



Estudo das Possibilidades de Intervenção Face ao RCCTE na Reabilitação de Edifícios na Zona Histórica do Porto e as Suas Consequências na Etiquetagem Energética

Francisco Pacheco Craveiro
MIEM 2008

(043)
f/EST

Estudo das possibilidades de intervenção face ao RCCTE na reabilitação de edifícios na zona histórica do Porto e suas consequências na etiquetagem energética

Francisco Pacheco Craveiro

Relatório do Projecto Final

Orientadores: Prof. Vítor Leal, Prof. M. Dias de Castro, Prof. E. de Oliveira Fernandes



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

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

Fevereiro de 2008

100262
621,043) / CRAQ/EST
14 04 09

«O Porto representa apenas, como não podia deixar de ser, um retalho precioso do pequeno mapa que nos coube na lotaria do globo. Esse pouco, porém, chega e sobra. O granito é mica, quartzo e feldspato, - mas é granito. Basta que cada um dos ingredientes seja puro para que a fraga resultante tenha a beleza, a dureza e a nobreza que sabemos. Ora, com os elementos que possui, o Porto não parece fadado para cavalarias cosmopolitas. Pode e deve ser, pelo seu tamanho físico e solidez moral, a segunda cidade do Portugal Europeu e a primeira do Portugal Peninsular».

Miguel Torga, in Portugal

RESUMO

O presente relatório é resultado do trabalho realizado durante o primeiro semestre do ano lectivo de 2007/2008 no âmbito do Projecto Final do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica no ramo de Energia Térmica e tem em vista uma análise crítica à aplicação do RCCTE na reabilitação de edifícios históricos da baixa do Porto.

Para tal foram apreciados à luz do RCCTE alguns edifícios da Zona Histórica do Porto que estão actualmente em processos de requalificação e reabilitação para fins habitacionais. Durante a análise dos denominados por ‘casos de estudo’ foi demonstrado que algumas intervenções presentemente em curso não demonstram uma preocupação de cumprimento do regulamento, fugindo até à obrigatoriedade do seu cumprimento através de argumentos que, eventualmente por omissão, acabaram aceites pela entidade licenciadora.

Apesar de se reconhecerem à partida potenciais pontos de conflito entre estes edifícios e o regulamento, no decorrer deste trabalho ficou também patente não só a possibilidade de cumprimento de todos os requisitos impostos pelo RCCTE como também a sua necessidade para alcançar classes energéticas que vão além do mínimo obrigatório (B-).

Assim, partindo da situação actual, considerando as condições e soluções construtivas previstas pelos projectos de reabilitação, foram estudados de forma progressiva diversos cenários de alteração, numa primeira fase para assegurar o cumprimento do regulamento e numa segunda fase para tentar atingir o desempenho de classes energéticas de maior qualidade (A e A+). De entre as medidas apontam-se a necessidade absoluta de proceder ao devido isolamento da envolvente, levando numa primeira fase os coeficientes de transmissão térmica aos mínimos exigíveis e depois a níveis mais exigentes; a inclusão de dispositivos de oclusão nocturna atenuando desta forma a transmissão térmica entre o interior e o exterior da habitação durante o período nocturno; a transição de sistemas de resistência eléctrica para sistemas a gás natural para produção de águas quentes sanitárias representando um impacto considerável nas necessidades de energia primária e ainda a adopção de sistemas de água quente solar, com o estudo do impacto da existência de colectores solares térmicos apoiados por sistema a gás natural.

O devido isolamento da envolvente por adopção de espessuras de isolamento térmico adequadas, a par da opção por sistemas a gás natural para produção de águas quentes sanitárias, revelou-se o processo chave no cumprimento do RCCTE. Esta intervenção, não acrescentando custos significativos, apresenta-se também uma das de maior simplicidade de implementação em fase de obra.

ABSTRACT

TITLE: A Study on the possibilities of intervention, regarding RCCTE framework, in the building retrofitting of the Historical Centre of Oporto and its consequences on the energy labelling.

KEYWORDS: Energy, Efficiency, Historical Urban Buildings, Labelling, Retrofitting.

The application of the new national thermal regulations (resulted from the 2002/91/EC EPBD transposition) to the retrofitting of old historical urban buildings is often pointed out as difficult by contractors. However, this alleged incompatibility should not be taken for granted without a deeper and justified discussion.

This work presents an evaluation, by the means of RCCTE (D.L. 80/2006) – the Regulation for Building Thermal Characteristics and Behaviour - of the energy performance of the Porto downtown historical residential buildings, studying the feasibility of some refurbishment measures and quantifying its impact on the energy labelling.

Aiming the achievement of a good energy label, this work comprises a characterization of the actual situation for ongoing refurbishment projects. This characterization covered issues such as envelope constructions and insulation level, glazing and shading devices, night-time occlusion devices, natural gas vs. electric systems for sanitary hot water production or even the thermal solar panels. Each of these measures was first quantified in a one-by-one scenario and later in a final analysis integrating simultaneously all of those measures.

To perform these assessments, six fractions of two buildings were studied using the RCCTE calculation spreadsheets in order to express the four energy indicators: N_{ic}/N_i , N_{vc}/N_v , N_{ac}/N_a , N_{tc}/N_t witch values represents the fraction energy needs for Winter-time, Summer-Time, Hot-water-production, and Primary energy, compared with the maximum admissible for each, respectively.

The results achieved indicate that this type of buildings can, generally obey to all of the regulation demands and also achieve a high energy label ('A'). It was also concluded that the key processes to access the minimum regulation demands is the thermal insulation, and, as an upgrade to higher levels of efficiency, the thermal solar panels are a sharp improvement.

This study also revealed that an economy of 40% of the primary energy can be achieved if the buildings are retrofitted according to the regulation, compared to the initial non-complying design.

ÍNDICE DE CONTEÚDOS

1. Introdução	7
1.1. O RCCTE e as Zonas Históricas	7
1.2. Âmbito do trabalho	10
1.3. A AdEPorto	11
1.4. Metodologia	13
2. Caso de estudo 1 - Avaliação face ao RCCTE	15
2.1 Descrição do caso de estudo	15
2.2 Situação actual	18
2.3 Requisitos mínimos	23
2.3.1 Coeficientes de transmissão térmica máximos permitidos	23
2.3.2 Zonas não correntes da envolvente	23
2.3.3 Vãos envidraçados	23
2.4 Cumprimento dos requisitos regulamentares	27
2.5 Dispositivos de oclusão nocturna	30
2.6 Contribuição do Solar térmico	33
2.7 Conjugação de intervenções	37
3. Caso de estudo 2 - Avaliação face ao RCCTE	41
3.1 Descrição do caso de estudo	41
3.2 Situação actual	44
3.3 Requisitos mínimos	48

3.3.1	Coefficientes de transmissão térmica máximos permitidos	48
3.3.2	Zonas não correntes da envolvente	48
3.3.3	Vãos envidraçados	48
3.4	Cumprimento dos requisitos regulamentares	49
3.5	Dispositivos de oclusão nocturna	51
3.6	Contribuição do gás natural	52
3.7	Contribuição do solar térmico	53
3.8	Conjugação de intervenções	55
4.	Análise e conclusões	58
5.	Referências	62
6.	Anexos	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 -	Ribeira do Porto	7
Figura 2 -	Perspectiva da Zona Histórica	7
Figura 3 -	Detalhes da Zona Histórica	8
Figura 4 -	Diagrama da metodologia	14
Figura 5 -	Alçados Norte, Oeste e Sul	14
Figura 6 -	Cortes em planta das fracções	17
Figura 7 -	Parede simples de fachada com isolamento pelo interior	27
Figura 8 -	Pavimento sobre espaço não útil	28
Figura 9 -	Cobertura do edifício	33
Figura 10 -	Output do Solterm para a energia fornecida pelo sistema solar	34
Figura 11 -	Gráficos comparativos dos indicadores energéticos	40
Figura 12 -	Alçados Norte e Sul	40
Figura 13 -	Cortes em planta das fracções	42
Figura 14 -	Cobertura do edifício	52
Figura 15 -	Gráficos comparativos dos indicadores energéticos	56
Figura 16 -	Valores de Ntc/Nt antes e depois das intervenções estudadas	59

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 -	Coeficientes de transmissão térmica	17
Quadro 2 -	Coeficientes de transmissão térmica linear	19
Quadro 3 -	Coeficientes de redução de perdas térmicas	19
Quadro 4 -	Factores solares	20
Quadro 5 -	Indicadores de necessidades energéticas para a situação actual	21
Quadro 6, 7, 8 e 9 -	Comparação das necessidades energéticas	23
Quadro 10, 11, 12 e 13 -	Requisitos regulamentares – comparação das necessidades energéticas	27
Quadro 14, 15, 16 e 17 -	Oclusão nocturna – comparação das necessidades energéticas	30
Quadro 18, 19, 20 e 21 -	Solar térmico – comparação das necessidades energéticas	34
Quadro 22 -	Conjugação de intervenções – comparação das necessidades energéticas	36
Quadro 23, 24, 25 e 26 -	Comparação dos requisitos do RCCTE	37
Quadro 27 -	Coeficientes de transmissão térmica	43
Quadro 28 -	Coeficientes de transmissão térmica linear	44
Quadro 29 -	Coeficientes de redução de perdas térmicas	44
Quadro 30 -	Factores solares	45
Quadro 31 -	Indicadores de necessidades energéticas para a situação actual	46
Quadro 32 e 33 -	Comparação das necessidades energéticas	47
Quadro 34 e 35 -	Requisitos regulamentares – comparação das necessidades energéticas	49
Quadro 36 e 37 -	Oclusão nocturna – comparação das necessidades energéticas	50
Quadro 38 e 39 -	Solar térmico – comparação das necessidades energéticas	53
Quadro 40 -	Conjugação de intervenções – comparação das necessidades energéticas	54
Quadro 41 e 42 -	Comparação dos requisitos do RCCTE	55
Quadro 43 -	Comparação síntese das necessidades energéticas de todos os cenários abordados	60

1. INTRODUÇÃO

1.1 O RCCTE e as Zonas Históricas

Antes de se passar à explanação detalhada dos processos de análise do presente trabalho e seus resultados, importa ainda contextualizar o RCCTE face à reabilitação de edifícios, mais precisamente em edifícios de zonas históricas urbanas.

O RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – D.L. 80/2006 de 4 de Abril, resultante da transposição da directiva europeia (2002/91/CE) para o desempenho energético de edifícios, que vem revogar e alargar o anterior D.L. 40/90 de 6 de Fevereiro (menos exigentes, onde se pretendia apenas limitar potenciais consumos), é aplicável, de acordo com o ponto 5 do artigo 2º, às grandes intervenções de remodelação ou de alteração na envolvente ou nas instalações de preparação de águas quentes sanitárias dos edifícios de



FIGURA 2 - RIBEIRA DO PORTO



FIGURA 1 - PRESPECTIVA DA ZONA HISTÓRICA

habitação. Este regulamento entende por ‘grande remodelação ou alteração’ as intervenções cujo custo seja superior a 25% do valor do edifício (com a referência actual de 630 €/m²), abrangendo portanto a grande maioria dos processos de reabilitação actualmente previstos pela Porto Vivo, Sociedade de Requalificação Urbana.

A Porto Vivo, é uma sociedade anónima de capitais públicos que foi constituída em 2004 com a missão de condução do processo de reabilitação urbana da baixa do Porto e que veio colmatar a lacuna deixada pela extinção do CRUARB (Comissariado para a Renovação Urbana da Área de Ribeira/Barredo). Se bem que em moldes financeiros diferentes, a Porto Vivo pretende então dar continuidade aos projectos deixados pelo CRUARB recorrendo a modelos baseados no incentivo ao investimento privado.

Ora, a Zona Histórica do Porto, obviamente anterior à generalização do betão armado, e portanto de maior dificuldade de ‘manuseamento’, é uma zona crítica que carece de cuidados acrescidos no planeamento e gestão de obra, pelo seu cariz histórico mas muito também pela desertificação e abandono que aquela zona tem vindo a ser vítima nos últimos largos anos.

O entendimento de que, pelo cumprimento do RCCTE, se consegue dotar os edifícios de capacidades que lhe conferem um bom desempenho energético, que se reflecte primeiro no conforto proporcionado aos seus residentes e em segundo nos seus baixos índices de necessidades energéticas, deverá ser algo desejável e presente em todos os projectos de requalificação. Este factor, quando introduzido no processo de licenciamento, obrigando ao seu criterioso cumprimento, funcionará como garante de Futuro a curto e longo prazo, uma vez que o restante parque construído levará 30, 40 anos, ou mais, até poder ser recuperado ou substituído.

Este novo RCCTE vem estipular que para o seu cumprimento devem os edifícios responder a requisitos mínimos para a qualidade térmica da sua envolvente (coeficientes de transmissão térmica e factores solares) bem como apresentar necessidades energéticas nominais anuais (de aquecimento, de arrefecimento, para produção de águas quentes sanitárias e de energia primária) abaixo dos quatro índices fundamentais, Ni, Nv, Na, Nt, respectivamente.

Existem algumas exclusões para a obrigatoriedade de cumprimento, no entanto, deve ficar claro que o RCCTE não exclui do seu âmbito de aplicação as intervenções em edifícios classificados ou de zonas históricas. De acordo com o ponto 9 do artigo segundo, este regulamento prevê apenas a isenção de cumprimento de alguns dos requisitos sempre que se verifiquem incompatibilidades com as suas exigências e desde que convenientemente justificadas e aceites pela entidade licenciadora.



FIGURA 3 - DETALHES DA ZONA HISTÓRICA DO PORTO

Reconhece-se porém, do ponto de vista energético, a reabilitação de centros históricos como uma área sensível no sector da construção e que requer cuidados acrescidos na integração de materiais e tecnologias novas no equipamento edificado preexistente que pode ou não, ter tido outras funcionalidades e fins que não os agora destinados. São reconhecidos também potenciais pontos de conflito entre o disposto no regulamento e a realidade deste tipo de edifícios, no entanto, como nos capítulos seguintes se demonstrará, será não só possível o total cumprimento do decreto-lei, como o alcance de uma classificação energética superior.

