

**Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação:
O Edifício Como Sistema Energético “Tout Court”**

Gonçalo Saraiva Azevedo Lagarto

Relatório Dissertação do MIEM

Orientador na FEUP: Prof. Eduardo Oliveira Fernandes



FEUP

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Junho 2013

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético
“Tout Court”

RESUMO

Portugal é um país na orla atlântica, com um clima temperado húmido, com temperaturas amenas e um elevado índice de insolação, mesmo na estação fria. A amenidade do clima foi, por defeito, tomada como uma desculpa para ignorar o comportamento térmico dos edifícios enquanto sistemas energéticos, em vez de usar estes para ‘ajudar’ aquela mesma amenidade e construir edifícios com qualidade térmica.

Quando, na sequência das crises petrolíferas das décadas de 70 e 80, Portugal pôde dispor do primeiro Regulamento para a térmica dos edifícios (Decreto-Lei n.º 40/90) com aplicação a partir de 1 de Janeiro de 1991, o objeto central da regulamentação não foram os sistemas de aquecimento, de ventilação ou mais genericamente, de ar condicionado, mas sim os próprios edifícios como sistemas energéticos que podem captar, armazenar e gerir o calor para fins úteis e de conforto.

Na realidade, o sector residencial é hoje responsável por grande parte das necessidades energéticas de uma cidade, que decorrem da expansão, quase saturação, do uso de equipamentos elétricos e outros na cozinha, para fins lúdicos e de informação, comunicação, iluminação e, naturalmente, de conforto ambiental, seja de inverno (aquecimento) seja de arrefecimento (ar condicionado).

Todavia, se por um lado, as cidades são chamadas a um certo protagonismo na utilização racional da energia e conseqüente contributo para a redução das emissões de CO₂ *per capita*, caso precisamente da Cidade do Porto com o seu PAES (Plano de Ação para a Energia Sustentável), por outro, a intervenção no edificado não pode debruçar-se apenas nas novas construções. O Porto, concretamente, é uma cidade em que a reabilitação urbana poderá dizer respeito a cerca de 70% dos seus edifícios, nomeadamente no seu Centro Histórico.

A problemática deste trabalho debruça-se na inclusão das preocupações energéticas nos programas de reabilitação no Centro Histórico do Porto. Naturalmente, a regulamentação acima referida (RCCTE) prudentemente prevê a excecionalização da sua aplicação, em casos de edifícios históricos ou com relevância cultural específica. Porém, no caso do Centro Histórico, uma abordagem estratégica do assunto envolvendo a Direção Regional da Cultura do Norte, a SRU (Porto Vivo) e a AdEPorto (Agência de Energia do Porto) permitiu criar as condições para a exploração das possibilidades de usar o RCCTE e eventualmente, ir mais além no quadro do SCE (Sistema Nacional de Certificação Energética de Edifícios, Decreto-Lei n.º 80/2006).

O foco desta tese é, pois, o de efetuar uma avaliação de sensibilidade das várias possibilidades de intervenção de reabilitação em função da valorização energética e do respetivo impacto económico.

Os resultados mais relevantes resultam da inclusão de isolamento térmico na envolvente opaca do edificado, resultando num decréscimo de cerca de 50% da procura de energia como resposta às necessidades de aquecimento ambiente, representando a sua implementação num aumento do custo que poderá chegar a 3% do valor estipulado de uma intervenção em que não estão previstas preocupações ao nível de uma valorização energética do património existente.

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético
“Tout Court”

RCCTE’s Costs and Limits in Rehabilitation: The Building as a ‘Tout Court’ Energetic System

ABSTRACT

Portugal is located in the Atlantic marine border and has a temperate moist climate with mild temperatures and an elevated insolation index even in the cold season. This climate amenity was considered by default as an excuse to ignore buildings’ thermal behaviour as an energetic system instead of using it to help construct buildings with thermal quality.

When Portugal, following the oil crisis of the 1970’s and 1980’s, was able to lay out the first Regulation considering building’s thermal needs (Decreto-Lei n.º 40/90) on January 1st 1991 the main purpose was to set the buildings as energetic systems that can capture, store and manage heat for comfort purposes instead of focusing on heating or ventilation systems.

In reality the housing sector is nowadays responsible for most of the city’s energetic demand due to the increasing and almost saturating level of electronic equipments usage for cooking, entertainment, communication, lighting and creation of comfortable conditions in the winter (heating) or in the summer (cooling).

However, the cities are demanded a certain involvement in the rational usage of energy and subsequent reduction of CO₂ emissions *per capita* as shown in Oporto with its PAES (Plano de Acção para a Energia Sustentável). On the other hand, this kind of intervention must focus not only in the new buildings but also in the buildings that need rehabilitation. In Oporto this urban rehabilitation can account for almost 70% of the buildings, particularly in the historical centre.

This thesis focus on including energetic concerns in the rehabilitation programs of Oporto’s historical centre. The Regulation above mentioned (RCCTE) cautiously predicts exceptions on its application in case of historical or culturally relevant buildings. Nevertheless, when considering the historical centre, a strategic approach involving Direcção Regional da Cultura do Norte, SRU (Porto Vivo) and AdEPorto (Agência de Energia do Porto) allowed the creation of the necessary conditions to use RCCTE and eventually go further within the framework of SCE (Sistema Nacional de Certificação Energética de Edifícios, Decreto-Lei n.º 80/2006).

This thesis proposes to perform an evaluation of the sensibility of various rehabilitation possibilities regarding their energetic recovery and their respective economic impact.

The most relevant results are an outcome of the inclusion of thermal insulation in the wall side resulting in a decrease of almost 50% of the energetic demand as a response to lesser heating needs. Implementing this insulation can cause an increase of up to 3% of the total intervention cost if comparing to the same intervention without energetic concerns.

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético
“Tout Court”

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer ao Professor Eduardo Oliveira Fernandes pela ajuda no decorrer do trabalho, e me ter possibilitado excelentes condições para a sua realização.

Um grande obrigado ao Emanuel Sá pela paciência e conhecimento transmitido, sem esquecer o João Silva e Alexandre Varela.

A todos os meus Amigos pelos bons momentos, que nunca serão esquecidos, em especial ao Tiago Magalhães, Gonçalo Iglésias e Rui Barros pela colaboração no trabalho.

À Ana Catarina por tudo o que passámos juntos.

Aos meus Pais pelo amor, amizade e presença ao longo da vida.

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético
“Tout Court”

ÍNDICE

Resumo	i
Abstract.....	iii
Agradecimentos	v
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e Motivação	1
1.2. Objetivos	3
2. Parque Habitacional e Consumos Energéticos Associados.....	5
2.1. Perspetiva Histórica da Habitação em Portugal.....	5
2.2. Enquadramento da Reabilitação em Portugal	6
2.3. Programas de Incentivo à Reabilitação	7
2.4. Consumos Energéticos Dos Edifícios	9
3. Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios	13
4. Definição do Caso de Estudo	15
4.1. Definição Física do Caso de Estudo	15
4.1.1. Paredes	19
4.1.2. Cobertura.....	20
4.1.3. Lajes de Pavimento e Teto	21
4.1.4. Vãos Envidraçados	21
4.2. Características do Edifício Face ao RCCTE.....	22
4.3. Metodologia Adotada	23
5. Valorização Energética e Impacto Económico das Propostas de Reabilitação.....	25
5.1. Entre a Excecionalização Regulamentar e alguma Valorização Energética.....	25
5.2. O Potencial de Soluções de Reabilitação na Melhoria do Comportamento Térmico do Edificado	37
5.2.1. Análise de Sensibilidade à Influência do Isolamento no Comportamento Térmico	38
5.2.2. Análise de Sensibilidade à influência dos Vãos Envidraçados no Comportamento Térmico	47
5.2.3. Análise de Sensibilidade à Influência da Taxa de Renovação de Ar no Comportamento Térmico	51
6. Conclusões e Recomendações de Trabalhos Futuros.....	55
7. Bibliografia.....	57

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético
“Tout Court”

Anexo A: Caraterísticas Técnico-Económicas das Soluções de Reabilitação – Piso 1.....	59
Anexo B: Caraterísticas Técnico-Económicas das Soluções de Reabilitação – Piso 2.....	63
Anexo C: Diversas Soluções para os Vãos Envidraçados	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Dimensões do desenvolvimento sustentável [13].....	7
Figura 2 - Variação da taxa de dependência energética em Portugal [17]	9
Figura 3 - Matriz energética do Porto [4]	10
Figura 4 - Limites e enquadramento do Centro Histórico do Porto [16].....	15
Figura 5 - Perspetiva do Centro Histórico do Porto [16].....	16
Figura 6 - Fachada principal e traseira do edifício em estudo.....	17
Figura 7 - Plantas dos pisos constituintes do edifício em estudo	18
Figura 8 - Vista em perspetiva do edifício em estudo	18
Figura 9 - Parede de fachada em alvenaria de pedra [21]	19
Figura 10 - Parede de fachada em tabique [22]	20
Figura 11 - Laje de teto em madeira [23]	21
Figura 12 - Caixilharia de madeira associada a vidro simples, com proteção interior [5]	22
Figura 13 - Elementos da envolvente intervencionados	26
Figura 14 - Elementos da envolvente intervencionados	33
Figura 15 - Elementos da envolvente intervencionados na análise de influência do isolamento no comportamento térmico da habitação.....	38
Figura 16 - Elementos da envolvente intervencionados na análise de influência da inércia no comportamento térmico da habitação.....	43
Figura 17 - Elementos da envolvente intervencionados na análise de influência dos vãos envidraçados no comportamento térmico da habitação.....	48

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético “Tout Court”

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Dados geométricos do edifício em estudo.....	19
Quadro 2 - Dados climáticos do edifício em estudo.....	22
Quadro 3 - Coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente do edifício em estudo.....	23
Quadro 4 - Valores de Nic respeitantes aos pisos constintuintes do edifício em estudo na situação pré-existente	26
Quadro 5 - Proposta de reabilitação ao nível dos vãos envidraçados – Piso 3.....	27
Quadro 6 - Proposta de reabilitação ao nível da cobertura – Piso 3.....	28
Quadro 7 - Proposta de reabilitação ao nível das paredes de meação e caixa de escadas – Piso 3	30
Quadro 8 - Proposta de reabilitação ao nível das paredes de fachada – Piso 3.....	31
Quadro 9 - Propostas de reabilitação ao nível de vários elementos da envolvente – Piso 3	34
Quadro 10 - Variação de Nic e sobrecusto associado às soluções de reabilitação – Piso 1	37
Quadro 11 - Variação de Nic e sobrecusto associado às soluções de reabilitação – Piso 2	37
Quadro 12 - Propostas de reabilitação ao nível de vários elementos da envolvente opaca.....	39
Quadro 13 - Propostas de reabilitação ao nível de vários elementos da envolvente opaca.....	44
Quadro 14 - Propostas de reabilitação ao nível dos vãos envidraçados	49
Quadro 15 - Propostas de intervenção ao nível da taxa de renovação de ar.....	51
Quadro 16 - Proposta de reabilitação ao nível dos vãos envidraçados – Piso 1.....	59
Quadro 17 - Proposta de reabilitação ao nível das paredes de fachada – Piso 1	60
Quadro 18 - Proposta de reabilitação ao nível da laje de pavimento – Piso 1.....	60
Quadro 19 - Proposta de reabilitação ao nível das paredes de meação e caixa de escadas – Piso 1	61
Quadro 20 - Proposta de reabilitação ao nível da laje de teto – Piso 2	63
Quadro 21 - Proposta de reabilitação ao nível dos vãos envidraçados – Piso 2.....	64
Quadro 22 - Proposta de reabilitação ao nível das paredes de fachada – Piso 2.....	64
Quadro 23 - Proposta de reabilitação ao nível das paredes de meação e caixa de escadas – Piso 2	65
Quadro 24 - Propostas de intervenção ao nível dos vãos envidraçados (vidro duplo).....	67
Quadro 25 - Propostas de intervenção ao nível dos vãos envidraçados (janela dupla).....	67

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético
“Tout Court”

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Repartição de energia primária pelos principais setores de atividade (valores relativos) [4]	11
Gráfico 2 - Repartição de energia do subsector residencial pelas diversas utilizações [4]	11
Gráfico 3 - Valores de Nic após reabilitação dos elementos da envolvente – Piso 3.....	35
Gráfico 4 - Redução de Nic e sobrecusto associado após reabilitação dos elementos da envolvente – Piso 3.....	36
Gráfico 5 - Valores de Nic após reabilitação dos elementos da envolvente com variação da espessura de isolamento térmico	40
Gráfico 6 - Redução de Nic após reabilitação dos elementos da envolvente com variação da espessura de isolamento térmico	41
Gráfico 7 - Sobrecusto associado à variação da espessura de isolamento térmico na reabilitação dos elementos da envolvente	41
Gráfico 8 - Valores de Nic após reabilitação dos elementos da envolvente com variação da classe de inércia térmica.....	45
Gráfico 9 - Valores de Nvc após reabilitação dos elementos da envolvente com variação da classe de inércia térmica.....	46
Gráfico 10 - Sobrecusto associado à variação da classe de inércia térmica.....	47
Gráfico 11 - Valores de Nic após reabilitação dos elementos da envolvente com variação das soluções referentes aos vãos envidraçados.....	50
Gráfico 12 - Redução de Nic e sobrecusto associado após reabilitação dos elementos da envolvente com variação das soluções referentes aos vãos envidraçados.....	50
Gráfico 13 - Valores de Nic após alteração da taxa de renovação de ar (R_{ph} em h^{-1}).....	52
Gráfico 14 - Redução de Nic após alteração da taxa de renovação de ar (R_{ph} em h^{-1})	53
Gráfico 15 - Valores de Nic após reabilitação dos elementos da envolvente – Piso 1.....	61
Gráfico 16 - Redução de Nic e sobrecusto associado após reabilitação dos elementos da envolvente – Piso 1.....	62
Gráfico 17 - Valores de Nic após reabilitação dos elementos da envolvente – Piso 2.....	65
Gráfico 18 - Redução de Nic e sobrecusto associado após reabilitação dos elementos da envolvente – Piso 2.....	66
Gráfico 19 - Valores de Nic com variação das soluções referentes aos vãos envidraçados.....	68
Gráfico 20 - Redução de Nic e sobrecusto associado com variação das soluções referentes aos vãos envidraçados.....	68

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético
“Tout Court”

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO

A Comissão Europeia traçou objetivos e metas para 2020, denominados de “três vintes” (20% de aumento de eficiência energética, 20% de participação de energia de origem renovável e 20% de redução de emissões de CO₂) com o intuito principal de controlar a concentração de CO₂ na Atmosfera. [1]

Nesta conjuntura, é lançado o Pacto de Autarcas de modo a incitar e apoiar as autarquias locais no aumento da eficiência energética e na utilização de fontes de energias renováveis nos respetivos territórios. Considerando que 80% do consumo energético e emissões de CO₂ está associado à atividade urbana, os Signatários pretendem atingir e ultrapassar o objetivo de redução das emissões de CO₂ em 20% até 2020. [2]

Os Autarcas aderentes comprometem-se, entre outros, a realizar um Inventário de Referência das Emissões, permitindo identificar as principais fontes de emissão de CO₂ e os respetivos potenciais de redução; elaborar um Plano de Ação para as Energias Sustentáveis (PAES), sendo este o documento-chave em que o Signatário do Pacto evidencia a maneira como pretende atingir a própria meta de redução de CO₂ até 2020, definindo as atividades e medidas previstas para atingir as metas propostas, assim como os prazos e responsabilidades atribuídos. [2]

A Cidade do Porto foi pioneira ao manifestar intenção de subscrever este compromisso, tendo sido aprovada por unanimidade pelo Executivo da autarquia portuense em Novembro de 2008 a proposta de adesão. A 10 de Fevereiro de 2009, no âmbito da *European Union Energy Week* (EUSEW2009), o presidente da câmara subscreve o Pacto de Autarcas. [3]

Consciente das suas responsabilidades, a Câmara Municipal do Porto cria em 2007 a Agência de Energia do Porto (AdEPorto), com a missão de promover a inovação, o exercício de boas práticas e de exemplos a seguir por parte dos responsáveis da gestão municipal, bem como junto dos agentes do mercado e dos cidadãos, dando contributo para o desenvolvimento sustentável que passa pela utilização inteligente da energia e da sua relação com o ambiente. [3]

No desempenho das suas funções, a AdEPorto elabora em 2007 (atualizada em 2010), a Matriz Energética do Porto (Inventário de Referência das Emissões), constituindo um elemento fundamental de diagnóstico do estado da energia no Concelho do Porto, quantificando os fluxos energéticos por vetor energético e por sector consumidor, bem como elaborar o inventário das respetivas emissões de CO₂ associadas. [4]

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético “Tout Court”

Identificam-se os edifícios como o principal sector de atividade consumidor de energia, com 58% da energia primária afeta à Cidade e cerca de 55% das emissões de CO₂, onde os edifícios de serviços (comerciais, institucionais, escritórios, etc.) absorvem 32% e os edifícios residenciais 26% da procura de energia. [4]

A Cidade do Porto tem então um grande desafio na renovação do parque edificado, na medida em que é pedido à reabilitação urbana que contribua para os compromissos energéticos-ambientais assumidos. [5]

A renovação urbana do centro da Cidade, mais concretamente na Área Crítica de Recuperação e Reconversão Urbanística (ACRRU) sob a tutela da Sociedade de Reabilitação Urbana (Porto Vivo), revela-se fundamental para o objetivo da sustentabilidade, nomeadamente na promoção do reforço da função residencial e a revitalização económica. [6]

O Centro Histórico do Porto Classificado pela Unesco como Património Mundial desde 1996, possui uma enorme riqueza monumental e paisagística e capta a diversidade de soluções de conceção urbana das cidades da Europa Ocidental e Atlântico-Mediterrâneas da época medieval aos inícios da modernidade. [7] Caraterizado pelos seus edifícios representarem cerca de 6% dos da Cidade, grande parte deles estão abandonados e degradados, pelo que se torna imperioso proceder à sua reabilitação. [5]

No entanto, a reabilitação enfrenta o desafio de adequação a padrões de habitabilidade e de conforto dos dias de hoje, e preservação da materialidade dos bens culturais. Porém os padrões de conforto térmico, acústico e de espaço são hoje muito diferentes, onde os usos e hábitos tendem a um crescente consumo de energia. Importa então garantir que a envolvente construída dos edifícios não contribua para gastos desproporcionados de energia, privilegiando a eficiência energética. [1]

Desde a década de 90 que Portugal dispõe de regulamentação referente à térmica de edifícios, o Regulamento das Caraterísticas de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), onde se vislumbram os próprios edifícios como sistemas energéticos que podem captar, armazenar e gerir o calor para fins úteis e conforto. Se não tivesse sido assim, ter-se-ia criado uma regulamentação que tornaria obrigatória a aplicação de sistemas, qualquer que fosse a qualidade dos edifícios, levando a consumos presumivelmente excessivos e ao favorecimento de condições de desconforto inadequados ao tempo social e cultural de hoje sempre que o custo da energia tornasse esta menos acessível, como vai ocorrendo nestas primeiras décadas do século XXI. Isto, depois de, por força da crescente procura de conforto na habitação, se ter passado a verificar um crescente consumo de energia nos edifícios, incluindo no sector residencial para efeitos, sobretudo, do aquecimento ambiente.

No entanto, o Regulamento prevê cuidadosamente a exclusão no âmbito de aplicação, as intervenções de remodelação, recuperação e ampliação de edifícios em zonas históricas ou em edifícios classificados. [8] Aliado a esse facto surgem obstáculos por parte dos promotores, como reação à inovação e possivelmente alarmados com a perspetiva de custos excessivos.

Neste quadro, entre a excecionalização total e alguma valorização energética, nos termos do PAES-Porto, e do Guia dos Termos de Referência sobre a valorização energética da Reabilitação no Centro Histórico, existem soluções-tipo que convêm ser estudadas, não apenas do ponto de vista energético, como também do económico. Uma dessas soluções pede-se ao cumprimento do RCCTE mas, sendo o PAES-P ainda mais exigente que a legislação,

faz todo o sentido fazer a análise de sensibilidade numa ótica não limitada pelo estrito cumprimento do RCCTE.

1.2. OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são:

- Analisar o impacto da variação de alguns parâmetros construtivos que permitam demonstrar o seu potencial em sede de reabilitação, para a melhoria das condições de conforto térmico de aquecimento, com menores necessidades de energia e respeitando os condicionalismos de natureza cultural e económico;
- Demonstração da viabilidade de algumas soluções de reabilitação no âmbito do regulamento RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril);
- Contribuir para avaliar o comportamento térmico do edificado do Centro Histórico do Porto, através da hierarquização/priorização de soluções técnico-económicas em sede de reabilitação;
- Favorecer o contributo da reabilitação do Centro Histórico do Porto, no quadro dos objetivos do PAES-Porto (Plano de Ação para a Energia Sustentável).

Tendo em conta que o RCCTE na sua versão original (Fevereiro 1990) se ocupa das necessidades de aquecimento e arrefecimento, e a sua versão atual (Abril 2006) das necessidades das águas quentes sanitárias, o objetivo deste trabalho não é responder a todas as questões do regulamento, mas sim às que dizem respeito às necessidades de aquecimento.

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético “Tout Court”

2. PARQUE HABITACIONAL E CONSUMOS ENERGÉTICOS ASSOCIADOS

2.1. PERSPETIVA HISTÓRICA DA HABITAÇÃO EM PORTUGAL

Portugal um país pobre, espelhava há cinquenta anos atrás, na modéstia dos seus edifícios, em particular de habitação, a condição de um povo predominantemente rural vivendo ao ritmo da alternância dia/noite.

A variedade de casa popular portuguesa obedece a vários condicionalismos, entre os quais: geográficos, económicos, históricos e culturais. Todos estes fatores tiveram grande importância na chamada arquitetura tradicional, mas os aspetos climáticos é que determinaram a evolução da construção e dos sistemas construtivos a par da disponibilidade de matérias-primas. [9]

Mediante as crescentes exigências ao nível da resistência da construção, maior era a complexidade dos processos de transformação das matérias-primas a incorporar nos materiais de construção. Os materiais deixaram de ser aplicados tal e qual eram extraídos da natureza, o que implicou maiores consumos energéticos e uma grande dificuldade na absorção destes materiais pelos ecossistemas, após o fim de vida útil das construções. [10]

A relação entre construção e disponibilidade só teve influência nos primórdios da construção. Após a revolução industrial, foram introduzidos materiais de construção industrializados, o que facilitou o acesso aos mesmos, fator determinante para serem deixados de utilizar os recursos disponíveis. [9]

Foi nos anos 60 que a construção de edifícios começou a refletir o arranque da industrialização entre nós, contudo a expansão do uso do cimento e do betão ignorou as oportunidades de melhoria do conforto humano no interior dos novos edifícios.

