mais realista perante os materiais disponíveis no mercado nacional e garantindo a existência de produtos com classificação elevada. É de notar que a limitação da classe energética A permitirá que em caso de progresso do mercado, no que se refere ao desempenho térmico e energético dos materiais, a classificação continue válida, pois possibilita uma extensão da classificação.

As restantes classes foram definidas, simplificada, através de uma ponderação equitativa no intervalo de necessidades energéticas para o intervalo de resistência 0,10 a 2 (m²C)/W,

surgindo desta forma os Gráficos 5.6 e 5.7. Esta metodologia de definição da escala de classificação é apenas um exemplo, pois esta pode ser definida de forma adaptada aos produtos alvo. Os valores limite de necessidades energéticas e resistência térmica (eixos x e y) para cada classe estão presentes no Quadro 5.1, sendo que para a obtenção dos valores de resistência térmica foi necessário recorrer à definição de uma linha de tendência polinomial ajustada, para cada método.

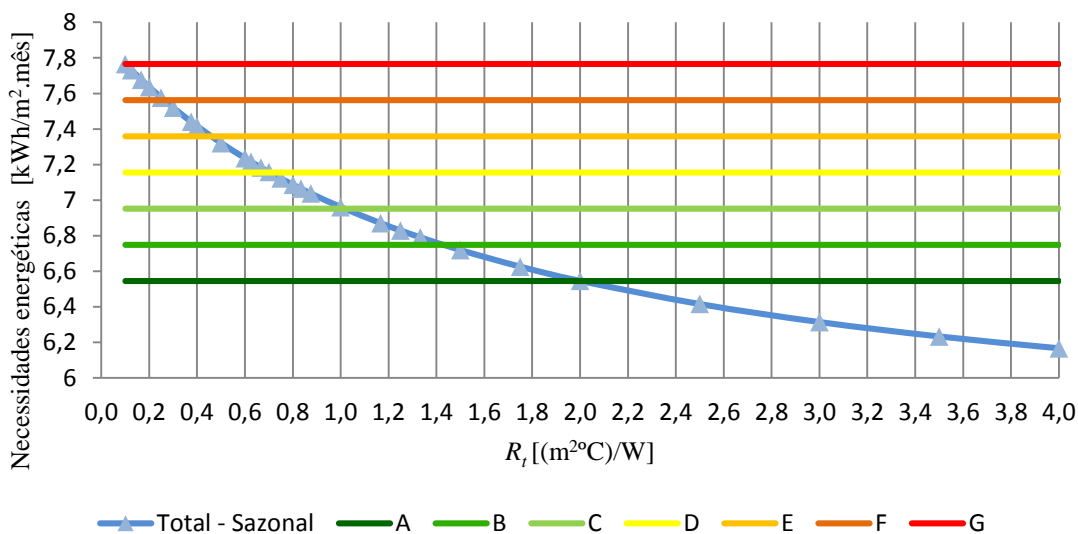


Gráfico 5.6 – Definição da classificação energética através do método sazonal

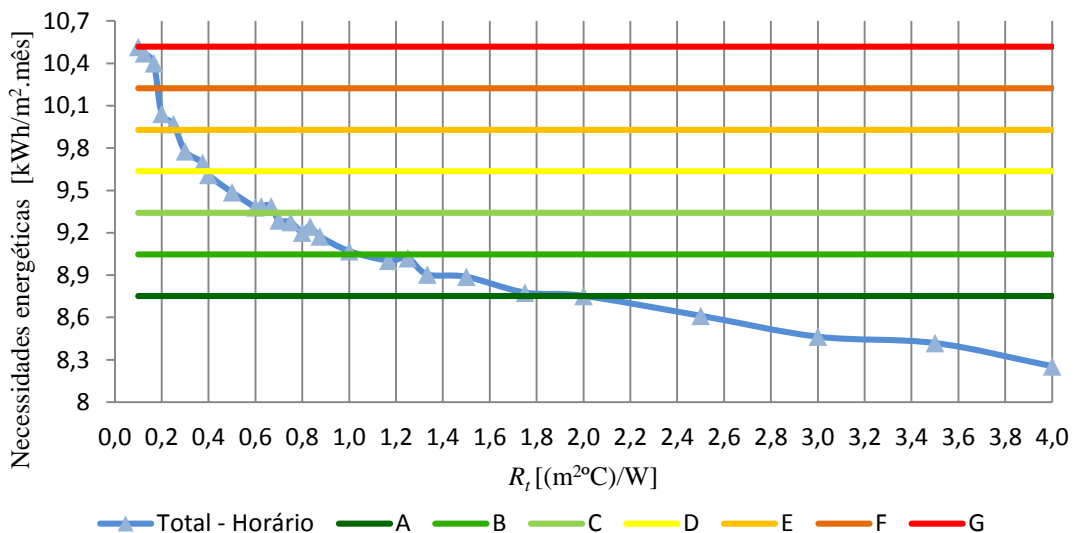


Gráfico 5.7 – Definição da classificação energética através do método horário

Para perceber as diferenças na classificação através da utilização dos diferentes métodos, é feita uma análise gráfica (Gráficos 5.6 e 5.7) e numérica (Quadro 5.1), concluindo-se facilmente que os métodos apresentam diferenças nos intervalos de resistência térmica. Esta análise indica que a utilização indiscriminada dos métodos não corresponde a uma mesma classificação, ou seja, um material pode apresentar uma classificação diferente consoante o método utilizado para a definição da escala de classificação.

Exemplificando, se utilizarmos o tijolo térmico 30x19x14 presente no estudo de mercado, que exhibe uma resistência térmica de 0,79 (m²C)/W, este apresenta uma classe energética D perante a classificação através do método sazonal e uma classe energética de C perante o método horário, o mesmo acontece para alguns dos restantes produtos. Este facto deriva principalmente do intervalo de resistências da classe energética C da classificação através do método horário.