Como nota de alerta chama-se a atenção para o facto de durante este trabalho ter sido constatado que alguns pedidos de licenciamento alegam isenção de cumprimento do regulamento sem que os motivos tenham sido convenientemente expostos e justificados. Um dos projectos analisados argumenta protecção por parte do IPPAR, em particular pela escadaria com clarabóia e pela fachada do edifício se encontrarem classificados ao abrigo do Decreto do Governo n.º. 29/84, e a partir daí não há sequer qualquer estudo de viabilidade de aplicação do regulamento. Ora, como atrás foi esclarecido, o que o RCCTE prevê é a possibilidade de isenção (em zonas históricas) apenas quando se verifiquem incompatibilidades e as mesmas sejam devidamente justificadas. Acresce que este estudo veio mostrar não existir nesta situação qualquer incompatibilidade, e portanto considera-se devido o cumprimento do regulamento.

1.2 Âmbito do trabalho

No âmbito da disciplina de Projecto do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica no ramo de Energia Térmica, foi proposta a elaboração do presente trabalho tendo em vista o estudo da compatibilidade da regulamentação térmica com as intervenções de requalificação e reabilitação de edifícios históricos da baixa do Porto, assim como a quantificação da influência das diversas tecnologias energéticas no desempenho final aferido.

Tendo como referência a moldura actual do Sistema Nacional de Certificação Energética e do Ar Interior dos Edifícios (SCE – D.L. n.º 78/2006 de 4 de Abril), resultante da transposição da directiva n.º 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, que tem como finalidade regulamentar as condições de eficiência energética e utilização de sistemas de energias renováveis e ainda às condições de garantia da qualidade do ar interior, é de elevada relevância o estudo aprofundado das suas condições de aplicabilidade, nomeadamente no campo crítico que é a reabilitação de edifícios seculares como são os da zona histórica da cidade do Porto.

Muitos destes edifícios estão agora a ser alvo de apreciação e intervenções estratégicas com vista à sua requalificação urbana e social com o objectivo de devolver à cidade um importante pólo habitacional entretanto perdido para zonas periféricas. Assim, é aplicável a cada uma das fracções deste tipo de equipamento edificado o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE – D.L. n.º 80/2006 de 4 de Abril) que estabelece as regras a observar nos edifícios de habitação sem sistemas de climatização centralizados. Caso estes existam e tenham uma potência superior a 25 kW, situação pouco habitual que já sai do âmbito do presente trabalho, terão também os edifícios que obedecer ao RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios - DL n.º 79/2006 de 4 de Abril).

O conhecimento dos seus contornos e restrições permitirá uma abordagem adequada aquando da fase dos projectos de arquitectura e especialidades que conduzirá a uma estrutura que tenta responder a todas as medidas do regulamento.

Como apoio ao processo conducente ao cumprimento dos objectivos a AdEPorto, Agência de Energia do Porto, facultou as vias necessárias à recolha de dados relativos a edifícios contextualizados nas circunstâncias supra descritas, nomeadamente por interacção com a Porto Vivo, SRU – Sociedade de Reabilitação Urbana, detentora dos projectos em execução.

Neste contexto, a Porto Vivo, SRU disponibilizou 4 projectos para análise. Um cuja obra já está concluída, um em arranque de obra, outro em fase de obra avançada e um outro a aguardar licenciamento. Foram seleccionadas 6 fracções de apenas 2 edifícios que se consideravam melhor representação das habitações típicas da zona urbana em análise.

1.3 A AdEPorto

A AdEPorto - Agência de Energia do Porto foi constituída no passado dia 1 de Março de 2007 no âmbito de uma candidatura ao Programa 'Intelligent Energy Europe'. A AdEPorto tem por função, à semelhança das suas congéneres nacionais e europeias, dinamizar o processo de transição para sistemas energéticos mais sustentáveis. A AdEPorto, é uma Associação sem fins lucrativos, independente, tendo como associados organizações de diferentes sectores quer do lado da oferta quer do lado da procura da energia, entidades publicas, associações, ensino e investigação científica, e tendo como associado maioritário a Câmara Municipal do Porto. Pretende-se que a sua área de actuação, numa fase inicial, seja a cidade, mantendo em aberto um posterior alargamento à área metropolitana do Porto.

O objecto da Agência é contribuir, na sua área de intervenção, designadamente para:

1. Promover e colaborar, junto da Câmara Municipal do Porto, na definição, aplicação e desenvolvimento da estratégia energético-ambiental e da estratégia para a mobilidade da cidade, integrando estas estratégias no planeamento e na gestão urbana;
2. Assegurar a conjugação e coordenação de esforços dos diversos organismos públicos e entidades privadas envolvidas na execução da política de utilização racional de energia e valorização das energias renováveis;
3. Apoiar e aconselhar os agentes económicos em questões energéticas e correlativas de ambiente, no sentido de utilizarem metodologias, sistemas e tecnologias compatíveis com o desenvolvimento sustentável;
4. Promover a penetração de conceitos e tecnologias adequadas à utilização eficiente da energia e dos recursos energéticos endógenos e fomentar o desenvolvimento, a produção e a utilização de equipamentos e sistemas energéticos eficientes;
5. Promover e disseminar informação técnica, económica e financeira junto dos utilizadores da energia;
6. Promover a formação necessária nos domínios desenvolvidos pela Associação.

Dos diferentes projectos da AdEPorto, merecem destaque, o Planeamento Estratégico, os Projectos de Intervenção e os Projectos de Comunicação e Disseminação.

Com o Planeamento Estratégico pretende-se fazer um diagnóstico da situação actual relativamente ao uso de energia no Porto, elaborando a matriz energética da cidade. Outras matrizes complementares deverão ser preparadas dada a importância e a correlação com os recursos, água e materiais (particularmente resíduos),

Uma vez feito o diagnóstico energético, será estabelecida uma estratégia energética, identificando as oportunidades, os parceiros, as tecnologias, as ferramentas e os meios, incluindo os financeiros.

O plano energético será o resultado da soma de todas as medidas identificadas e quantificadas como consequência do exercício de implementação da estratégia para um dado período de tempo (entre três e cinco anos).

Nos Projectos de Intervenção merecem referência o desenvolvimento de guias de termos de referência e procedimentos de eficiência energética específicos para a reabilitação urbana da Baixa (colaboração com a SRU), para o edificado social existente (colaboração com CMP – Pelouro Habitação e Acção Social) e para os edifícios públicos, incluindo escolas, piscinas, etc. O apoio no licenciamento e certificação de edifícios em termos de desempenho térmico de acordo com a regulamentação em vigor, será uma actividade crítica da Agência.

Um dos objectivos-chave da Agência de Energia do Porto é o de contribuir para a criação de uma nova cultura de utilização inteligente da energia, por parte dos diferentes agentes no mercado, e dos cidadãos em geral. Neste enquadramento, as actividades de comunicação e disseminação de boas práticas e exemplos a seguir, através de iniciativas específicas como, seminários, conferências, workshops, exposições, ou próprio website, serão determinantes para a elevação do nível de consciencialização da cidade nesta temática.

Neste enquadramento, e durante todo o primeiro semestre do ano lectivo de 2007/2008, período no qual foi realizado o presente trabalho, a AdEPorto facultou todos os meios necessários para o bom desenvolvimento do estudo, nomeadamente por interacção com a Porto Vivo – SRU, um dos seus associados estratégicos.

1.4 Metodologia

Examinados os quatro processos de intervenção disponibilizados constatou-se que um dos projectos se desviava do perfil construtivo típico de edifícios da Zona Histórica do Porto e que outro era omissivo em toda a parte de projecto de especialidade térmica, não fornecendo os dados essenciais ao seu devido estudo. Como tal, foram analisados aprofundadamente no presente trabalho os dois edifícios restantes. Estes dois edifícios suspeitavam-se *à priori* de fraco desempenho energético, caso algumas preocupações de sustentabilidade não fossem tomadas em conta. Tal situação prende-se por exemplo com a inexistência de isolamento térmico ou ainda o grande recurso a elementos de gesso cartonado que retiram inércia térmica ao edifício. Um destes dois edifícios, por incluir um piso superior recuado com alteração de solução construtiva da fachada para materiais contemporâneos permitiu ainda a comparação de desempenho daquele piso com os restantes mais ‘característicos’.

Aos dois edifícios seleccionados foi aplicado o processo de cálculo estipulado pelo RCCTE, por intermédio das folhas de cálculo disponíveis, com o objectivo de apurar os seus indicadores de eficiência energética: Nic – Necessidades nominais de energia útil de aquecimento, Nvc – Necessidades nominais de energia útil de arrefecimento, Nac – Necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias e Ntc – Necessidades nominais globais de energia primária.

A caracterização dos elementos da envolvente no que diz respeito aos coeficientes de transmissão térmica foi efectuado de acordo com ITE 50 do LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Escolhidas quatro fracções de um edifício e duas de outro, foi aplicado o RCCTE de acordo com os materiais e soluções construtivas referidas nos cadernos de encargos. Em fases seguintes, foram implementadas nessas fracções processos com objectivo de avaliar o desempenho térmico face às novas características, tais como o melhoramento do coeficiente de transmissão térmica da envolvente, adoptando para tal soluções construtivas de melhor qualidade térmica, a protecção de vãos envidraçados com dispositivos de oclusão nocturna, como sendo, por exemplo, as portadas de madeira interiores, ou a inclusão de painéis solares térmicos para produção de águas quentes sanitárias. No segundo edifício, foi ainda possível verificar o impacto da transição de sistemas de resistência eléctrica para sistemas a gás, no que toca à produção de calor.

No diagrama seguinte é exposto de forma simplificada o processo de progressão desde o caso base, representando a situação actual, até à optimização do desempenho energético.

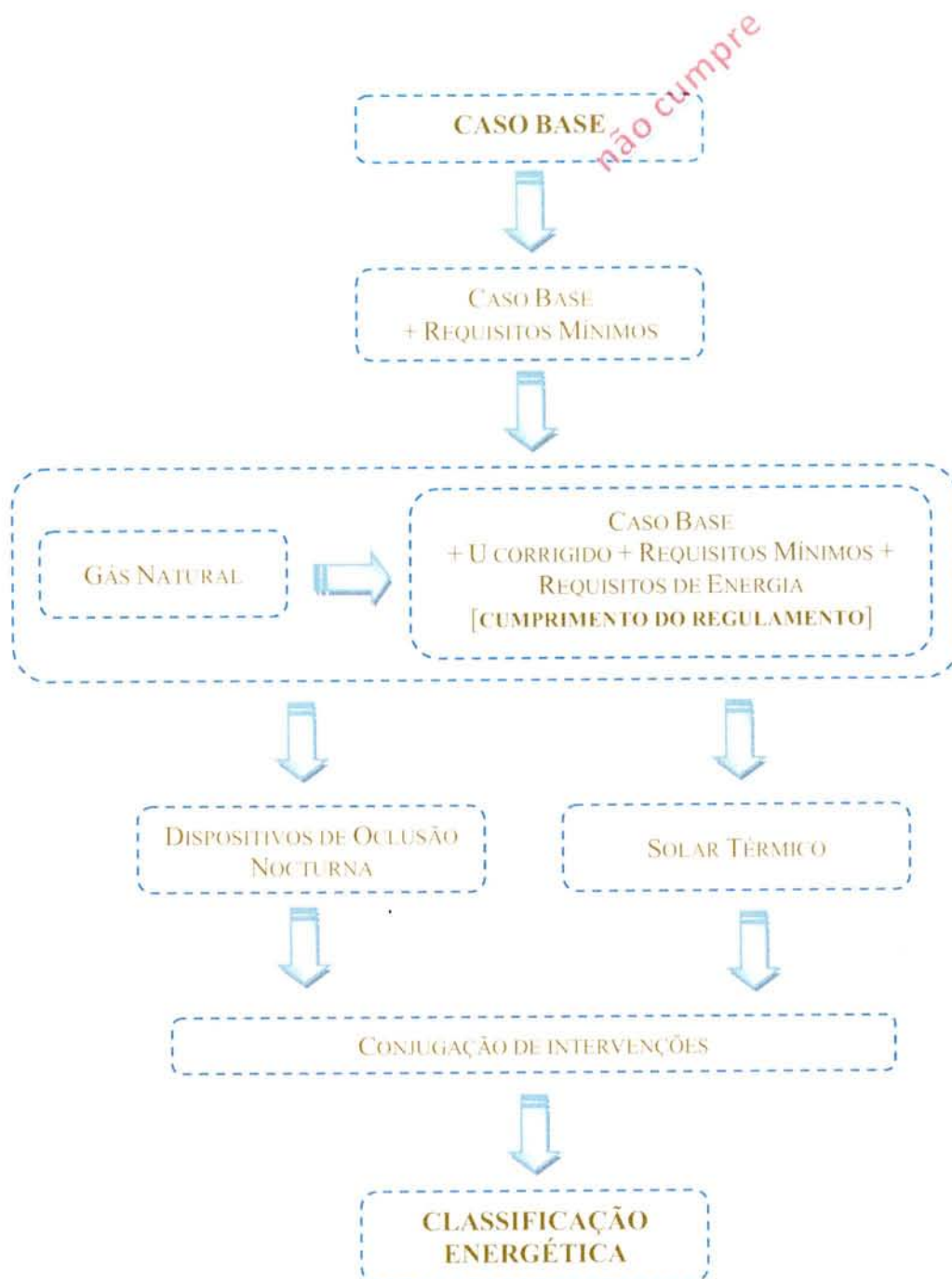


FIGURA 4 - DIAGRAMA DA METODOLOGIA

2. CASO DE ESTUDO 1 – AVALIAÇÃO FACE AO RCCTE

2.1. Descrição do caso de estudo

O primeiro caso de estudo a ser analisado é um edifício pertencente à Zona de Intervenção Prioritária (ZIP) de exposição Norte – Sul sendo que a fachada Nascente é contígua a um edifício adjacente e a fachada Poente fortemente sombreada pela envolvente urbana.

Sendo este um edifício típico da zona, é caracterizado por uma envolvente granítica (espessura média de 80cm) que lhe confere um aspecto robusto.

À presente data em fase de reabilitação, o edifício é constituído por cave, R/C e 4 pisos superiores, sendo o último ligeiramente recuado e com maior nível de intervenção, nomeadamente no que diz respeito à envolvente, com demolição da existente e substituição por paredes leves de chapa metálica ondulada sobre o isolamento térmico assente numa estrutura metálica e revestida interiormente por placas de ‘VIROC’. No piso térreo funcionará um estabelecimento de serviços com entrada independente e todos os pisos elevados serão destinados a habitação. As tipologias usadas serão sete fracções T1 e uma fracção T0.