Com o passar do tempo, surgem os defeitos provenientes do uso do betão, material que de início se julgava económico e eterno, mas com uma durabilidade muito limitada e dependente de dispendiosas intervenções de manutenção e reabilitação. Os consumos energéticos associados ao fabrico dos seus materiais constituintes (cimento e agregados), assim como as operações de demolição e reciclagem, e a elevada quantidade de recursos naturais exigidos, revelam-se incompatíveis com a escassez de recursos presentes na Natureza.

Como reação à crise do petróleo da década de 70, surgem as preocupações em torno da poupança de energia, atingindo também o setor da construção, numa primeira fase em relação à energia despendida durante a vida útil dos edifícios, e mais tarde relativamente à produção dos materiais de construção. [10]

Nos últimos anos, as preocupações ambientais e exigências legislativas sobre o comportamento térmico dos edifícios levaram a repensar a lógica da construção, que se centrava apenas no aspeto económico, devido às grandes flutuações do preço do petróleo. [9]

Assim sendo, atualmente, começam a ser ponderadas soluções que utilizem materiais locais, mais compatíveis com o equilíbrio ambiental, e ao ressurgimento de tecnologias utilizadas já há muitos anos e que tinham sido abandonadas. [10]

2.2. ENQUADRAMENTO DA REABILITAÇÃO EM PORTUGAL

Em Portugal o sector da construção sempre foi uma atividade de grande importância para a sociedade, envolvendo grandes investimentos. A reabilitação do parque edificado e a sua manutenção foi contudo, sendo sucessivamente ignorada comparando com algumas atividades do sector da construção.

Os programas de apoio à reabilitação poderão constituir uma das principais razões invocada para a notória ineficácia do processo de reabilitação, devido à sua complexidade e limitações, mas principalmente o enquadramento legal da reabilitação que vigorou durante longos anos. A partir de 1976, foi criada legislação que obrigou ao congelamento das rendas, inviabilizando a rentabilidade da exploração dos imóveis arrendados, e por outro lado os procedimentos legais para a aprovação deste género de obras, revelaram-se complexos e burocráticos.

Devido a estes factos, o edificado foi-se degradando já que as ações de reabilitação foram estagnando. Aliado a isto, aconteceu um outro fenómeno, que foi o da construção massiva entre a década de 70 e 80, com o objetivo de dar resposta ao fluxo migratório para os grandes centros urbanos. A construção era de qualidade débil, assente num conceito fraco, o de construir em grande quantidade em detrimento da qualidade.

Tudo isto contribui com grande preponderância para a herança habitacional do povo português, já que o parque edificado se encontra em avançado estado de degradação, o que muitas vezes conduz os proprietários à demolição dos mesmos, para construção de novos edifícios.

Para inverter a tendência verificada ao longo dos anos, no pouco investimento realizado nas obras de reabilitação, tem havido um esforço na melhoria do património edificado. Por forma a comprovar este propósito, foi aprovada uma nova legislação de atualização das rendas e também o surgimento de novos programas de apoio à reabilitação. [11]

Sendo a reabilitação uma tarefa sensível a vários níveis, entre os quais o da energia e a sua relação com o ambiente, reabilitar nos tempos de hoje exige a satisfação de conforto e higiene ambiental dos utilizadores, e também sobre a natureza e quantidade dos recursos energéticos utilizados para responder às necessidades, nomeadamente, em termos de aquecimento ambiente e ventilação. [5]

A reabilitação e manutenção do edificado existente, em contraste com a demolição e construção nova, constituem a melhor via para uma construção sustentável, pois apresentam vantagens ao nível das três dimensões do desenvolvimento sustentável (Figura 1). [12]



Figura 1 - Dimensões do desenvolvimento sustentável [13]

Na dimensão económica consideram-se os edifícios como parte integrante da economia, no sentido em que absorvem e ao mesmo tempo geram recursos financeiros durante o seu processo construtivo, contribuindo paralelamente para um enriquecimento do espaço económico envolvente, potenciando por exemplo, o interesse turístico.

Atribui-se à dimensão ambiental, a que mais vantagens acarreta, devido à postura que a reabilitação apresenta no processo de construção, assente em alguns princípios, tais como: o aproveitamento dos solos; e reduções ao nível da extração de matéria-prima, produção de materiais de construção, necessidades de transporte e emissões de CO₂ associadas.

Em relação à dimensão social, a reabilitação é considerada uma ação fulcral na preservação da imagem e características dos centros urbanos. Através de uma melhoria no desempenho do edificado, proporciona-se uma valorização não só dos mesmos, mas também da envolvente onde se inserem, garantindo desse modo um crescente desenvolvimento social e cultural. [14]

2.3. PROGRAMAS DE INCENTIVO À REABILITAÇÃO

Ao longo dos últimos anos têm sido criados diversos programas de apoio financeiro público dirigidos à reabilitação e conservação do património edificado. A reabilitação do património deveria ser uma prioridade efetiva das políticas governamentais, numa ótica de revitalização dos centros das cidades, possibilitando desta forma uma melhoria da qualidade de vida dos seus ocupantes, segurança e uma otimização das infraestruturas.

Em Portugal têm sido criadas sociedades de reabilitação urbana, que constituem instrumentos que permitem às autarquias promover a criação de parcerias público-privadas e divulgar os incentivos fiscais e financeiros disponíveis e utilizáveis. [15]

Tendo por base o Município do Porto, a Porto Vivo – Sociedade de Reabilitação Urbana da Baixa Portuense S.A., é uma empresa de capitais públicos, do Estado (IHRU – Instituto da

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético “Tout Court”

Habituação e da Reabilitação Urbana, IP) e da Câmara Municipal do Porto, constituída nos termos e ao abrigo do Decreto-Lei n.º 104/2004 de 7 de Maio, e tem como missão o processo de reabilitação urbana da Baixa Portuense.

Esta sociedade pauta-se por cinco grandes objetivos: a reabilitação da Baixa do Porto; o desenvolvimento e promoção do negócio na Baixa do Porto; a revitalização do comércio; a dinamização do turismo, cultura e lazer; e a qualificação do domínio público.

Entre muitos incentivos à reabilitação urbana, de destacar os programas públicos de apoios financeiros como: RECRIA, RECRIPH, SOLARH.

O Regime Especial de Participação na Recuperação de Imóveis Arrendados (RECRIA), regulado pelo Decreto-Lei n.º 329-C/2000 de 22 de Dezembro, tem como objetivo apoiar a execução de obras que permitam a recuperação de fogos e imóveis arrendados em estado de degradação, mediante a concessão de incentivos pelo Estado e Municípios. Os incentivos concedidos pela administração central, por intermédio do Instituto Nacional de Habitação (IHRU), e pela administração local, através do respetivo Município, possuem as seguintes modalidades: participação a fundo perdido, até 65% do valor da obra, na proporção de 60% e 40% respetivamente, e ou, financiamento do valor das obras não participado (proprietários e municípios) com uma taxa de juro inferior a 8%, concedido pelo IHRU, sempre que as instituições de crédito não ofereçam melhores condições. Este programa está sujeito a regras que dizem respeito aos beneficiários e condições de acesso.

O Regime Especial de Participação e Financiamento da Recuperação de Prédios Urbanos em Regime de Propriedade Horizontal (RECRIPH), regulado pelo Decreto-Lei n.º 106/96 de 31 de Julho, visa apoiar a execução de obras de conservação ordinária, extraordinária e beneficiação nas partes comuns de imóveis arrendados. Os incentivos concedidos revestem as seguintes modalidades: participação a fundo perdido no valor de 20% do valor da obra, na proporção de 60% e 40% respetivamente e ou, financiamento do valor das obras não participado. O programa está sujeito a regras no que diz respeito aos beneficiários e condições de acesso.

O Programa de Solidariedade de Apoio à Recuperação de Habitação (SOLARH), regulado pelo Decreto-Lei n.º 39/2001 de 9 de Fevereiro, visa financiar, sob a forma de empréstimo, realização de obras de conservação ordinária ou extraordinária e de beneficiação de imóveis degradados e devolutos. O empréstimo a conceder pelo IHRU pode atingir um valor máximo de 11971.15€ por habitação. O programa está sujeito a regras de condições de acesso e beneficiários.

Em complemento aos apoios financeiros, foi recentemente criado o Sistema Municipal de Incentivos Fiscais à Reabilitação Urbana e à Valorização Energética na Reabilitação Urbana de prédios ou frações autónomas, que se encontrem situados na Área Crítica de Recuperação e Reconversão Urbanística (ACRRU), definida no Decreto Regulamentar n.º 11/2000, de 24 de agosto, e que sejam objeto de ações de reabilitação urbana, comprovadamente iniciadas após 19 de agosto e que se encontrem concluídas até 31 de dezembro de 2020. [16]

Este sistema de incentivos visa a promoção da valorização energética dos edifícios pertencentes à ACRRU, atribuindo vantagens fiscais mediante o cumprimento de objetivos energéticos que vão muito para além da regulamentação existente. A intenção é criar melhores condições de conforto, com recurso a menores quantidades de energia para aquecimento ambiente e preparação de águas quentes sanitárias. [5]

2.4. CONSUMOS ENERGÉTICOS DOS EDIFÍCIOS

A utilização da energia e o respetivo impacto no meio ambiente, é atualmente uma das áreas para a qual a população está mais sensibilizada, no sentido de encontrar soluções de futuro. A forte dependência em relação aos combustíveis fósseis (carvão e petróleo), associado ao comprovado efeito devastador sobre o meio ambiente, torna o debate energético, uma questão fulcral na agenda de Portugal e da União Europeia.

Foram definidas como medidas prioritárias, através da Comissão Europeia, a promoção e utilização de fontes renováveis, por forma a garantir às gerações futuras, um desenvolvimento sustentável. Estas políticas visam diminuir a dependência económica relacionada com a importação de energia e redução das emissões dos gases de efeito estufa. [12]

Em 2011 Portugal importou 79,3% da energia consumida (Figura 2), onde o petróleo assume o papel de destaque na estrutura de abastecimento, representando 45,9% do consumo total de energia primária. [17]

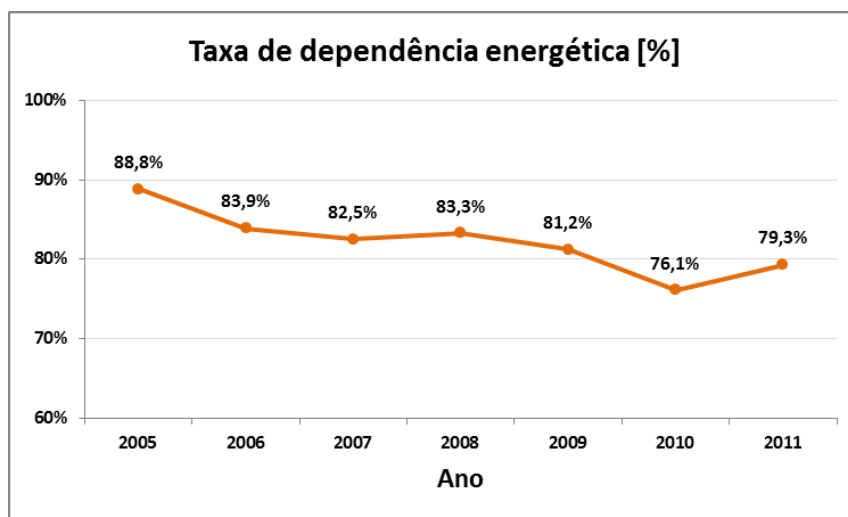


Figura 2 - Variação da taxa de dependência energética em Portugal [17]

Nos últimos anos o consumo energético dos edifícios tem aumentando, sendo atualmente um dos principais setores consumidores de energia. Este crescimento está intimamente ligado à procura de melhores condições de conforto por parte dos utilizadores e à deficiente qualidade térmica da maior parte do edificado, visto cerca de 80% terem sido construídos anteriormente à entrada em vigor da primeira legislação sobre o comportamento térmico dos edifícios (Decreto-Lei n.º 40/90). [12]

Torna-se necessário exigir às cidades, cada vez mais, uma abordagem responsável relativa à problemática do meio ambiente, não apenas aos aspetos do ambiente urbano, mas também à sua relação com o ambiente local e global. Assim sendo, a energia desempenha um papel único e decisivo, na medida em que a quantidade e a natureza da energia que uma cidade consome, tem repercussões ao nível das emissões de CO₂, e consequentemente, no aquecimento global responsável pelas alterações climáticas.

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético “Tout Court”

A Cidade e o Concelho do Porto, através da Agência de Energia do Porto, identificaram após elaboração da Matriz Energética do Porto (Figura 3) os fluxos energéticos dominantes, tanto dos vetores energéticos oferecidos à Cidade, como do ponto de vista da procura dos setores de atividade mais representativos.

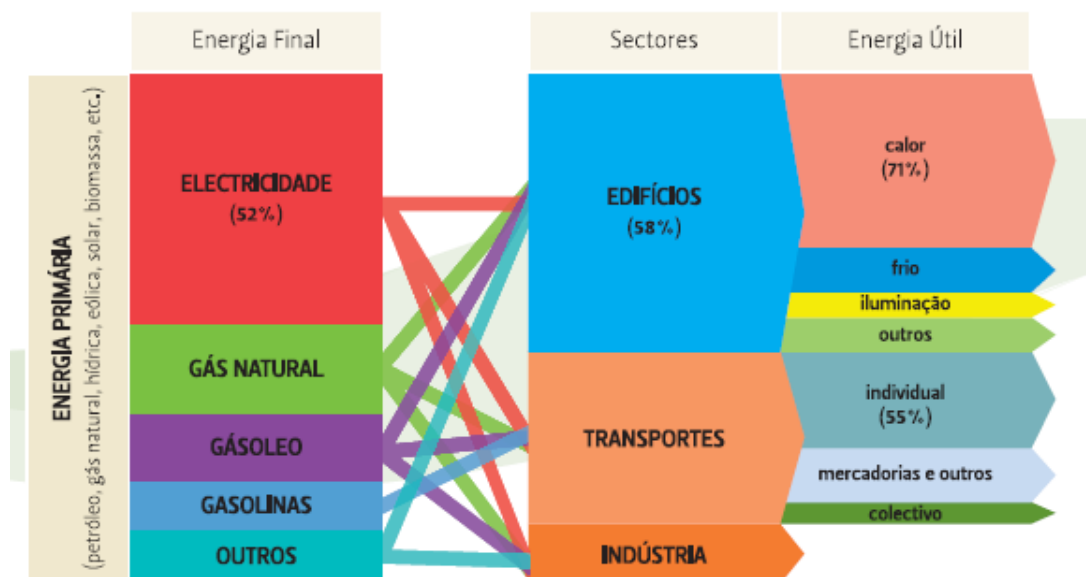


Figura 3 - Matriz energética do Porto [4]

Claramente o Porto é dominado pela eletricidade, responsável por cerca de 52% da energia primária e 50% das emissões de CO₂, de referir que o peso da eletricidade a nível nacional é de cerca de 45%. [4]

Esta discrepância quanto ao uso de eletricidade no Porto em relação ao País deve-se ao facto de em meados do século XX a Cidade do Porto ser privilegiada como cidade ‘toda elétrica’ aquando da decisão do então Ministro da Economia, de lançar o programa da hidroeletricidade para o serviço público em Portugal. [6]

Os edifícios são responsáveis por cerca de 58% da procura de energia primária (os transportes consomem cerca de metade dos edifícios) e 55% das emissões de CO₂. Dentro do sector dos edifícios, as maiores fatias de consumo energético vão para os de serviços 32%, e o residencial 26% (representa 23% das emissões de CO₂), do total da energia primária do Concelho do Porto, como mostra o Gráfico 1. [4]

Nos edifícios residenciais há uma clara preferência para a eletricidade cerca de 80% da energia primária quando a média nacional é de cerca de 60%, consequência dos benefícios que a Cidade do Porto gozou durante muitos anos.

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético “Tout Court”

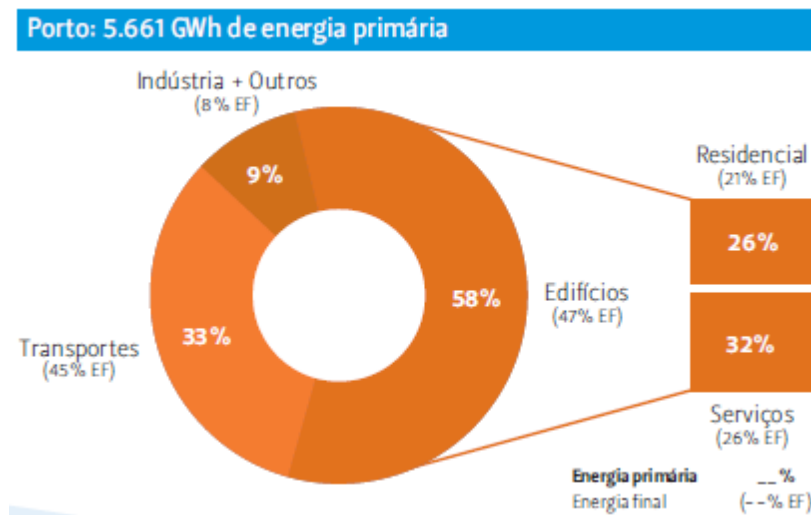


Gráfico 1 - Repartição de energia primária pelos principais setores de atividade (valores relativos) [4]

Os consumos energéticos nos edifícios residenciais são repartidos do seguinte modo: 71% da energia primária está relacionada com a produção de calor, entre os quais, aquecimento de água, preparação de refeições e 23% para aquecimento ambiente, sendo o restante para frio doméstico, iluminação, entre outros. (Gráfico 2). [4]

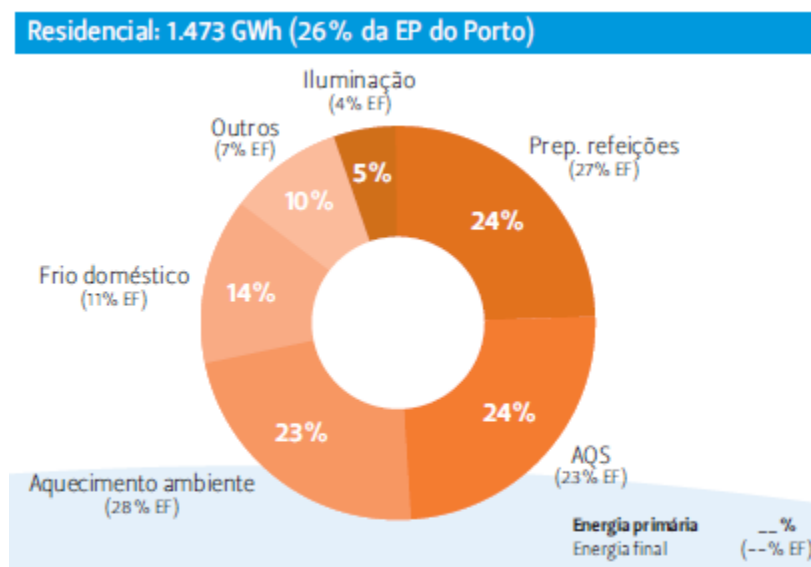


Gráfico 2 - Repartição de energia do subsector residencial pelas diversas utilizações [4]

O sector dos edifícios domina o uso da energia na cidade do Porto, apresentando um tremendo potencial de intervenção, onde a estratégia passa pela reabilitação do edificado, melhoria na qualidade da habitação e dos edifícios, para satisfazer as necessidades atuais e, promoção da renovação urbana. [6]

3. SISTEMA NACIONAL DE CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR NOS EDIFÍCIOS

A utilização de energia por parte dos edifícios é responsável pelo consumo de cerca de 40% da energia final na Europa. Estima-se que mais de 50% deste consumo poderá ser reduzido, com recurso a medidas de eficiência energética, o que representa quase a totalidade do compromisso da União Europeia no âmbito do Protocolo de Quioto.

Mediante este facto, têm sido promovidas, através dos Estados-Membros, um conjunto de medidas que visam a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios, em sintonia com a Directiva Comunitária n.º 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2002.

No âmbito desta Diretiva, é estabelecido o enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios; aplicação dos requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios, bem como dos grandes edifícios existentes sujeitos a importantes trabalhos de renovação, certificação energética dos edifícios e a inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado.

De destacar a obrigatoriedade da implementação de um sistema de certificação energética, com vista a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da construção, da venda ou do arrendamento, permitindo aos futuros utilizadores obter informações sobre os consumos de energia potenciais (para novos edifícios), reais ou aferidos para padrões típicos de utilização (para o edificado existente). [18]

Nos edifícios existentes, o certificado energético presta informação acerca das medidas de melhoria de desempenho energético e da qualidade do ar interior, que apresentem viabilidade económica, e que o proprietário pode implementar para reduzir as suas despesas energéticas e, ao mesmo tempo melhorar a eficiência energética do imóvel.

Nos novos edifícios, a certificação energética garante a correta aplicação da regulamentação térmica e da qualidade do ar interior em vigor, nomeadamente a obrigatoriedade de instalar sistemas de energias renováveis, assim como obter informação sobre o seu desempenho energético. [17]

A Diretiva foi transposta em 2006, para a ordem jurídica nacional através de um pacote legislativo composto por três Decretos-Lei.

O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (SCE) instituído pelo Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril, tem por objetivo assegurar a aplicação regulamentar, no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e à qualidade do ar interior nos edifícios. Para tal, é verificado o

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético “Tout Court”

cumprimento dos requisitos regulamentares aplicáveis, e certificado o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios. Identifica ainda, quando aplicável, as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho dos edifícios e respetivos sistemas energéticos.

O Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE), definido pelo Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril, veio estabelecer um conjunto de requisitos com aplicação em edifícios de serviços e de habitação, dotados de sistema de climatização. Estes, para além da qualidade da envolvente e da limitação ao nível dos consumos energéticos, englobam também a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios. No regulamento, a qualidade do ar interior possui também requisitos, que afetam as taxas de renovação do ar interior e a concentração máxima dos principais poluentes.

