

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÓMICA DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS PASSIVAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM EDIFÍCIO

Carlos António Barracho Veiga

Relatório Final do Projecto apresentado à
Escola Superior de Tecnologia e de Gestão
Instituto Politécnico de Bragança

Para obtenção do grau de Mestre em
Energias Renováveis e Eficiência Energética

Orientador:

Prof. Doutor Luís Frólén Ribeiro

Agosto de 2011

RESUMO

Pretende-se avaliar o comportamento térmico de um edifício antigo, situado no concelho de Alijó, em plena Região Demarcada do Douro, em condições de utilização de Inverno e Verão, recorrendo a métodos de análise estática e dinâmica utilizando o programa de cálculo *EnergyPlus* e o programa regulamentar do RCCTE. Foram comparados os resultados e identificadas as medidas de reabilitação térmica adequadas ao seu estado actual.

Verificou-se que entre Novembro e Março, existe necessidade de aquecimento e entre Maio a Outubro, existe necessidade de arrefecimento.

Analisaram-se os resultados obtidos por ambas as metodologias, e verificou-se que as necessidades energéticas apresentadas pelo edifício para aquecimento e arrefecimento do espaço interior são menores quando da abordagem pelo *Energy Plus*. Estas diferenças são, sensivelmente, de 1.628kWh e 3.116kWh, para os períodos de Inverno e Verão respectivamente.

Para satisfazer todos os requisitos mínimos, impostos pela regulamentação actual (RCCTE), implementaram-se medidas de eficiência energética (nas envolventes exterior opaca e vãos envidraçados) com vista a melhorar o seu comportamento térmico.

O Energy Plus, refez os cálculos já com as medidas de eficiência energética implementadas, verificando-se valores próximos dos apresentados para as soluções construtivas actuais. Isto é resultado da aplicação do isolamento térmico pelo interior melhorando a resistência térmica da envolvente e proporcionando assim uma diminuição da inércia.

Verifica-se que, para a estação de Verão, o piso que mais beneficiou da reabilitação realizada foi o 1 (baixou de 3.275kWh para 2619 kWh), enquanto que no Inverno, se verificou uma redução das necessidades de energia para aquecimento de 50% .

As soluções do investimento importam em 80.934€, com um retorno de 9% em 11 anos.

ABSTRACT

The intention is to evaluate the thermal behaviour of an old building, located in the county of Alijó, in the middle of the region distinguished by the Douro River, in conditions for use during winter and summer, using the methods of static and dynamic analysis use with the calculating program *EnergyPlus* and the regulatory program of the RCCTE. The results were compared and the appropriate thermal measures rehabilitated to their current state.

It has been found that between November and March, there exists a necessity of heating, and between May and October, there exists a necessity of cooling.

The results obtained from both methodologies were analyzed, and it has been verified that the energy needs presented by the building by heating and cooling of the interior space are lower through the use of *Energy Plus*. These differences are, roughly, between 1.628kWh and 3.116kWh; for the periods of winter and summer respectively.

To satisfy all the minimum requisites, taxes from the current regulations (RCCTE), implement measures of energy efficiency (in the surrounding exterior opaque and glazed openings) with the objective of improving thermal behaviour.

Energy Plus, re-made the calculations prepared with the values of energy efficiency implemented, verifying values near to those presented for the actual constructive solutions. This is the result of the application of the improvement of the interior thermal insulations resistance to its surroundings and this provides a reduced inertia.

It has been verified that, for the summer, the floor that benefited most from the rehabilitation was the first floor (lowered from 3.275kWh to 2619kWh), whilst in the winter, it has been verified a reduction in the necessities of energy for heating by 50% .

The solutions of the investment import with 80.934€, with a return of 9% in eleven years.

AGRADECIMENTOS

A minha primeira palavra de agradecimento vai para a minha esposa e filhos por todo o apoio que me deram e por sempre terem acreditado no meu trabalho.

Ao meu Orientador, Professor Doutor Luís Frólén Ribeiro, por todo o apoio prestado e sem o qual não teria sido possível a realização deste trabalho.

Ao professor Pedro Oliveira pela disponibilidade que sempre demonstrou para me ajudar.

Aos meus colegas e amigos por estarem presentes, por me darem um ombro ou uma mão, pelo carinho e apoio que recebi.

À memória dos meus pais, que desde sempre me transmitiram valores e princípios que me ajudam na realização dos meus sonhos, o meu reconhecimento e saudade...

INDICE GERAL

RESUMO.....	I
ABSTRACT	II
AGRADECIMENTOS.....	III
INDICE GERAL.....	IV
Figuras.....	VI
Quadros.....	VII
Nomenclatura.....	VIII
1.INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento do Tema.....	1
1.2 Objectivos.....	2
1.3 Plano de Trabalhos.....	2
2. O CASO DE ESTUDO.....	4
2.1 Considerações Gerais.....	4
2.1.1 A Necessidade de Reabilitar.....	4
2.1.2 A Importância do RCCTE.....	5
2.2 O Caso de Estudo	6
2.2.2 Descrição do edifício em Estudo.....	6
3. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS.....	11
3.1 Introdução à Análise estática e Dinâmica.....	11
3.1.1 Introdução.....	11
3.1.2 Análise pelo RCCTE.....	11
3.1.3 Descrição do Energy Plus.....	16
3.2 As Vantagens do uso do Energy plus Enquanto Ferramenta de Análise Dinâmica.....	19
3.2.1 Ventilação.....	20
3.2.2 Ganhos Internos.....	21
3.2.3 Ganhos Solares.....	22
3.2.4 Trocas de Calor pelas Envolventes.....	22
3.3 Outros Pressupostos.....	22

4. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO	
PARA AS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS.....	24
4.1 Temperatura Interior.....	24
4.2 Análise dos Resultados Fornecidos pelo Energy Plus para a Estação de Aquecimento (Inverno).....	25
4.3 Análise dos resultados Fornecidos pelo Energy Plus para a estação de Arrefecimento (Verão).....	26
4.4 Comparação entre os Resultados obtidos pelo Energy Plus e pelo RCCTE....	28
5. REABILITAÇÃO TÉRMICA.....	31
5.1 Solução de Reabilitação Adoptada.....	31
6. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO APÓS REABILITAÇÃO.....	33
6.1 Evolução das Necessidades Energéticas após Reabilitação na estação de Arrefecimento (Verão) – Estratégia A.....	33
7. ESTIMATIVA DE CUSTOS.....	36
7.1 Reabilitação Térmica.....	40
7.2 Rentabilidade da Reabilitação Térmica.....	42
8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	44
8.1 Trabalhos Futuros.....	47
9. CONCLUSÕES.....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Vista Geral da Quinta, com Indicação do Caso de estudo.....	6
Figura 2.2 – Caso de estudo.....	7
Figura 2.3 – Paredes Exteriores.....	7
Figura 2.4 – Vista do Piso Térreo, das Paredes e do Piso do Andar.....	8
Figura 3.1 – Diagrama de Funcionamento do RCCTE.....	12
Figura 3.2 – Introdução de Danos no Energy Plus.....	16
Figura 3.3 – Diagrama funcional do Energy Plus.....	17
Figura 3.4 – Definição de Zonas no Energy Plus.....	18
Figura 3.5 – Apresentação de Resultados no Energy Plus.....	19
Figura 3.6 – Introdução de Dados de actividade no Energy Plus.....	21
Figura 4.1 – Evolução da Temperatura Mádia Anual.....	24
Figura 4.2 – Comparação dos Valores das Perdas e Ganhos no Inverno, antes da Reabilitação.....	28
Figura 4.3 - Comparação dos Valores das Perdas e Ganhos no Verão, antes da Reabilitação.....	28
Figura 9.1 - Comparação dos Valores das Perdas e Ganhos antes e após a Reabilitação, durante o Período de Inverno.....	46
Figura 9.2 - Comparação dos Valores das Perdas e Ganhos antes e após a Reabilitação, durante o Período de Verão.....	46