FIGURA 5 - ALÇADOS NORTE, OESTE E SUL

Os elementos transparentes serão compostos por caixilharia simples de madeira com quadricula de vidro duplo e a protecção solar adoptada serão cortinas opacas de cor clara.

As paredes divisórias interiores bem como as de separação de fogos serão em gesso cartonado com isolamento térmico e acústico entre as placas.

Na cobertura será aplicada telha cerâmica sobre placas 'sandwich' do tipo 'ONDUTHERM' com 8cm de isolamento térmico.

Sistemas de aquecimento ambiente e produção de água quente sanitária

O aquecimento das habitações será efectuado por radiadores locais do tipo painel convector em aço de elementos montados na parede e providos de válvulas termostáticas. A água quente (a 80°C/65°C) de alimentação dos radiadores será produzida por intermédio de uma caldeira mural mista a gás natural a instalar nas cozinhas e que assegurará também a produção de águas quentes sanitárias. As caldeiras previstas possuirão uma potência de 24kW e uma produção instantânea de água quente de 11,2 l/min ($\Delta T=30^{\circ}\text{C}$). Todas as tubagens serão isoladas exteriormente e as de alimentação dos radiadores serão instaladas sobre o tecto falso descendo em roço pelas paredes para ligação aos radiadores. Para comando e controlo remoto da caldeira mural, será instalado na parede do hall de entrada de cada habitação um controlador termostático que, segundo a memória descritiva, ficará regulado para 20°C.

Ventilação

Para ventilação das cozinhas prevê-se a instalação de exaustores de fumos sobre os fogões. Nas instalações sanitárias prevê-se a existência de pequenos ventiladores que serão accionados por interruptores do tipo iluminação, mas independente desta.

Caracterização geométrica



FIGURA 6 - PLANTAS DAS FRACÇÕES

Cada um dos pisos é composto por duas fracções individuais, frente e traseiras, com área bruta que varia entre os 60 e os 70m². O zonamento é distribuído entre hall de entrada, sala, cozinha, um quarto e uma instalação sanitária. A fracção frente tem exposição solar Norte-Oeste enquanto que a habitação das traseiras tem exposição Sul-Oeste. A habitação T0 situa-se no piso superior (recuado) e é voltada a Sul com área bruta de 58 m².

2.2. Situação Actual

Descrevem-se de seguida as características, conforme previstas pelo projecto, para análise à luz do RCCTE deste primeiro edifício. Tais características prendem-se essencialmente com o comportamento térmico da envolvente e das suas pontes térmicas, dos vãos envidraçados e das taxas de renovação de ar. Para a recolha destes elementos foram consultados os cadernos de encargos da obra e a memória descritiva do projecto.

Caracterização Térmica das Soluções Construtivas

Identificaram-se já neste primeiro passo a existência de irregularidades ao nível dos coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis pelo regulamento ($U_{\text{máx}}$) que, para melhor análise, foram expostos na coluna da direita.

QUADRO 1 – COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA

ELEMENTOS DA ENVOLVENTE OPACA EXTERIOR	U [W/m ² .°C]	$U_{\text{máx}}$ [W/m ² .°C]
Parede exterior existente		
Parede de pedra natural, com espessura média de 80cm	1.9	1.6
Espaço de ar não ventilado		
Placa de gesso cartonado, espessura mínima de 1.5 cm		
Parede exterior do recuado		
Chapa metálica ondulada, isolamento térmico tipo lâ-de-rocha com espessura mínima de 8cm	0.41	1.6
Estrutura metálica de suporte		
Caixa-de-ar de 16cm		
Placa de revestimento interior, tipo 'VIROC' com 19mm de espessura		
Cobertura		
Telha cerâmica		
Painel em 'sandwich' tipo 'ONTHUTHERM' com 8cm de isolamento térmico (XPS)		
Espaço não útil		
– Situação de Inverno (fluxo ascendente)	0.31	1.3

ELEMENTOS DA ENVOLVENTE OPACA INTERIOR	U [W/m ² .°C]	U _{máx} [W/m ² .°C]
Paredes de separação dos apartamentos com caixa de escadas/elevador		
Placa de gesso cartonado, espessura mínima de 1,5 cm	0.57	2
Espaço de ar		
Isolamento térmico à base de lâ-de-rocha de espessura mínima de 5 cm		
Placa de gesso cartonado, espessura mínima de 1,5 cm		
Pavimento		
Laje colaborante de betão armado com lâmina de compressão de 6 cm		
Isolamento térmico tipo lâ-de-rocha, espessura mínima de 5 cm		
– Situação de Inverno (fluxo descendente)	0.56	1.3
VÃOS ENVIDRAÇADOS		U [W/m ² .°C]
Vidro laminado duplo incolor		
Caixilharia simples de madeira com quadricula		3.0
Dispositivo móvel de sombreamento solar (cortina de cor clara)		

Pontes Térmicas

Sendo a envolvente deste edifício em pedra granítica, e pela não existência de pilares ou talões de vigas, nem por caixas de estores, é interessante salientar a não existência de pontes térmicas planas, pelo que a designada zona corrente da envolvente não é interrompida senão pelos vãos envidraçados.

QUADRO 2 - COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR

PONTES TÉRMICAS LINEARES	Ψ [W/m ² .°C]
Fachada com pavimentos intermédios $e_m > 0.30$; $e_p > 0.35$	0.45
Duas paredes verticais $e_m > 0.22$	0.25
Fachada com pavimentos intermédios (recuado) $e_m = 0.26$; $e_p = 0.35$	0.50
Duas paredes verticais (recuado) $e_m = 0.26$	0.15
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	0.2
Fachada com cobertura inclinada ou terraço (recuado) $e_p = 0.25$	0.7

QUADRO 3 - COEFICIENTES DE REDUÇÃO DE PERDA TÉRMICAS

COEFICIENTE DE REDUÇÃO DAS PERDAS TÉRMICAS PARA LOCAIS NÃO AQUECIDOS	τ
Quarto para vão de escadas	0.4
Hall de entrada para vão de escadas	0.4
Cozinha para edifício adjacente	0.6
Sala (recuado) para edifício adjacente	0.6

Factores solares na estação de aquecimento

QUADRO 4 - FACTORES SOLARES

	X	G	Fs	Fg	Fw
Norte	0.27	0.63	1	0.57	0.9
Sul	1	0.63	0.9	0.57	0.9
Oeste	0.56	0.63	0.522	0.57	0.9

Pela presença de protecções solares, no presente caso cortinas opacas de cor clara, o factor solar G do vão envidraçado é reduzido para o valor de 0.37 quando activadas a 100%. Este índice representa o quociente entre a energia solar transmitida através do vão envidraçado para o interior e a energia que nele incide.

Taxa de Renovação de Ar

Todas as fracções de habitação do edifício serão providas de exaustores de cozinha e de sistema de exaustão nas instalações sanitárias. No entanto, estes últimos também terão um regime de funcionamento pontual sendo controlados por interruptor. Assim sendo, para efeitos de RCCTE as habitações serão consideradas como ventiladas naturalmente. Sabendo-se que o edifício não obedece à norma NP-1037-1 e admitindo caixilharias sem classificação. Para a classe de exposição ao vento, apesar de a zona se inserir no centro histórico da cidade, por ser sobranceira ao rio, foi considerada de exposição 2, uma vez que apresenta características de zonas muito expostas mas também de zonas de interior urbano. Face a essa classe de exposição, a taxa de renovação horária nominal foi obtida através do processo de cálculo previsto pelo RCCTE. A taxa de renovação horária apresenta então um valor de 1.1 h^{-1} (incluindo o agravamento de 0.1 h^{-1} uma vez que a área de envidraçados é superior a 15% da área útil de pavimento).

Indicadores de desempenho energético

Para a situação actual, e com base nos dados referidos, foi aplicada a metodologia de cálculo do RCCTE com o objectivo de se poder quantificar os indicadores de cumprimento dos requisitos energéticos que de seguida se apresentam.

Apesar de os limites estipulados para as necessidades nominais globais de energia primária não serem ultrapassados, verifica-se primeiro o incumprimento atrás referido relativo aos coeficientes de transmissão térmica máximos permitidos e também o incumprimento por parte das necessidades máximas para aquecimento que, à excepção de uma das fracções ultrapassam largamente o estipulado.

QUADRO 5 - INDICADORES DE NECESSIDADES ENERGÉTICAS PARA A SITUAÇÃO ACTUAL

Nic – Necessidades de aquecimento

Fracção	Nic [kWh/m ² .ano]	Ni [kWh/m ² .ano]	Nic/Ni	
Piso 1 – T1 – Norte	138.55	76.65	181 %	NÃO CUMPRE
Piso 1 – T1 – Sul	84.15	68.54	123 %	NÃO CUMPRE
Piso 4 – T1 – Norte	110.60	88.73	125 %	NÃO CUMPRE
Piso 4 – T0 – Sul	76.22	80.85	94 %	

Nvc – Necessidades de arrefecimento

Fracção	Nvc [kWh/m ² .ano]	Nv [kWh/m ² .ano]	Nvc/Nv
Piso 1 – T1 – Norte	8.18	18	45 %
Piso 1 – T1 – Sul	16.96	18	94 %
Piso 4 – T1 – Norte	7.61	18	42 %
Piso 4 – T0 – Sul	12.82	18	71 %

Nac – Águas quentes sanitárias

Fracção	Nac [kWh/m ² .ano]	Na [kWh/m ² .ano]	Nac/Na
Piso 1 – T1 – Norte	43.42	43.68	99%
Piso 1 – T1 – Sul	51.30	51.61	99%
Piso 4 – T1 – Norte	48.50	48.79	99%
Piso 4 – T0 – Sul	47.95	48.24	99%

Ntc – Energia primária

Fracção	Ntc [kgep/m ² .ano]	Nt [kgep/m ² .ano]	Ntc/Nt
Piso 1 – T1 – Norte	5.18	6.75	77 %
Piso 1 – T1 – Sul	5.41	7.75	70 %
Piso 4 – T1 – Norte	5.34	7.55	71 %
Piso 4 – T0 – Sul	5.00	7.40	68 %

2.3. Requisitos mínimos

De acordo com o anexo IX do RCCTE, e para além dos requisitos energéticos que impõem limites às necessidades de energia útil, o regulamento prevê ainda o cumprimento de requisitos mínimos de qualidade térmica para a envolvente dos edifícios. Tais requisitos prendem-se com os coeficientes de transmissão térmica das soluções construtivas, quer em zona corrente, quer em zonas não correntes da envolvente conforme se exporá adiante, bem como estipula um factor solar admissível para os vãos envidraçados.

I. Coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis.

Para o Porto, zona climática I2, nenhum elemento da envolvente de qualquer edifício pode ter um coeficiente de transmissão térmica em zona corrente superior a $1.6 \text{ W/m}^2\text{°C}$.¹

II. Zonas não correntes da envolvente

Nenhuma zona de qualquer elemento opaco da envolvente pode ter um U superior ao dobro dos homólogos em zona corrente, no entanto, ao estipular-se um valor máximo de U de 1.6 não se influencia este segundo ponto dos requisitos mínimos, uma vez que se intervém, e face à não existência de pilares em zona corrente da envolvente, em toda a área da fachada.

III. Factor solar máximo admissível

Nenhum vão envidraçado da envolvente de qualquer edifício (No Porto – zona climática V1), com área total superior a 5% da área útil de pavimento do espaço que serve, pode apresentar um factor solar correspondente ao vão envidraçado com os respectivos dispositivos de protecção 100% activos que exceda os valores de 0.15 no caso de se tratar de um edifício de inércia fraca ou de 0.56 caso a inércia seja média ou forte. Neste requisito, são isentados os casos cuja orientação se inclua no quadrante Norte.

Nos casos existentes, observa-se um factor solar de 0.37 (vidro duplo com protecção de cortinas opacas de cor clara) quando os dispositivos estão activados a 100%. – Quadro V.4 do regulamento.

Na impossibilidade de se intervir de forma a levar o valor do factor solar ao máximo admissível, ter-se-á que intervir ao nível da inércia térmica. Desta forma, elevou-se a classe de inércia térmica fraca para média. Tal pode ser conseguido por substituição do gesso cartonado presente nos projectos analisados por uso de paredes de alvenaria de tijolo.

¹ DL 80/2006, anexo IX

No presente caso de estudo verifica-se que um dos requisitos mínimos (o coeficiente de transmissão térmica máximo admissível) não é cumprido. Foi então estudado o comportamento face ao RCCTE caso este requisito fosse cumprido, usando para tal uma solução construtiva que permita um coeficiente de $1.6 \text{ W/m}^2\text{°C}$, o valor máximo permitido, pese embora se saiba que, ao incluir uma solução construtiva que integre um isolamento térmico, este valor poderá facilmente cair abaixo da unidade. Adiante se quantificarão as necessidades com soluções construtivas optimizadas.

Apresentam-se nos quadros seguintes os indicadores para os requisitos energéticos perante este novo cenário.