Quadro 5.1 – Valores limite de resistência térmica e necessidades energéticas para cada classe energética

Classe energética	Sazonal		Horário	
	R _t [(m ² C)/W]	Necessidades energéticas [kWh/m ² .mês]	R _t [(m ² C)/W]	Necessidades energéticas [kWh/m ² .mês]
A	2	6,55	2	8,75
B	1,43	6,75	1,14	9,05
C	1,01	6,95	0,63	9,34
D	0,7	7,16	0,41	9,64
E	0,46	7,36	0,28	9,93
F	0,26	7,56	0,18	10,22
G	0,1	7,77	0,1	10,52

Perante todas as considerações a escolha do método de cálculo do desempenho energético a ser utilizado na metodologia de etiquetagem de produtos de alvenaria torna-se então um procedimento necessário. Perante os pressupostos apresentados a escolha recai sobre o método dinâmico uma vez que se trata de um método mais complexo e logicamente mais detalhado. Neste método são reduzidas as simplificações e a consideração das perdas e ganhos principalmente na estação de arrefecimento é bastante mais completa, aproximando os resultados à realidade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dissertação apresentada constitui o estudo de uma metodologia que permite a etiquetagem energética de componentes de alvenaria, contribuindo para o desenvolvimento de processos de etiquetagem voluntária de produtos de construção.

As alvenarias, tijolos cerâmicos e blocos de betão, pelo impacte no comportamento dos edifícios, principalmente num ambiente nacional, tornam-se produtos que perante as recentes alterações na directiva que regulamenta a rotulagem energética de produtos, revelaram um elevado interesse como produtos alvo.

A metodologia fundamentada na recente norma ISO 18292:2011 engloba quatro etapas principais: a preparação de dados climáticos, preparação do edifício de referência, preparação das propriedades térmicas das alvenarias e o cálculo do desempenho energético. A aplicação da metodologia e a discussão de resultados permitiu retirar algumas conclusões que serão apresentadas seguidamente.