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Coeficientes de Transmissão Térmica Regulamentar.....	9
Quadro 2.2 – Caracterização da Envolvente Construtiva.....	10
Quadro 3.1 – Aspectos Positivos e Negativos do Ponto de Vista Térmico Do Edifício.....	14
Quadro 3.2 – Necessidades Energéticas Obtidas com Aplicação do RCCTE.....	15
Quadro 3.3 – Percentagens Relativas à Actividade das Portadas.....	23
Quadro 4.1 – Valores das Perdas e Ganhos durante o Inverno.....	25
Quadro 4.2 – Valores das Perdas e Ganhos durante o Verão.....	27
Quadro 6.1 – Perdas e Ganhos Obtidos durante o Inverno, após Reabilitação.....	33
Quadro 6.2 – Perdas e Ganhos Obtidos durante o Verão, após Reabilitação.....	34
Quadro 7.1 – Estados de Degradação Física a Considerar para o edifício.....	36
Quadro 7.2 – Justificação da Avaliação Atribuída.....	37
Quadro 7.3 – Percentagem de Degradação Física do Edifício.....	38
Quadro 7.4 – Estrutura de Custos para o Edifício em estudo.....	39
Quadro 7.5 – Custo da Reabilitação Global do Edifício.....	40
Quadro 7.6 – Custo por Metro Quadrado da Reabilitação dos Elementos da Envolvente.....	41
Quadro 7.7 – Custo Total da Reabilitação Térmica.....	41
Quadro 7.8 – Custo da Reabilitação Térmica.....	41
Quadro 7.9 – Custo das Necessidades de Aquecimento e Arrefecimento antes da Reabilitação.....	42
Quadro 7.10 - Custo das Necessidades de Aquecimento e Arrefecimento depois da Reabilitação.....	42
Quadro 7.11 – Cálculo do Tempo de Retorno do Investimento.....	42

ANEXOS

ANEXO I - Planta de implantação.....	50
ANEXO II - Planta do Rés do Chão.....	51
ANEXO III - Planta do Andar.....	52
ANEXO IV – Cálculo de análise de Projecto antes da reabilitação (D.L. 80/06).....	53
ANEXO V - Orçamento de fornecimento e aplicação de Pladur.....	54

NOMENCLATURA

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

BCSD – Conselho Empresarial Desenvolvimento Sustentável

CAD – Computer-Aided Design

CEE – Comunidade Económica Europeia

EDP – Energia de Portugal

EPS – Expandable Polystrene

ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems

INE – Instituto Nacional de Estatística

CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO:

1.1 Enquadramento do Tema

A União Europeia (UE-27) importa 53% da energia que consome e as previsões apontam para o aumento desta dependência, causada pela elevada ineficiência no uso da energia (Eurostat, 2008). Segundo dados do Eurostat, Portugal apresentou em 2006 uma dependência energética extrema de 83%, quando comparado com outros países da UE, chegando a atingir 87% no ano de 2005. Neste mesmo ano, o Eurostat revelou que a intensidade energética portuguesa foi superior à média da UE dos 25 países em 17,8% e superior em 30,6% à dos 15 países mais desenvolvidos.

“Contudo, a actividade económica em Portugal tem desacelerado desde finais de 2007, impulsionada pelo fraco investimento e diminuição das exportações, justificados pela estagnação da procura. A frágil situação financeira global torna a economia portuguesa particularmente sensível a este cenário” (Comissão Europeia, Interim Forecast, 2009).

“É desejável que o sector da construção assuma um papel fundamental no desenvolvimento sustentável da economia nacional e assim, o desempenho energético dos edifícios torna-se um alvo de análise e de intervenção prioritário. A importância do sector da construção na economia nacional é também evidenciada pelo peso que representa no PIB, correspondente a 16,2%” (Euroconstruct, 2008). A reabilitação do parque edificado existente tem potencial para se tornar um dos grandes dinamizadores da economia.

A reabilitação do parque edificado já existente constitui uma via privilegiada para atingir os objectivos de sustentabilidade, baseados na definição de um limite de exploração de recursos. *“Como alternativa à construção nova, evita a ocupação de território, o consumo desnecessário de recursos, a produção em larga escala de resíduos e efluentes, bem como a alteração de ecossistemas naturais. Em complemento, aumenta a vida útil dos edifícios, rentabilizando os recursos já aplicados” (Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 2007),* e representa uma oportunidade para a integração de estratégias de eficiência energética nos edifícios.

A evidência de que o investimento inicial de uma reabilitação é recuperável num período de tempo relativamente curto, considerando o tempo de vida útil de um edifício, será também um dos fundamentos para a sua concretização. Outros, como a redução do

impacte do consumo energético dos edifícios sobre o ambiente, a melhoria da qualidade do ar interior dos edifícios e consequente melhoria da saúde dos seus ocupantes, serão aqueles que mais dificilmente estarão na base duma decisão deste tipo, visto a sua tradução monetária ser de mais difícil apreensão pelo utilizador do edifício ou pelo investidor.

1.2. Objectivos

O objectivo principal deste trabalho é avaliar o comportamento térmico de um edifício antigo em condições de utilização de Inverno e Verão, de modo a poder identificar medidas de reabilitação térmica adequadas ao seu estado actual. Para tal, recorre-se ao regime estático é baseada na metodologia indicada no RCCTE [1], para efeitos de avaliação do comportamento térmico em regime dinâmico recorre-se ao software *Energy Plus* [2].

Os resultados obtidos pelos dois métodos de análise, do ponto de vista das necessidades energéticas associadas às várias zonas em estudo, são comparados entre si, e as diferenças devidamente justificadas e comentadas.

O trabalho visa ainda a análise da viabilidade económica das medidas adoptadas tendo em conta o período de investimento associado.

1.3 – Plano de Trabalho

Com vista a facilitar a compreensão dos resultados obtidos na elaboração do projecto é apresentada em primeiro lugar alguma teoria relacionada com a temática da térmica dos edifícios. De seguida, são analisados e comentados os resultados obtidos do estudo feito ao edifício em causa.

Deste modo, o presente trabalho divide-se em 8 capítulos de acordo com a descrição que se apresenta de seguida:

O primeiro capítulo corresponde à introdução do trabalho, referenciando a motivação e enquadramento do tema, os objectivos e o plano de trabalho.

O segundo capítulo é dedicado à descrição do edifício em estudo, do ponto de vista arquitectónico e das alterações construtivas verificadas desde a data de construção até aos dias de hoje. Este capítulo realça ainda a importância da regulamentação térmica na melhoria da qualidade e conforto térmico dos edifícios.

O terceiro capítulo referencia os fenómenos de transferência de calor que se verificam no campo da engenharia civil e descreve os dois métodos de análise utilizados para a elaboração do estudo ao comportamento térmico do edifício. Nele é apresentada uma descrição sintética do programa utilizado para efeitos da análise do comportamento em regime dinâmico, *Energy Plus*, realçando os grupos e campos utilizados para a elaboração deste trabalho.

Neste capítulo encontram-se ainda indicados os pressupostos considerados aquando da análise dinâmica, com recurso ao *Energy Plus*.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos pelas duas fontes adoptadas, o RCCTE e o *Energy Plus*, para efeitos da análise ao comportamento térmico do edifício estudado, para as soluções construtivas actuais.