QUADRO 6, 7, 8 E 9 - COMPARAÇÃO DAS NECESIDADES ENERGÉTICAS

Piso 1 – T1 – Norte

	Existente	U corrigido
Nic [kWh/m ² .ano]	138.55	126.79
Ni [kWh/m ² .ano]	77	77
Nic/Ni	181%	165%
Nvc [kWh/m ² .ano]	8.18	4.97
Nv [kWh/m ² .ano]	18	18
Nvc/Nv	45%	28%
Nac [kWh/m ² .ano]	43.42	
Na [kWh/m ² .ano]	43.68	
Nac/Na	99%	
Ntc [kWh/m ² .ano]	5.18	5.04
Nt [kWh/m ² .ano]	6.75	6.75
Ntc/Nt	77%	75%

Piso 1 – T1 – Sul

	Existente	U corrigido
Nic [kWh/m ² .ano]	84.15	74.04
Ni [kWh/m ² .ano]	68.54	68.54
Nic/Ni	123%	108%
Nvc [kWh/m ² .ano]	16.96	12.50
Nv [kWh/m ² .ano]	18	18
Nvc/Nv	94%	69%
Nac [kWh/m ² .ano]		51.3
Na [kWh/m ² .ano]		51.61
Nac/Na		99%
Ntc [kWh/m ² .ano]	5.41	5.26
Nt [kWh/m ² .ano]	7.75	7.75
Ntc/Nt	70%	68%

Piso 4 – T1 – Norte

	Existente	U corrigido
Nic [kWh/m ² .ano]	110.6	110.6
Ni [kWh/m ² .ano]	88.73	88.73
Nic/Ni	125%	125%
Nvc [kWh/m ² .ano]	7.61	7.61
Nv [kWh/m ² .ano]	18	18
Nvc/Nv	42%	42%
Nac [kWh/m ² .ano]		48.5
Na [kWh/m ² .ano]		48.79
Nac/Na		99%
Ntc [kWh/m ² .ano]	5.34	5.34
Nt [kWh/m ² .ano]	7.55	7.55
Ntc/Nt	71%	71%

Piso 4 – T0 – Sul

	Existente	U corrigido
Nic [kWh/m ² .ano]	76.22	76.22
Ni [kWh/m ² .ano]	80.85	80.85
Nic/Ni	94%	94%
Nvc [kWh/m ² .ano]	12.82	12.82
Nv [kWh/m ² .ano]	18	18
Nvc/Nv	71%	71%
Nac [kWh/m ² .ano]		47.95
Na [kWh/m ² .ano]		48.24
Nac/Na		99%
Ntc [kWh/m ² .ano]	5.00	5.00
Nt [kWh/m ² .ano]	7.40	7.40
Ntc/Nt	68%	68%

2.4 Cumprimento dos requisitos regulamentares

Apesar de na abordagem do ponto anterior se terem satisfeito os requisitos mínimos para a qualidade térmica do edifício, continua a verificar-se um incumprimento no que diz respeito às necessidades de aquecimento. Torna-se então necessário explorar os pontos mais críticos de modo a satisfazer esta exigência. Desta forma, adoptando espessuras superiores para o isolamento interior, e de uma forma iterativa, foi alcançado o total cumprimento do disposto no RCCTE nas quatro fracções deste caso de estudo.

Para a envolvente, foi usada uma solução construtiva de isolamento térmico, com 80 mm de espessura, pelo interior com espaço de ar, conforme ilustrado na figura 3, o que conduz a um coeficiente de transmissão térmica de $0.37 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Para esse valor, apresentam-se nos quadros seguintes os indicadores de desempenho energético alcançado. De modo a permitir uma melhor sensibilidade do impacto desta medida, na mesma tabela são também representados os valores para a situação existente actualmente para cada uma das fracções.

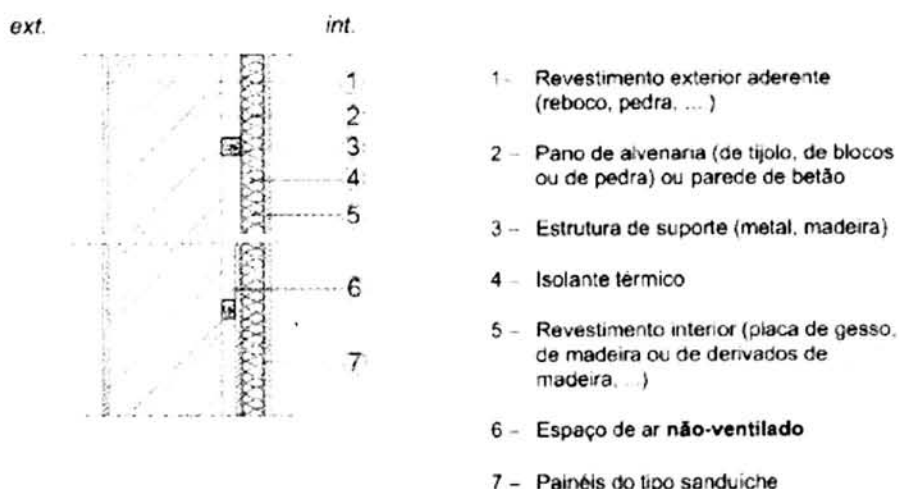


FIGURA 7 - PAREDE SIMPLES DE FACHADA COM ISOLAMENTO TÉRMICO PELO INTERIOR

À semelhança da envolvente foram melhoradas as características de condutibilidade térmica dos pavimentos sobre espaços não úteis por adopção de espessuras superiores de isolamentos. Como exemplo para a constituição da solução construtiva, foi usada uma laje maciça com isolamento de XPS com 100 mm de espessura, reduzindo o valor do U de 1.2 para $0.4 \text{ W/m}^2\text{°C}$, conforme ilustra a figura seguinte.

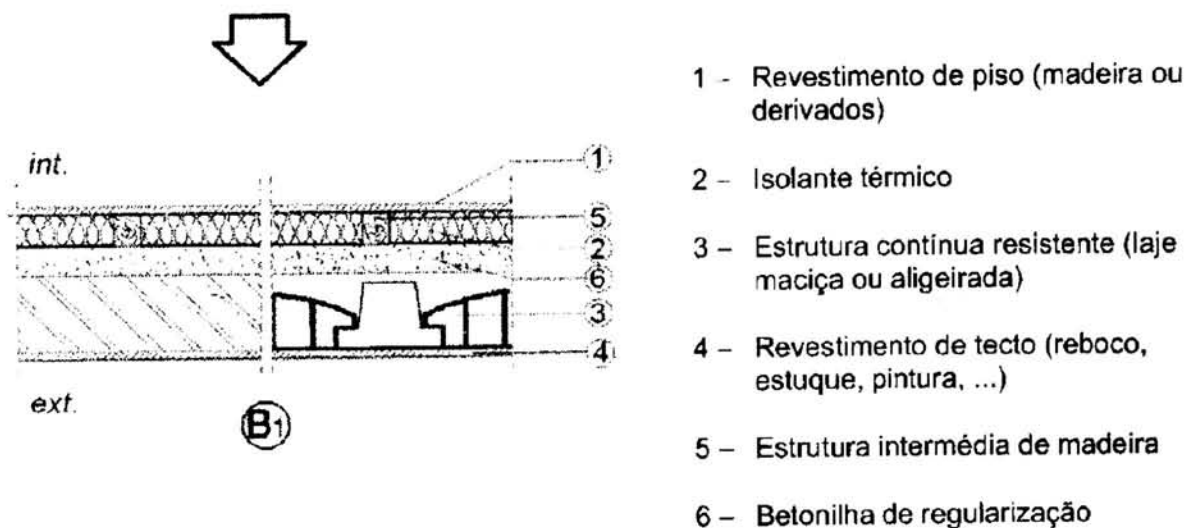


FIGURA 8 - PAVIMENTO SOBRE ESPAÇO NÃO ÚTIL

Piso 1 – T1 – Norte

QUADRO 10, 11, 12 E 13 – REQUISITOS REGULAMENTARES COMPARAÇÃO DAS NECESIDADES ENERGÉTICAS

	Existente	Requisitos regulamentares
Nic [kWh/m ² .ano]	138.55	77
Ni [kWh/m ² .ano]	77	77
Nic/Ni	181%	100%
Nvc [kWh/m ² .ano]	8.18	5.07
Nv [kWh/m ² .ano]	18	18
Nvc/Nv	45%	28%
Nac [kWh/m ² .ano]		43.42
Na [kWh/m ² .ano]		43.68
Nac/Na		99%
Ntc [kWh/m ² .ano]	5.18	4.54
Nt [kWh/m ² .ano]	6.75	6.75
Ntc/Nt	77%	67%

Piso 1 – T1 – Sul

	Existente	Requisitos regulamentares
Nic [kWh/m ² .ano]	84.15	56.54
Ni [kWh/m ² .ano]	68.54	68.54
Nic/Ni	123%	82%
Nvc [kWh/m ² .ano]	16.96	10.37
Nv [kWh/m ² .ano]	18	18
Nvc/Nv	94%	58%
Nac [kWh/m ² .ano]		51.3
Na [kWh/m ² .ano]		51.61
Nac/Na		99%
Ntc [kWh/m ² .ano]	5.41	5.07
Nt [kWh/m ² .ano]	7.75	7.75
Ntc/Nt	70%	65%

Piso 4 – T1 – Norte

	Existente	Requisitos regulamentares
Nic [kWh/m ² .ano]	110.6	88.27
Ni [kWh/m ² .ano]	88.73	88.73
Nic/Ni	125%	99%
Nvc [kWh/m ² .ano]	7.61	7.64
Nv [kWh/m ² .ano]	18	18
Nvc/Nv	42%	42%
Nac [kWh/m ² .ano]		48.5
Na [kWh/m ² .ano]		48.79
Nac/Na		99%
Ntc [kWh/m ² .ano]	5.34	5.12
Nt [kWh/m ² .ano]	7.55	7.55
Ntc/Nt	71%	68%

Piso 4 – T0 – Sul

	Existente	Requisitos regulamentares
Nic [kWh/m ² .ano]	76.22	55.13
Ni [kWh/m ² .ano]	80.85	80.85
Nic/Ni	94%	68%
Nvc [kWh/m ² .ano]	12.82	12.85
Nv [kWh/m ² .ano]	18	18
Nvc/Nv	71%	71%
Nac [kWh/m ² .ano]		47.95
Na [kWh/m ² .ano]		48.24
Nac/Na		99%
Ntc [kWh/m ² .ano]	5.00	4.79
Nt [kWh/m ² .ano]	7.40	7.40
Ntc/Nt	68%	65%

2.5. Dispositivos de oclusão nocturna

Cumpridos todos os requisitos (requisitos mínimos e requisitos energéticos) estipulados pelo RCCTE, é oportuno salientar ainda um grande potencial de melhoramento no que toca aos vãos envidraçados. Tratando-se de uma zona histórica, a inclusão de dispositivos de oclusão nocturna pelo exterior, como por exemplo os estores, é um assunto sensível. Admitindo como válida a proibição de instalação de estores pelo exterior, dispositivos daquele tipo podem ser usados pelo interior. Foi aqui estudada a existência de portadas de madeira interiores que, abertas durante o dia permitem a penetração da radiação solar, e accionadas durante o período nocturno, diminuem o coeficiente de transmissão térmica (de 3 para 2 W/m²°C) do vão envidraçado proporcionando assim uma redução significativa das perdas de energia para o exterior durante aquele período. O impacto deste factor nos indicadores energéticos foi quantificado e tabelado nos quadros que de seguida se apresentam.

QUADRO 14, 15, 16 E 17 – OCLUSÃO NOCTURNA - COMPARAÇÃO DAS NECESIDADES ENERGÉTICAS

Piso 1 – T1 – Norte

	Requisitos mínimos	Oclusão nocturna
Nic [kWh/m ² .ano]	77	65.56
Ni [kWh/m ² .ano]	77	77
Nic/Ni	100%	85%
Nvc [kWh/m ² .ano]	5.07	6.32
Nv [kWh/m ² .ano]	18	18
Nvc/Nv	28%	35%
Nac [kWh/m ² .ano]		43.42
Na [kWh/m ² .ano]		43.68
Nac/Na		99.41%
Ntc [kWh/m ² .ano]	4.54	4.44
Nt [kWh/m ² .ano]	6.75	6.75
Ntc/Nt	67%	66%

Piso 1 – T1 – Sul

	Requisitos mínimos	Oclusão nocturna
Nic [kWh/m ² .ano]	56.54	49.29
Ni [kWh/m ² .ano]	68.54	68.54
Nic/Ni	82%	72%
Nvc [kWh/m ² .ano]	10.37	11.79
Nv [kWh/m ² .ano]	18	18
Nvc/Nv	58%	66%
Nac [kWh/m ² .ano]		51.3
Na [kWh/m ² .ano]		51.61
Nac/Na		99.41%
Ntc [kWh/m ² .ano]	5.07	5.01
Nt [kWh/m ² .ano]	7.75	7.75
Ntc/Nt	65%	65%

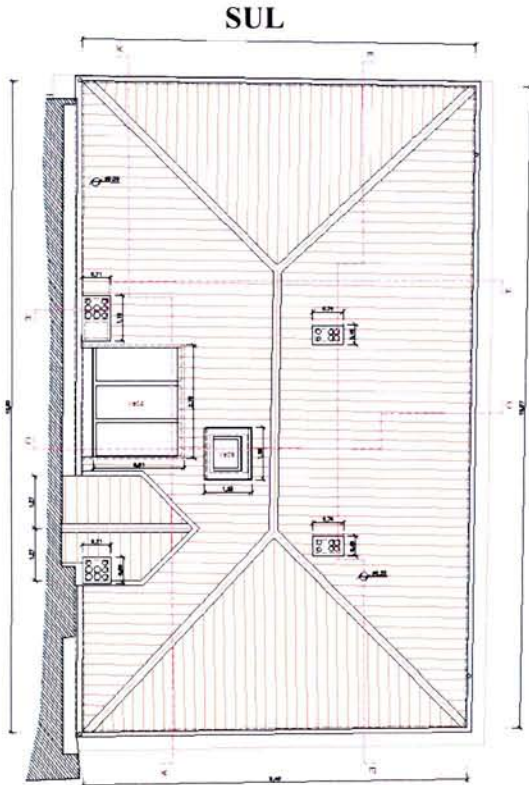
Piso 4 – T1 – Norte

	Requisitos mínimos	Oclusão nocturna
Nic [kWh/m ² .ano]	88.27	74.17
Ni [kWh/m ² .ano]	88.73	88.73
Nic/Ni	99%	99%
Nvc [kWh/m ² .ano]	7.64	7.64
Nv [kWh/m ² .ano]	18	18
Nvc/Nv	42%	42%
Nac [kWh/m ² .ano]	48.5	
Na [kWh/m ² .ano]	48.79	
Nac/Na	99.41%	
Ntc [kWh/m ² .ano]	5.12	5.12
Nt [kWh/m ² .ano]	7.55	7.55
Ntc/Nt	68%	68%

Piso 4 – T0 – Sul

	Requisitos mínimos	Oclusão nocturna
Nic [kWh/m ² .ano]	55.13	45.23
Ni [kWh/m ² .ano]	80.85	80.85
Nic/Ni	68%	56%
Nvc [kWh/m ² .ano]	12.85	15.28
Nv [kWh/m ² .ano]	18	18
Nvc/Nv	71%	85%
Nac [kWh/m ² .ano]	47.95	
Na [kWh/m ² .ano]	48.24	
Nac/Na	99%	
Ntc [kWh/m ² .ano]	4.79	4.72
Nt [kWh/m ² .ano]	7.40	7.40
Ntc/Nt	65%	64%

2.6. Contribuição do solar térmico



Pelo impacto visual que poderá vir a ter tal intervenção, a utilização de colectores solares para produção de águas quentes sanitárias é um dos pontos em que se reconhece eventuais dificuldades aquando da aplicação do RCCTE em edifícios localizados em zonas históricas. Talvez não fosse de admitir sem mais discussão a incompatibilidade de colectores solares em zonas históricas com o desenho das coberturas do seu casario, no entanto, embarcando neste pressuposto os resultados anteriores mostram a possibilidade de cumprimento dos objectivos de desempenho do regulamento mesmo sem recurso a sistemas solares activos.