Numa etapa inicial, aquando da definição dos dados climáticos e com a consciência do conjunto de cidades representativo das diferentes condições climáticas de Inverno e de Verão, foi possível verificar a dificuldade da utilização das três cidades para a aplicação da metodologia, pela evidência dos seus diferentes comportamentos climáticos. Concluindo-se necessária a utilização de um ficheiro climático médio obtido através da média aritmética dos diferentes parâmetros considerados para a simulação climática. Pode concluir-se também, que através da utilização do ficheiro médio não estamos a incorrer num grau de erro elevado.

Na preparação do edifício de referência revelou-se necessária a adopção de grande número de propriedades e características, como os ganhos internos, temperaturas de set-point e pontes térmicas lineares, que revelaram importância nos resultados finais, principalmente na percepção das diferenças entre os métodos de cálculo utilizados.

Numa terceira fase onde se procurou identificar e compreender as principais propriedades dos componentes de alvenaria em estudo, verificou-se a importância do estudo de mercado realizado para a criação de uma metodologia adequada à realidade do mercado alvo. Nesta etapa

foi também possível ter a percepção da importância das propriedades térmicas das alvenarias, concluindo-se que as propriedades, calor específico e massa volúmica não exercem uma influência muito elevada no desempenho energético do edifício. Esta verificação é marcante, quando se pretende a criação de uma metodologia para a etiquetagem de produtos não sujeitos a acto delegado, uma vez que não confere a necessidade da realização acrescida de ensaios para a obtenção de um maior número de propriedades, por parte dos produtores. Assim, apresenta-se uma metodologia de fácil aplicação.

A aplicação da metodologia através de dois métodos de cálculo possibilitou um enriquecimento do estudo, uma vez que permitiu uma comparação pormenorizada dos resultados obtidos com a aplicação dos diferentes métodos. Pode-se concluir que os métodos apresentam diferenças consideráveis em ambas as estações, mas com mais representatividade na estação de arrefecimento. As diferenças encontradas são causadas pela consideração e/ou desconsideração de parâmetros importantes como, as infiltrações pelo sistema de ventilação natural, as pontes térmicas lineares ou pela adopção de um maior número de propriedades térmicas como condutibilidade térmica, espessura, massa volúmica e calor específico no método horário, em contraste com a resistência térmica no método sazonal.

Por fim na definição de uma escala de classificação, procurou-se novamente uma comparação entre métodos. Resultando a conclusão de que a utilização de dois métodos produz escalas de classificações distintas, pois apresenta intervalos de resistência térmicas consideravelmente diferentes. Por isso, para uma futura aplicação da metodologia, o método de cálculo de desempenho energético mais adequado seria o método horário, pois apresentou-se como um método mais completo e exibindo resultados mais próximos da realidade.

Após estas considerações é possível afirmar que os objectivos inicialmente previstos foram cumpridos, contudo e numa fase final também é importante evidenciar as fragilidades do trabalho apresentado. Como principal falha podemos identificar uma lacuna provocada pela desconsideração do efeito das juntas de argamassa, características das construções de alvenaria, no comportamento térmico e energético da envolvente opaca dos edifícios. Tal como evidenciaram alguns estudos anteriormente apresentados as juntas de argamassa agem como pontes térmicas lineares que podem provocar um aumento das necessidades energéticas globais dos edifícios, pois podem representar até cerca de 9,1% da envolvente, em caso de utilização de alvenarias nas soluções construtivas. A consideração das juntas de argamassa provocaria um elevado grau de incerteza uma vez que a percentagem destes elementos nas soluções construtivas seria muito variável consoante as dimensões e percentagem de furação dos produtos.

Uma avaliação mais pormenorizada dos elementos sujeitos a simplificação e a incorporação de questões como a apresentada, relativa às juntas de argamassa, podem constituir fundamentos para um trabalho futuro. Pode também ser realizado um aprofundamento do estudo das diferenças metodológicas para a avaliação do desempenho energético.