O quinto capítulo descreve diferentes soluções de reabilitação térmica possíveis a aplicar em edifícios.

O sexto capítulo apresenta os resultados obtidos pelos dois métodos de análise do comportamento térmico do edifício, após a sua reabilitação. Neste capítulo é ainda adoptada uma estratégia ao nível da infiltração do ar de forma a reduzir as necessidades energéticas do edifício a analisar.

O sétimo capítulo consta de uma estimativa de custo da reabilitação global e reabilitação térmica do edifício, indicando o ano a partir do qual se verifica a rentabilização do investimento feito.

O oitavo capítulo tem a ver com a discussão dos resultados obtidos.

Por último, o nono capítulo corresponde às conclusões obtidas da realização do trabalho.

CAPITULO 2 – O CASO DE ESTUDO

2.1 – Considerações Gerais

2.1.1 – A Necessidade de Reabilitar

Em virtude do presente trabalho abordar a reabilitação, é importante começar por definir o seu significado.

Reabilitar um edifício significa aumentar os seus padrões de qualidade. A importância de reabilitar é evidente na medida em que só assim se consegue melhorar a qualidade e desacentuar a degradação contínua do património edificado.

Reabilitar não significa conservar e restaurar. O termo conservar significa preservar, sem refazer nem modificar o que existe, de modo a que o seu tempo de vida útil possa ser prolongado por mais tempo, mantendo-se a originalidade do mesmo. Refere-se fundamentalmente a edifícios históricos. Por outro lado, restaurar consiste em fazer algo que já não existe, pelo que é um conceito com pouca utilização no património imóvel.

De acordo com o *BCSD Portugal, (Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável, é uma associação sem fins lucrativos que objectiva promover nas empresas a eco-eficiência, a inovação e a responsabilidade social)*, a percentagem de reabilitação em Portugal é inferior a 10% do sector da engenharia civil, ao passo que nos restantes países europeus o investimento em reabilitação ronda os 40 ou 50% [3]. Apesar destes dados serem meramente estatísticos, demonstram, de modo claro, a existência de um desnível muito grande na aplicação da reabilitação nos edifícios em Portugal comparativamente com a restante Europa. Há, portanto, uma necessidade de evoluir no sentido de poder contrariar a estatística e tornar-nos num país mais moderno, com ideias e um sector de construção mais abrangente.

Dados obtidos na *Energy Bus (A Energy Bus pertence à comunidade ECO, da EDP e consiste num programa de promoção da eficiência energética. A Energy Bus percorre o país com a finalidade de sensibilizar a população para a problemática energética existente)*, indicam que 22% do consumo global de energia em Portugal está ao cargo dos serviços e das habitações, estando este valor sujeito a um aumento constante ao longo dos anos. Segundo a mesma fonte, a incorporação de medidas de eficiência energética ao nível da concepção e exploração dos edifícios é fundamental

para reduzir as suas necessidades energéticas futuras durante o seu tempo de vida útil [2].

No entanto, quando se pretende realizar uma reabilitação térmica num edifício, há que conhecer diversos aspectos relacionados com o mesmo, tais como a sua idade e as tipologias construtivas existentes, de forma a conhecer à partida qual o desempenho térmico do edifício e que tipo de intervenção poderá ser feita para melhorar o seu comportamento.

De acordo com o INE, são cerca de 80% os edifícios em Portugal construídos antes da entrada em vigor do primeiro regulamento térmico, o que prevê a existência de um vasto património com deficiente qualidade térmica .

Reabilitar termicamente torna-se necessário quando se pretende melhorar as condições ambientais interiores, reduzir os consumos de energia e corrigir situações anómalas previamente identificadas.

Há, portanto, que analisar e estudar bem o edifício de forma a saber se as suas características térmicas são, ou não, as mais adequadas.

2.1.2 – A Importância do RCCTE

Com o aparecimento da actual versão do RCCTE, a construção em Portugal melhorou significativamente.

As paredes da envolvente dos edifícios começaram a ser incorporadas por isolamento térmico, permitindo assim que as variações de temperatura exteriores tivessem um menor impacto no interior das habitações. Esta mudança no processo construtivo visou refrear o uso exagerado de equipamentos artificiais para aquecimento e arrefecimento.

O actual RCCTE sujeitou muitos dos edifícios existentes a processos de requalificação e reabilitação.

Actualmente, a regulamentação térmica ganha uma enorme importância nos campos da construção e reabilitação de edifícios, tornando-se deste modo uma mais-valia na melhoria do conforto térmico interior dos edificados.

No caso de reabilitação, se o custo da intervenção for superior a 25% do custo do edifício, o regulamento obriga ao seu cumprimento. Todavia, monumentos e edifícios classificados e com valor histórico sujeitos a intervenção, não necessitam de

cumprir o regulamento, independentemente do custo de intervenção relativamente ao do edifício.

2.2 – O Caso em Estudo

2.2.2 – Descrição do edifício em estudo

Apesar do edifício ter sido construído para fins de habitação, está prevista a utilização do seu espaço para hotel. No que respeita à sua tipologia, o edifício encontra-se agrupado no grupo de edifícios das quintas da região do Douro.



Figura 2.1 – Vista geral da quinta, com conjunto de edifícios, através do Google Earth.

Presume-se que o edifício tenha sido construído entre o fim do Século XIV e o início do Século XX sem nunca ter sofrido alterações profundas a nível estrutural.

É um edifício inserido num conjunto de pequenas casas que outrora se destinavam à habitação dos trabalhadores e a armazéns, e que agora se pretendem para pequenas habitações destinadas a turismo.

Como todas estas quintas dispõem de uma “casa grande”, vulgarmente designada por “*casa-mãe*”, onde residia o dono da quinta, é esta casa que vai servir de “*caso de estudo*”.



Figura 2.2 – Caso de estudo.

Principiando a análise da caracterização da envolvente pelas paredes de fachada que se distinguem por respeitar a construção tradicional da época, porque são constituídas em granito de 35cm de espessura, onde se aplica posteriormente uma camada de reboco tradicional de ambos os lados.

Portanto, averigua-se deste modo que estas paredes não usufruem de qualquer tipo de isolamento térmico, tirando partido apenas da forte inércia devido à elevada espessura destas.



Figura 2.3 – Espessura das paredes exteriores.

As paredes de compartimentação são constituídas por tábuas de madeira ao alto revestidas com um fasquiado de madeira, por fim rebocadas com argamassa de cal.



Figura 2.4 – Vista do piso térreo, das paredes e do piso do andar

No que respeita ao seu carácter construtivo e a sua implicação na totalidade da parede exterior, funcionam como pontes térmicas planas, através das quais se verifica uma maior dissipação do calor. De referir que existe todo o interesse em anular estas fontes que facilitam a transmissão de calor.

O pavimento do piso térreo é em betão, e o piso superior é constituído por tábuas de soalho, compostas por tábuas de pinho, sobre um vigamento interligado à estrutura principal.

O tipo de cobertura utilizada na presente época caracteriza-se por ser constituída por uma estrutura de madeira coberta por telha.

As infiltrações associadas ao sector construtivo são muito importantes estando intrinsecamente relacionadas com frinchas e fissuras tanto pela caixilharia, portas ou até paredes.

Apresenta-se de seguida um quadro onde se ilustra resumidamente a caracterização do sector relativo à envolvente opaca do presente caso de estudo, e onde

se pode igualmente comparar os valores do coeficiente de transmissão térmica máximos impostos pelo actual regulamento, RCCTE, apenas para servir de termo de comparação.