Como exercício, estudar-se-á de seguida os benefícios que resultariam da opção pela instalação de colectores de acordo com os pressupostos do RCCTE.

FIGURA 9 - COBERTURA DO EDIFÍCIO

Este primeiro caso de estudo enquadra-se a 100% no disposto no ponto segundo do artigo sétimo do regulamento, que diz que o recurso a sistemas de colectores solares térmicos para AQS é obrigatório sempre que haja uma exposição adequada, prevendo uma base de 1 m² de colector por residente.

Assim, resulta para este edifício uma área de 16m² de painéis solares. Tal contributo foi calculado por intermédio do software previsto no regulamento usando um colector solar genérico existente na base de dados do SolTerm com as seguintes características.

Colector plano:

Área	2 m ²
η_0	0.73
a1	5.0 W/m ² /°K
a2	0.05 W/m ² /°K

Para a base de cálculo de consumo de água quente, o RCCTE estipula para edifícios residenciais 40 litros por ocupante a 45°C. De acordo com estas características a figura seguinte ilustra o 'output' dado pelo software onde se pode observar na coluna colorida a quantidade de energia fornecida por este sistema.

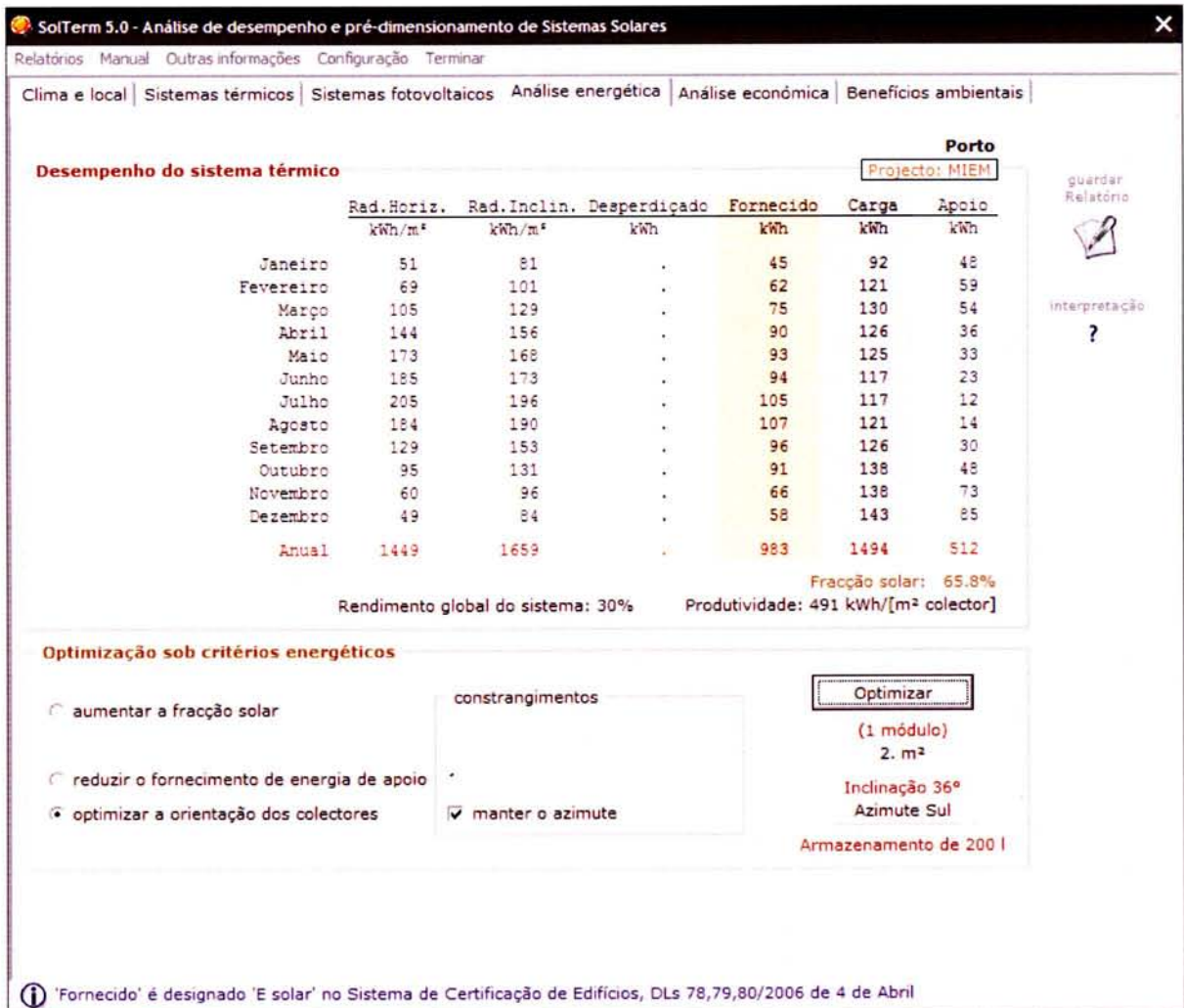


FIGURA 10 - OUTPUT DO SOLTERM PARA A ENERGIA FORNECIDA PELO SISTEMA SOLAR

Com as condições solares verificadas para a cobertura do edifício, concluiu-se que o contributo dos colectores para cada fracção seria de 983 kWh por ano, representando desta forma cerca de 66% das necessidades energéticas para aquecimento de águas sanitárias.

Obviamente, tal influência reflectir-se-á nas necessidades de energia primária por parte de cada habitação, conforme é apresentado nos quadros que se seguem.

QUADRO 18, 19, 20 E 21 – SOLAR TÉRMICO - COMPARAÇÃO DAS NECESIDADES ENERGÉTICAS

Piso 1 – T1 – Norte

	Requisitos mínimos	Solar térmico
Nic [kWh/m ² .ano]	77	
Ni [kWh/m ² .ano]	77	
Nic/Ni	100%	
Nvc [kWh/m ² .ano]	5.07	
Nv [kWh/m ² .ano]	18	
Nvc/Nv	28%	
Nac [kWh/m ² .ano]	43.42	25.25
Na [kWh/m ² .ano]	43.68	43.68
Nac/Na	99%	58%
Ntc [kWh/m ² .ano]	4.54	2.98
Nt [kWh/m ² .ano]	6.75	6.75
Ntc/Nt	67%	44%

Piso 1 – T1 – Sul

	Requisitos mínimos	Solar térmico
Nic [kWh/m ² .ano]	56.54	
Ni [kWh/m ² .ano]	68.54	
Nic/Ni	82%	
Nvc [kWh/m ² .ano]	10.37	
Nv [kWh/m ² .ano]	18	
Nvc/Nv	58%	
Nac [kWh/m ² .ano]	51.2	29.83
Na [kWh/m ² .ano]	51.61	51.61
Nac/Na	99%	58%
Ntc [kWh/m ² .ano]	5.07	3.22
Nt [kWh/m ² .ano]	7.75	7.75
Ntc/Nt	65%	42%

Piso 4 – T1 – Norte

	Requisitos mínimos	Solar térmico
Nic [kWh/m ² .ano]	88.27	
Ni [kWh/m ² .ano]	88.73	
Nic/Ni	99%	
Nvc [kWh/m ² .ano]	7.64	
Nv [kWh/m ² .ano]	18	
Nvc/Nv	42%	
Nac [kWh/m ² .ano]	48.5	5.12
Na [kWh/m ² .ano]	48.79	7.55
Nac/Na	99.41%	68%
Ntc [kWh/m ² .ano]	5.32	3.57
Nt [kWh/m ² .ano]	7.52	7.55
Ntc/Nt	71%	45%

Piso 4 – T0 – Sul

	Requisitos mínimos	Solar térmico
Nic [kWh/m ² .ano]	55.13	
Ni [kWh/m ² .ano]	80.85	
Nic/Ni	68%	
Nvc [kWh/m ² .ano]	12.86	
Nv [kWh/m ² .ano]	18	
Nvc/Nv	71%	
Nac [kWh/m ² .ano]	47.95	27.88
Na [kWh/m ² .ano]	48.24	48.24
Nac/Na	99%	58%
Ntc [kWh/m ² .ano]	4.79	3.07
Nt [kWh/m ² .ano]	7.40	7.40
Ntc/Nt	65%	41%

2.7. Conjugação de intervenções

Das intervenções atrás estudadas resultaram cenários de eficiência energética que, cada um por si, conseguem elevar o desempenho energético do edifício, faz então sentido o estudo da aglomeração das medidas adoptadas num único cenário que quantifique até onde se pode ir em cada um dos indicadores energéticos. Nos quadros abaixo estão dessa forma representados tais indicadores. Lembra-se que este último cenário apresenta valores de $0.37 \text{ W/m}^2\text{C}$ para os coeficientes de transmissão térmica da envolvente e conta com a existência de dispositivos de oclusão nocturna e um sistema solar activo para o aquecimento das águas sanitárias.

QUADRO 22 - INDICADORES DE NECESSIDADES ENERGÉTICAS PARA A CONJUGAÇÃO DE INTERVENÇÕES

Nic – Necessidades de aquecimento

Fracção	Nic [kWh/m ² .ano]	Ni [kWh/m ² .ano]	Nic/Ni
Piso 1 – T1 – Norte	65.56	77	85%
Piso 1 – T1 – Sul	42.29	68.54	72%
Piso 4 – T1 – Norte	74.17	88.73	84%
Piso 4 – T0 – Sul	45.23	80.85	56%

Nvc – Necessidades de arrefecimento

Fracção	Nvc [kWh/m ² .ano]	Nv [kWh/m ² .ano]	Nvc/Nv
Piso 1 – T1 – Norte	6.32	18	35%
Piso 1 – T1 – Sul	11.79	18	66%
Piso 4 – T1 – Norte	9.73	18	54%
Piso 4 – T0 – Sul	15.28	18	85%

Nac – Águas quentes sanitárias

Fracção	Nac [kWh/m ² .ano]	Na [kWh/m ² .ano]	Nac/Na
Piso 1 – T1 – Norte	25.25	43.68	58%
Piso 1 – T1 – Sul	29.83	51.61	58%
Piso 4 – T1 – Norte	28.2	48.79	58%
Piso 4 – T0 – Sul	27.88	48.24	58%

Ntc – Energia primária

Fracção	Ntc [kgep/m ² .ano]	Nt [kgep/m ² .ano]	Ntc/Nt
Piso 1 – T1 – Norte	2.88	6.75	43%
Piso 1 – T1 – Sul	3.17	7.75	41%
Piso 4 – T1 – Norte	3.25	7.55	43%
Piso 4 – T0 – Sul	2.99	7.40	40%

Finalizada a análise face ao RCCTE deste primeiro edifício, sistematizam-se nos quadros que se seguem os requisitos a que têm de cumprir as quatro fracções perante este regulamento, e para cada uma das intervenções analisadas. A faixa sombreada representa o cumprimento integral das obrigações do regulamento, sendo seguida das linhas que representam os cenários que vão além do estrito cumprimento do RCCTE.

QUADRO 23, 24, 25 E 26 – COMPARAÇÃO DO REQUISITOS DO RCCTE

Fracção 1 – Piso 1 - T1 - Norte	$U_{\text{envolvente}}$	g	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt
Situação actual	1.9	0.37	181%	45%	99%	77%
Requisitos mínimos	1.6	0.37	165%	28%	99%	75%
Cumprimento regulamentar	0.37	0.37	100%	28%	99%	67%
Dispositivos de oclusão nocturna	0.37	0.37	85%	35%	99%	66%
Solar térmico	0.37	0.37	100%	28%	58%	44%
Conjugação das três últimas	0.37	0.37	85%	35%	58%	43%
Fracção 2 – Piso 1 - T1 - Sul	$U_{\text{envolvente}}$	g	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt
Situação actual	1.9	0.37	123%	94%	99%	70%
Requisitos mínimos	1.6	0.37	108%	69%	99%	68%
Cumprimento regulamentar	0.37	0.37	82%	58%	99%	65%
Dispositivos de oclusão nocturna	0.37	0.37	72%	66%	99%	65%
Solar térmico	0.37	0.37	82%	58%	58%	42%
Conjugação das três últimas	0.37	0.37	72%	66%	58%	41%

Fracção 3 – Piso 4 - T1 - Norte	$U_{\text{envolvente}}$	g	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt
Situação actual / Requisitos mínimos	0.41	0.37	125%	42%	99%	71%
Cumprimento regulamentar	0.32	0.37	99%	42%	99%	68%
Dispositivos de oclusão nocturna	0.32	0.37	84%	54%	99%	66%
Solar térmico	0.32	0.37	99%	42%	58%	45%
Conjugação das três últimas	0.32	0.37	84%	54%	58%	43%

Fracção 4 – Piso 4 – T0 - Sul	$U_{\text{envolvente}}$	g	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt
Situação actual / Cumprimento regulamentar	0.41	0.37	94%	71%	99%	68%
Isolamento térmico adequado	0.32	0.37	68%	71%	99%	65%
Dispositivos de oclusão nocturna	0.32	0.37	56%	85%	99%	64%
Solar térmico	0.32	0.37	68%	71%	58%	41%
Conjugação das três últimas	0.32	0.37	56%	85%	58%	40%

Em complemento aos quadros anteriores são apresentados de seguida em forma gráfica os indicadores energéticos para cada uma das fracções. A linha a vermelho nos 100% representa o limite máximo para cada um dos indicadores, sendo que se pelo menos um ultrapassar esta linha cairá numa situação de incumprimento do RCCTE. Conforme demonstrado anteriormente, e talvez mais visível nas figuras ilustrada, o cenário de conjugação de intervenções, não se limita ao estrito cumprimento do disposto pelo regulamento, como vai mais além no desempenho permitindo que sua etiqueta energética apresente a letra 'A'.