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, veio estabelecer requisitos de qualidade para todos os edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados, nomeadamente, em relação às características da envolvente (paredes, coberturas, pavimentos e envidraçados), estabelecendo limites para as perdas térmicas e, controlando os excessivos ganhos solares. O regulamento procura exacerbar as potencialidades de captação, armazenamento e gestão do calor proveniente da radiação solar (solar passivo) dos edifícios sem sistemas energéticos centralizados, tirando partido da melhoria do isolamento térmico, da otimização da inércia térmica e da elevada amplitude térmica dia/noite para temperaturas médias suaves, como é próprio dos climas temperados. A legislação determina ainda, a obrigatoriedade da instalação de coletores solares para aquecimento de águas sanitárias enquanto necessidade básica com potencial de satisfação ao nível da envolvente e, valoriza a utilização de outras fontes de energia renovável, no cálculo do desempenho energético do edifício. [19]

4. DEFINIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

4.1. DEFINIÇÃO FÍSICA DO CASO DE ESTUDO

O Centro Histórico do Porto (Figuras 4 e 5) representa um quadro urbano de enorme valor estético, testemunhando um desenvolvimento urbano que remonta às épocas Romana, Medieval e dos Almadas (século XVIII), assumindo-se como uma obra-prima da criatividade humana.

Um dos aspetos mais relevantes da cidade do Porto, em particular do seu Centro Histórico, é o valor da sua paisagem, resultado da complexidade do terreno, e da harmoniosa união das suas ruas e relação com o rio.

As ruas retilíneas, as ruelas sinuosas adaptadas à topografia medieval, as ruas que “desaguam” nos monumentos barrocos, a abundância de edifícios, aos quais foram sendo sucessivamente adicionados novos andares, e as novas construções, fazem deste local um tecido urbano complexo. [20]



Figura 4 - Limites e enquadramento do Centro Histórico do Porto [16]



Figura 5 - Perspetiva do Centro Histórico do Porto [16]

O elemento em estudo é um edifício pertencente ao Centro Histórico do Porto, reunindo as características de edifícios localizados por exemplo, na Rua dos Bragas, Praça Almeida Garrett, Largo dos Lóios ou Quarteirão Passeio das Cardosas. Trata-se de um edifício do século XVII com características análogas ao edificado onde pertence.

Existe, no entanto, uma grande dificuldade em estabelecer um modelo que reúna todas as características típicas da construção do Centro Histórico do Porto, já que estes resultam de um complexo processo de construção e remodelação, com técnicas diversas no decorrer dos anos, sendo necessário, optar por determinados aspetos na constituição do edifício que podem não abranger na totalidade o edificado a que se refere. [5]

O edifício em estudo (Figura 6) é multifuncional, composto por quatro pisos. O R/C é destinado a comércio ou garagem e, considerado no âmbito do presente trabalho uma zona não útil, tornando, a possível utilização do seu espaço uma questão irrelevante. Os restantes pisos (Piso 1, 2 e 3) são ocupados por um T2 cada um.

Insere-se num quarteirão, onde todos os edifícios que dele fazem parte possuem as mesmas características geométricas e construtivas, tentando-se com isso, uma aproximação ao modelo real existente no Centro Histórico do Porto.



Figura 6 - Fachada principal e traseira do edifício em estudo

Os Pisos 1 e 2, são muito semelhantes quanto à sua tipologia de construção, diferindo, somente ao nível dos vãos envidraçados da fachada principal, derivado à existência de uma varanda no Piso 2.

O Piso 3 é um piso recuado, apresentando diferenças em muitos aspetos construtivos, relativamente aos demais pisos pertencentes ao edifício.

As plantas das habitações, presentes na Figura 7, revelam diferenças ao nível das áreas de pavimento, sobressaindo o facto do piso recuado possuir uma menor área em relação aos restantes. Por razões de simplificação, as paredes divisórias não foram incluídas em planta, no entanto, foram consideradas posteriormente, devido à sua relevância.

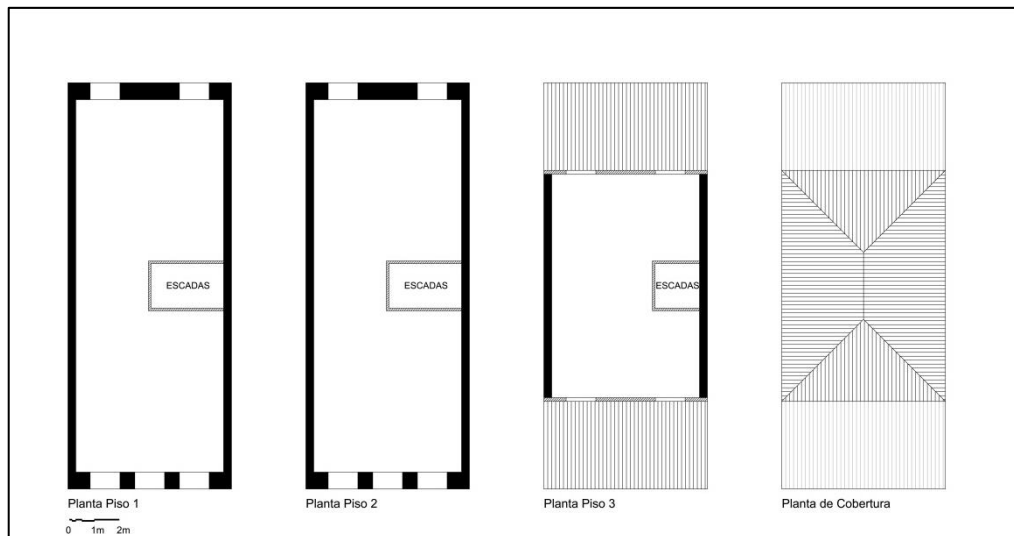


Figura 7 - Plantas dos pisos constituintes do edifício em estudo

Confinada a edifícios análogos, o edifício partilha paredes com estes, ao longo de toda a sua profundidade, designadas de paredes de meação, como mostra a Figura 8.

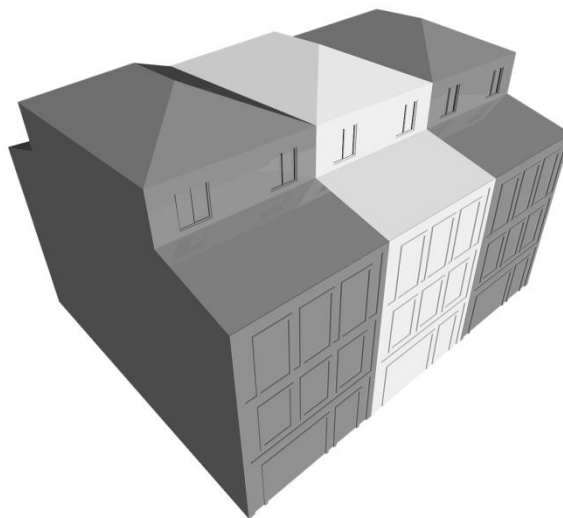


Figura 8 - Vista em perspetiva do edifício em estudo

Observa-se que relativamente às paredes de fachada, as paredes meeiras possuem uma área maior, sendo o elemento da envolvente mais predominante no edifício.

As áreas respeitantes aos elementos da envolvente construída do edifício são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Dados geométricos do edifício em estudo

Áreas dos diferentes elementos da envolvente			
Áreas	Piso 1 [m²]	Piso 2 [m²]	Piso 3 [m²]
Pavimento	83	83	55
Paredes de fachada	23	21	26
Paredes de meiação	99	99	60
Vãos envidraçados	10	11	6
Desvãos	-	32	55

A distinção entre as áreas da fachada principal e traseira, e vãos envidraçados presentes nas fachadas, não é realizada, tendo sido agrupados. Todos os pisos possuem a mesma altura de pé-direito, correspondente a 2,75 m.

Mediante o âmbito do presente trabalho, existem especificações técnicas ao nível da construção do edifício que necessitam ser abordadas.

Devido às particularidades existentes nos edifícios inseridos no Centro Histórico do Porto, cada elemento da envolvente construída será detalhado, com especial interesse ao nível da envolvente opaca e vãos envidraçados.

4.1.1. PAREDES

As paredes das fachadas da rua e fachada traseira dos edifícios do Porto, em geral, não servem de suporte, sendo menos solicitadas que as paredes de meiação. São predominantemente executadas em alvenaria de pedra de granito (Figura 9), apresentando sempre espessuras consideráveis, pelo facto de serem autoportantes e de grande parte da sua superfície conter aberturas.



Figura 9 - Paredes de fachada em alvenaria de pedra [21]

Alguns edifícios apresentam na fachada dos pisos recuados, paredes constituídas por tabique (Figura 10) e, à semelhança das paredes das fachadas de alvenaria de pedra, não integram a estrutura primária das habitações. Revelam-se paredes mais frágeis, degradando-se com facilidade, devido ao facto da madeira ser o principal material utilizado na sua construção. [15]



Figura 10 - Parede de fachada em tabique [22]

No projeto respeitante ao edifício em estudo, optou-se por paredes em alvenaria de pedra de granito com 0,68 m, de espessura nas paredes de fachada (principal e traseira), dos Pisos 1 e 2. No piso recuado considerou-se que as suas paredes de fachada são constituídas por tabique, com 0,15 m de espessura.

As paredes meeiras, que asseguram o contacto entre edifícios adjacentes, asseguram também a função estrutural, apresentando uma boa capacidade resistente. [15] No edifício em estudo, as paredes de meação são também de alvenaria de pedra de granito, apenas com uma diferença relativamente à sua espessura, neste caso de 0,34 m.

As paredes de compartimentação ou divisórias de cada habitação foram consideradas como sendo constituídas por tabique, com 0,1 m de espessura.

Nenhuma das paredes referidas possui qualquer tipo de isolamento térmico.

4.1.2. COBERTURA

A grande maioria dos edifícios do Centro Histórico do Porto possui coberturas inclinadas revestidas a telha cerâmica, na maioria plana, do tipo “marselha”, com predominância para coberturas de quatro águas. [5]

A cobertura existente no edifício modelo é de quatro águas, prevendo-se a existência de outras duas coberturas, apenas de uma água, como representado na Figura 8.

Ambas as coberturas inclinadas possuem desvãos fortemente ventilados, não contemplando nenhum tipo de isolamento térmico.

4.1.3. LAJES DE PAVIMENTO E TETO

Na época de construção em que o edifício se baseia, a estrutura dos pisos era constituída por um vigamento de troncos de madeira (Figura 11), designadamente de paus rolados. Estes eram desbastados ou aparados em duas vertentes, permitindo o revestimento em ambos os lados. [15]



Figura 11 - Laje de teto em madeira [23]

Considerou-se, para o edifício em estudo, a existência de laje de pavimento de madeira com forro de teto fracamente ou não ventilado, com uma espessura de 0,25 m. [24]

À semelhança de outros elementos da envolvente, não se prevê a existência de qualquer tipo de isolamento térmico.

4.1.4. VÃOS ENVIDRAÇADOS

No Centro Histórico do Porto a área da superfície envidraçada é tipicamente superior à área de parede na fachada principal, sendo este um facto que torna a questão dos envidraçados relevante.

Existem diversos tipos de vãos envidraçados que ainda persistem nos edifícios existentes, sendo que estes podem ser de caixilharia de madeira ou metal (ferro), sem corte térmico, associadas a vidro simples podendo ter proteção interior (portadas de madeira) ou exterior (estores). [5]

No presente caso estudo, optou-se pela inclusão no edifício de vãos envidraçados com caixilharia de madeira associada a vidro simples, com proteção interior, através de portada de madeira de cor clara (Figura 12) e existência de cortina interior muito transparente.



Figura 12 - Caixilharia de madeira associada a vidro simples, com proteção interior [5]

4.2. CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO FACE AO RCCTE

Finda a descrição dos aspetos construtivos mais relevantes do edifício modelo, apresentam-se alguns dados importantes na ótica da metodologia de cálculo do RCCTE.

Para a localização do edifício e zoneamento climático do mesmo, definem-se alguns dados climáticos, presentes no Quadro 2.

Quadro 2 - Dados climáticos do edifício em estudo

Parâmetro	Dados
Zona climática de Inverno	I ₂
Número de graus-dias de aquecimento	1610 [°C.dias]
Duração da estação de aquecimento	6,7 [meses]
Zona climática de Verão	V ₁
Radiação incidente num envidraçado a Sul	93 [kWh/m ² .mês]
Temperatura do ar exterior de projeto	19 [°C]

As soluções construtivas do objeto de estudo, mais concretamente da envolvente construída, conferem determinadas características quanto ao seu comportamento térmico, apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente do edifício em estudo

Elemento da Envolvente	Solução Construtiva	U [W/m ² .°C]
Parede de fachada	Alvenaria de granito [24]	1,9
	Tabique [25]	2,6
Parede de meiação	Alvenaria de granito [24]	1,7
Laje pavimento/teto	Madeira [24]	1,2
Parede de escadas	Tabique [25]	2,5
Vãos envidraçados	Caixilharia de madeira [26]	5,1

As habitações pertencentes ao edifício são ventiladas naturalmente, apresentando a taxa de renovação de ar o valor de 1 h^{-1} , consequência da classe 1 de exposição ao vento, e admitindo caixilharias sem classificação.

Todas as pontes térmicas lineares tomam o valor de $\Psi = 0,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$, previsto no RCCTE quando não se aplica a nenhuma situação presente no regulamento.

4.3. METODOLOGIA ADOTADA

A elaboração do presente trabalho segue a metodologia de cálculo do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), através do qual é possível quantificar as necessidades energéticas do edifício em estudo.

Com vista a uma valorização energética, o objeto de estudo pressupõe uma intervenção na qual se pretende, fundamentalmente, diminuir a sua dependência face às necessidades nominais de energia útil para aquecimento.

São propostas diversas soluções de reabilitação para os elementos da envolvente, opaca e vãos envidraçados, estimando desta forma as melhorias conseguidas no comportamento térmico da habitação. De notar que nas referidas intervenções admite-se que a fração autónoma mantém a mesma área útil de pavimento e pé-direito médio, simplificando-se deste modo a análise em questão, admitindo-se que o edifício possui uma certa “elasticidade”.

A ventilação do edifício e, por conseguinte, as frações autónomas, é realizada de forma natural não utilizando qualquer sistema mecânico para o efeito, atribuindo-se aos vãos envidraçados a responsabilidade de regulação do caudal de ar insuflado.

O custo inerente à implementação das soluções de reabilitação propostas é expresso sob a forma de sobre custo, representando desta forma apenas o incremento de custo relativo a uma reabilitação sem qualquer preocupação com a valorização energética. Os preços foram obtidos a partir de um *software* para engenharia e construção. [27]

O valor de referência adotado como o preço de uma reabilitação é dado por área útil de pavimento e situa-se nos 750 €/m^2 , valor este gentilmente cedido pela Agência de Energia do Porto, e que resulta do acumular de conhecimento adquirido em vários projetos de reabilitação.

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético “Tout Court”

Numa primeira fase o objetivo é a demonstração da viabilidade de diversas soluções técnico-económicas, estabelecendo ainda uma hierarquização aos elementos da envolvente mais capazes de melhorar o comportamento térmico da habitação. As medidas propostas são adaptativas, isto é, adequam-se às soluções existentes sem colocar em causa o valor patrimonial/cultural do edifício, permitindo a reposição do edifício na situação em que se encontrava antes da intervenção.

Numa segunda análise, devido à grande diversidade de soluções técnicas acessíveis ao mercado da reabilitação, as intervenções propostas pretendem incidir nos parâmetros que influenciam diretamente o índice térmico das necessidades calculadas de aquecimento de inverno, Nic, demonstrando o potencial de soluções mais ambiciosas do ponto de vista da valorização energética do edificado. São alvo de análise algumas medidas consideradas intrusivas, como é o caso da substituição da laje em madeira por laje aligeirada de betão armado, o que aumenta a carga ou mesmo a funcionalidade estrutural do edifício, o que necessitaria de medidas de reforço noutros elementos estruturais. As correções a eventuais alterações estruturais não estão previstas no custo das intervenções, admitindo-se para efeitos de análise que o edifício suporta todas as solicitações.

Na apresentação das especificações técnicas, de cada uma das propostas de intervenção, não são referidos os valores das pontes térmicas lineares. No entanto, foram consideradas e alteradas quando necessário, de acordo com o previsto no RCCTE.

Devido à prudente excepcionalização face ao RCCTE, dos edifícios pertencentes aos Centros Históricos, não existe qualquer referência a valores regulamentares exigidos aquando da aprovação de um projeto de reabilitação.

5. VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA E IMPACTO ECONÓMICO DAS PROPOSTAS DE REABILITAÇÃO

5.1. ENTRE A EXCECIONALIZAÇÃO REGULAMENTAR E ALGUMA VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA

No sentido de apoiar a aplicação do Plano de Ação para a Energia Sustentável da Cidade do Porto, que encontra no seu Centro Histórico uma forte resistência regulamentar ao nível da reabilitação com preocupação na valorização energética do seu edificado, foram propostas diversas soluções de reabilitação onde se prevê que a sua implementação reduza a procura que os edifícios têm relativamente às necessidades de energia para aquecimento ambiente.

Embora o cumprimento dos requisitos mínimos previstos no RCCTE, excecionalmente não se aplique ao conjunto de edifícios alvo de análise, pretende-se que sejam inequívocos os resultados apresentados, por forma a adaptar aos padrões atuais a maneira como se aborda a problemática da reabilitação do Centro Histórico do Porto.

Existe por vezes um aproveitamento dos agentes intervenientes no processo de reabilitação, face à excecionalização de edifícios classificados que incluem Centros Históricos, relativamente ao RCCTE, podendo o sobrecusto das soluções justificar a ausência de preocupação quanto às elevadas necessidades de energia estimadas para os edifícios. De referir que a legislação vigente não proíbe a valorização energética dos edifícios pertencentes aos Centros Históricos, salvo algumas situações que poderão pôr em causa o valor patrimonial e cultural do edificado.

As soluções propostas pretendem responder às questões relacionadas com as necessidades de energia por parte do edificado, mais concretamente, dos edifícios residenciais, procurando demonstrar ao longo da análise, caso a caso, a viabilidade da sua implementação, na melhoria do conforto térmico de aquecimento, reduzindo as necessidades nominais de energia para o aquecimento e conseqüentemente o potencial consumo em caso de recurso a sistemas de aquecimento.

Dadas as características do edifício-tipo em estudo, a primeira questão passa por identificar a habitação energeticamente mais carente para fazer face às necessidades de aquecimento ambiente. A partir do Quadro 4 pode-se observar os valores de Nic (Necessidades nominais de energia útil para aquecimento) obtidos para a situação em que o edifício ainda não sofreu qualquer intervenção, portanto, na situação inicial de projeto.

Quadro 4 - Valores de Nic respeitantes aos pisos constituintes do edifício em estudo na situação pré-existente

Fachada principal orientada a Sul			
	Piso 1	Piso 2	Piso 3
	Edifício existente	Edifício existente	Edifício existente
Nic [kWh/m².ano]	151,0	136,5	193,9

Facilmente se constata que o último piso (Piso 3) do edifício será o mais gravoso, em termos de necessidades energéticas durante a estação de aquecimento, e que deriva diretamente das características construtivas da própria habitação, tais como as paredes de tabique nas fachadas (principal e traseira), mas também por estar diretamente em contacto com a cobertura do edifício, existindo um desvão não habitado e fortemente ventilado.

Poder-se-á atribuir à cobertura do edifício parte da responsabilidade pelo deficiente comportamento térmico da habitação. Porém, existem outros elementos da envolvente que de igual forma contribuem negativamente para o fraco desempenho térmico, tais como os vãos envidraçados, as paredes e a ventilação da habitação. Este último aspeto, embora não faça parte da envolvente do edifício, admitiu-se que a sua regulação será feita através das caixilharias constituintes dos vãos envidraçados. Durante este capítulo, o valor da taxa de renovação de ar não sofre alterações, mantendo-se portanto em $R_{ph} = 1h^{-1}$, igual à situação pré-existente.

Foram definidos como prioritários quatro elementos da envolvente, potencialmente interessantes do ponto de vista da redução das necessidades de energia para aquecimento ambiente, mostrados na Figura 13, nos quais se centram as intervenções experimentadas.

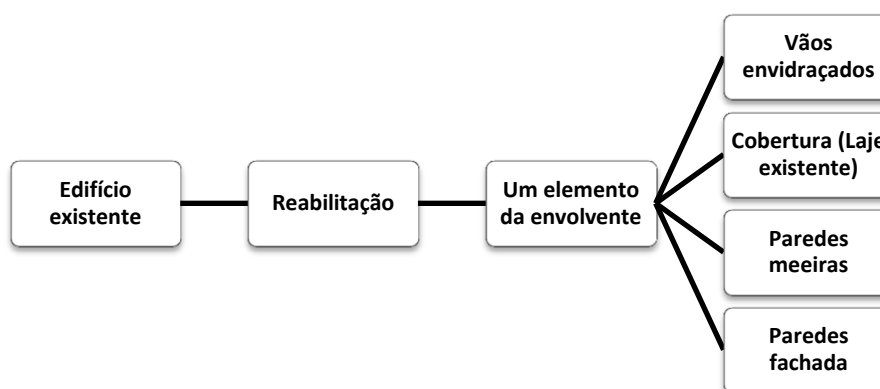
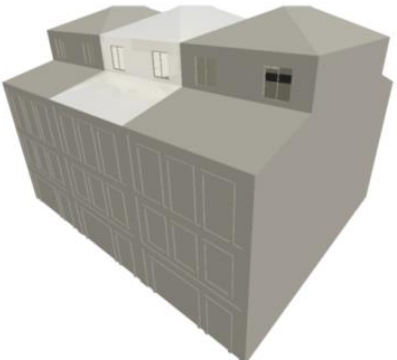
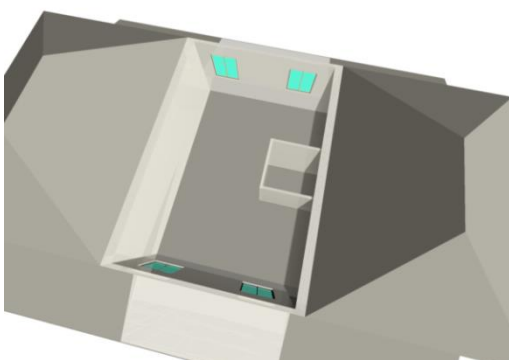


Figura 13 - Elementos da envolvente intervencionados

Devido à grande diversidade de soluções de reabilitação existentes, a escolha efetuada para cada elemento teve como principal objetivo (além da redução de Nic) a possibilidade real de implementação no edificado alvo a que este documento diz respeito. Após a análise de diversas propostas de reabilitação, optou-se por ensaiar apenas uma solução para cada elemento da envolvente.

No caso da reabilitação dos vãos envidraçados, no Quadro 5 é possível observar as mudanças introduzidas na habitação, assim como as alterações ao nível dos dois parâmetros mais relevantes no âmbito do RCCTE. O sobrecusto da solução é apresentado em função da área útil de pavimento. Observa-se também o valor de Nic obtido após a intervenção no elemento da envolvente, assim como a respetiva variação.