Quadro 2.1 - Quadro IX.1 do D.L. 80/2006 de 4 de Abril.

Coefficientes de transmissão térmica superficiais, máximos admissíveis de elementos opacos

U (W/m².°C)

Elementos da envolvente	Zonas Climáticas (*)		
	I ₁	I ₂	I ₃
Elementos exteriores em zona corrente (**)			
Zonas opacas verticais	1,80	1,60	1,45
Zonas opacas horizontais	1,25	1,00	0,90
Elementos interiores em zona corrente (***)			
Zonas opacas verticais	2,00	2,00	1,90
Zonas opacas horizontais	1,65	1,30	1,20

(*) V. Anexo III

(**) Incluindo elementos interiores em situações em que $\tau > 0,7$

(***) Para outros edifícios e zonas anexas não úteis

O quadro 2.1, ilustra resumidamente a caracterização da envolvente opaca do presente caso de estudo.

Observando o quadro 2.2 que resume as características técnicas construtivas do edifício quando enquadrado com a legislação em vigor conclui-se que as paredes exteriores, interiores e ainda os vãos não cumpriam a norma.

Quadro 2.2 – Descrição da envolvente construtiva [5]

Tipo de Envolvente	Designação	Classe de Inércia térmica	U [W/m2.°C]
Paredes Exteriores	Alvenaria de pedra, rebocada dos dois lados	Inércia térmica forte (ITE50)	2,86
Paredes Interiores (Pisos 0 e 1)	Tabique	Inercia térmica fraca (ITE50)	1,4
Piso 1 / Tecto	Tábuas de soalho sobre vigamento de madeira	Inércia térmica fraca (L.Atalaia(2008))	1,19
Piso 0	Betão	Inércia térmica forte (ITE50)	0,88
Cobertura	Telha de barro vermelha assente sobre estrutura de madeira	Inércia térmica fraca (E+: Portugal pitched roof heavy height)	1
Vãos	Janela simples em madeira, com vidro simples de 6mm com postadas interiores em madeira.	(E+: Single Clear 6mm)	6,12

CAPITULO 3 – ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS

3.1 – Introdução à Análise estática e Dinâmica

3.1.1 – Introdução

Na realização deste trabalho foram empregadas duas ferramentas para o estudo do comportamento térmico do edifício. Uma das ferramentas utilizadas foi o RCCTE, que possibilitou o cálculo das necessidades energéticas do edifício em períodos de aquecimento e arrefecimento, recorrendo a uma análise de comportamento térmico do tipo “estática”. O objectivo desta abordagem consistiu em analisar o edifício à luz da regulamentação actualmente em vigor de modo a poder avaliar a necessidade de intervenção do ponto de vista da reabilitação.

A outra ferramenta utilizada foi o programa *Energy Plus* [3]. Ao contrário da metodologia indicada pelo RCCTE, esta ferramenta, baseia-se numa metodologia de cálculo dinâmico, facto que permite aumentar o rigor aquando da avaliação do comportamento térmico do edifício em causa. Uma outra vantagem do *Energy Plus* consiste na sua versatilidade quanto à possibilidade de empregar um elevado número de parâmetros para efeito da análise de sensibilidade térmica e de permitir ainda, contrariamente ao RCCTE, a avaliação de um número ilimitado de zonas térmicas pertencentes à mesma fracção autónoma.

3.1.1 – Análise pelo RCCTE

A análise poderia revelar um comportamento térmico deficiente do edifício somente numa das estações de referência, Inverno ou Verão. A análise, com recurso ao RCCTE, é feita, separadamente para ambas as estações porque enquanto relativamente à condução – perdas de calor no Inverno e ganhos no Verão –, as estratégias bioclimáticas a implementar no edifício devem actuar no mesmo sentido para as duas estações, isto é, restringindo a transmissão de calor; já relativamente aos ganhos solares não existe uma estratégia comum; ou seja, sendo aconselhável promover esses ganhos no Inverno, é totalmente imperioso não o fazer no Verão.

A descrição que se segue refere os principais aspectos a ter em conta na determinação das necessidades energéticas do edifício para ambos os períodos.

Na estação de aquecimento (Inverno), o comportamento térmico do edifício é determinado pelo conjunto de perdas e ganhos, a saber:

- Perdas associadas à envolvente exterior;
- Perdas associadas à envolvente interior;
- Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores;
- Perdas associadas à renovação do ar;
- Ganhos Internos;
- Ganhos pelos vãos envidraçados exteriores.
-

A figura 3.1, resume o modo de funcionamento deste programa.

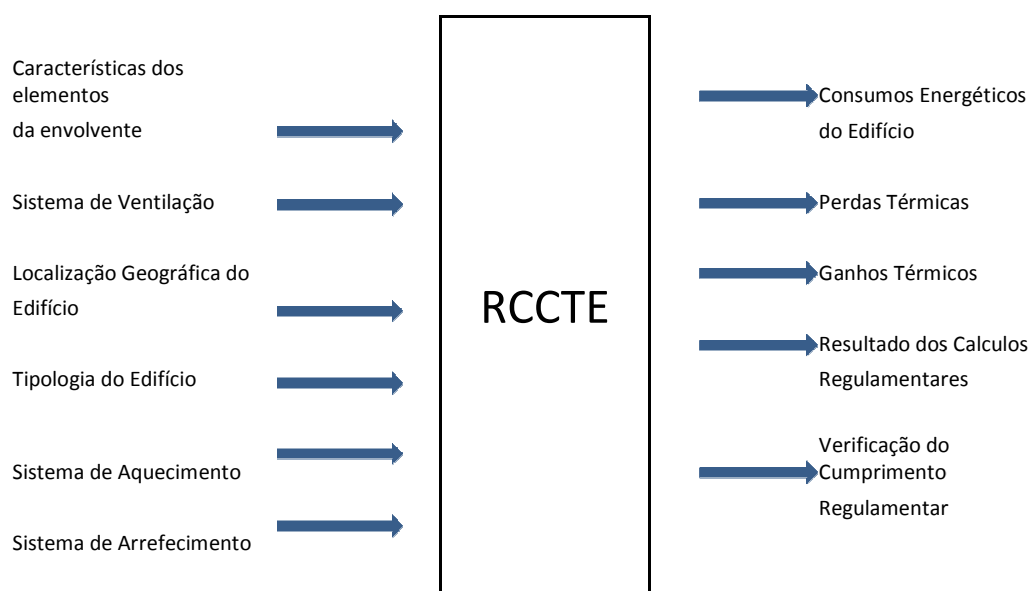


Figura 3.1 – Diagrama de funcionamento do RCCTE

Da aplicação da metodologia de cálculo indicada no RCCTE para a avaliação de todo o conjunto de perdas e ganhos de calor indicados constata-se que os elementos da envolvente exterior e interior são os responsáveis pela maior quantidade de perdas de calor do edifício, (Figuras 4.2 e 4.3).

Refira-se que a determinação das perdas pela envolvente interior requer a consulta da Tabela IV.1 do Decreto-Lei nº80/2006 para obtenção de um coeficiente que, por sua vez, visa caracterizar o respectivo local não aquecido adjacente. Este coeficiente varia

entre 0 e 1, conforme o espaço não útil seja considerado interior ou exterior, respectivamente.

Outra fonte de perda de calor que contribui para o comportamento térmico deficiente do edifício é a que ocorre pelos vãos envidraçados exteriores. A existência de vidros simples em vez de duplos agrava as perdas que daí advêm. Tal facto aponta para, uma possível alteração dos mesmos quando forem equacionadas as medidas de melhoria do comportamento térmico do edifício.