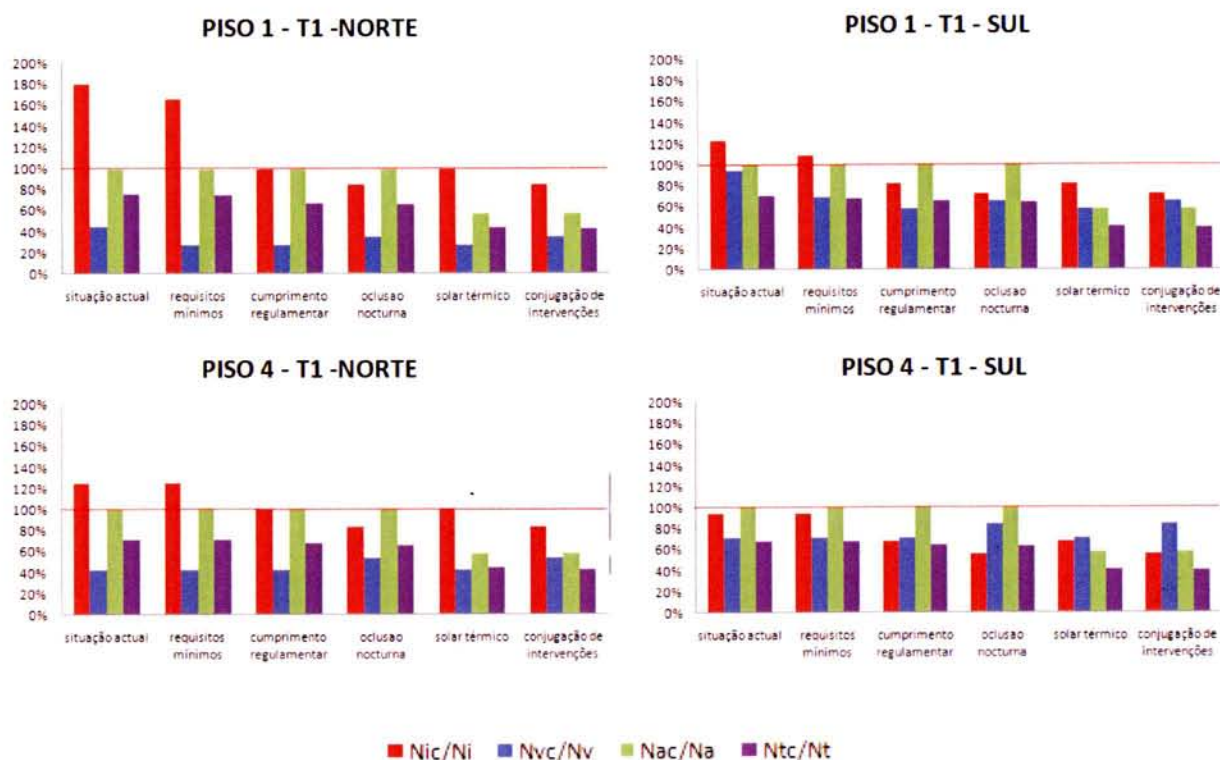


FIGURA 11 - GRÁFICOS COMPARATIVOS DOS INDICADORES ENERGÉTICOS

3. CASO DE ESTUDO 2 – AVALIAÇÃO FACE AO RCCTE

3.1. Descrição do caso de estudo

Este segundo edifício, de exposição Norte – Sul, é também pertencente à Zona de Intervenção Prioritária e encontra-se actualmente em fase de reabilitação. É constituído por um estabelecimento de restauração e bebidas (que é excluído do estudo presente) no piso térreo e, nos 5 pisos elevados serão constituídas 7 fracções autónomas para habitação. Duas de tipologia 0, quatro T1s e um T2.

A envolvente opaca granítica (80cm espessura) é desprovida de isolamento térmico, sendo apenas tratada pelo interior com reboco cimentício aplicado directamente sobre a alvenaria de granito. O edifício está ladeado por outros contíguos nos seus alçados poente e nascente.



FIGURA 12 - ALÇADOS NORTE E SUL

Para os elementos transparentes é esperada a permanência do material e desenho do preexistente. Assim, os vãos envidraçados serão compostos por caixilharias de madeira com quadrícula de vidro duplo. Estão previstas cortinas opacas de cor clara como solução de protecção solar.

Nesta construção predomina também, à semelhança do edifício anterior, o uso de gesso cartonado, sendo utilizado como meio de divisão das fracções bem como de separação de fogos.

Sistemas de aquecimento ambiente e produção de água quente sanitária

Apesar de o edifício estar a ser dotado de rede interna de gás, o dono de obra optou por equipamentos eléctricos (caldeiras, fogões, etc.) para o aquecimento de águas sanitárias e preparação de alimentos, bem como para aquecimento ambiente.

Prevê-se então a existência de termoacumuladores eléctricos para produção de águas quentes sanitárias o que penalizará estas fracções nas suas necessidades de energia primária, com reflexo nas emissões de CO₂ a elas associadas. Este será, certamente, um dos factores que mais onerará o desempenho do edifício à luz do RCCTE.

Ventilação

O sistema de ventilação irá providenciar exaustão de fumos sobre o fogão da cozinha e a renovação de ar nas instalações sanitárias. Os ventiladores funcionarão pontualmente, não tendo um consumo permanente ao longo do dia.

Caracterização geométrica



FIGURA 13 - PLANTAS DAS FRACÇÕES

Neste edifício foram seleccionadas duas fracções para análise. Uma tipologia 2 no segundo piso e uma habitação T0 no 4º e último piso, ambas com duas frentes (Norte/Sul).

A fracção T2 tem uma área bruta de 120 m² e um pé direito de 3,17m, enquanto que o T0 do 4º piso conta com uma área bruta de 62 m² e um pé direito de 2.7 metros.

3.2. Situação actual

De seguida são descritas as características para os elementos construtivos existentes e/ou previstos no projecto de reabilitação. Tal como no primeiro caso de estudo estas características dizem respeito ao comportamento térmico da envolvente, pontes térmicas existentes, às perdas pelos vãos envidraçados e pela ventilação. Os seus valores foram recolhidos por análise do projecto disponível. Com base nestes valores foi então estudado o seu comportamento à luz do RCCTE, que adiante se exporá.

Caracterização térmica das Soluções Construtivas

QUADRO 27 – COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA

ELEMENTOS DA ENVOLVENTE OPACA EXTERIOR	U [W/m ² .°C]	U _{máx} [W/m ² .°C]
Parede exterior existente	2.34	1.6
Parede de pedra natural, com espessura média de 80cm		
ELEMENTOS DA ENVOLVENTE OPACA INTERIOR	U [W/m ² .°C]	U _{máx} [W/m ² .°C]
Paredes de separação dos apartamentos com caixa de escadas/elevador		
Placa de gesso cartonado, espessura mínima de 1,5cm	0.57	2
Espaço de ar		
Isolamento térmico à base de lâ-de-rocha de espessura mínima de 5cm		
Placa de gesso cartonado, espessura mínima de 1,5cm		
Pavimento		
Laje colaborante de betão armado com lâmina de compressão de 6cm		
Isolamento térmico tipo lâ-de-rocha, espessura mínima de 5cm		
– Situação de Inverno (fluxo descendente)	0.56	1.3

VÃOS ENVIDRAÇADOS	U [W/m ² .°C]
Vidro laminado duplo incolor	
Caixilharia simples de madeira com quadricula	3.0
Dispositivo móvel de sombreamento solar (cortina de cor clara)	

Pontes térmicas

À semelhança do primeiro caso de estudo a envolvente granítica deste edifício não é interrompida por pontes térmicas planas dada a inexistência de pilares ou talões de vigas nem de caixas de estores. Desta forma, teremos apenas pontes térmicas lineares que se quantificam no quadro abaixo.

QUADRO 28 - COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR

PONTES TÉRMICAS LINEARES	Ψ [W/m ² .°C]
Fachada com pavimentos intermédios $e_m > 0.30$; $e_p > 0.35$	0.45
Duas paredes verticais $e_m > 0.22$	0.25
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	0.20
Fachada com pavimentos intermédios (recuado) $e_m = 0.22$; $e_p > 0.35$	0.55
Fachada com cobertura inclinada (recuado)	0.70
Duas paredes verticais (recuado) $e_m = 0.22$	0.1
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril (recuado)	0.20

QUADRO 29 – COEFICIENTES DE REDUÇÃO DE PERDAS TÉRMICAS

COEFICIENTE DE REDUÇÃO DAS PERDAS TÉRMICAS PARA LOCAIS NÃO AQUECIDOS	τ
Fachada poente para edifício adjacente	0.6
Fachada nascente para edifício adjacente	0.6
Vão de escadas	0.4
COEFICIENTE DE REDUÇÃO DAS PERDAS TÉRMICAS PARA LOCAIS NÃO ÚTEIS COM τ > 0.7	τ
Fosso do elevador	0.9

Factores solares na estação de aquecimento

QUADRO 30 - FACTORES SOLARES

	X	G	Fs	Fg	Fw
Norte	0.27	0.63	1	0.57	0.9
Sul	1	0.63	0.9	0.57	0.9

O factor solar G apresentado será reduzido para o valor de 0.37 face à presença de protecções solares quando activadas a 100% permitindo desta forma o cumprimento de um dos requisitos mínimos estipulados pelo RCCTE, tal como o disposto no quadro IX.2 do regulamento.

Taxa de renovação de ar

Todas as fracções deste edifício serão ventiladas naturalmente, não obedecendo à norma NP-1037-1 e tendo em conta as caixilharias de madeira usadas nos vãos envidraçados bem como a classe de exposição ao vento do tipo 2, a taxa de renovação apresenta um valor de 1 h^{-1} . Este valor é ainda onerado pelo factor de penalização relativo à fracção entre a área de envidraçados e de pavimento útil.

Assim, o valor para a taxa de renovação de ar utilizado para cálculos das características e comportamentos térmico foi de 1.1 h^{-1} .

Indicadores de desempenho energético

Tendo por base de cálculo os elementos anteriormente expostos, foram analisadas as duas fracções à luz do RCCTE por forma a poder quantificar-se os indicadores de cumprimento dos requisitos energéticos que são apresentados no quadro 31.

Neste edifício, apesar de prevista a existência de rede de gás natural, o dono de obra assume claramente a preferência por sistemas eléctricos para a produção de calor, instalando nas fracções termoacumuladores eléctricos para produção de águas quentes sanitárias, onerando desta forma o valor das necessidades globais de energia primária. Vem-se pois a verificar-se o incumprimento deste ponto, a par também do incumprimento das necessidades energéticas para aquecimento, conforme tabelado de seguida.

QUADRO 31 - INDICADORES DE NECESSIDADES ENERGÉTICAS PARA A SITUAÇÃO ACTUAL

Nic – Necessidades de aquecimento

Fracção	Nic [kWh/m ² .ano]	Ni [kWh/m ² .ano]	Nic/Ni	
Piso 2 – T2 – Norte/Sul	104.84	68.10	154 %	NÃO CUMPRE
Piso 4 – T0 – Norte /Sul	92.26	68.10	135 %	NÃO CUMPRE

Nvc – Necessidades de arrefecimento

Fracção	Nvc [kWh/m ² .ano]	Nv [kWh/m ² .ano]	Nvc/Nv
Piso 2 – T2 – Norte/Sul	1.24	18	7 %
Piso 4 – T0 – Norte /sul	2.56	18	14 %

Nac – Águas quentes sanitárias

Fracção	Nac [kWh/m ² .ano]	Na [kWh/m ² .ano]	Nac/Na
Piso 2 – T2 – Norte/Sul	29.39	29.57	99 %
Piso 4 – T0 – Norte /sul	37.92	38.15	99 %

Ntc – Energia primária

Fracção	Ntc [kgep/m ² .ano]	Nt [kgep/m ² .ano]	Ntc/Nt	
Piso 2 – T2 – Norte/Sul	12.34	4.77	259 %	NÃO CUMPRE
Piso 4 – T0 – Norte /sul	14.37	5.92	243 %	NÃO CUMPRE

3.3. Requisitos mínimos

O RCCTE estipula três requisitos mínimos para a qualidade térmica da envolvente dos edifícios: os coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis para as zonas correntes da envolvente, para as zonas não correntes da envolvente e, traça ainda limites para os valores dos factores solares dos vãos envidraçados. Tais requisitos foram já expostos na página 22 do capítulo 2.3 deste relatório, pelo que não se explanarão de novo no presente capítulo.

À semelhança do primeiro caso de estudo, este segundo edifício também não cumpre o primeiro requisito mínimo, apresentando um coeficiente de transmissão térmica para a envolvente de $2.34 \text{ W/m}^2\text{C}$. Por este motivo, foi estudado à luz do regulamento o comportamento face a uma envolvente onde preocupações deste nível são tidas em conta. Nos quadros seguintes são quantificados os valores para os diferentes indicadores energéticos para a existência de uma solução construtiva que cumpra os $1.6 \text{ W/m}^2\text{C}$ de coeficiente de transmissão térmica máxima admissível.

QUADRO 32 E 33 - COMPARAÇÃO DAS NECESIDADES ENERGÉTICAS

Piso 2 – T2 – Norte/Sul

	Existente	U corrigido
Nic [kWh/m ² .ano]	104.84	87.24
Ni [kWh/m ² .ano]	68.10	68.10
Nic/Ni	154%	128.12%
Nvc [kWh/m ² .ano]	1.24	3.08
Nv [kWh/m ² .ano]	18	18
Nvc/Nv	7%	17.11
Nac [kWh/m ² .ano]		29.39
Na [kWh/m ² .ano]		29.57
Nac/Na		99%
Ntc [kWh/m ² .ano]	12.34	11.72
Nt [kWh/m ² .ano]	4.77	4.77
Ntc/Nt	259%	246%

Piso 4 – T0 – Norte/Sul

	Existente	U corrigido
Nic [kWh/m ² .ano]	92.26	88.96
Ni [kWh/m ² .ano]	68.10	68.10
Nic/Ni	135%	131%
Nvc [kWh/m ² .ano]	2.56	4.95
Nv [kWh/m ² .ano]	18	18
Nvc/Nv	14%	28%
Nac [kWh/m ² .ano]		37.92
Na [kWh/m ² .ano]		38.15
Nac/Na		99%
Ntc [kWh/m ² .ano]	14.37	14.27
Nt [kWh/m ² .ano]	5.92	5.92
Ntc/Nt	243%	240.85%

3.4. Cumprimento dos requisitos regulamentares

Mesmo depois de cumpridos os requisitos mínimos para a qualidade térmica da envolvente do edifício, verifica-se ainda o incumprimento por parte das necessidades de aquecimento. No que diz respeito às necessidades globais de energia primária, e ao contrário do verificado no primeiro caso de estudo em que ao cumprirem-se os requisitos mínimos se conseguia cumprir também aquelas necessidades, no presente edifício tal não é possível pela presença de um sistema eléctrico para produção de águas quentes sanitárias. Foi então possível intervir também a este nível quantificando o ‘upgrade’ de desempenho energético da conversão de sistemas de resistência eléctrica para sistemas a gás natural menos ‘pesado’ na transposição de energia final para energia primária.