As alterações na directiva que regulamenta os sistemas de etiquetagem energética e as crescentes preocupações energéticas possibilitam um vasto conjunto de trabalhos como:

- Estudar o impacto relativo de cada um dos produtos passíveis de ser classificados no desempenho energético global de um edifício (por exemplo, nos electrodomésticos a influência de alteração de classe de um frigorífico e de uma máquina de lavar a roupa; no caso da envolvente dos edifícios, a importância da alteração da classificação de componentes da parede versus uma janela);
- Estudar a possibilidade de caracterização de soluções construtivas para a envolvente opaca completas, ou seja, avaliar o sistema já com uma combinação completa de componentes, desde os acabamentos aos elementos de suporte e com capacidade isolante).

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Comissão Europeia (2014). Disponível em: http://ec.europa.eu/index_pt.htm. [Consultado a 04-Mar-2014].
- [2] Comissão Europeia (2011). “Energy 2020”.
- [3] Agência Europeia do Ambiente (2013). “Trends and projections in Europe 2013”.
- [4] União Europeia (2012). “Energy Markets in the European Union in 2011”.
- [5] EuroStat (2014). “Final energy consumption, by sector”. Disponível em: http://http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/product_details/dataset?p_product_code=TSDPC320 [Consultado a 04-Mar-2014].
- [6] Decreto-Lei 118/2013, Diário da República N° 89 de 20 de Agosto, 1ª série. Ministério da Economia e do Emprego. Lisboa.
- [7] Directiva 2009/125/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 21 de Outubro de 2009 relativa à criação de um quadro a definir os requisitos de concepção ecológica dos produtos relacionados com o consumo de energia (reformulação). Jornal Oficial da União Europeia, L 285/10 de 31.10.2009.
- [8] Directiva 2010/30/EU do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa à indicação do consumo de energia e de outros recursos por parte dos produtos relacionados com a energia, por meio de rotulagem e outras indicações uniformes relativas aos produtos (reformulação). Jornal Oficial da União Europeia, L 153/1 de 18.6.2010.
- [9] Ipsos MORI, London Economics and AEA (2012). “Research on EU product label options”, Final report - Study delivered by Ipsos MORI, London Economics and AEA for the European Commission.
- [10] Dendler, L. (2013). “Sustainability Meta Labelling: an effective measure to facilitate more sustainable consumption and production?”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 63, pp. 74–83.

-
- [11] Decreto-Lei 63/2011, Diário da República N° 89 de 9 de Maio, 1ª série. Ministério da Economia, da inovação e do desenvolvimento. Lisboa.
- [12] Kubiak, R. and Grönroos-Saikkala, I. (2013). “Energy Labelling”, The REHVA European. HVAC Journal, pp. 13–17.
- [13] BIO Intelligence Service (2013). “Implications of the new Energy Labelling Directive (2010/30/EU) and the Ecodesign of energy-related products (Ecodesign) Directive (2009/125/EC) on market surveillance activities”, ATLETE II: Second Work Package prepared for ADEME.
- [14] ADENE - Agência para a energia, (2012). “Guia da eficiência energética”.
- [15] Mills, B. and Schleich, J. (2009). “What’s driving energy efficient appliance label awareness and purchase propensity?”, Energy Policy, vol. 38, no. 2, pp. 814–825.
- [16] Seppänen, O. (2013). “Steps and policies towards better energy efficiency of European buildings”, The REHVA European. HVAC Journal, pp. 5–12.
- [17] ISO 18292:2011, Energy performance of fenestration systems for residential buildings - Calculation procedure.
- [18] Simões, N., Gonçalves, E. and Pedro, F. (2012). “Sensitivity analysis for a Portuguese window energy rating system (PWERS)”, 7th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems - SDEWES Conference.
- [19] SEEP - Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos (2013). Disponível em: <http://www.seep.pt/pt-PT/Paginas/default.aspx> [Consultado a 07-Mar-2014].
- [20] ADENE - Agência para a Energia (2013). “Etiquetagem energética de janelas”, Versão 2.0.
- [21] Al-Sanea, S. A., Zedan M. F. and Al-Hussain, S. N. (2011). “Effect of thermal mass on performance of insulated building walls and the concept of energy savings potential,” Applied Energy, no. 1, vol. 89, pp. 430–442.
- [22] Al-Sanea, S. A., Zedan M. F. and Al-Hussain, S. N. (2012). “Effect of masonry material and surface absorptivity on critical thermal mass in insulated building walls,” Applied Energy, vol. 102, pp. 1063–1070.
- [23] Al-Sanea, S. A. and Zedan M. F. (2012). “Effect of thermal bridges on transmission loads and thermal resistance of building walls under dynamic conditions,” Applied Energy, vol. 98, pp. 584–593.
-