Do ponto de vista dos ganhos de calor, considera-se que o edifício é influenciado pelo seguinte conjunto de aspectos:

Ganhos solares:

- Dos vãos envidraçados e de sua orientação;
- Da radiação incidente nos envidraçados;
- Da duração da estação de aquecimento;
- Dos factores de obstrução (sombreamentos).

Ganhos internos:

- Da funcionalidade do edifício;
- Da duração da estação de aquecimento;
- Da área útil do edifício.

Um outro aspecto, também ele muito importante, a considerar neste estudo corresponde à sua inércia térmica.

As necessidades de aquecimento são obtidas através da multiplicação das perdas térmicas totais pelos Graus - Dia no local e por 0,024, subtraindo-se a este valor os ganhos totais úteis [6].

Dividindo este valor pela área útil do pavimento obtém-se a necessidade de aquecimento por metro quadrado. Por sua vez, as necessidades de aquecimento máximas exigidas pelo RCCTE dependem unicamente do factor de forma (*O factor de forma é o quociente entre o somatório das áreas da envolvente exterior e interior do edifício ou fracção autónoma com exigências térmicas e o respectivo volume interior correspondente*) e dos Graus - Dia do local [7].

Na estação de arrefecimento (Verão), o comportamento térmico do edifício é determinado de forma diferente da estação de aquecimento (Inverno).

No período de arrefecimento são contabilizados os ganhos pelos elementos da envolvente opaca que, por sua vez, resultam dos efeitos combinados da temperatura do ar exterior e da radiação solar incidente

No Verão são também tidos em conta os ganhos solares, considerando-se, para efeitos de cálculo pelo RCCTE, que as portadas de madeira interiores estarão activas a 70%.

As necessidades máximas de energia dispendida para arrefecimento, admitida pelo RCCTE, para os edifícios, encontram-se indicadas na alínea 2 do Artigo 15.º do mesmo.

Há aspectos que contribuem de forma significativa para a determinação do desempenho energético do edifício.

No Quadro 3.1 encontram-se indicados esses aspectos, separando aqueles que contribuem de forma positiva e negativa:

Quadro 3.1 – Aspectos positivos e negativos do ponto de vista térmico do edifício

ASPECTOS POSITIVOS	ASPECTOS NEGATIVOS
Área de envidraçados inferiores a 15% da área útil de pavimento	Baixa resistência térmica dos elementos da envolvente
Protecções solares dos envidraçados	Presença de vidros simples
Inércia forte	–
Factor de forma baixo	–

O primeiro passo a ser tomado para a melhoria das condições ambientais interiores consiste na introdução de pequenas modificações para não alterar as soluções construtivas da envolvente opaca, que, neste caso em estudo, implicariam, por razões que serão descritas posteriormente, uma redução do espaço útil interior.

Admite-se três tipos de correcção:

1. Aplicação de vidros duplos com alta permeabilidade ao ar das caixilharias;
2. Aplicação de vidros duplos com baixa permeabilidade ao ar das caixilharias;
3. Aplicação de vidros duplos com baixa permeabilidade ao ar das caixilharias, mas com isolamento térmico pelo interior dos elementos da envolvente;

No Quadro 3.2 são indicadas algumas das possíveis modificações bem como os respectivos impactos energéticos:

Quadro 3.2 - Necessidades energéticas obtidas com aplicação do RCCTE*(*) Necessidades nominais de energia útil de aquecimento;**(**) Limite máximo admissível das necessidades nominais de aquecimento;**(***) Necessidades nominais de energia útil de arrefecimento;**(****) Limite máximo admissível das necessidades nominais de arrefecimento;*

CORRECÇÃO	DESIGNAÇÃO	Nic (*)	Ni (**)	Nvc (***)	Nv (****)
1	(vidros duplos com alta permeabilidade ao ar das caixilharias)	627,26	154,76	14,45	26
2	(vidros duplos com baixa permeabilidade ao ar das caixilharias)	528,45	154,76	16,23	26
3	(Vidros duplos, com alta permeabilidade ao ar das caixilharias, mas com isolamento térmico pelo interior nos elementos da envolvente)	325,76	154,76	7,85	26

Da análise do Quadro 3.2, verifica-se que nenhuma das soluções propostas sob a forma de correcção 1, correcção 2 e correcção 3 são suficientes para que o edifício satisfaça as necessidades de energia máximas estabelecidas pelo RCCTE ($Nic < Ni$ e $Nvc < Nv$). Será assim necessário melhorar do ponto de vista térmico os elementos da envolvente opaca, para que o edifício em estudo cumpra o exigido pela regulamentação em vigor.

Dado o edifício em análise se encontrar na Região Demarcada do Douro, a preservação da fachada, do ponto de vista arquitectónico, é indiscutível, pelo que se encontra excluída qualquer intervenção nesta.

No entanto, dado os valores indicados no Quadro 3.2 mostrarem que, para satisfação dos requisitos mínimos preconizados pelo RCCTE, a intervenção terá de ir além da simples alteração dos vãos envidraçados, a utilização de isolamento térmico nos elementos da envolvente parece ser a solução mais viável para o edifício em estudo. Este assunto será abordado no capítulo 5, secção 5.1.

3.1.2 - Descrição do Energy Plus

O *Energy Plus* é um programa informático que auxilia o estudo e análise de edifícios do ponto de vista térmico. O EnergyPlus foi concebido pelo Departamento de

Energia dos Estados Unidos, a partir de programas já existentes, o Blast e o DOE-2, e está escrito em linguagem Fortran 90. Neste trabalho será utilizada a versão 2.2.3.001 de 2009.

A estrutura do programa é observável na Figura 3.2, sendo ela composta por três componentes básicos: um Controlador da Simulação, um Módulo de Simulação do Balanço de Calor e Massa e um Módulo de Simulação dos Sistemas da Edificação. O Controlador da Simulação coordena os Módulos de Simulação nas suas acções individuais.

O programa faz a simulação do balanço térmico e de massa de uma determinada zona de um edifício. Poderão ser introduzidos, na zona a analisar, os vários sistemas de climatização nela existentes, de para se obter o consumo associado às temperaturas interiores pretendidas.

No entanto, para que o programa consiga simular uma arquitectura é necessário fornecer os dados relativos à sua geometria e aos materiais constituintes, entre outros, de forma a caracterizar, do ponto de vista das soluções construtivas, o edifício a analisar.

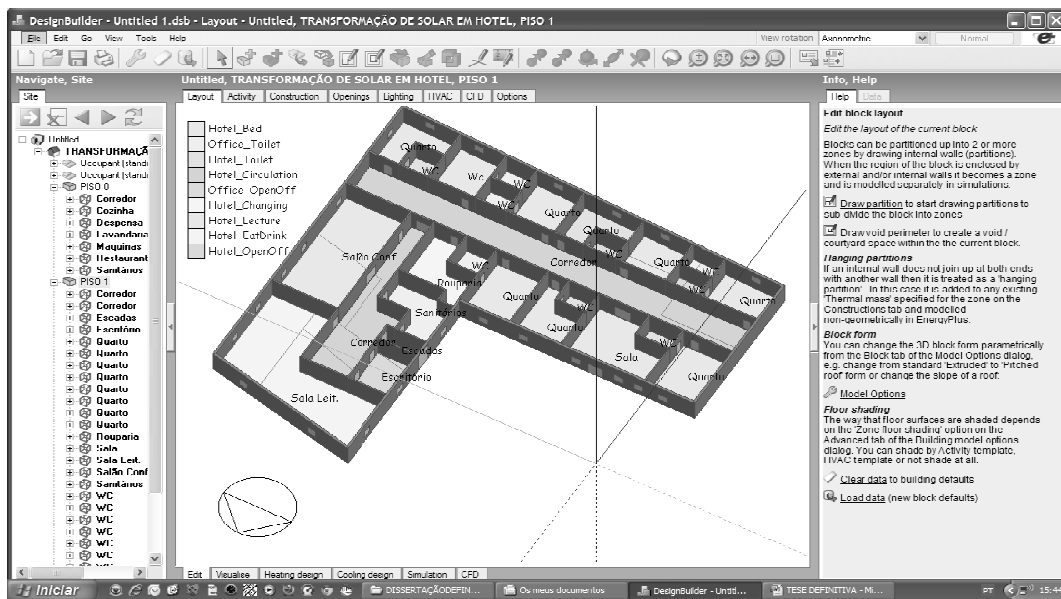


Figura 3.2 – Introdução dos dados relativos à arquitectura do projecto, à actividade, aos materiais constituintes, às aberturas, à iluminação, etc., no Energy Plus