De forma iterativa, a envolvente foi alvo de aprimoramentos conduzindo a um valor de coeficiente de transmissão térmica de 0.68 W/m²°C, por recurso a uma espessura de 40 mm de isolamento térmico.

Nos quadros seguintes são ilustrados, em comparação com os valores da situação actual, os indicadores energéticos quando, depois de implementadas as medidas expostas, se cumprem integralmente todos os pontos do RCCTE.

QUADRO 34 E 35 - COMPARAÇÃO DAS NECESIDADES ENERGÉTICAS

Piso 2 – T2 – Norte/Sul

	Existente	Requisitos regulamentares
Nic [kWh/m ² .ano]	104.84	64.97
Ni [kWh/m ² .ano]	68.10	68.10
Nic/Ni	154%	95%
Nvc [kWh/m ² .ano]	1.24	3.23
Nv [kWh/m ² .ano]	18	18
Nvc/Nv	7%	18%
Nac [kWh/m ² .ano]		29.39
Na [kWh/m ² .ano]		29.57
Nac/Na		99%
Ntc [kWh/m ² .ano]	12.34	3.2
Nt [kWh/m ² .ano]	4.77	4.77
Ntc/Nt	259%	67%

Piso 4 – T0 – Norte/Sul

	Existente	Requisitos regulamentares
Nic [kWh/m ² .ano]	92.26	53.17
Ni [kWh/m ² .ano]	68.10	68.10
Nic/Ni	135%	78%
Nvc [kWh/m ² .ano]	2.56	5.11
Nv [kWh/m ² .ano]	18	18
Nvc/Nv	14%	28%
Nac [kWh/m ² .ano]		37.92
Na [kWh/m ² .ano]		38.15
Nac/Na		99%
Ntc [kWh/m ² .ano]	14.37	3.84
Nt [kWh/m ² .ano]	5.92	5.92
Ntc/Nt	243%	65%

3.5. Dispositivos de oclusão nocturna

Para este segundo caso de estudo comprova-se também a possibilidade de total cumprimento do RCCTE por intervenção ao nível de isolamento da envolvente e da transição de sistemas de resistência eléctrica para sistemas a gás natural para produção de águas quentes sanitárias.

Traçam-se de seguida cenários onde se vai mais além do estrito cumprimento do regulamento. Para tal foi adoptado o mesmo procedimento que no primeiro edifício: foi calculado o desempenho energético para a existência de dispositivos de oclusão nocturna, dando como exemplo portadas interiores de madeira que permite uma diminuição significativa do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado durante a noite.

Nos quadros seguintes são então apresentados os valores dos indicadores energéticos para este cenário.

QUADRO 36 E 37 - COMPARAÇÃO DAS NECESIDADES ENERGÉTICAS

Piso 2 – T2 – Norte/Sul

	Requisitos mínimos	Oclusão nocturna
Nic [kWh/m ² .ano]	64.97	59.34
Ni [kWh/m ² .ano]	68.10	68.10
Nic/Ni	95%	87%
Nvc [kWh/m ² .ano]	3.23	3.73
Nv [kWh/m ² .ano]	18	18
Nvc/Nv	18%	21%
Nac [kWh/m ² .ano]		29.39
Na [kWh/m ² .ano]		29.57
Nac/Na		99%
Ntc [kWh/m ² .ano]	3.2	3.15
Nt [kWh/m ² .ano]	4.77	4.77
Ntc/Nt	67%	66%

Piso 4 – T0 – Norte/Sul

	Requisitos mínimos	Oclusão nocturna
Nic [kWh/m ² .ano]	53.17	47.47
Ni [kWh/m ² .ano]	68.10	68.10
Nic/Ni	78%	70%
Nvc [kWh/m ² .ano]	5.11	5.88
Nv [kWh/m ² .ano]	18	18
Nvc/Nv	28%	33%
Nac [kWh/m ² .ano]		37.92
Na [kWh/m ² .ano]		38.15
Nac/Na		99%
Ntc [kWh/m ² .ano]	3.84	3.79
Nt [kWh/m ² .ano]	5.92	5.92
Ntc/Nt	65%	64%

3.6. Contribuição do gás natural

Neste segundo edifício constatou-se a dificuldade de cumprimento dos limites das necessidades nominais globais de energia primária sem a substituição dos sistemas de resistência eléctrica para sistemas a gás natural para produção de águas quentes sanitárias. Tal facto prende-se pela diferença existente entre os factores de conversão de energia útil para primária dos dois vectores energéticos. Por este motivo a transição par GN foi feita logo no ponto 3.4 deste capítulo.

Sendo aquele factor 3 vezes mais onerado para a electricidade (0.290 kgep/kWh) do que para o gás natural (0.086 kgep/kWh), ao optar pela não instalação de sistemas a gás natural é colocado o ónus de cumprimento no requisito das necessidades de energia primária.

3.7. Contribuição do solar térmico

Este segundo edifício carece de uma cobertura com características que lhe permita a adopção de sistemas solares activos, como são os colectores solares térmicos.

Com a água de menor área voltada a Sul, torna-se impossível a instalação daqueles equipamentos sem um impacto visual forte.

Porém, caso fosse possível a alteração da morfologia da cobertura, o que se pensa ser possível em articulação da equipa de projectistas, as condições para a instalação de painéis solares poderiam ser alcançadas.

Desta forma, foram também efectuados os cálculos relativos ao contributo solar para as águas quentes sanitárias e a sua respectiva contribuição para o desempenho a nível de necessidades de energia primária.

O processo de cálculo utilizado para dimensionamento dos painéis solares foi semelhante ao utilizado no primeiro caso base e já descrito na pág. 32 do capítulo dois do presente relatório.

Nos quadros seguintes apresentam-se os valores alcançados para as necessidades de energia para a preparação de águas quentes sanitárias e o seu reflexo nas necessidades de energia primária para as duas fracções em estudo.

Tendo em conta a menor área disponível para instalação em relação ao caso de estudo 1, e uma vez que para estes casos o RCCTE permite, no seu artigo 7º, a redução da área de colectores por forma a não ultrapassar 50% da área de cobertura disponível, foi usada a mesma área de captação que no primeiro caso de estudo. Desta forma, sendo uma das fracções estudadas de tipologia 2 (com 3 residentes) influenciou-se as necessidades energéticas para aquecimento de águas sanitárias desta fracção permitindo desta forma a comparação dos valores de N_{ac}/N_a com a outra fracção em estudo. Aquela tipologia (com 3 residentes) apresenta assim um índice N_{ac}/N_a de 72%, enquanto que a segunda fracção de tipologia 1 (com 2 residentes) apresenta um valor de 58%.

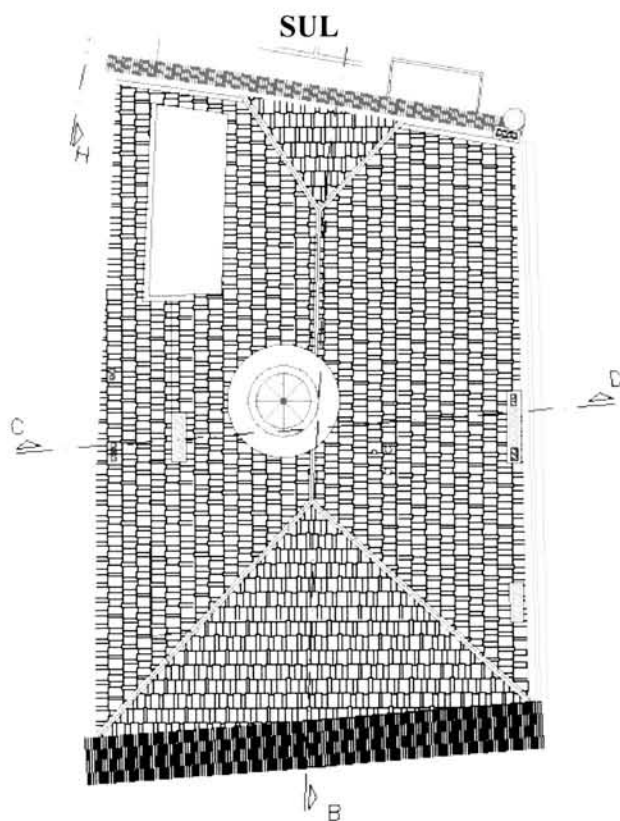


FIGURA 14 - COBERTURA DO EDIFÍCIO

QUADRO 38 E 39 - COMPARAÇÃO DAS NECESIDADES ENERGÉTICAS

Piso 2 – T2 – Norte/Sul

	Requisitos mínimos	Solar térmico
Nic [kWh/m ² .ano]	64.97	
Ni [kWh/m ² .ano]	68.10	
Nic/Ni	95%	
Nvc [kWh/m ² .ano]	3.23	
Nv [kWh/m ² .ano]	18	
Nvc/Nv	18%	
Nac [kWh/m ² .ano]	29.39	21.19
Na [kWh/m ² .ano]	29.57	29.57
Nac/Na	99%	72%
Ntc [kWh/m ² .ano]	3.20	2.50
Nt [kWh/m ² .ano]	4.77	4.77
Ntc/Nt	67%	52%

Piso 4 – T0 – Norte/Sul

	Requisitos mínimos	Solar térmico
Nic [kWh/m ² .ano]	53.17	
Ni [kWh/m ² .ano]	68.10	
Nic/Ni	78%	
Nvc [kWh/m ² .ano]	5.11	
Nv [kWh/m ² .ano]	18	
Nvc/Nv	28%	
Nac [kWh/m ² .ano]	37.92	22.05
Na [kWh/m ² .ano]	38.15	38.15
Nac/Na	99%	58%
Ntc [kWh/m ² .ano]	3.84	2.47
Nt [kWh/m ² .ano]	5.92	5.92
Ntc/Nt	65%	42%

3.7. Conjugação de intervenções

Para cada um dos cenários de eficiência expostos anteriormente resulta um contributo no sentido do melhoramento do desempenho de cada fracção. Assim, tal como no primeiro caso de estudo são apresentados de seguida os indicadores de cumprimento do RCCTE para um cenário onde estão presentes todas as medidas anteriormente estudadas (índices de condutibilidade térmica de 0.68 W/m²°C para a envolvente do edifício, transição de sistemas eléctricos para sistemas a gás natural para produção de águas quentes sanitárias, dispositivos de oclusão nocturna e ainda a existência de colectores solares térmicos). Apresentam-se nos quadros seguintes os valores das necessidades energéticas para este último cenário.

QUADRO 40 – INDICADORES DE NECESSIDADES ENERGÉTICAS PARA O CENÁRIO DE CONJUGAÇÃO DE INTERVENÇÕES

Nic – Necessidades de aquecimento

Fracção	Nic [kWh/m ² .ano]	Ni [kWh/m ² .ano]	Nic/Ni
Piso 2 – T2 – Norte/Sul	59.34	68.1	87%
Piso 4 – T0 – Norte /Sul	47.47	68.1	70%

Nvc – Necessidades de arrefecimento

Fracção	Nvc [kWh/m ² .ano]	Nv [kWh/m ² .ano]	Nvc/Nv
Piso 2 – T2 – Norte/Sul	3.73	18	21%
Piso 4 – T0 – Norte /sul	5.88	18	33%

Nac – Águas quentes sanitárias

Fracção	Nac [kWh/m ² .ano]	Na [kWh/m ² .ano]	Nac/Na
Piso 2 – T2 – Norte/Sul	21.19	29.57	72%
Piso 4 – T0 – Norte /sul	22.05	38.15	58%

Ntc – Energia primária

Fracção	Ntc [kgep/m ² .ano]	Nt [kgep/m ² .ano]	Ntc/Nt
Piso 2 – T2 – Norte/Sul	2.44	4.77	51%
Piso 4 – T0 – Norte /sul	2.42	5.92	41%

Finalizada a análise face ao RCCTE deste segundo edifício, representados nas colunas, sistematizam-se nos quadros que se seguem os requisitos a que têm de cumprir as duas fracções perante este regulamento. A linha sombreada representa a condição em que foram satisfeitos todos os requisitos do regulamento, ao que se seguem as linhas correspondentes a intervenções que ultrapassam o estrito cumprimento do RCCTE.

QUADRO 41 E 42 – COMPARAÇÃO DO REQUIITOS DO RCCTE

Fracção 1 – Piso 2 – T2 – Norte/Sul	$U_{\text{envolvente}}$	g	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt
Situação actual	2.34	0.37	154%	7%	99%	259%
Requisitos mínimos	1.60	0.37	128%	17%	99%	246%
Cumprimento regulamentar	0.68	0.37	95%	18%	99%	67%
Dispositivos de oclusão nocturna	0.68	0.37	87%	21%	99%	66%
Solar térmico	0.68	0.37	95%	18%	72%	52%
Conjugação das três últimas	0.68	0.37	87%	21%	72%	51%
Fracção 2 – Piso 4 – T0 – Norte/Sul	$U_{\text{envolvente}}$	g	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt
Situação actual	2.34	0.37	135%	14%	99%	243%
Requisitos mínimos	1.60	0.37	131%	28%	99%	241%
Cumprimento regulamentar	0.68	0.37	78%	28%	99%	65%
Dispositivos de oclusão nocturna	0.68	0.37	70%	33%	99%	64%
Solar térmico	0.68	0.37	78%	28%	58%	42%
Conjugação das três últimas	0.68	0.37	70%	33%	58%	41%

Como complemento aos quadros anteriores são apresentados em forma gráfica os 4 indicadores de desempenho energético para as fracções em análise e para cada um dos cenários implementados durante a análise. Quando comparados com os homólogos do primeiro caso de estudo, verifica-se que a linha que representa o limite máximo para o cumprimento do RCCTE é, neste segundo edifício, largamente ultrapassada pela coluna das necessidades de energia primária. Este facto é justificado, como anteriormente se expôs, pela opção do dono de obra na instalação de sistemas de resistência eléctrica para produção de águas quentes sanitárias.