Quadro 5 - Proposta de reabilitação ao nível dos vãos envidraçados – Piso 3

Reabilitação vãos envidraçados		
	Solução existente	Solução de reabilitação
Zona intervencionada		
Descrição	Caixilharia de madeira associado a vidro simples	Substituição para vidro duplo
U_{wdn} [W/(m².°C)]	5,1	2,4
$g_{\perp Inverno}$	0,70	0,63
Sobrecusto da solução por área útil de pavimento [€/m²]	-	1,1
Nic [kWh/m².ano]	193,9	182,9
Variação Nic [kWh/m².ano]	-	-10,9

A proposta de intervenção propõe-se a alterar somente o número de vidros constituintes da caixilharia, sendo que ao nível do material este mantém-se igual ao original, portanto madeira. Ambas as situações dispõem de dispositivos de oclusão noturna, no caso, portada de madeira colocada pelo interior da habitação. As alterações têm como consequência a diminuição dos valores do coeficiente de transmissão térmica do envidraçado (U), bem como do fator solar do envidraçado (g_{\perp}).

Por definição, o coeficiente de transmissão térmica é 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 ele separa. [28]

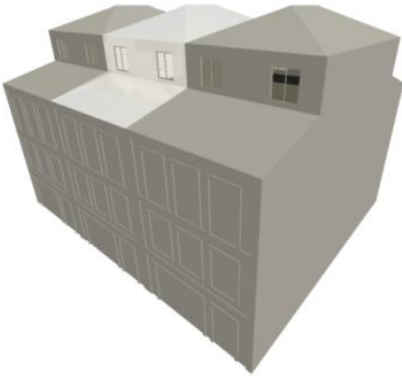
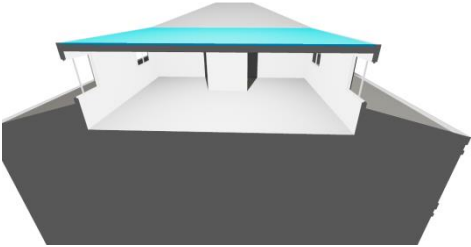
Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético “Tout Court”

Tratando-se dos vãos envidraçados, no Quadro 5 surge o parâmetro U_{wdn} para caraterizar o coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, que representa o referido coeficiente, designado de médio dia-noite, aplicável a locais com ocupação noturna. A alteração do valor de U_{wdn} resulta da escolha do vidro duplo com uma espessura de lâmina de ar de 16 mm, e do dispositivo de oclusão noturna possuir uma elevada permeabilidade ao ar.

Outro dos fatores alterados em função da proposta de reabilitação, é o fator solar do vão envidraçado, que traduz a relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado e a radiação solar incidente na direção normal a esse vão. Naturalmente, os fatores solares não tomam necessariamente os mesmos valores para as estações de aquecimento e de arrefecimento, devido aos ângulos de incidência da radiação solar ou aos modos de utilização das proteções solares móveis nessas estações. [28] No Quadro 5 apenas surge o valor do referido fator para a estação de aquecimento, visto a necessidade de energia para aquecimento ser o principal foco deste trabalho.

Outro dos elementos já referenciados, como de elevada importância no comportamento térmico, é a cobertura do edifício onde, no Quadro 6, se apresenta a solução de reabilitação proposta.

Quadro 6 - Proposta de reabilitação ao nível da cobertura – Piso 3

Reabilitação cobertura (laje existente)		
	Solução existente	Solução de reabilitação
Zona intervencionada		
Descrição	Laje de teto em madeira , confinada a desvão não habitado	Aplicação de isolamento térmico pela face superior da laje de teto - painel rígido de poliestireno extrudido
Espessura isolamento térmico [mm]	-	40
U [W/(m².°C)]	1,20	0,56
Sobrecusto [€/m²]	-	2,6
Nic [kWh/m².ano]	193,9	169,0
Varição Nic [kWh/m².ano]	-	-24,9

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético “Tout Court”

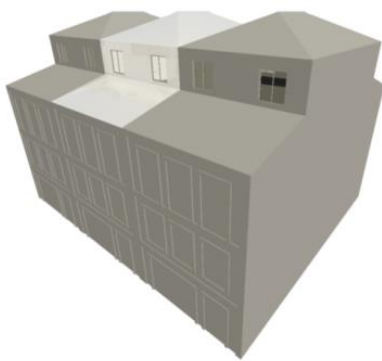
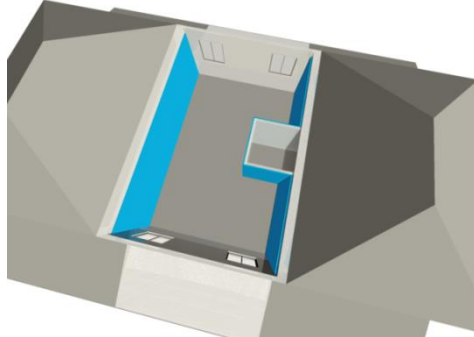
Devido à existência de um desvão não habitável, a colocação da camada de isolamento térmico na face superior do teto dos espaços habitados confinantes, permite uma melhor ventilação do desvão e elimina o consumo energético que seria necessário de modo a melhorar as condições de conforto a um espaço não utilizado. [29]

A inclusão de isolamento térmico na laje de teto existente da habitação aumenta a resistência térmica do elemento e, como se observa no Quadro 6, o coeficiente de transmissão térmica diminui para sensivelmente metade, devido à espessura de isolamento considerada.

Por comparação à intervenção prevista aos vãos envidraçados, verifica-se uma diminuição substancialmente maior no valor de N_{ic} , onde no caso concreto da reabilitação da cobertura se obtém uma redução de $25 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Para a intervenção nas paredes de meiação, o princípio técnico na origem da proposta de reabilitação será o mesmo aquando da reabilitação da cobertura do edifício existente, prevendo-se portanto a inclusão de isolamento térmico no respetivo elemento da envolvente opaca. Apresenta-se, no Quadro 7, a solução de reabilitação e, conseqüentemente as alterações aos parâmetros mais relevantes do RCCTE, assim como o impacto económico da sua implementação.

Quadro 7 - Proposta de reabilitação ao nível das paredes de meação e caixa de escadas – Piso 3

Reabilitação paredes meeiras				
	Solução existente		Solução de reabilitação	
Zona intervencionada				
Descrição	Parede de granito (Paredes meeiras)	Parede de tabique (Paredes de escadas)	Aplicação de isolamento térmico pela face interior - painel rígido de poliestireno extrudido	
Espessura isolamento [mm]	-		40	
U [W/(m².°C)]	1,72 (Paredes meeiras)	2,45 (Paredes de escadas)	0,57 (Paredes Meeiras)	0,63 (Paredes de escadas)
Sobrecusto [€/m²]	-		15,3	
Nic [kWh/m².ano]	193,9		165,2	
Variação Nic [kWh/m².ano]	-		-28,7	

Como ilustra a figura presente no Quadro 7, relativamente à zona intervencionada, foram consideradas as paredes da caixa de escadas como parte integrante das paredes de meação e, assim, sempre que no decorrer da presente análise se fizer referência às paredes meeiras, esta designação engloba o respetivo conjunto de paredes.

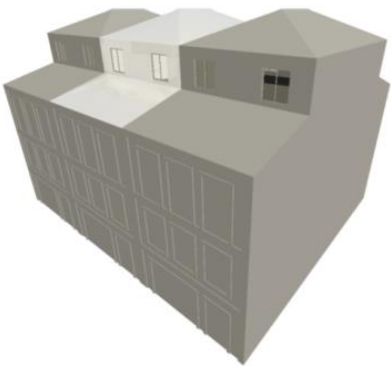
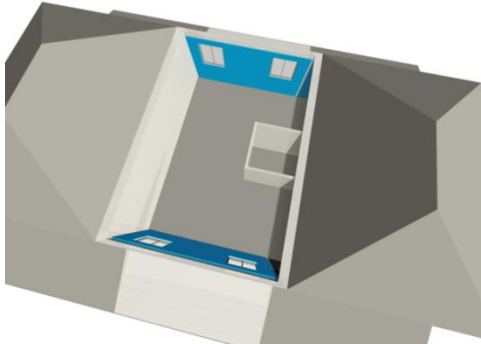
Após inclusão de isolamento térmico verifica-se que o coeficiente de transmissão térmico respeitante às paredes em questão baixa consideravelmente, diminuindo assim a quantidade de calor que atravessa a superfície das paredes entre os ambientes que estas separam. Em consequência desse fator, consegue-se uma poupança energética de sensivelmente 29 kWh/m².ano, graças à diminuição do valor de Nic. Observa-se ainda que o sobrecusto desta solução, quando comparado com as duas propostas anteriores, será um pouco mais dispendiosa, devendo-se isso ao facto da área intervencionada ser largamente superior.

Para os elementos da envolvente considerados como prioritários numa reabilitação, resta apenas a apresentação da solução de reabilitação respeitante às paredes de fachada da habitação, onde mais uma vez se prevê a inclusão de isolamento térmico, com o intuito de diminuir a procura de energia para fazer face ao aquecimento ambiente, tentando-se com isso,

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético “Tout Court”

garantir o conforto térmico da habitação. No Quadro 8 é possível entender de que forma se fará a intervenção nas paredes de fachada, a espessura de isolamento térmico considerada, e também alguns parâmetros relevantes no âmbito do regulamento em estudo.

Quadro 8 - Proposta de reabilitação ao nível das paredes de fachada – Piso 3

Reabilitação paredes de fachada		
	Solução existente	Solução de reabilitação
Zona intervencionada		
Descrição	Parede de tabique	Aplicação de isolamento térmico pela face interior - painel rígido de poliestireno extrudido
Espessura isolamento [mm]	-	40
U [W/(m².°C)]	2,55	0,63
Sobrecusto [€/m²]	-	4,8
Nic [kWh/m².ano]	193,9	154,8
Varição Nic [kWh/m².ano]	-	-39,1

Por questões de simplificação, omite-se do Quadro 8, o valor do coeficiente de transmissão térmica da área de parede da fachada que comunica com os desvãos não úteis existentes, por possuírem valores demasiado próximos.

A colocação do isolamento térmico, pela face interior das paredes de fachada, embora não seja a única solução possível do ponto de vista construtivo, é um tipo de solução de reabilitação bastante utilizado em situações que se torna impossível a alteração da fachada, quer seja por motivos estéticos ou relacionados com a própria arquitetura. A colocação de isolamento na face interior da parede permite preservar o aspeto exterior da fachada com todo o seu aspeto original, fator muito relevante em edifícios históricos ou classificados, devido a estes poderem possuir no exterior, elementos culturais de relevo. A reabilitação pelo interior da habitação, apresenta ainda a vantagem de as obras não ficarem sujeitas aos agentes atmosféricos, e em futuras obras de reabilitação torna-se mais fácil proceder a alterações ou reparações. [30]

Quanto à espessura de isolamento térmico, a partir do Quadro 8 é possível concluir que esta será a mesma em todas as soluções que preveem a sua inclusão na envolvente opaca.

O coeficiente de transmissão térmica das paredes de fachada sofre uma diminuição de sensivelmente 75% relativamente à solução existente e, como consequência desse facto, o valor de Nic da habitação em causa apresenta uma diminuição de cerca de 39 kWh/m².ano, revelando-se o elemento da envolvente mais relevante do ponto de vista da redução das necessidades de energia para aquecimento ambiente.

Com as intervenções propostas, desde já, e para a habitação em questão, é possível hierarquizar os elementos da envolvente quanto ao seu potencial redutor de energia, na tentativa de garantir o conforto térmico do espaço interior habitado. Atribui-se à intervenção realizada aos vãos envidraçados, a redução de Nic menos significativa. No entanto, esta é conseguida através do sobrecusto mais baixo apresentado por todas as propostas de reabilitação consideradas. De referir ainda, como soluções muito interessantes a inclusão de isolamento térmico na cobertura do edifício, assim como nas paredes de meiação.

Se por um lado, em termos de reabilitação de apenas um elemento da envolvente, os resultados são conhecidos, por outro, ainda se desconhece de que forma uma conjugação de soluções de reabilitação da envolvente consegue minimizar o elevado consumo de energia por parte da habitação.

Na abordagem à questão do conforto térmico, é importante considerar a envolvente dos edifícios como um todo. Por exemplo, apenas com intervenção ao nível da cobertura, com introdução do isolamento térmico adequado, sem simultaneamente, se proceder à intervenção das paredes da envolvente, poder-se-á contribuir para um desequilíbrio no conforto térmico. Uma cobertura bem isolada impede a entrada e saída de calor, sendo inquestionável que esta medida resulta num aumento de conforto durante o Inverno; mas se as paredes não forem também isoladas, acontece que durante o Verão, estas permitem a entrada de calor, o qual não conseguirá siar pela cobertura, o que poderá resultar num maior desconforto durante o Verão.

[29]

Foram assim propostas cinco novas soluções de reabilitação, em nada inovadoras quanto às características técnico-económicas, mas diferindo das anteriores no sentido em que mais do que um elemento da envolvente da habitação sofre intervenção. A Figura 14 mostra as opções das intervenções conjugadas propostas.

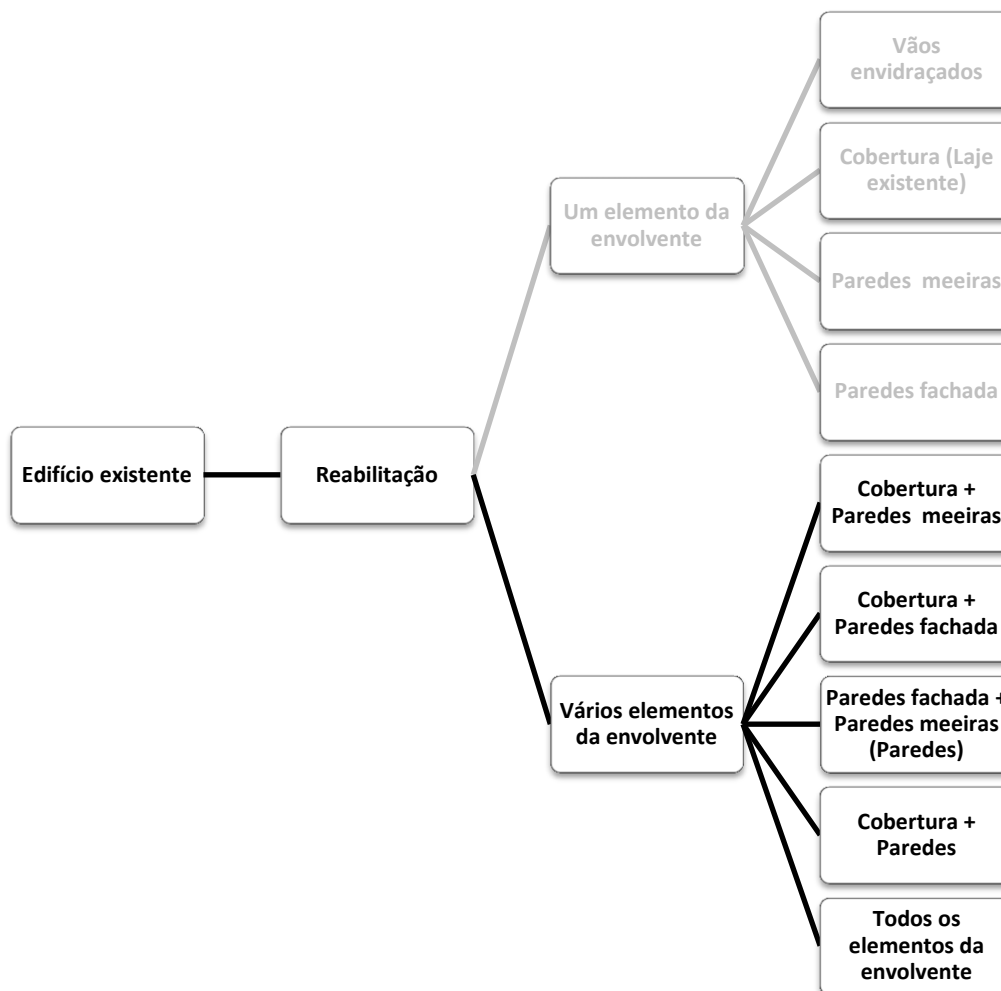


Figura 14 - Elementos da envolvente intervenionados

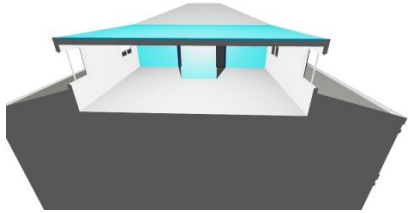
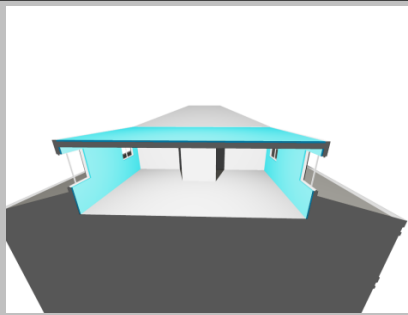
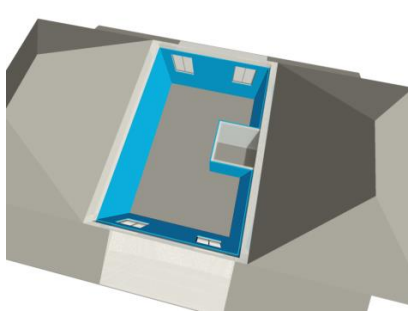
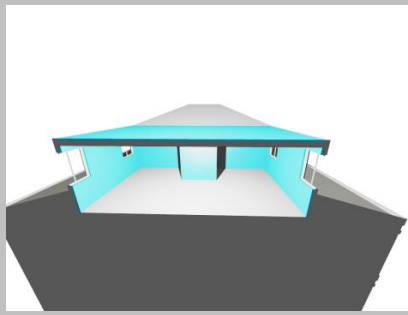
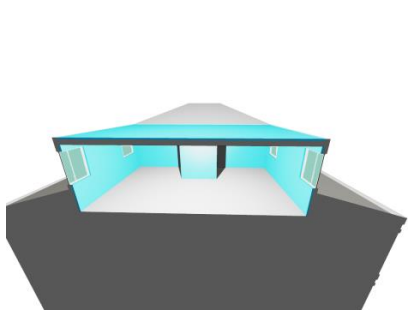
Devido à já conhecida preocupação com a cobertura do edifício, as intervenções consideradas, tiveram em conta a sua reabilitação, excetuando a intervenção prevista para a totalidade das paredes da habitação.

Na Figura 6 está presente uma proposta de intervenção na habitação designada de “Todos os elementos da envolvente”, que não é mais do que uma reabilitação conjugada dos elementos da envolvente abordados anteriormente e referenciados como prioritários.

Para as soluções propostas apresenta-se no Quadro 9 os valores de Nic e respetivas variações, resultantes da implementação de cada uma das intervenções. Surge também o impacto económico associado às soluções de reabilitação consideradas. Devido ao facto das alterações aos valores de parâmetros relevantes no âmbito do RCCTE terem sido já mostrados anteriormente, e porque em nada se alteram, optou-se por omiti-los no Quadro 9.

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético
 “Tout Court”

Quadro 9 - Propostas de reabilitação ao nível de vários elementos da envolvente – Piso 3

Reabilitação de vários elementos da envolvente					
Elementos da envolvente	Zona intervencionada	Descrição	Nic [kWh/m ² .ano]	Varição Nic [kWh/m ² .ano]	Sobrecusto [€/m ²]
Cobertura + Paredes meeiras		Isolamento térmico 40mm	140,6	-53,3	17,9
Cobertura + Paredes fachada		Isolamento térmico 40mm	130,0	-63,9	7,4
Paredes		Isolamento térmico 40mm	124,6	-69,3	20,1
Cobertura + Paredes		Isolamento térmico 40mm	100,2	-93,7	22,7
Todos os elementos		Isolamento térmico 40mm + Vidro duplo	89,3	-104,6	23,9

Da observação do Quadro 9 é perceptível a vantagem existente numa intervenção em que se reabilita mais do que um elemento da envolvente, conseguindo-se com uma intervenção ao nível da envolvente opaca e vãos envidraçados uma redução de aproximadamente 105 kWh/m².ano, que expresso em percentagem, representa uma redução de 54% do valor de Nic face à situação pré-existente.

Percebe-se desde já a diversidade de resultados obtidos, com o ponto em comum, que é a diminuição da necessidade de energia para aquecimento ambiente na habitação. O Gráfico 3 agrupa os valores de Nic obtidos desde a habitação no seu estado inicial, até à situação onde todos os elementos da habitação são reabilitados.

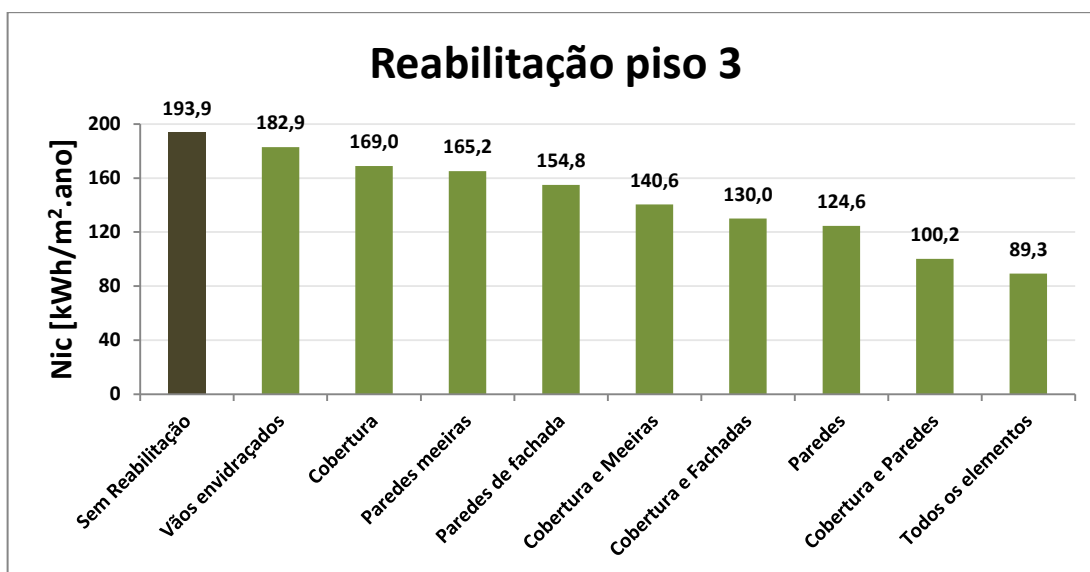


Gráfico 3 - Valores de Nic após reabilitação dos elementos da envolvente – Piso 3

Da observação do Gráfico 3 constata-se uma vez mais as zonas da envolvente prioritárias nesta tipologia de habitação, destacando-se as paredes de fachada como o principal elemento capaz de diminuir o valor das necessidades de energia para aquecimento ambiente. Torna-se também claro, a vantagem em intervir não só na envolvente opaca, mas também nos vãos envidraçados da habitação, já que esta passa a necessitar de apenas 89 kWh/m².ano para fazer face à estação de aquecimento.