Na Figura 3.3, apresenta-se os dados de *Input* e *Output* necessários na análise de comportamento térmico de um edifício:

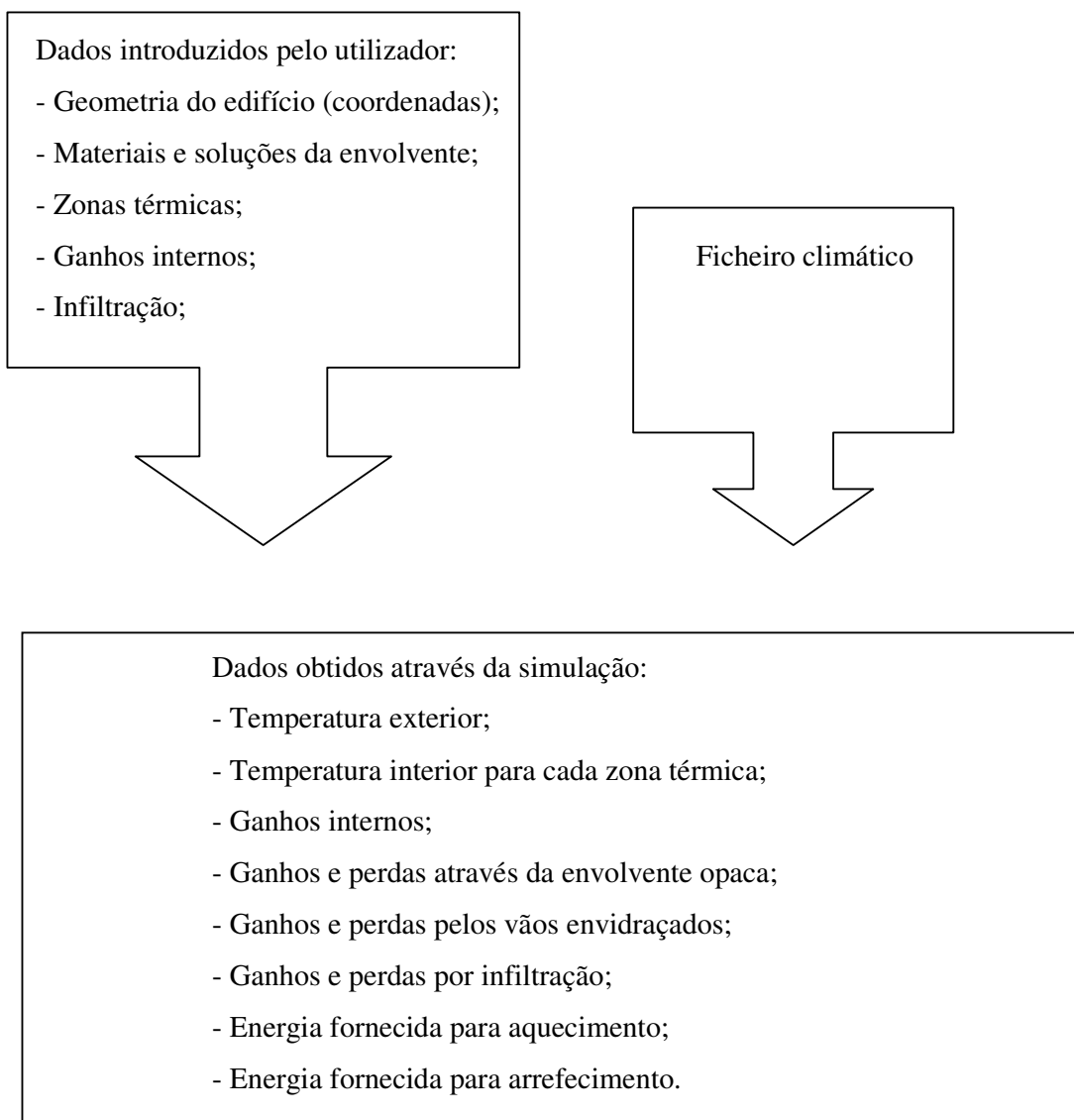


Figura 3.3 – Diagrama de dados de entrada e saída do Energy Plus

Uma vantagem do *Energy Plus*, prende-se com o facto de permitir simulações por intervalos de tempo inferiores a uma hora, o que possibilita inferir do comportamento térmico do edifício ao longo de um dia e não apenas ao longo dos diversos meses. O programa permite ainda efectuar hiperligações com outros ambientes de simulação populares e obter relatórios padrão reajustáveis pelo utilizador.

O *Energy Plus* simula a carga térmica de uma edificação com base nas descrições e parâmetros previamente definidos pelo usuário. Assim, calcula a quantidade de energia necessária para que a temperatura do ar ambiente interior se mantenha dentro dos limites aceitáveis.

Na elaboração destes cálculos o *Energy Plus* utiliza o conceito Zona. Define-se Zona um conjunto de espaços que se encontram submetidos ao mesmo controlo térmico. As diferentes zonas de uma determinada construção podem interagir entre si, através de fluxos de calor nas superfícies adjacentes. Na figura 3.4 exemplifica a funcionalidade desta ferramenta .