-
- [24] Wakili, K. G. and Tanner, C. (2002). “U-value of a dried wall made of perforated porous clay bricks Hot box measurement versus numerical analysis,” *Energy and buildings*, vol. 35, pp. 675–680.
- [25] Uygunoğlu, T. and Keçebaş, A. (2011). “LCC analysis for energy-saving in residential buildings with different types of construction masonry blocks,” *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 9, pp. 2077–2085.
- [26] Al-Hadhrami, L. M. and Ahmad, A. (2008). “Assessment of thermal performance of different types of masonry bricks used in Saudi Arabia”, *Applied Thermal Engineering*, vol. 29, no. 5–6, pp. 1123–1130.
- [27] Sousa, L. C., Sousa, H., Castro, C. F., António, C. C. and Sousa, R. (2013). “A new lightweight masonry block: Thermal and mechanical performance,” *Archives of Civil Mechanical Engineering*, vol. 14, no. 1, pp. 160–169.
- [28] Zukowski, M. and Haese, G. (2010). “Experimental and numerical investigation of a hollow brick filled with perlite insulation,” *Energy Buildings*, vol. 42, no. 9, pp. 1402–1408.
- [29] Kočí, V., Bažantová, Z. and Černý, R. (2014). “Computational analysis of thermal performance of a passive family house built of hollow clay bricks,” *Energy and Buildings*, vol. 76, pp. 211–218.
- [30] Santos, C. A. P. e Matias, L. (2006). “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios (ITE 50)”, Lisboa.
- [31] Preceram (2013). Preceram- Indústrias de Construção, S.A., Pombal, Portugal.
- [32] Artebel (2009). Artebel - Soluções Construtivas em Betão, Meirinhas de Cima, Portugal.
- [33] Previcon (2014). Previcon Pré-esforçados, S.A., Oliveira de Frades, Portugal.
- [34] Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação). *Jornal Oficial da União Europeia*, L 153/13 de 18.6.2010.
- [35] Decreto-Lei 80/2006, Diário da República N° 67 de 4 de Abril, 1ª série. Ministério da Economia e do Emprego. Lisboa.
- [36] Cengel, Y.A. (2003). “Heat transfer - A practical approach”, McGraw-Hill, 932 p.
- [37] EN ISO 13790:2008, “Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling”, European Committee for Standardization (CEN).
-

- [38] DesignBuilder Software Ltd. (2014). “DesignBuilder”, Versão 3.4.0.042.
- [39] Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) (2014) “Anos meteorológicos de referência para simulação dinâmica.” V1.04.
- [40] ITeCons, (2011). Catálogo Online de Pontes Térmicas Lineares, Guia de utilização.
- [41] ITeCons, (2014). “Folha de Cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios, de acordo com o REH (Decreto-lei nº118/2013 de 20 de Agosto”, Documento de cálculo, Versão 3.03.
- [42] Sousa, H. (2003). “Construções em alvenaria”. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Apontamentos.
- [43] Prata, J. e Simões, N. (2010). “Caderno sobre Pontes Térmicas Lineares”, Versão 1.0.
- [44] Associação PassivHaus Portugal, (2013). Disponível em: <http://passivhaus.pt/index.html> [Consultado a 27-Mar-2014].