Conhecidos os valores nominais de Nic que a habitação necessita consoante a intervenção realizada, é de todo interessante confrontar a redução do parâmetro Nic, com o sobrecusto associado a cada uma das soluções de reabilitação propostas, estando esse facto apresentado no Gráfico 4, onde tanto a redução de Nic como o sobrecusto são expressos em percentagem.

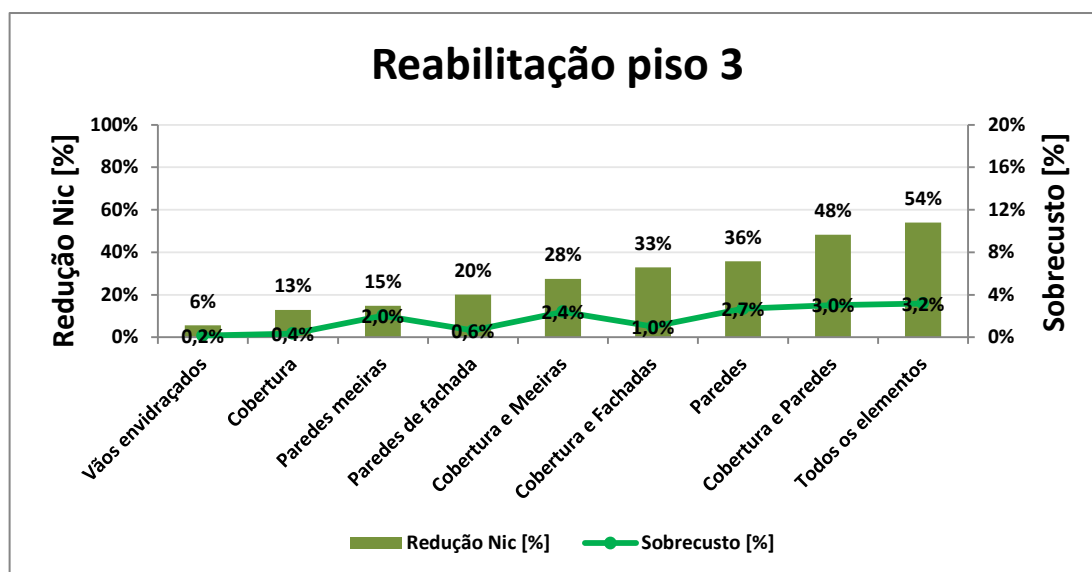


Gráfico 4 - Redução de Nic e sobrecusto associado após reabilitação dos elementos da envolvente – Piso 3

Perante os dados presentes no Gráfico 4 forçosamente terá de ser repensada a forma como se aborda a problemática da reabilitação do Centro Histórico da Cidade do Porto. A apresentação dos resultados expressos em percentagem transmitem o tremendo potencial existente numa reabilitação vocacionada para a valorização energética, sem com isso inviabilizar a implementação da mesma, com base no suposto elevado sobrecusto.

Repare-se que para uma intervenção ao nível dos vãos envidraçados (substituição do vidro simples por duplo), cobertura (isolamento térmico da laje de teto) e paredes de fachada (isolamento térmico), o sobrecusto não atinge sequer 1% em relação ao valor de referência adotado, em contraste com uma redução que pode chegar aos 20% no valor de Nic.

Através de uma análise mais atenta, poder-se-á incorrer no erro de tentar encontrar uma solução de reabilitação em que o sobrecusto/benefício energético seja o mais favorável, sem contudo encontrar uma resposta universalmente aceite, visto todas as soluções serem válidas na ótica da diminuição da dependência energética por parte do edificado alvo.

Posto isto, o argumento do excessivo sobrecusto das soluções analisadas não têm qualquer fundamento, visto que na situação mais gravosa se incrementa apenas 3,2% ao custo de uma reabilitação, com os benefícios já conhecidos.

Em suma, pode-se dizer que estas soluções técnico-económicas, apesar de não serem exclusivas, constituem uma boa base para auxiliar o cumprimento do compromisso assumido pela cidade do Porto com o seu Plano de Ação para as Energias Sustentáveis.

A presente análise focou-se no último piso do edifício em estudo, pelas já conhecidas razões, no entanto apresentam-se os resultados obtidos para os restantes dois pisos (Quadros 10 e 11). As especificidades técnicas das soluções de reabilitação referentes aos pisos em questão encontram-se nos ANEXOS I e II.

Quadro 10 - Variação de Nic e sobrecusto associado às soluções de reabilitação – Piso 1

Reabilitação do edifício existente – Piso 1		
Elementos Intervencionados	Variação Nic [kWh/m².ano]	Sobrecusto da solução por área útil de pavimento [€/m²]
Vãos Envidraçados	-11,3	1,1
Paredes de fachada	-20,3	4,8
Pavimento	-21,2	3,9
Paredes meeiras	-29,2	15,6
Pavimento + Fachadas	-39,6	8,6
Pavimento + Meeiras	-50,1	19,4
Paredes	-50,5	20,3
Pavimento + Paredes	-69,4	24,2
Todos os elementos	-80,5	25,3

Quadro 11 - Variação de Nic e sobrecusto associado às soluções de reabilitação – Piso 2

Reabilitação do edifício existente – Piso 2		
Elementos Intervencionados	Variação Nic [kWh/m².ano]	Sobrecusto da solução por área útil de pavimento [€/m²]
Desvãos	-9,1	3,1
Vãos envidraçados	-12,7	1,3
Paredes de fachada	-20,3	4,5
Paredes meeiras	-28,9	15,6
Desvãos + Fachadas	-29,7	7,6
Desvãos + Meeiras	-38,2	18,7
Paredes	-50,0	20,1
Desvãos + Paredes	-59,2	23,2
Todos os elementos	-72,0	24,5

5.2. O POTENCIAL DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO NA MELHORIA DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFICADO

A reabilitação do edificado respeitante ao Centro Histórico do Porto, enfrenta alguns desafios relativos à abordagem na sua intervenção, dependendo da vontade e/ou visão dos agentes intervenientes no processo.

Demonstrou-se que a aposta numa valorização energética da habitação não representa um acréscimo de custo que sirva como argumento para a não implementação de medidas que conduzam a um melhor comportamento térmico da habitação.

Se por um lado a aposta em alguma valorização energética do edificado se revela acertada, por outro, existe um potencial ainda não conhecido das soluções de reabilitação, que naturalmente passa pela exploração de alguns parâmetros relativos ao RCCTE.

5.2.1. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE À INFLUÊNCIA DO ISOLAMENTO NO COMPORTAMENTO TÉRMICO

Como se sabe, o isolamento térmico da envolvente opaca assume um papel determinante na tentativa de garantir o conforto térmico da habitação, através da diminuição substancial das necessidades de energia para aquecimento ambiente.

Presente no mercado de maneira diversificada, o que verdadeiramente caracteriza um material isolante é a sua condutibilidade térmica, que por definição terá de ser inferior a 0,065 W/m.°C. [8] Através de um aumento de espessura, é possível minorar as trocas de calor entre os ambientes que separa, permitindo aos elementos da envolvente opaca obterem um melhor comportamento térmico.

Fazendo-se um aproveitamento das soluções técnicas propostas anteriormente, na presente análise e como exclusivamente de soluções que incluam isolamento térmico se trata, apresentam-se, na Figura 15, as propostas escolhidas para avaliar o impacto no comportamento térmico da habitação, de um aumento da espessura do material isolante a incluir nos elementos da envolvente.

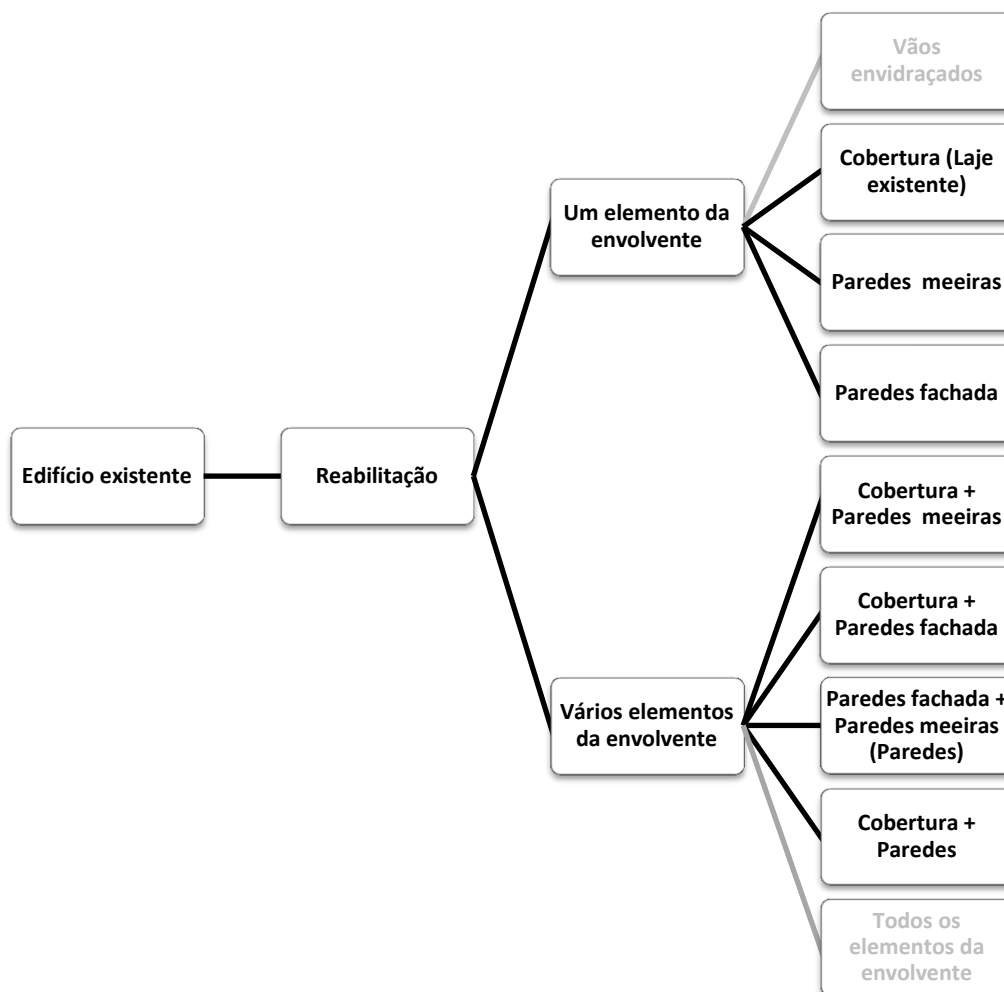


Figura 15 - Elementos da envolvente intervenzionados na análise de influência do isolamento no comportamento térmico da habitação

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético “Tout Court”

Como seria de esperar, apenas as soluções que incluem a intervenção ao nível dos vãos envidraçados foram excluídas, no âmbito desta análise. O que se pretende primeiramente, é perceber de que forma o aumento de espessura de isolamento térmico influi nos parâmetros fundamentais do RCCTE. No Quadro 12 apresentam-se os novos valores dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente opaca, com o impacto económico resultante da sua implementação na habitação.

As espessuras de isolamento avaliadas são de 70 e 100 mm, bastante generosas quando o edificado a que se refere a análise, não prevê qualquer obrigação regulamentar. No entanto, numa perspetiva de conhecer o real potencial deste tipo de intervenção, achou-se necessário variar as espessuras entre um valor já de si aceitável (40 mm) e um potencialmente exagerado (100 mm).

Quadro 12 - Propostas de reabilitação ao nível de vários elementos da envolvente opaca

Espessura isolamento [mm]	Reabilitação cobertura		Reabilitação paredes meeiras				Reabilitação paredes de fachada	
	70	100	70		100		70	100
U [W/(m ² .°C)]	0,38	0,29	Meeiras 0,38	Escadas 0,40	Meeiras 0,29	Escadas 0,30	0,41	0,30
Sobrecusto da solução [€/m ²]	4,6	6,6	26,8		38,3		8,4	12,0
Nic [kWh/m ² .ano]	162,3	158,7	160,6		158,3		150,8	148,9
Varição Nic [kWh/m ² .ano]	-31,6	-35,1	-33,3		-35,6		-43,1	-45,0
Espessura isolamento [mm]	Reabilitação cobertura + meeiras		Reabilitação cobertura + fachadas		Reabilitação paredes		Reabilitação cobertura + paredes	
	70	100	70	100	70	100	70	100
Sobrecusto da solução [€/m ²]	31,4	44,9	13,0	18,6	35,2	50,2	39,8	56,9
Nic [kWh/m ² .ano]	129,2	123,5	119,3	113,8	116,0	111,8	85,1	77,6
Varição Nic [kWh/m ² .ano]	-64,6	-70,4	-74,6	-80,0	-77,9	-82,0	-108,8	-116,3

Do Quadro 12 constata-se que o coeficiente de transmissão térmica diminui de valor à medida que a espessura de isolamento térmico aumenta, sendo que, proporcionalmente a uma

melhoria do comportamento térmico da envolvente opaca acresce também o sobrecusto das soluções.

Para um melhor enquadramento dos resultados obtidos, apresenta-se no Gráfico 5 os valores absolutos das necessidades de energia durante a estação de aquecimento, resultantes da variação de todas as espessuras de isolamento térmico utilizadas nas soluções de reabilitação propostas.

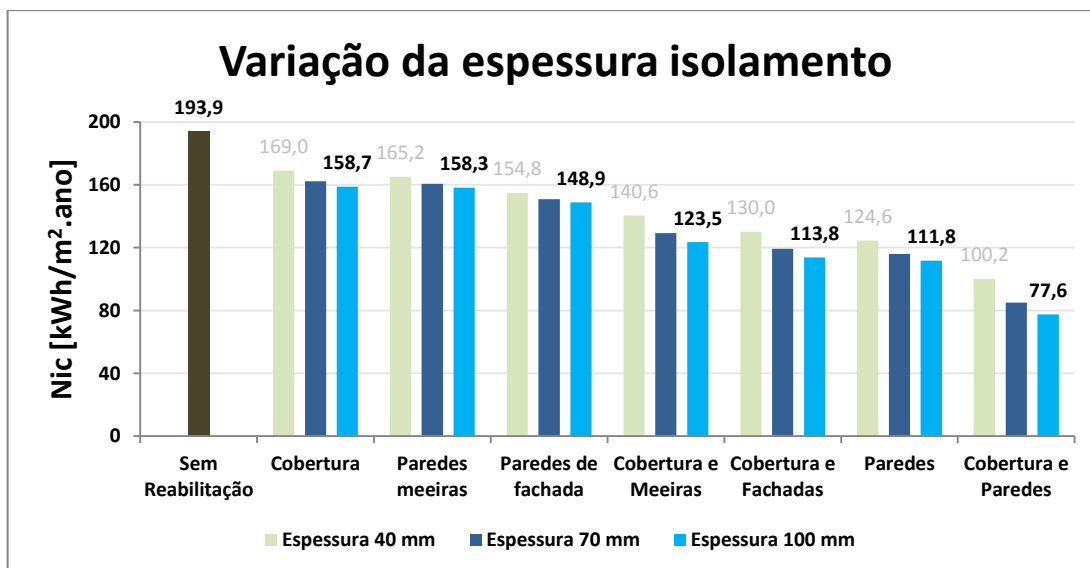


Gráfico 5 - Valores de Nic após reabilitação dos elementos da envolvente com variação da espessura de isolamento térmico

Percebe-se desde já que, após variação da espessura de isolamento térmico, a hierarquia estabelecida relativamente às zonas da envolvente opaca em nada se alteram, apresentando-se a intervenção na cobertura com a menor redução de Nic, e as paredes de fachada a maior.

As reduções do valor de Nic relativamente à habitação no estado original são apresentadas sob a forma percentual no Gráfico 6.

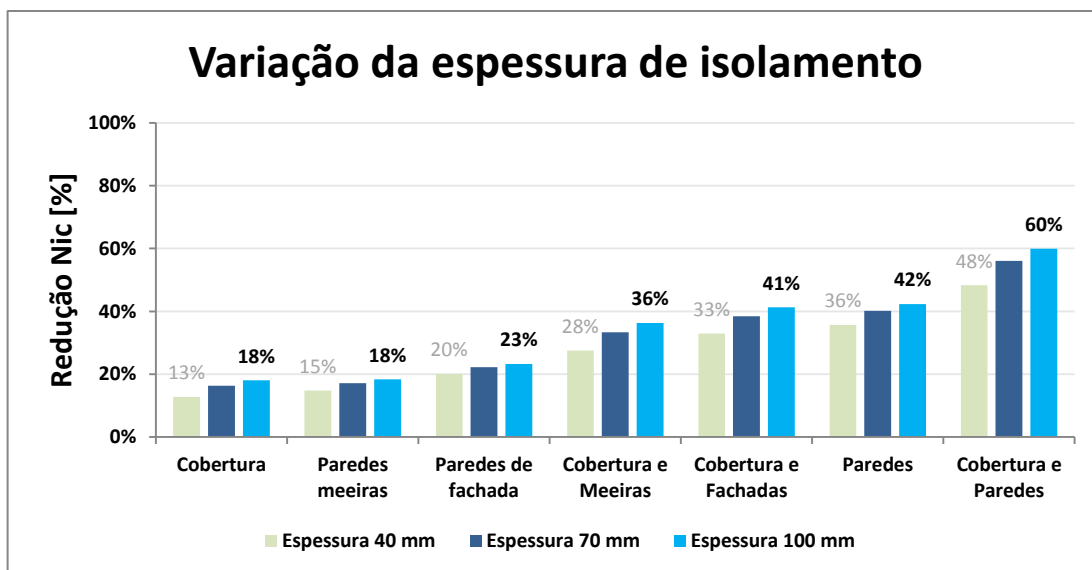


Gráfico 6 - Redução de Nic após reabilitação dos elementos da envoltura com variação da espessura de isolamento térmico

Comparativamente às já conhecidas reduções das necessidades de energia para aquecimento para a espessura mais baixa considerada, é possível a partir do Gráfico 6 perceber as vantagens em utilizar espessuras de isolamento térmico mais elevadas. Para a habitação em estudo, o facto de se conseguir atingir uma redução do valor de Nic na ordem dos 60%, constitui desde logo uma informação bastante promissora no que toca à intervenção da envoltura opaca, dos edifícios do Centro Histórico do Porto.

A materialização das propostas de reabilitação em estudo requer, porém, um acréscimo substancial de custo, mostrado pelo Gráfico 7, estando estes expressos em percentagem relativamente ao valor referência.

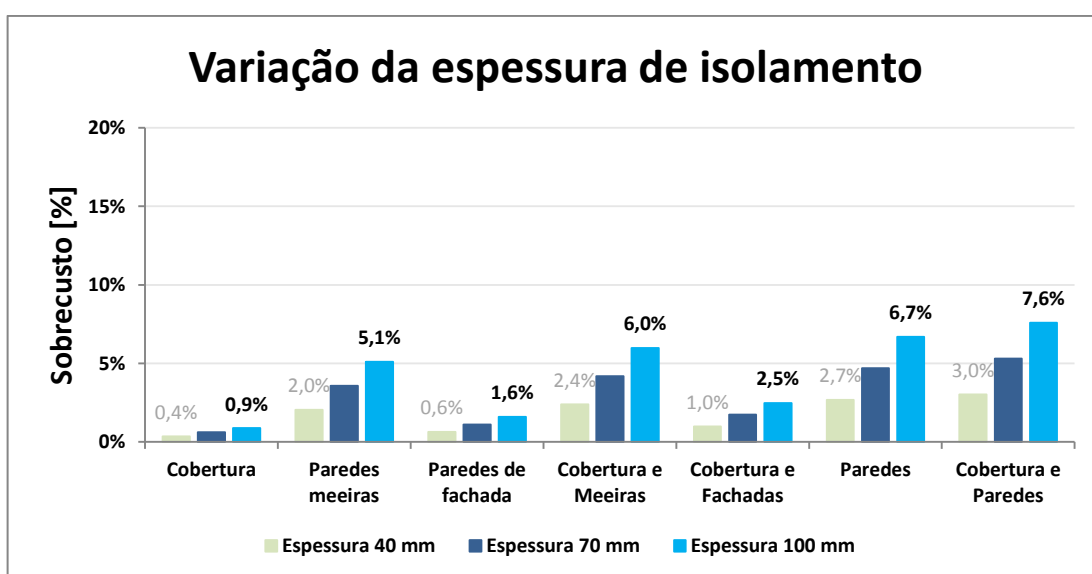


Gráfico 7 - Sobrecusto associado à variação da espessura de isolamento térmico na reabilitação dos elementos da envoltura

O sobrecusto das soluções, diretamente relacionado com a variação na espessura de isolamento térmico, e consequente alteração no coeficiente de transmissão térmica, sofre um acréscimo significativo, podendo inclusive chegar aos 60% relativo à menor espessura considerada. Este fator pode, por si só, constituir um entrave à inclusão da família de propostas apresentadas em projeto, visto tratar-se de soluções mais ambiciosas quanto à valorização energética da habitação.

Cabe aos agentes intervenientes, na reabilitação do edificado do Centro Histórico do Porto, decidir quais as prioridades e objetivos de um projeto de reabilitação. A demonstração dos resultados obtidos é por si só motivo de especial interesse e, se possível, a adoção de medidas regulamentares capazes de adaptar os edifícios aos tempos modernos, seria realmente inovador, na tentativa de garantir o conforto térmico da habitação, com menores gastos energéticos.

Quando se aborda a questão muito sensível como é a do conforto térmico, esta revela-se de difícil resolução devido a inúmeros fatores que se prendem com a própria natureza humana. Perante condições de ambiente interior à habitação, é de todo impossível garanti-lo a todas as pessoas que usufruem do mesmo espaço mas, no entanto, exige-se a um projeto de reabilitação a atenção de todos estes fatores, e não simplesmente ignorá-lo devido ao potencial sobrecusto que medidas deste género poderão incrementar.

Existe porém um parâmetro ainda não abordado, mas previsto na metodologia de cálculo do RCCTE, que é a classe de inércia térmica da fração autónoma, a qual é de grande relevância no contexto do conforto térmico da habitação. Podendo estar relacionado com a aplicação de isolamento térmico pelo exterior (situação ideal) ou pelo interior nas paredes e cobertura, a classe pode variar em função da posição da colocação do isolamento.