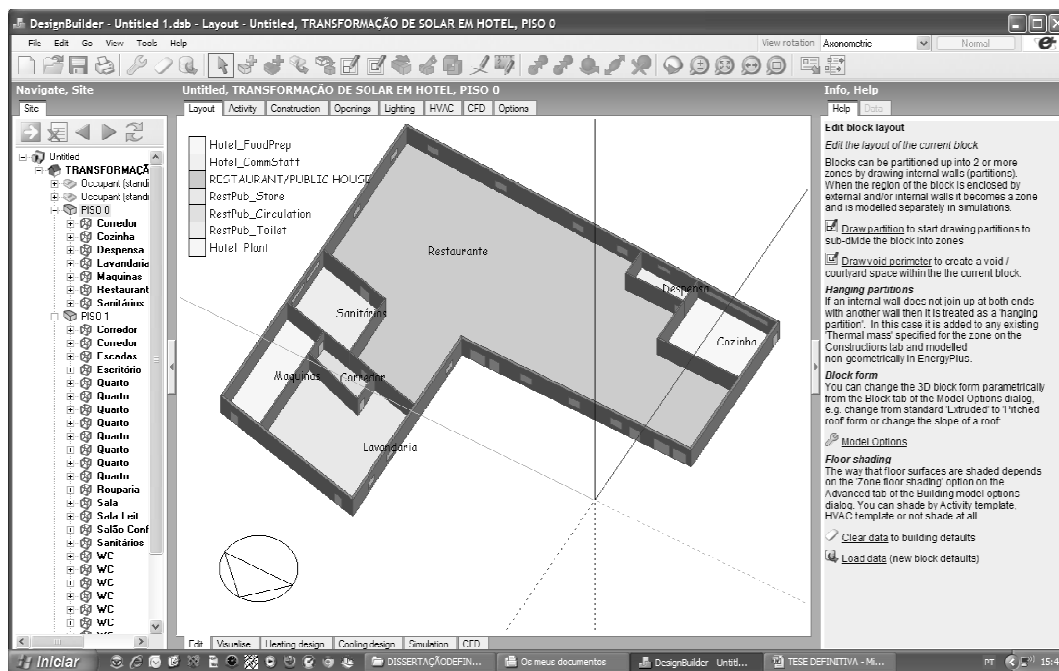


Figura 3.4 – Definição de zonas na arquitectura no Energy Plus

Outra das ferramentas de uso constante para quem modele o edifício no próprio programa é o EP-Launch. A sua utilização é de extrema importância, pois a modelação da geometria do edifício encontra-se bastante susceptível a erros, por isso, quando da sua elaboração, é aconselhável uma verificação frequente da existência de possíveis erros. A verificação da existência de erros quando da sua modelação é conseguida por visualização através de um ficheiro CAD. O EP-Launch além de ter a funcionalidade de deteção de erros, é onde o utilizador insere os ficheiros climáticos e executa as simulações previamente definidas no IDFEditor.

Durante a elaboração da geometria do edifício, é possível definir as várias zonas térmicas que se pretendem implementar/simular. A definição das zonas térmicas pertencentes ao edifício é feita consoante o uso de cada espaço e o sistema de climatização existente no respectivo local.

Concluída a simulação, o programa fornece um ficheiro que descreve os eventuais erros detectados pelo software, agrupando-os em três níveis, consoante a gravidade.

A detecção de um erro do tipo “Warning” não compromete a simulação, sendo este frequentemente associado aos erros menos gravosos. Um erro do tipo “Severe” sendo mais gravoso e potencialmente comprometedor em termos da qualidade dos resultados, exige intervenção ao nível de ser corrigido. Já um erro do tipo “Fatal” resulta em virtude da associação de diversos erros do tipo “Warning” e “Severe” que, consequentemente, impede que a simulação se suceda. Assim, quando da obtenção de um erro deste tipo, a simulação é interrompida.

Os resultados fornecidos pelo software podem ser convertidos em gráficos para permitir ao utilizador a sua melhor visualização. Deste modo justifica-se a apresentação dos resultados deste trabalho em gráficos, com uma ligeira descrição daquilo que se pode observar, conforme mostra a figura 3.5.

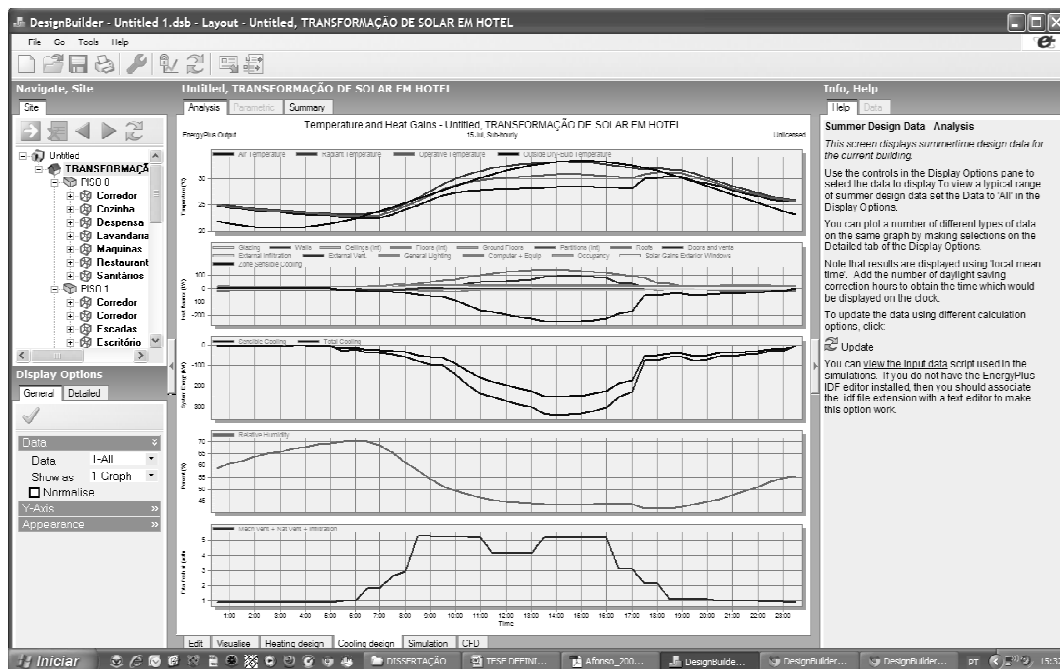


Figura 3.5 – Apresentação dos resultados no Energy Plus

3.2 - As vantagens do uso do Energy Plus enquanto ferramenta de análise dinâmica

O estudo do comportamento térmico dos edifícios pode ser conseguido com base em análises estáticas (RCCTE), dinâmicas (*Energy Plus*) ou com ambas em simultâneo.

O objectivo desta secção reside em destacar as principais diferenças que os dois métodos apresentam entre si do ponto de vista das respectivas vantagens e inconvenientes.

Tal como já foi referido, a introdução do RCCTE obrigou os projectistas a identificarem medidas concretas no sentido de assegurar as exigências de conforto térmico definidas, sendo este processo baseado numa análise estática ao edificado a construir. Este regulamento, elaborado para poder servir de método de análise para a generalidade dos edifícios, parte de um conjunto de pressupostos que, na realidade, poderão não corresponder à real situação de alguns edifícios existentes. No entanto, embora pouco rigorosa, a análise pelo regulamento dá uma boa estimativa das necessidades energéticas apresentadas pelos edifícios, porque tem por base um conjunto de pressupostos (como temperatura constante para o interior e exterior, durante as estações de aquecimento e arrefecimento) que, na realidade, podem não corresponder às condições que os edifícios estão sujeitos. Na verdade, especialmente as condições exteriores são muito variáveis, mesmo ao longo de um só dia. Basta observar um registo de temperaturas ou de humidades relativas de um dia, para se encontrar amplitudes consideráveis.

Contrariamente à análise estática, a dinâmica permite ao utilizador elaborar simulações de elevada complexidade e elevado número de variáveis, obtendo-se resultados mais próximos da realidade.

As vantagens da ferramenta *Energy Plus* comparativamente com a regulamentação actual (RCCTE), são as seguintes:

3.2.1 – Ventilação

A ventilação natural desempenha um papel muito importante no balanço energético dos edifícios, podendo contribuir decisivamente para a melhoria das condições ambientais no seu interior, no período de Verão, quando utilizada para a redução das necessidades de arrefecimento. A ventilação natural é muitas vezes feita recorrendo à abertura de janelas nos vãos em contacto com o exterior, melhorando desde modo, não só a qualidade interna do ar como também a temperatura interior nos períodos de Verão. Todavia, a ventilação também é responsável por uma percentagem relevante de perdas de calor na estação de Inverno, pelo que, facilmente se compreende o estabelecimento, pelo regulamento, de um valor mínimo da taxa de renovação horária,

pois só assim se conseguirão garantir condições de salubridade e de conforto, com um mínimo dispêndio de energia.