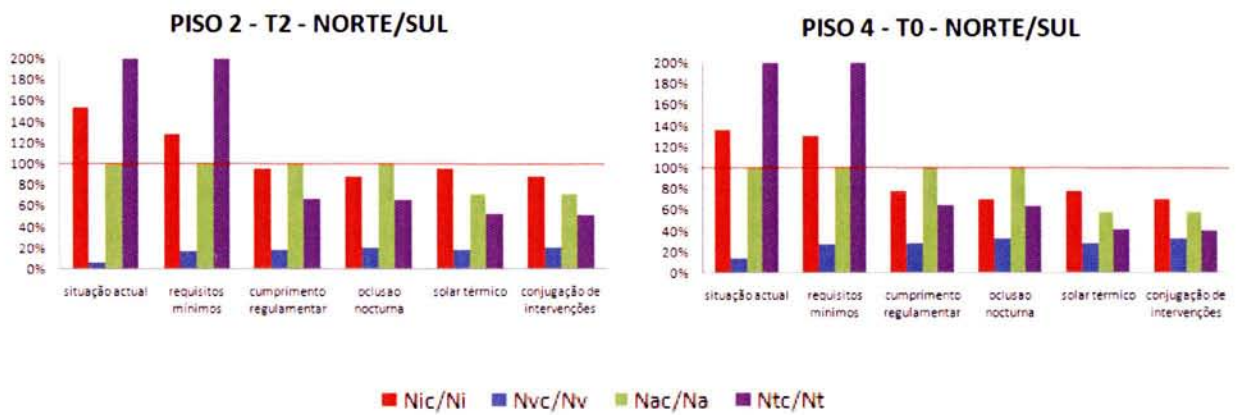


FIGURA 15 - GRÁFICOS COMPARATIVOS DOS INDICADORES ENERGÉTICOS

4. ANÁLISE DE RESULTADOS E CONCLUSÕES

O quadro 43, complementado pela figura 16, apresenta, como forma de síntese as comparações entre o desempenho ao nível das necessidades de energia, e faz a tradução para a sua classe energética, conforme se apresentam actualmente e conforme o seu desempenho caso as medidas abordadas neste trabalho tivessem sido implementadas. Chama-se ainda à atenção, como atrás foi explicitado, que pelo facto de o índice N_{tc}/N_t não ultrapassar o valor dos 100% não implica necessariamente o cumprimento do RCCTE, uma vez que são impostos requisitos mínimos para a qualidade térmica da envolvente dos edifícios (coeficientes de transmissão térmica da envolvente e factores solares para os envidraçados).

Contrariando a ideia generalizada da dificuldade ou mesmo impossibilidade do cumprimento do RCCTE na reabilitação de edifícios históricos, este estudo demonstra não só a tendência de possibilidade de cumprimento dos requisitos mínimos dispostos no regulamento, com recurso a processos que em pouco oneram a intervenção de requalificação, como também a possibilidade de alcançarem desempenhos energéticos exemplares.

Das seis fracções analisadas todas, com uma excepção, conseguem atingir a classe energética 'A', mesmo em condições solares desvantajosas, como é o caso de fracções voltadas a Norte. De facto, a diminuição do coeficiente de transmissão térmica da envolvente, por adopção de espessuras de isolamento superiores, revelou-se o processo mais eficaz na redução das necessidades de aquecimento, tendo uma das fracções conseguido atingir um coeficiente N_{ic}/N_i de 56%. Naturalmente, este abatimento reflecte-se nas necessidades de energia primária onde se conseguiu reduções na ordem dos 40 %.

Dos projectos analisados observam-se alguns potenciais pontos de conflito com o RCCTE, que caso não tenham a merecida atenção por parte da equipa projectista, poderão resultar em incumprimento do regulamento. A saber:

- a) Ausência ou reduzido isolamento térmico das paredes de granito, não cumprindo portanto o requisito mínimo relativo ao U máximo para a qualidade térmica da envolvente dos edifícios.
- b) Uso generalizado de gesso cartonado, penalizando dessa forma a inércia térmica do edifício.
- c) Ausência de dispositivos de oclusão nocturna, que apesar de não serem obrigatórios pelo RCCTE, melhoram consideravelmente o desempenho energético do edifício na estação de aquecimento.
- d) Utilização de sistemas de resistência eléctrica para produção de águas quentes sanitárias, que oneram de forma excessiva as necessidades de energia primária.

- e) Não previsão de sistemas solares térmicos, para produção de águas quentes sanitárias, quando se constata uma exposição solar adequada (ainda que aqui, em zonas históricas, se possam admitir algumas isenções justificadas).

QUADRO 43 – COMPARAÇÃO SÍNTESE DAS NECESSIDADES ENERGÉTICAS DE TODOS OS CENÁRIOS ABORDADOS

		FRACÇÃO 1	FRACÇÃO 2	FRACÇÃO 3	FRACÇÃO 4	FRACÇÃO 5	FRACÇÃO 6
Caso Base	Nic/Ni	181 %	123 %	125 %	94 %	154 %	135 %
	Nvc/Nv	45 %	94 %	42 %	71 %	7 %	14 %
	Nac/Na	99 %	99 %	99 %	99 %	99 %	99 %
	Ntc/Nt	77 %	70 %	71 %	68 %	259 %	243 %
	Classe	-	-	-	B	-	-
Caso Base + Req. Mínimos	Nic/Ni	165 %	108 %	125 %	94 %	128 %	131 %
	Nvc/Nv	28 %	69 %	42 %	71 %	17 %	28 %
	Nac/Na	99 %	99 %	99 %	99 %	99 %	99 %
	Ntc/Nt	75 %	68 %	71 %	68 %	246 %	241 %
	Classe	-	-	-	B	-	-
Caso Base + Req. Mín. + Req. Energéticos	Nic/Ni	100 %	82 %	99 %	68 %	95 %	78 %
	Nvc/Nv	28 %	58 %	42 %	71 %	18 %	28 %
	Nac/Na	99 %	99 %	99 %	99 %	99 %	99 %
	Ntc/Nt	67 %	65 %	68 %	65 %	67 %	65 %
	Classe	B	B	B	B	B	B
Caso Base + Req. Mín. + Req. Energéticos + oclusão nocturna	Nic/Ni	85 %	72 %	84 %	56 %	87 %	70 %
	Nvc/Nv	35 %	66 %	54 %	85 %	21 %	33 %
	Nac/Na	99 %	99 %	99 %	99 %	99 %	99 %
	Ntc/Nt	66 %	65 %	66 %	64 %	66 %	64 %
	Classe	B	B	B	B	B	B
Caso Base + Req. Mín. + Req. Energéticos + solar térmico	Nic/Ni	100 %	82 %	99 %	68 %	95 %	78 %
	Nvc/Nv	28 %	58 %	42 %	71 %	18 %	28 %
	Nac/Na	58 %	58 %	58 %	58 %	72 %	58 %
	Ntc/Nt	44 %	42 %	45 %	41 %	52 %	42 %
	Classe	A	A	A	A	B	A
Conjugação das 2 últimas	Nic/Ni	85 %	72 %	84 %	56 %	87 %	70 %
	Nvc/Nv	35 %	66 %	54 %	85 %	21 %	33 %
	Nac/Na	58 %	58 %	58 %	58 %	72 %	58 %
	Ntc/Nt	43 %	41 %	43 %	40 %	51 %	41 %
	Classe	A	A	A	A	B	A

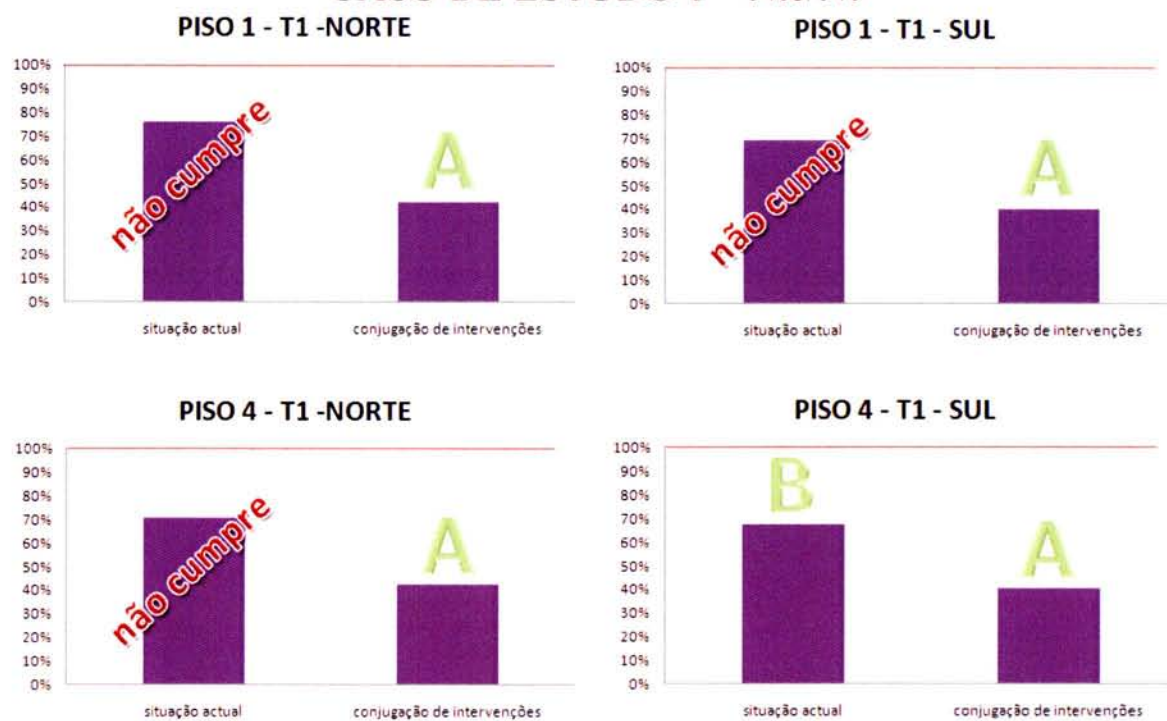
Das medidas consideradas no presente trabalho, o cuidado com o isolamento térmico, optando por espessuras superiores de isolante leve, representa a ‘chave’ para o cumprimento do RCCTE conseguindo que a eficiência energética dos edifícios existentes nas zonas históricas atinja o estado de cumprimento regulamentar. Será oportuno também salientar o já cumprimento do RCCTE de uma das fracções analisadas, antes mesmo de ter sido abordada por intervenções de ‘upgrade’.

Os dispositivos de oclusão nocturna (ausente em qualquer um dos cadernos de encargos analisados) revelaram-se também como meios eficazes para a redução das necessidades de aquecimento. Funcionando como elementos atenuantes da perda de calor do interior das habitações pelos vãos envidraçados no período nocturno, conseguem uma redução de entre 10 a 25 % do coeficiente N_{ic}/N_i .

Observou-se também que as fracções que funcionam com equipamento eléctrico para fins de calor ficam praticamente impedidas do cumprimento do regulamento pela pesada contribuição daquele vector na conversão de energia final para energia primária.

Tendo em conta o pressuposto do forte impacto visual das instalações de colectores solares térmicos nas coberturas do casario da Zona Histórica do Porto, os resultados alcançados comprovam a possibilidade de cumprimento do RCCTE sem recurso aos colectores. Porém, a implementação desta tecnologia, consegue um ‘upgrade’ das classes energéticas mínimas admissíveis pelo RCCTE (B’ e B) para a classe energética superior ‘A, representando uma redução do índice N_{tc}/N_t em cerca de 40%. Face a este valor concluí-se também que a utilização de colectores solares térmicos é uma das chaves de maior relevância no processo de alcance de bons desempenhos energéticos neste tipo de edifícios.

CASO DE ESTUDO 1 – Ntc/Nt



CASO DE ESTUDO 2 – Ntc/Nt

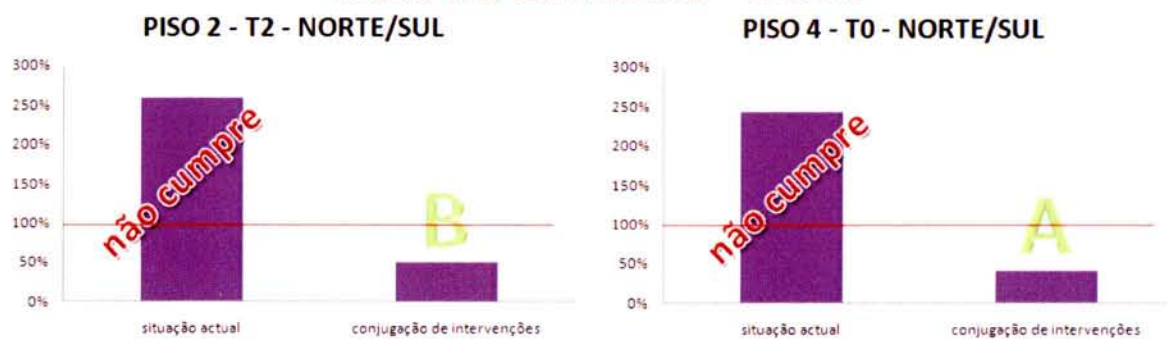


FIGURA 16 - VALORES DE NTC/NT PARA ANTES E DEPOIS DAS INTERVENÇÕES ESTUDADAS

5. REFERÊNCIAS

ADENE – *Manual de procedimentos para entidades licenciadoras*. ADENE, Agência para a Energia, 2007.

Gonçalves, Helder; Graça, João – *Conceitos Bicromáticos para os Edifícios em Portugal*. INETI, Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, 2004

Gonçalves, Helder; Maldonado, Eduardo – *Manual de apoio à aplicação do RCCTE*. INETI, Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, 2007.

Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril.

Pina dos Santos, Carlos; Matias, Luís - *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.

ANEXOS

As folhas de cálculo em EXCEL são disponibilizadas em CD.





Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL
www.fe.up.pt



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000100262