Por definição, a inércia térmica da fração autónoma personifica a resistência oferecida pelos sistemas térmicos à tentativa de alterar o seu estado termodinâmico, sendo que este parâmetro tem origem na capacidade que os materiais possuem de armazenar calor.

Quanto maior a capacidade do material em armazenar calor mais facilmente os sistemas térmicos absorvem as solicitações sem alterarem radicalmente o seu estado termodinâmico. Devido a esse facto, um edifício com classe de inércia térmica forte tende a armazenar a energia recolhida por períodos mais longos e a suavizar os efeitos das variações do clima. Várias são as vantagens dum edifício ter inércia térmica forte, entre as quais: armazenar os ganhos solares na estação de aquecimento para, quando necessário, o restituir ao interior do espaço habitado, aumentando assim o seu fator de utilização; evitar fenómenos de sobreaquecimento durante a estação de arrefecimento, não permitindo grandes variações de temperatura no interior da fração autónoma.

Sendo um parâmetro de extrema importância, devido à sua capacidade de armazenamento térmico, este deve ser projetado em função da geometria, clima e regime de ocupação. [31]

Para efetuar uma análise de sensibilidade do parâmetro em questão no comportamento térmico da habitação, foram selecionados dois elementos da envolvente opaca para serem intervencionados, como se mostra na Figura 16.

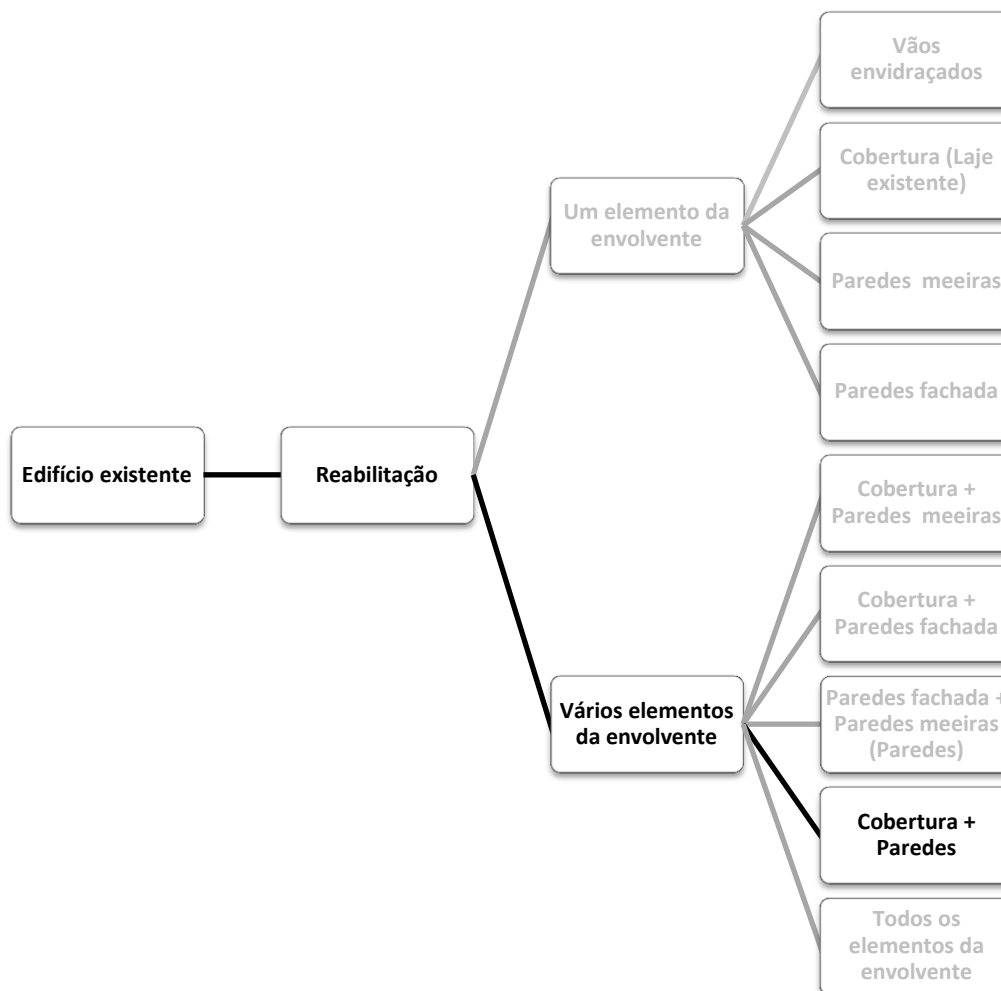


Figura 16 - Elementos da envolvente intervenzionados na análise de influência da inércia no comportamento térmico da habitação

Apenas se considera a hipótese da habitação ser termicamente isolada na totalidade da sua envolvente opaca, visto ser possível experimentar, com o conjunto de intervenções, as três classes de inércia térmica.

A proposta de reabilitação que prevê a colocação de isolamento térmico nas paredes pela face interior e também na laje existente pelo exterior ao espaço habitado, anteriormente analisada, faz com que a habitação passe a ter uma inércia térmica fraca, onde o fator determinante para a alteração se deve à inclusão de isolamento térmico nas paredes meeiras, visto ser o elemento da envolvente da habitação possuidor de maior área.

Para as restantes classes de inércia térmica foram propostas outras duas soluções como mostra o Quadro 13.

Quadro 13 - Propostas de reabilitação ao nível de vários elementos da envolvente opaca

Reabilitação cobertura e paredes			
Descrição	<p>Cobertura: Aplicação de isolamento térmico pela face superior da laje de teto existente</p> <p>Paredes: Aplicação de isolamento térmico pela face interior</p>	<p>Cobertura: Aplicação de isolamento térmico pela face superior da laje de teto existente</p> <p>Paredes: Aplicação de isolamento térmico pela face interior, com adição de novo pano de tijolo</p>	<p>Cobertura: Substituição por laje aligeirada, com aplicação de isolamento térmico pela face superior da nova laje</p> <p>Paredes: Aplicação de isolamento térmico pela face interior, com adição de novo pano de tijolo</p>
Espessura isolamento [mm]	40		
Classe inércia térmica	Fraca	Média	Forte
U [W/(m².°C)]	<p>Cobertura 0,56</p> <p>Meeira 0,57</p> <p>Escadas 0,63</p> <p>Fachada 0,63</p>	<p>Cobertura 0,56</p> <p>Meeira 0,53</p> <p>Escadas 0,57</p> <p>Fachada 0,58</p>	<p>Cobertura 0,66</p> <p>Meeira 0,53</p> <p>Escadas 0,57</p> <p>Fachada 0,58</p>
Sobrecusto [€/m²]	22,7	68,9	117,4
Nic [kWh/m².ano]	100,2	96,8	100,1
Varição Nic [kWh/m².ano]	-93,7	-97,1	-93,8

Originalmente com uma inércia térmica média, a habitação assegura a manutenção da classe de inércia com adição de um novo pano de tijolo com espessura de 0,1 m, em todas as paredes (caixa de escadas incluída). Devido a esse facto, os coeficientes de transmissão térmica respeitantes às paredes sofrem uma diminuição, consequência de mais uma camada de material ter sido adicionada, o que aumenta a resistência térmica do elemento que separa os ambientes interior e exterior à habitação.

À alteração da classe de inércia térmica de média para forte, a responsabilidade é atribuída ao novo pano de tijolo adicionado às paredes, mas também à substituição da laje de teto existente por uma nova laje aligeirada de betão armado com espessura de 0,25 m. Com isso consegue-se um aumento do valor da massa superficial útil dos elementos por metro quadrado de área (I_s), já que à luz da metodologia de cálculo do RCCTE apenas se considera a massa situada do lado interior do isolamento térmico.

De referir que a habitação não consegue obter a classe de inércia térmica forte, devido ao facto de I_t ser igual a 370 kg/m^2 , mas, para efeito de análise considera-se a obtenção da referida classe de inércia.

Do Quadro 13 observa-se ainda um elevado aumento do sobrecusto das soluções propostas, devendo-se isso à inclusão da mão-de-obra no custo das soluções adotadas, visto, ser uma medida extraordinária numa reabilitação típica (sem valorização energética).

Em termos de necessidades de energia para aquecimento, as alterações ocorridas na habitação devido às alterações de classe de inércia térmica, estão representadas no Gráfico 8.

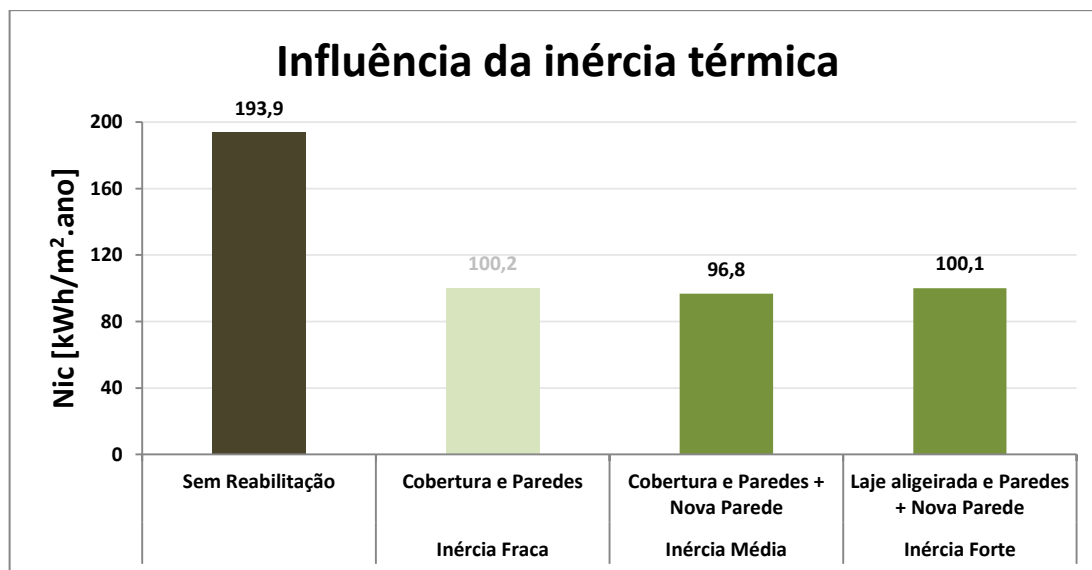


Gráfico 8 - Valores de Nic após reabilitação dos elementos da envolvente com variação da classe de inércia térmica

Aparentemente sem grande impacto no valor de Nic, quando comparadas as três classes de inércia térmica, estes dados podem originar conclusões precipitadas acerca das vantagens existentes na escolha de uma classe de inércia térmica forte.

O aumento das necessidades de energia para aquecimento, verificado quando a habitação passa de média a forte, é justificado através do material constituinte da laje de betão armado possuir uma condutibilidade térmica superior à da laje existente (madeira), o que faz com que o coeficiente de transmissão térmica da laje sofra um acréscimo, piorando desta forma o comportamento térmico da laje aligeirada.

De facto, em termos de necessidades de energia para aquecimento, a influência da inércia térmica não é muito perceptível, mas uma inércia térmica média ou forte é benéfica em termos de desempenho térmico e energético, ao permitir um melhor aproveitamento dos ganhos úteis.

Deste modo, deseja-se um edifício que seja capaz de armazenar e gerir o calor, para fins úteis na garantia do conforto térmico.

Numa abordagem ao conceito de conforto térmico, invariavelmente as necessidades de energia para contrariar o aquecimento ou, por vezes, o sobreaquecimento da habitação, terão de ser motivo de análise. Sabe-se de antemão que, comparativamente às necessidades de

aquecimento, as necessidades de arrefecimento quase não têm expressão, o que não invalida uma análise aos fatores que influenciam eventuais oscilações nos seus valores.

No Gráfico 9 representam-se as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (Nvc) da habitação sem reabilitação e, após implementação das três soluções de reabilitação em estudo.

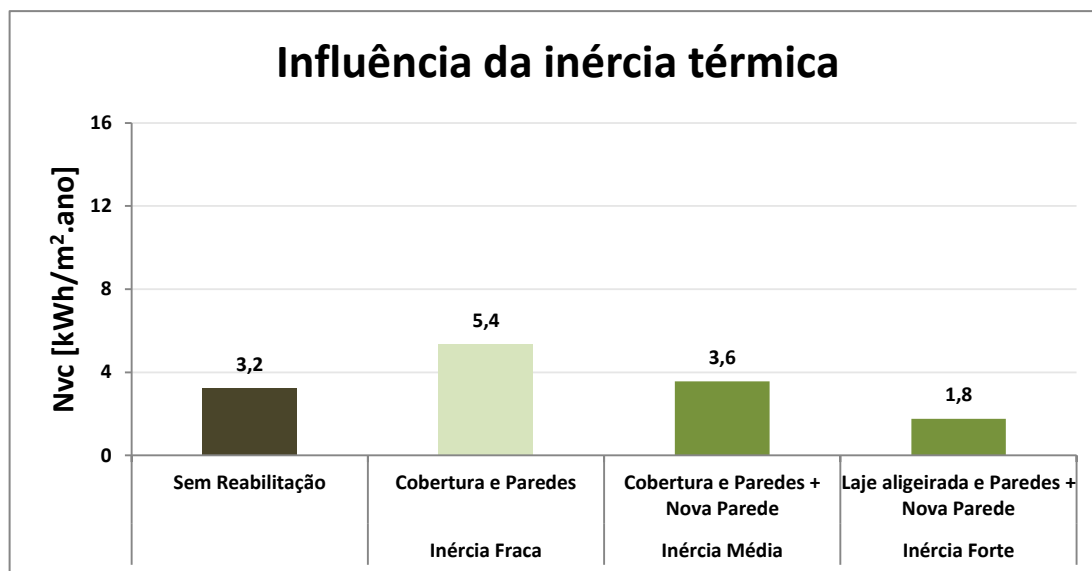


Gráfico 9 - Valores de Nvc após reabilitação dos elementos da envolvente com variação da classe de inércia térmica

Torna-se claro, a partir da análise dos resultados obtidos, a influência que a classe de inércia térmica tem nas necessidades de arrefecimento. É perceptível que uma habitação com inércia fraca requer um acréscimo de energia para contrariar o aumento da temperatura ambiente verificado durante os quatro meses de Verão (junho a setembro).

Verifica-se que, para uma habitação com inércia fraca, o valor de Nvc aumenta relativamente à situação pré-existente (inércia média), podendo essa alteração resultar num acréscimo de 40% nas necessidades de energia útil para arrefecimento.

Para as situações em que se mantém a classe de inércia ou se passa a forte, com a implementação das soluções de reabilitação, verifica-se uma diminuição no valor de Nvc conseguindo-se, no caso de inércia forte, uma diminuição de sensivelmente 44% do valor relativo à habitação sem reabilitação.

À luz do que foi sendo analisado, uma solução de reabilitação deve obrigatoriamente ter em conta todas as consequências provenientes da implementação de determinadas soluções, sob risco de uma opção que responda de modo eficaz às necessidades de aquecimento, poder penalizar a habitação do ponto de vista das necessidades de arrefecimento, o que poderá conduzir a situações de sobreaquecimento da habitação e conseqüente desconforto do ambiente interior à habitação.

Determinante é também o sobrecusto das soluções de reabilitação e, se por um lado é aconselhável a escolha de soluções que confirmem à habitação uma classe de inércia térmica média, de preferência forte, as opções poderão agravar o custo do projeto de reabilitação. Para

tal mostra-se no Gráfico 10 o sobrecusto expresso em percentagem das três soluções de reabilitação estudadas.

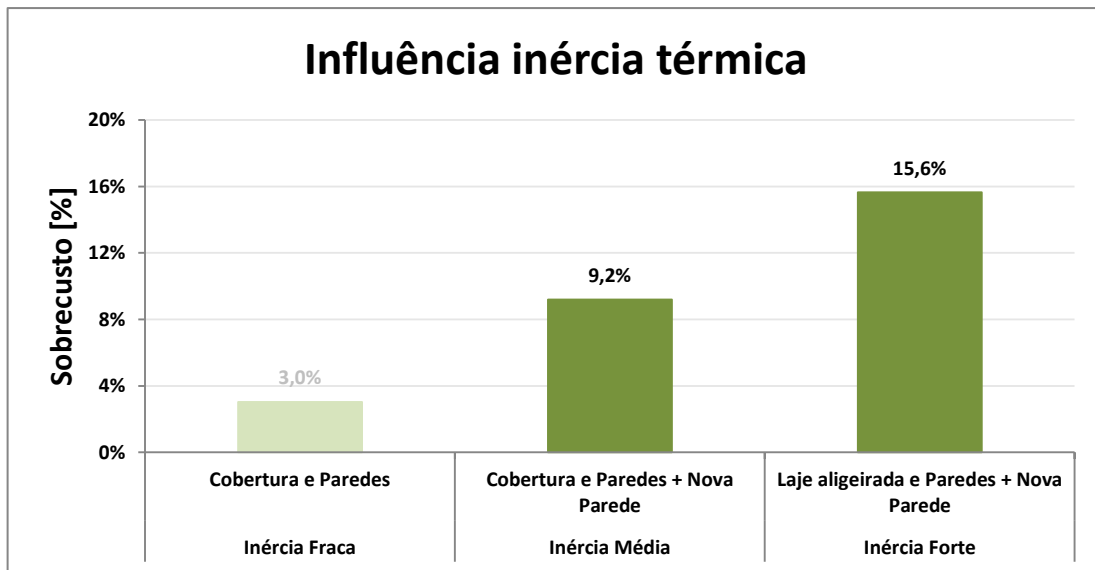


Gráfico 10 - Sobrecusto associado à variação da classe de inércia térmica

O aumento do sobrecusto das propostas de intervenção na habitação já havia sido referenciado, pelo que cabe aos projetistas e ou agentes intervenientes no processo de reabilitação a responsabilidade da escolha da classe de inércia térmica, sabendo de antemão quais as vantagens/desvantagens da opção de uma determinada classe em detrimento doutra.

De facto pode parecer exagerado o incremento de custo para efetuar a passagem de classe de inércia fraca para as restantes previstas no RCCTE, mas o foco principal de uma reabilitação devem ser sempre, em primeira instância, os ocupantes, onde a melhoria do conforto térmico passa a ser um objetivo prioritário, adaptando cada vez mais um edifício existente aos tempos modernos e atuais exigências.

5.2.2. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE À INFLUÊNCIA DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS NO COMPORTAMENTO TÉRMICO

Aos vãos envidraçados da habitação em estudo atribui-se o menor potencial na redução das necessidades de energia para aquecimento, responsável por minorar em cerca de 6% o valor de Nic em relação à situação original.

Uma correta avaliação das melhores soluções de reabilitação deve ser encarada com a mesma seriedade como as demais zonas da envolvente do edifício. Num projeto de reabilitação vários parâmetros devem ser questionados, tais como o coeficiente de transmissão térmica do envidraçado e o fator solar do vidro.

Para o efeito, foram propostas soluções de reabilitação que se centram nos vãos envidraçados, como mostra o organograma presente na Figura 17, permitindo com esta análise perceber primeiramente a influência no valor de Nic de uma intervenção no elemento a título

individual, e também quando integrado numa solução que contempla a inclusão de isolamento térmico na envolvente opaca.

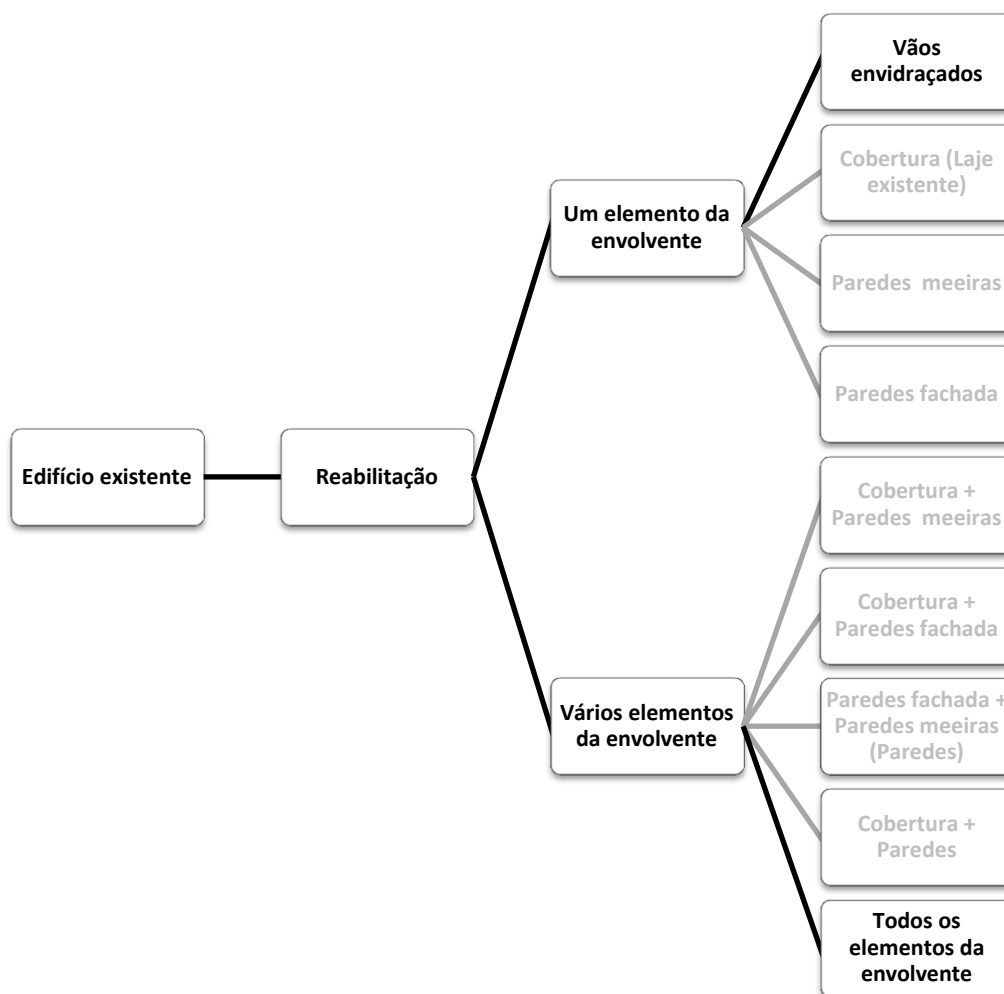


Figura 17 - Elementos da envolvente intervenzionados na análise de influência dos vãos envidraçados no comportamento térmico da habitação

A seleção do material a incorporar na caixilharia dos vãos envidraçados revela-se por vezes uma questão de difícil resposta, existindo uma oferta variada de soluções, muitas delas com um custo excessivo quando confrontadas com a melhoria introduzida no comportamento térmico do edificado analisado.

Diversos tipos de caixilharias foram experimentados na habitação em questão, prevendo-se a substituição da solução construtiva existente, por caixilharias de diferentes materiais. Figuram entre as caixilharias ensaiadas as metálicas com e sem corte térmico, e também as de policloreto de vinila, vulgarmente designado de PVC. Todas elas foram testadas associadas a vidro duplo, mas também com caixilharia dupla associada a vidro simples, exceção para a metálica com corte térmico, estando os resultados obtidos, presentes no Anexo III.

O comportamento térmico apresentado revela-se muito semelhante, não justificando o aumento de sobrecusto verificado, pelo que a solução de reabilitação proposta incide nas caixilharias de madeira, confrontando a solução que prevê a substituição de vidro simples

para vidro duplo, com a solução que sugere a inclusão de mais uma caixilharia de madeira pelo interior, como mostra o Quadro 14.

Quadro 14 - Propostas de reabilitação ao nível dos vãos envidraçados

Reabilitação vãos envidraçados		
Descrição	Substituição para vidro duplo	Adição de uma nova caixilharia de madeira pelo interior, associada a vidro simples
U [W/(m².°C)]	2,4	2,2
g_{↓Inverno}	0,63	0,60
Sobrecusto [€/m²]	1,1	21,3
Nic [kWh/m².ano]	182,9	182,7
Variação Nic [kWh/m².ano]	-10,9	-11,2

Através do Quadro 14 observam-se alterações ao nível dos dois parâmetros previstos no RCCTE, identificados como relevantes na presente análise, com uma ligeira diminuição tanto no coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, como no valor do fator solar do envidraçado. O facto mais relevante é o aumento de sobrecusto agregado à solução que prevê a inclusão da caixilharia dupla, consequência do valor da nova caixilharia de madeira ser assumido na totalidade no sobrecusto da solução. Verifica-se que a nova proposta de reabilitação para os vãos envidraçados pouco contribui na diminuição do valor das necessidades energéticas de aquecimento, sendo inclusive praticamente iguais os valores de Nic obtidos após implementação das duas soluções estudadas.

No Gráfico 11 apresentam-se os valores de Nic na situação inicial da habitação; mas também quando apenas se intervém nos vãos envidraçados; e quando todos os elementos da envolvente são reabilitados.

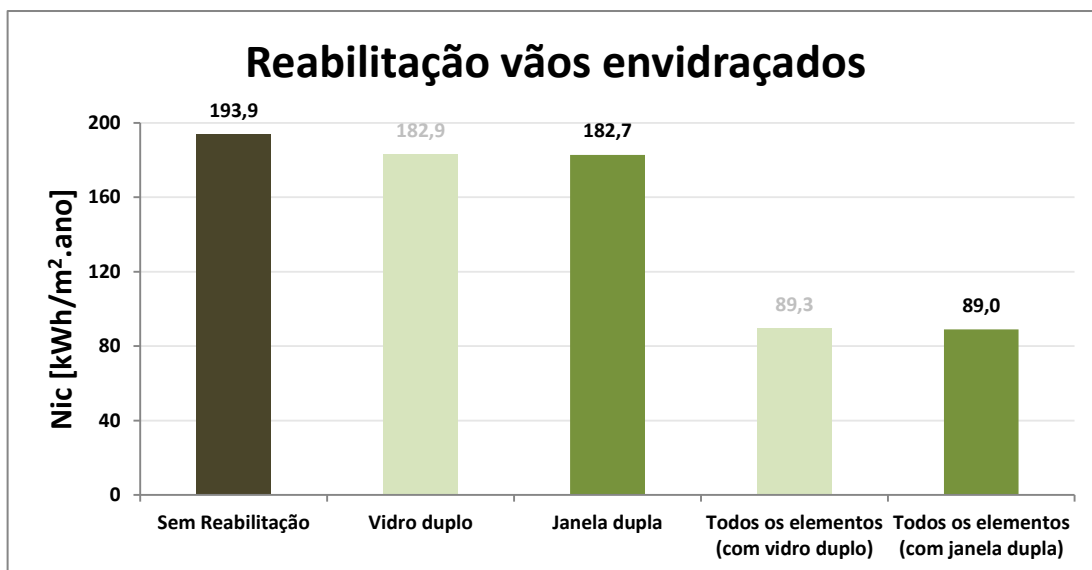


Gráfico 11 - Valores de Nic após reabilitação dos elementos da envolvente com variação das soluções referentes aos vãos envidraçados

Da observação do Gráfico 11 conclui-se que, apesar de ter alguma influência no comportamento térmico da habitação, a opção da caixilharia dupla associada a vidro simples não acrescenta melhorias significativas para que, de forma inequívoca, se possa afirmar que se trata da solução ideal para a geometria e tipologia de habitação em estudo.

A solução da caixilharia dupla revela-se pouco eficaz quando confrontada com o sobrecusto da solução, diferindo bastante em relação à situação em que se procede à substituição do vidro simples, por duplo. A relação entre redução de Nic, obtida com cada uma das soluções implementadas, e os sobrecustos associados a cada uma delas, estão presentes no Gráfico 12, onde tanto a redução de Nic como o sobrecusto são expressos em percentagem.

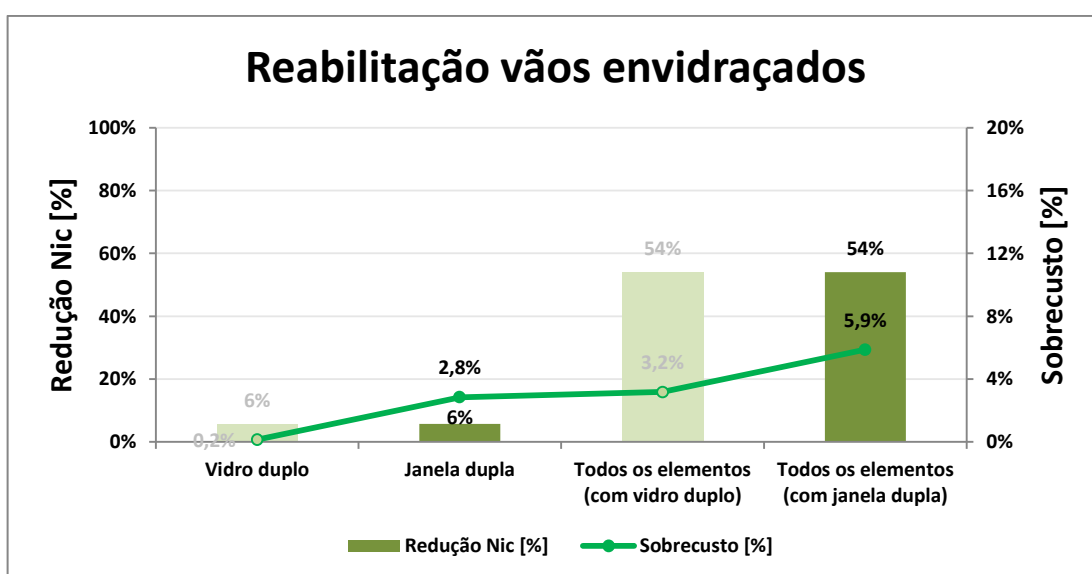


Gráfico 12 - Redução de Nic e sobrecusto associado após reabilitação dos elementos da envolvente com variação das soluções referentes aos vãos envidraçados

Como se percebe para o mesmo impacto no valor de Nic da habitação, as duas soluções apresentam sobrecustos completamente díspares, o que facilita a escolha de uma solução em detrimento da outra. A análise centra-se apenas na capacidade da solução em minorar o valor das necessidades de energia para aquecimento da habitação, havendo outros fatores em que a solução da caixilharia dupla poderá tornar-se competitiva face ao vidro duplo.

5.2.3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE À INFLUÊNCIA DA TAXA DE RENOVAÇÃO DE AR NO COMPORTAMENTO TÉRMICO

A taxa de renovação de ar, Rph, define-se como o caudal horário de entrada de ar novo num edifício ou fração autónoma para renovação do ar interior, expresso em múltiplos do volume interior útil do edifício ou fração autónoma. [8]

É totalmente aconselhável que o edifício possua uma taxa de renovação de ar o mais baixo possível, para minimizar as trocas de calor entre o ambiente interior e exterior. No entanto existe um caudal mínimo no regulamento que obriga ao seu cumprimento para garantir condições de higiene e conforto aos ocupantes.

À vontade de reduzir a ventilação, para minimizar as necessidades energéticas, devem ser tomadas medidas de controlo de potenciais fontes de poluição do ar interior, aconselhando-se portanto uma atitude responsável na seleção do nível de ventilação adequado às próprias circunstâncias. [5]

Neste quadro, a presente análise foca-se nos valores de Rph contidos no RCCTE, tendo em conta que o edifício é de classe 1 de exposição e não possui qualquer dispositivo de admissão de ar na fachada, para além de não dispor de caixa de estore. Perante os diversos valores previstos no regulamento para as especificações do edifício, optou-se pelos valores presentes no Quadro 15.

Quadro 15 - Propostas de intervenção ao nível da taxa de renovação de ar

Alteração à taxa de renovação do ar		
Rph [h⁻¹]	Classificação da permeabilidade ao ar	U [W/(m².°C)]
1	Elevada (situação pré-existente)	2,4
0,85	Média	2,3
0,6 (NP1037-1)	Baixa	2,2

De acordo com o definido, apesar de não fazer fisicamente parte da envolvente do edifício, a ventilação natural é efetuada através dos vãos envidraçados, que possibilitam a regulação do caudal de ar circulante. Classificaram-se os valores de Rph adotados mediante a permeabilidade ao ar das caixilharias, que segundo o ITE50 [26] influencia diretamente o valor do coeficiente de transmissão térmica do envidraçado. O documento referenciado apenas contempla caixilharias com alta e baixa permeabilidade ao ar mas, devido à diversidade de valores de Rph presentes no RCCTE, a opção foi a de acrescentar a classificação, média permeabilidade, no decorrer desta análise. O valor do parâmetro U do

envidraçado, para $R_{ph} = 0,85 \text{ h}^{-1}$, resulta da média aritmética dos valores referentes às demais classificações. O valor de $R_{ph} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ representa o caudal mínimo previsto no regulamento, obrigando ao cumprimento da norma NP 1037-1.

À semelhança de anteriores análises, no Gráfico 13 é possível observar os valores de Nic para as situações em que apenas o valor da taxa de renovação de ar é alterado, mantendo portanto a originalidade da habitação, mas também quando toda a envolvente é reabilitada; a envolvente opaca com inclusão de isolamento térmico de espessura de 40 mm, e substituição do vidro simples por duplo no caso dos vãos envidraçados.

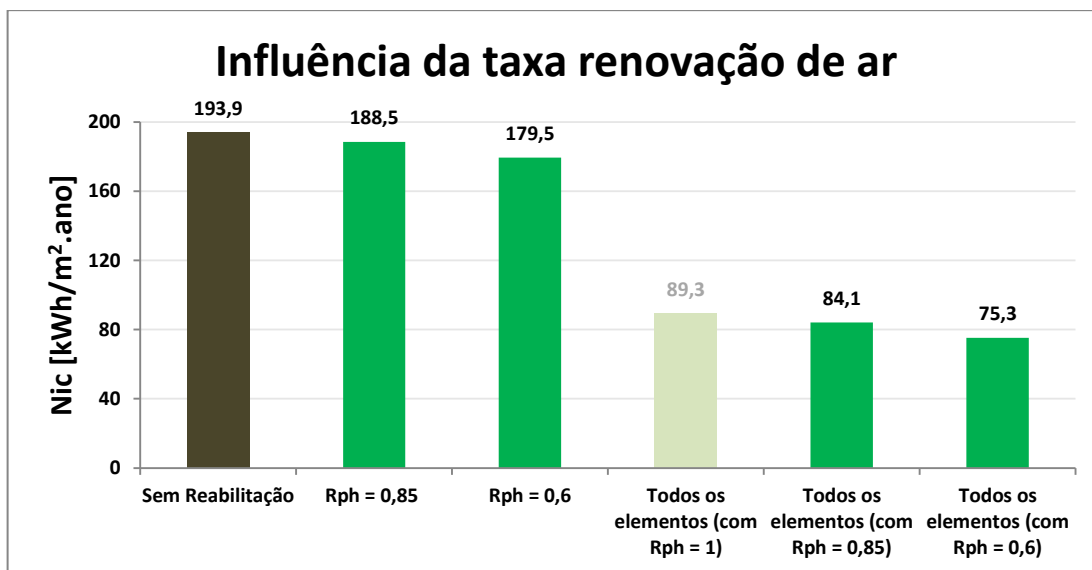


Gráfico 13 - Valores de Nic após alteração da taxa de renovação de ar (R_{ph} em h^{-1})

Dos resultados obtidos, uma nota para o facto de ser praticamente inexequível a reabilitação/alteração apenas do valor da taxa de renovação de ar da habitação, não reabilitando os demais elementos da envolvente. A análise somente foi realizada para permitir saber a influência do parâmetro em questão, e de que forma se insere na hierarquização estabelecida aos elementos energeticamente mais redutores da envolvente da habitação.

No Gráfico 14 apresentam-se os valores da redução de Nic obtidos após as alterações experimentadas, expressos em percentagem. Por dificuldade em estimar o custo associado à regulação do caudal de ar circulante na habitação, não foi estimado o impacto económico resultante.

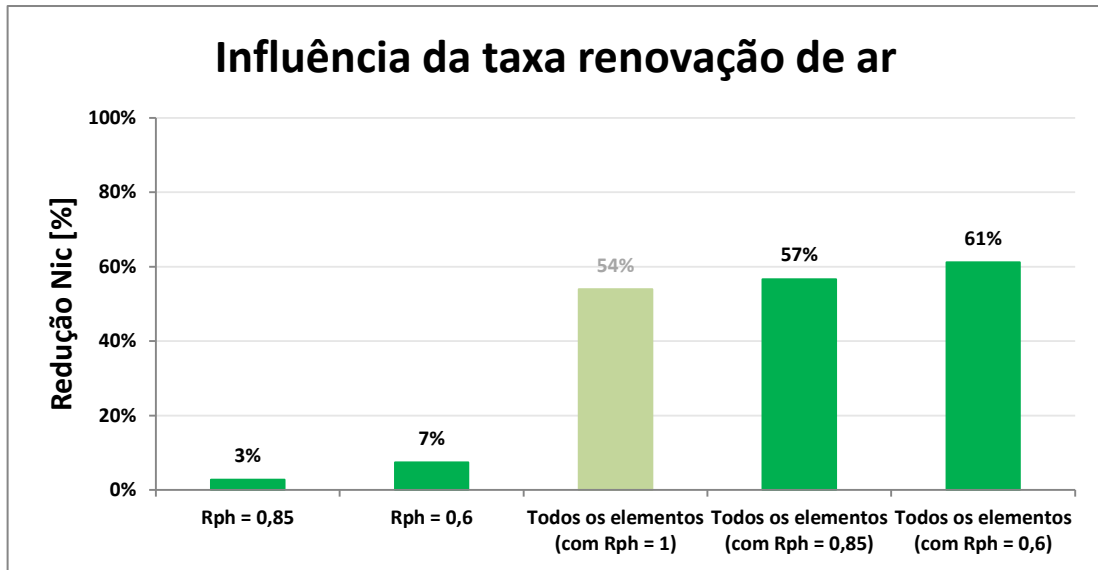


Gráfico 14 - Redução de Nic após alteração da taxa de renovação de ar (Rph em h^{-1})

Mesmo considerando os dois primeiros valores de redução do parâmetro Nic, como uma análise puramente académica, ou mesmo, pouco realista, não devem os resultados obtidos ser ignorados.

Verifica-se que com uma permeabilidade ao ar classificada como média, o parâmetro taxa de renovação de ar revela-se como o elemento menos capaz na redução de Nic. Na situação em que a opção é de permitir uma baixa permeabilidade ao ar através das caixilharias, a taxa de renovação de ar supera os vãos envidraçados no que toca à redução das necessidades de energia para aquecimento.

Quando conjugada com as demais intervenções na envolvente, é notória a influência da escolha de valores de Rph o mais baixos possíveis, sem esquecer contudo que $Rph = 0,6 h^{-1}$ é o valor limite ao qual um projeto que tenha obrigatoriedade em cumprir o RCCTE pode incluir.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho pretende ilustrar o elevado potencial de uma abordagem estratégica ao nível de um processo complexo como é o da reabilitação urbana do Centro Histórico do Porto. Sendo que o Porto, como muitas outras, é uma cidade com elevada necessidade de reabilitação do seu edificado, este trabalho traz um modesto contributo para demonstrar que a reabilitação para o conforto é possível com o respeito das condicionantes culturais e económicas.

Neste quadro, com base nos resultados obtidos, pode-se concluir:

- À necessidade de preservação dos valores patrimoniais e culturais do edificado pertencente ao Centro Histórico do Porto, acresce o facto de que as soluções construtivas, que outrora responderam de forma eficaz face ao conhecimento e exigências da época, reclamam atualização aos tempos modernos, e às consequentes crescentes exigências de conforto por parte dos utilizadores.
- A abordagem dos edifícios existentes como sistemas energéticos consumidores de energia, e portanto emissores de CO₂, deve ser um dos focos principais duma estratégia de reabilitação, procurando desta forma, respeitar o ambiente local e global, sem o comprometimento de gerações futuras.
- Face aos objetivos assumidos pela Cidade do Porto, aquando da elaboração do Plano de Ação para a Energia Sustentável (PAES-P, 2020), os edifícios respeitantes ao Centro Histórico, em relação aos quais, prudentemente, a legislação referente à racionalidade e eficiência energética prevê a sua não aplicabilidade, constituem uma oportunidade de aplicação do PAES-P sem colocar em causa o valor cultural/patrimonial do Centro Histórico, assumindo-se como uma mais-valia a médio e longo prazo para o Município.
- A perspetiva deste trabalho está em que, entre a excecionalização face ao RCCTE prevista na Lei e o seu estrito cumprimento, existem diversas soluções técnico-económicas, capazes de minorar o estimado consumo de energia para aquecimento ambiente da habitação, sem contudo agravar significativamente o custo de uma reabilitação, desmistificando e ao mesmo tempo incentivando o uso de boas práticas na transformação do edificado existente.
- Destaca-se o potencial da envolvente opaca na melhoria do comportamento térmico da habitação que, quando intervencionada com inclusão de isolamento térmico, é capaz de reduzir o índice térmico das necessidades nominais de aquecimento, Nic, em 48%

face à situação pré-existente, apresentando um acréscimo de custo relativo a uma reabilitação sem valorização energética de apenas 3% face ao valor referência.

- Estudaram-se diversas espessuras de isolamento térmico disponíveis, pelo que se aconselha a utilização de espessuras tão elevadas quanto possível, pois conduzem a reduções significativas das necessidades de energia útil para aquecimento da habitação.
- Um parâmetro de extrema importância na elaboração de um projeto de reabilitação, é a classe de inércia térmica que caracteriza a habitação. Podendo estar diretamente relacionada com a aplicação de isolamento térmico, mais concretamente à posição de colocação, a inércia térmica pode variar entre três classes: fraca, média e forte. É desaconselhada uma fração autónoma com inércia térmica fraca, podendo esta ser média, de preferência forte.
- Encontrando-se disponível uma vasta gama de soluções na categoria dos vãos envidraçados, constituindo a sua escolha como uma questão de difícil resolução, cabe aos projetistas decidir, atendendo ao papel que representam nos edifícios. Os vãos envidraçados apresentam a menor capacidade de todos os elementos da envolvente na melhoria do comportamento térmico, reclamando cerca de 9% na redução do índice térmico referente às necessidades de aquecimento. Quanto às opções de projeto de vãos envidraçados analisadas, o comportamento térmico apresentado pela caixilharia dupla associada a vidro simples é muito semelhante ao apresentado pelo vidro duplo, diferindo apenas no custo mais elevado da primeira solução.
- Na garantia de melhores condições de conforto térmico e qualidade do ar no interior dos edifícios, além dos parâmetros implicitamente relacionados com o isolamento térmico e vãos envidraçados, também a taxa de renovação de ar desempenha um papel de relevo, no cálculo das necessidades de energia para aquecimento, sendo capaz de reduzir o seu valor em cerca de 6%, resultante da escolha de 0,6 renovações horárias do ar interior, onde para valores mais prudentes do ponto de vista da sua materialização, casos de $R_{ph} = 0,85h^{-1}$, as reduções de N_{ic} conseguidas situam-se nos 3% sensivelmente, o que exige ao nível do projeto uma clara preferência por baixas taxas de renovação de ar.

Perante os resultados obtidos, afirma-se ser um contributo significativo para a Cidade do Porto, a generalização da abordagem responsável da reabilitação do edificado, mesmo no Centro Histórico, com vista a um futuro Sustentável, implementando nos seus programas de reabilitação medidas que para além da aplicação de isolamento térmico, explorem a inércia e os ganhos solares, para melhoria do conforto no interior.

De futuro, e porque nesta matéria existe ainda um vasto número de temas a abordar, seria interessante estimar para o número de edifícios respeitante ao Centro Histórico do Porto, o impacto que reabilitações semelhantes teriam na redução do consumo de energia por parte do setor residencial, e consequentemente nas emissões de CO_2 .

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Plano de Acção para a Energia Sustentável da Cidade do Porto, Agência de Energia do Porto, Câmara Municipal do Porto, 2010
- [2] <http://www.pactodeautarcas.eu> Janeiro/2013
- [3] <http://www.adeporto.eu/> Fevereiro/2013
- [4] Matriz Energética do Porto, Agência de Energia do Porto, Câmara Municipal do Porto, 2008
- [5] Guia termos de Referência para o Desempenho Energético-Ambiental, Agência de Energia do Porto, Câmara Municipal do Porto, 2010
- [6] Estratégia para a Sustentabilidade da Cidade do Porto, Agência de Energia do Porto, Câmara Municipal do Porto, 2009
- [7] <http://www.igespar.pt/pt/> Fevereiro/2013
- [8] Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – RCCTE
- [9] Mendonça, P., Habitar sob uma Segunda Pele: Estratégias para a redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados, Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, 2005
- [10] Mateus, R., Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção, Universidade do Minho, 2004
- [11] Mayer, F., Estrutura Geral de Custos em Obras de Reabilitação de Edifícios, Instituto Superior Técnico, 2008
- [12] Mateus, R., Avaliação da Sustentabilidade da Construção: Propostas para o Desenvolvimento de Edifícios mais Sustentáveis, Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, 2009
- [13] <http://ecoguia.cm-mirandela.pt/> Maio/2013
- [14] Zacarias, N., Reabilitação Sustentável de Edifícios Antigos com Valor Patrimonial: Casos de estudo na Baixa Pombalina, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2012
- [15] Freitas, V. - Manual de Apoio ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Antigos. Edições Ordem dos Engenheiros da Região Norte, Porto, 2012, ISBN 978-972-99918-7-5, 300p.
- [16] Porto Vivo, Sociedade de Reabilitação Urbana, <http://www.portovivosru.pt/> Janeiro/2013
- [17] <http://www.dgeg.pt/> Junho/2013
- [18] <http://www.adene.pt/> Janeiro/2013
- [19] Ferreira, H., Estudo Exploratório sobre a Utilização do RCCTE na Avaliação do Desempenho Passivo de Edifícios Residenciais, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2008
- [20] <http://www.cm-porto.pt/> Janeiro/2013

- [21] <http://afloret2.wordpress.com/projecto/> Maio/2013
- [22] <http://reabilitacaodeedificios.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=11974> Maio/2013
- [23] Pires, J., Metodologia de Reabilitação de Claraboias Antigas no Centro Histórico do Porto, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2009
- [24] ITE 54 – Coeficientes de transmissão térmica de elementos opacos da envolvente de edifícios, LNEC
- [25] Marques, L., O Papel da Madeira na Sustentabilidade da Construção, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2008
- [26] ITE 50 – Coeficientes de transmissão térmica da envolvente de edifícios, LNEC
- [27] <http://www.geradordeprecos.info/> Novembro/2012
- [28] Camelo, S.; Maldonado, E. – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios – Manual de apoio à aplicação do RCCTE. INETI, Lisboa 2006
- [29] Tirone, L. – Coberturas Eficientes, Guia para a Reabilitação energético-ambiental do edificado. Edição Tirone Nunes, 2011, ISBN 978-972-8646-22-6, 61p.
- [30] Nunes, J., Reabilitação do Ponto de Vista Térmico de Fachadas no Centro Histórico do Porto, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2008
- [31] <http://www.engenhariacivil.com/inercia-termica-edificios> Janeiro/2013

ANEXO A: CARATERÍSTICAS TÉCNICO-ECONÓMICAS DAS SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO – PISO 1

Os Quadros seguintes apresentam as características técnico-económicas, respeitantes às propostas de reabilitação do Piso 1.

Quadro 16 - Proposta de reabilitação ao nível dos vãos envidraçados – Piso 1

Reabilitação vãos envidraçados		
	Solução existente	Solução de reabilitação
Descrição	Caixilharia de madeira associado a vidro simples	Substituição para vidro duplo
U_{wdn} [W/(m ² .°C)]	5,1	2,4
g_{Inverno}	0,70	0,63
Sobrecusto da solução por área útil de pavimento [€/m ²]	-	1,1
Nic [kWh/m ² .ano]	151,0	139,6
Variação Nic [kWh/m ² .ano]	-	- 11,3

Quadro 17 - Proposta de reabilitação ao nível das paredes de fachada – Piso 1

Reabilitação paredes de fachada		
	Solução existente	Solução de reabilitação
Descrição	Parede de granito	Aplicação de isolamento térmico pela face interior - painel rígido de poliestireno extrudido
Espessura isolamento térmico [mm]	-	40
U [W/(m².°C)]	1,92	0,61
Sobrecusto [€/m²]	-	4,8
Nic [kWh/m².ano]	151,0	130,6
Variação Nic [kWh/m².ano]	-	- 20,3

Quadro 18 - Proposta de reabilitação ao nível da laje de pavimento – Piso 1

Reabilitação laje de pavimento		
	Solução existente	Solução de reabilitação
Descrição	Laje de pavimento em madeira	Aplicação de isolamento térmico sob a laje de pavimento - painel semi-rígido de lã de rocha vulcânica
Espessura isolamento [mm]	-	40
U [W/(m².°C)]	1,20	0,56
Sobrecusto [€/m²]	-	3,9
Nic [kWh/m².ano]	151,0	129,8
Variação Nic [kWh/m².ano]	-	- 21,2

Quadro 19 - Proposta de reabilitação ao nível das paredes de meação e caixa de escadas – Piso 1

Reabilitação paredes meeiras				
Descrição	Solução existente		Solução de reabilitação	
		Parede de granito (Paredes meeiras)	Parede de tabique (Paredes escadas)	Aplicação de isolamento térmico pela face interior - painel rígido de poliestireno extrudido
Espessura isolamento [mm]	-		40	
U [W/(m ² .°C)]	1,72 (Paredes meeiras)	2,45 (Paredes escadas)	0,57 (Paredes meeiras)	0,63 (Paredes escadas)
Sobrecusto [€/m ²]	-		15,6	
Nic [kWh/m ² .ano]	151,0		121,8	
Varição Nic [kWh/m ² .ano]	-		-29,2	

O Gráfico 15 representa a variação do valor de Nic após implementação das soluções de reabilitação, referentes ao Piso 1 do edifício em estudo.

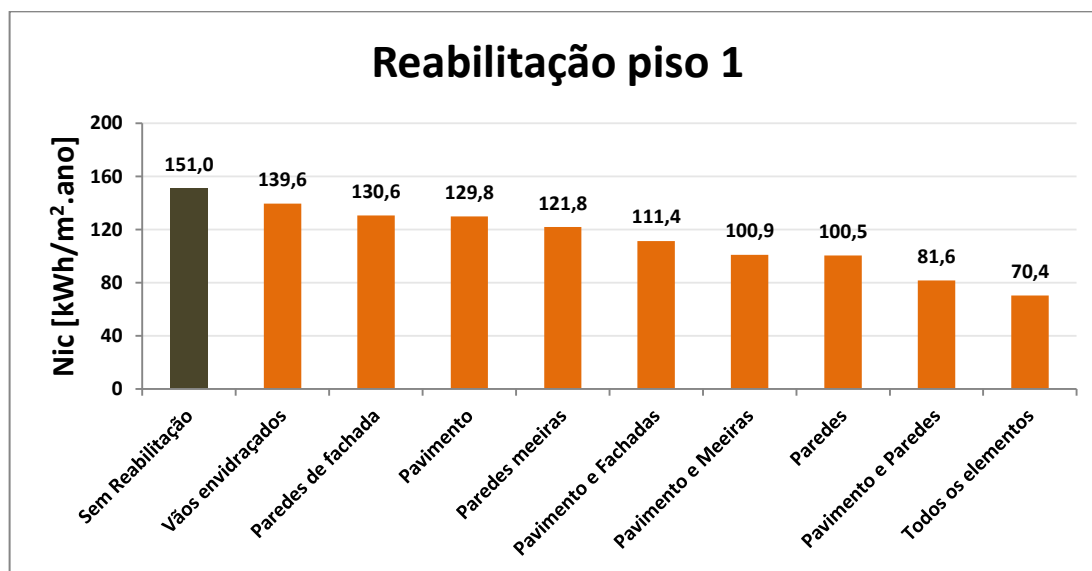


Gráfico 15 - Valores de Nic após reabilitação dos elementos da envolvente – Piso 1

No Gráfico 16 apresenta-se a redução de Nic e o sobrecusto associado a cada uma das propostas de reabilitação, ambos expressos em percentagem, e para o Piso 1.

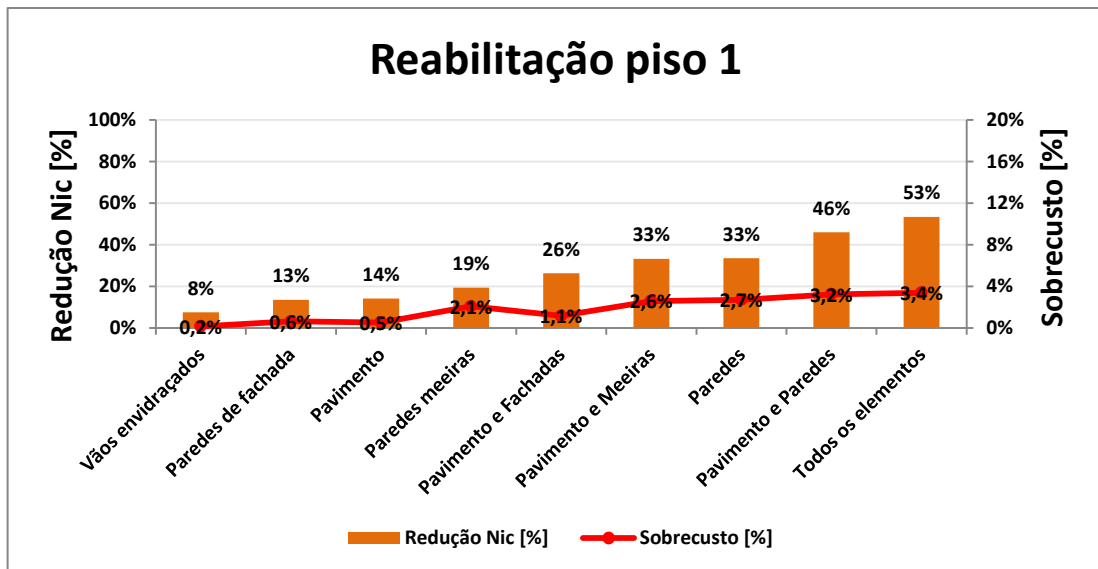


Gráfico 16 - Redução de Nic e sobrecusto associado após reabilitação dos elementos da envolvente – Piso 1

ANEXO B: CARATERÍSTICAS TÉCNICO-ECONÓMICAS DAS SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO – PISO 2

Os Quadros seguintes apresentam as características técnico-económicas, respeitantes às propostas de reabilitação do Piso 2.

Quadro 20 - Proposta de reabilitação ao nível da laje de teto – Piso 2

Reabilitação laje de teto (desvãos)		
	Solução existente	Solução de reabilitação
Descrição	Laje de teto em madeira , confinada a dois desvãos não habitados	Aplicação de isolamento térmico pela face superior da laje de teto, exclusivamente nos desvãos - painel de poliestireno expandido
Espessura isolamento térmico [mm]	-	40
U [W/(m².°C)]	1,20	0,56
Sobrecusto [€/m²]	-	3,1
Nic [kWh/m².ano]	136,5	127,4
Variação Nic [kWh/m².ano]	-	- 9,1

Quadro 21 - Proposta de reabilitação ao nível dos vãos envidraçados – Piso 2

Reabilitação vãos envidraçados		
	Solução existente	Solução de reabilitação
Descrição	Caixilharia de madeira associado a vidro simples	Substituição para vidro duplo
U_{wdn} [W/(m ² .°C)]	5,1	2,4
$g_{LInverno}$	0,70	0,63
Sobrecusto da solução por área útil de pavimento [€/m²]	-	1,3
Nic [kWh/m².ano]	136,5	123,8
Variação Nic [kWh/m².ano]	-	- 12,7

Quadro 22 - Proposta de reabilitação ao nível das paredes de fachada – Piso 2

Reabilitação paredes de fachada		
	Solução existente	Solução de reabilitação
Descrição	Parede de granito	Aplicação de isolamento térmico pela face interior - painel rígido de poliestireno extrudido
Espessura isolamento [mm]	-	40
U [W/(m ² .°C)]	1,92	0,61
Sobrecusto [€/m²]	-	4,5
Nic [kWh/m².ano]	136,5	116,2
Variação Nic [kWh/m².ano]	-	- 20,3

Quadro 23 - Proposta de reabilitação ao nível das paredes de meação e caixa de escadas – Piso 2

Reabilitação paredes meeiras				
Descrição	Solução existente		Solução de reabilitação	
		Parede de granito (Paredes meeiras)	Parede de tabique (Paredes escadas)	Aplicação de isolamento térmico pela face interior - painel rígido de poliestireno extrudido
Espessura isolamento [mm]	-		40	
U [W/(m ² .°C)]	1,72 (Paredes meeiras)	2,45 (Paredes escadas)	0,57 (Paredes meeiras)	0,63 (Paredes escadas)
Sobrecusto [€/m ²]	-		15,6	
Nic [kWh/m ² .ano]	136,5		107,6	
Variação Nic [kWh/m ² .ano]	-		- 28,9	

O Gráfico 17 representa a variação do valor de Nic após implementação das soluções de reabilitação, referentes ao Piso 2 do edifício em estudo.

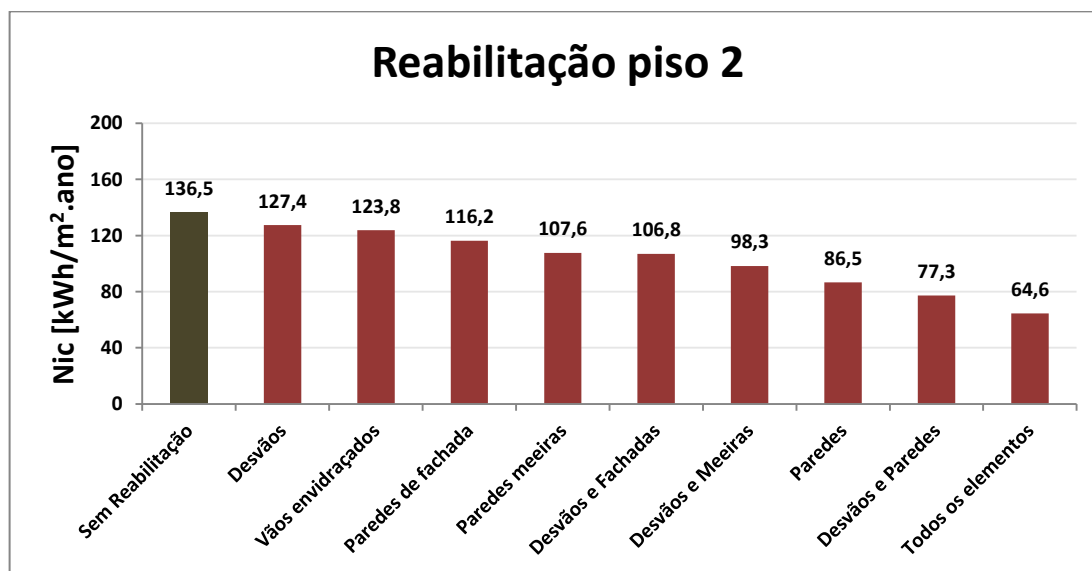


Gráfico 17 - Valores de Nic após reabilitação dos elementos da envolvente – Piso 2

No Gráfico 18 apresenta-se a redução de Nic e o sobrecusto associado a cada uma das propostas de reabilitação, ambos expressos em percentagem, e para o Piso 2.

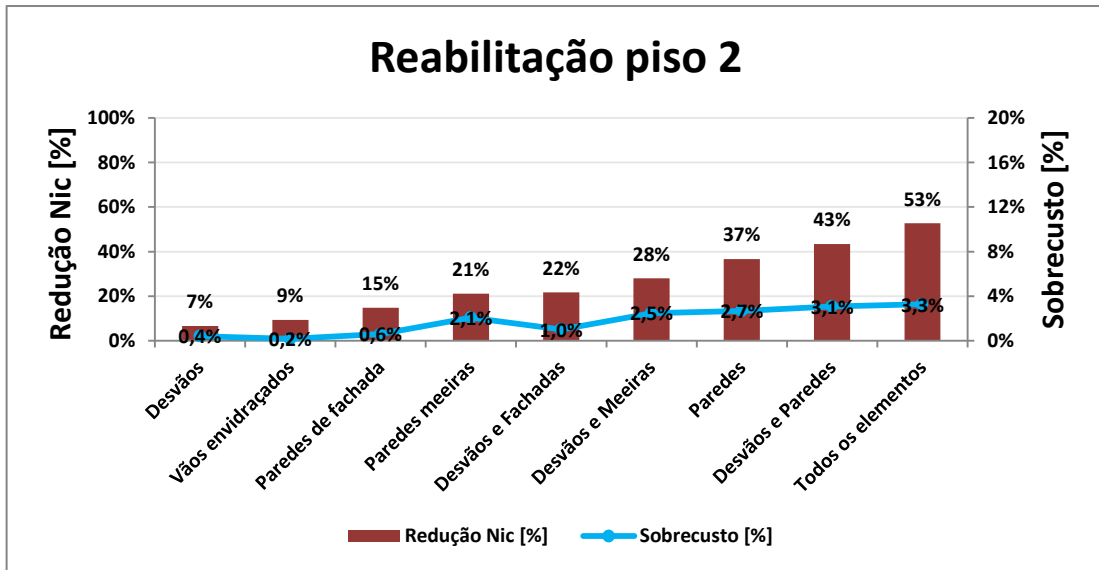


Gráfico 18 - Redução de Nic e sobrecusto associado após reabilitação dos elementos da envolvente – Piso 2

ANEXO C: DIVERSAS SOLUÇÕES PARA OS VÃOS ENVIDRAÇADOS

Nos Quadros 24 e 25 apresentam-se as propostas de reabilitação referentes aos vãos envidraçados, onde se prevê o ensaio de vários materiais constituintes das caixilharias.

Quadro 24 - Propostas de intervenção ao nível dos vãos envidraçados (vidro duplo)

Reabilitação vãos envidraçados			
Descrição	Substituição da caixilharia existente, por caixilharia metálica sem corte térmico, associada a vidro duplo	Substituição da caixilharia existente, por caixilharia metálica com corte térmico, associada a vidro duplo	Substituição da caixilharia existente, por caixilharia de PVC, associada a vidro duplo
U_{wdn} [W/(m ² .°C)]	3,1	2,8	2,3
$g_{\perp Inverno}$	0,63	0,63	0,63
Sobrecusto [€/m ²]	5,3	13,7	3,3

Quadro 25 - Propostas de intervenção ao nível dos vãos envidraçados (janela dupla)

Reabilitação vãos envidraçados		
Descrição	Substituição da caixilharia existente, por dupla caixilharia metálica sem corte térmico, associada a vidro simples	Substituição da caixilharia existente, por dupla caixilharia de PVC, associada a vidro simples
U_{wdn} [W/(m ² .°C)]	2,6	2,1
$g_{\perp Inverno}$	0,60	0,60
Sobrecusto [€/m ²]	29,6	25,7

Os Gráficos seguintes apresentam a variação do parâmetro térmico Nic, para diversas soluções de reabilitação referentes aos vãos envidraçados, assim como o sobrecusto associado

Os Limites e os Custos do RCCTE em Reabilitação: O Edifício Como Sistema Energético “Tout Court”

a cada uma das soluções e respetiva redução de Nic em relação à situação pré-existente, ambos expressos em percentagem.

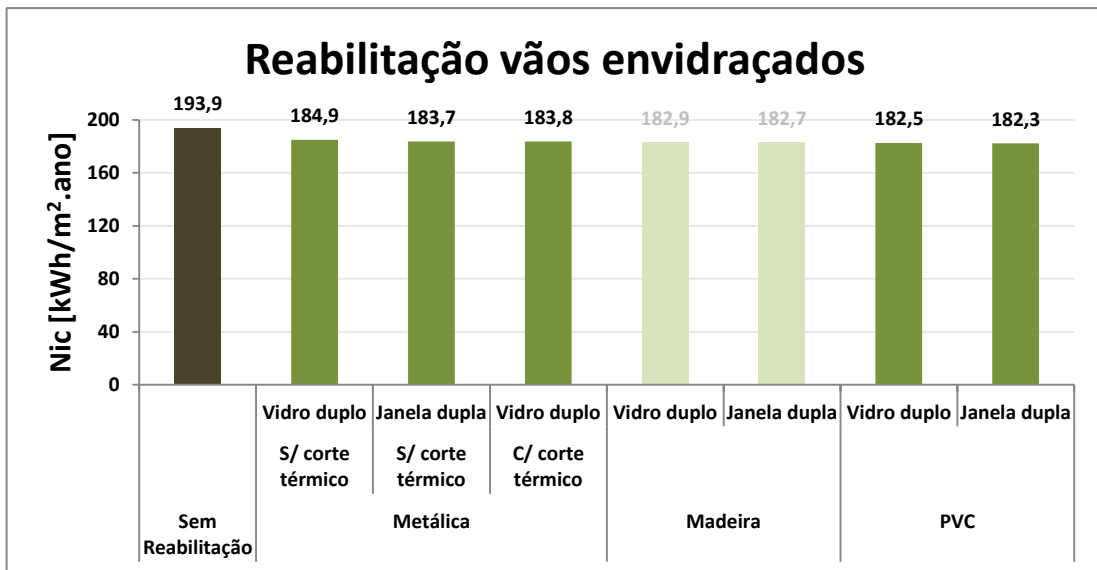


Gráfico 19 - Valores de Nic com variação das soluções referentes aos vãos envidraçados

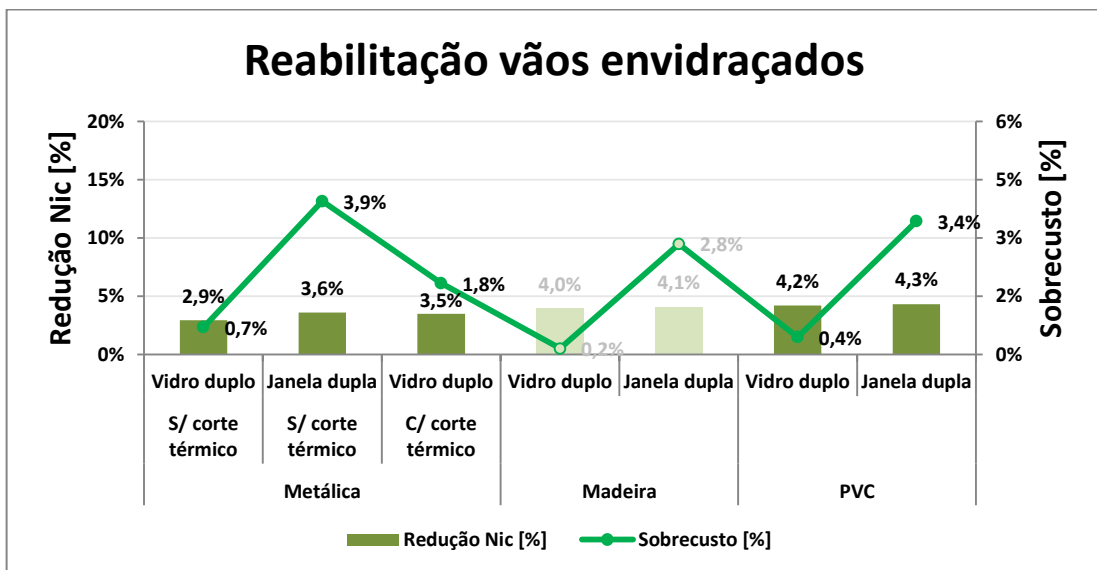


Gráfico 20 - Redução de Nic e sobrecusto associado com variação das soluções referentes aos vãos envidraçados