Relativamente ao método de análise utilizado pelo RCCTE, é adoptado um valor constante da taxa de renovação horária, facto que impede a análise pontual das situações em que a diminuição, ou o aumento, da ventilação podem revelar-se benéficas. Como o *Energy Plus* não apresenta esse inconveniente, o estudo do comportamento térmico do edifício pode ser efectuado com maior detalhe, tornando variável a respectiva taxa de infiltração do ar.

3.2.2 - Ganhos Internos

Os ganhos internos que ocorrem dentro de uma determinada zona são resultado da ocupação humana, iluminação e dos equipamentos existentes no seu interior. Como estes parâmetros variam muito de caso para caso, é pouco conveniente que na prática se analise em pormenor a situação real, sendo mais simples a abordagem do problema partindo de um pressuposto baseado naquilo que é espectável. O RCCTE assume para estes efeitos um valor médio de cargas térmicas (W) por metro quadrado consoante a funcionalidade do edifício.

Uma análise dinâmica permitirá sempre a estimativa mais exacta dos ganhos internos associados ao conjunto de parâmetros anteriormente referidos, mas para tal é necessário conhecer a potência da iluminação (lighting), equipamentos (HVAC) e nas actividades que as pessoas exercem no seu interior (activity).

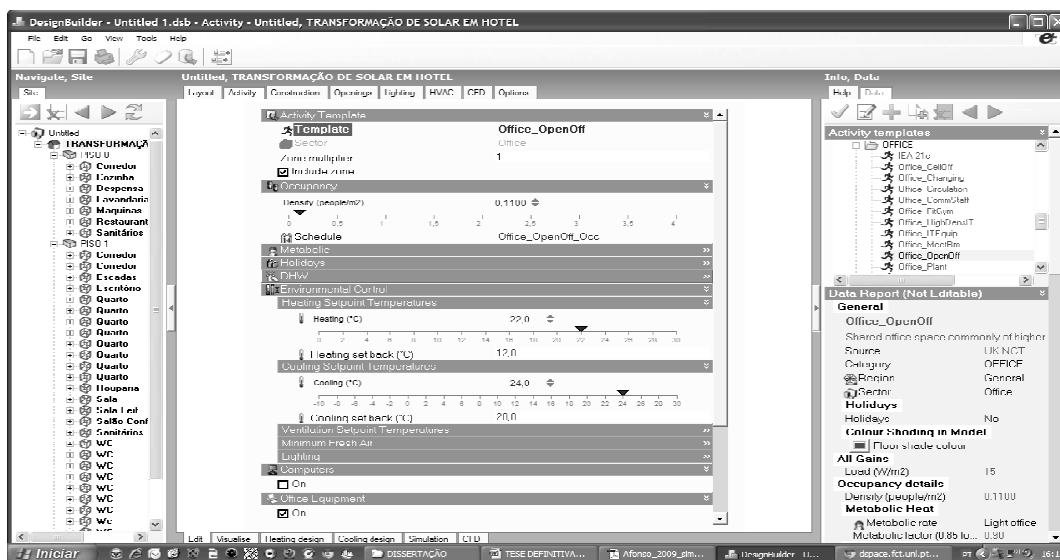


Figura 3.6 – Introdução de dados no Energy Plus.

A figura 3.6 mostra como o Energy Plus trata este tipo de dados.

É de referir que os ganhos internos são benéficos durante a estação de Inverno e prejudiciais durante a estação de Verão, na medida em que contribuem em permanência para o aumento da temperatura interior do edifício.

3.2.3 - Ganhos Solares

A energia solar incidente num edifício é benéfica na estação de Inverno, quando aproveitada para efeitos de aumento da temperatura do ambiente interior. Contudo, na estação de Verão, a energia solar pode estar na origem do aquecimento excessivo do ambiente interior quando o edifício, em virtude da sua localização, orientação, características geométricas e qualidade térmica da envolvente proporciona ganhos solares significativos.

As diferenças principais entre o RCCTE e o *Energy Plus* prendem-se com o facto de no primeiro caso serem assumidos valores genéricos relativamente à radiação solar incidente, ao contrário do *Energy Plus* que analisa o comportamento térmico do edifício com a variação da intensidade e da incidência da radiação solar. Esta diferença de abordagem pode ser determinante quando se procura analisar a eficácia dos dispositivos de sombreamento móveis que devem ser utilizados em alturas muito pontuais.

3.3.4 - Trocas de calor pelas Envolventes

As trocas de calor pelas envolventes exterior e interior surgem sempre que se verifica uma diferença de temperatura entre os ambientes que elas separam. No que respeita às trocas pela envolvente interior (A envolvente interior define a fronteira entre um espaço útil interior e outros espaços interiores não climatizados, tais como garagens e armazéns), o RCCTE apenas as considera no período de Inverno, ou seja, assume-as nulas nos restantes períodos. Na estação de Inverno, as trocas pelas envolventes interiores são assumidas como fracções dos valores equivalentes registados pela envolvente exterior, sendo para este efeito atribuído a cada local não aquecido um parâmetro adimensional calculado em função de uma relação geométrica de áreas. Como este tipo de abordagem não considera a qualidade térmica dos elementos da envolvente do local não aquecido, é fácil perceber as vantagens associadas a uma

análise mais profunda com recurso ao *Energy Plus*, que possibilita ao seu utilizador definir condições muito próximas das reais.

3.4 - Outros Pressupostos

Uma vez que o edifício se encontra desabitado, neste trabalho foram considerados alguns pressupostos quanto à funcionalidade do mesmo.

No entanto, teve-se o cuidado em assumir propósitos coerentes com a nossa realidade e com a disponibilidade do edifício.

Os pressupostos indicados de seguida foram assumidos para efeito de cálculo térmico dinâmico, ou seja, aquando da análise com base no programa informático.

- Portadas interiores de Madeira:

No quadro 3.3 encontram-se indicadas as percentagens relativas à actividade das portadas interiores.

Quadro 3.3 – Percentagens relativas à actividade das portadas – *Não foram consideradas as diferentes variações de ocupação durante os fins de semana quando comparadas com a ocupação em dias úteis.*

HORAS	1 DE JANEIRO	1 DE MAIO	1 DE OUTUBRO	FIM
	A	A	A	DE
	30 DE ABRIL	30 DE SETEMBRO	31 DE DEZEMBRO	SEMANA
	%	%	%	%
0,00 - 8,00	100	100	100	-
8,00 - 16,00	25	70	25	-
16,00 - 24,00	70	30	70	-

Como se pode verificar na tabela, considerou-se que, entre as 0h e as 8h, as portadas estarão 100% activas. Entre as 8h e as 16h, considerou-se que as portadas tenham uma actividade de 25% entre Dezembro e Abril, por se tratar de meses mais frios. De Maio a Setembro considerou-se a percentagem de actividade de 70%, por se tratar da época de Verão. Das 16h às 24h, considerou-se 70% de actividade na época que vai de Dezembro a Abril, com a intenção de haver um aproveitamento de calor exterior, e de 30% na época de Maio a Setembro para evitar a entrada de calor para o interior, o que provocaria um aumento das necessidades de arrefecimento.

CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO PARA AS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS ACTUAIS

Neste capítulo são indicados os resultados obtidos com os dois métodos utilizados para o estudo do comportamento térmico do edifício, RCCTE e *Energy Plus*, considerando as soluções construtivas actuais.

4.1 - Temperatura Interior

A Figura 4.1 apresenta a evolução das temperaturas interior e exterior do edifício ao longo do ano, para o piso superior, sem recurso a equipamentos para obtenção de conforto.

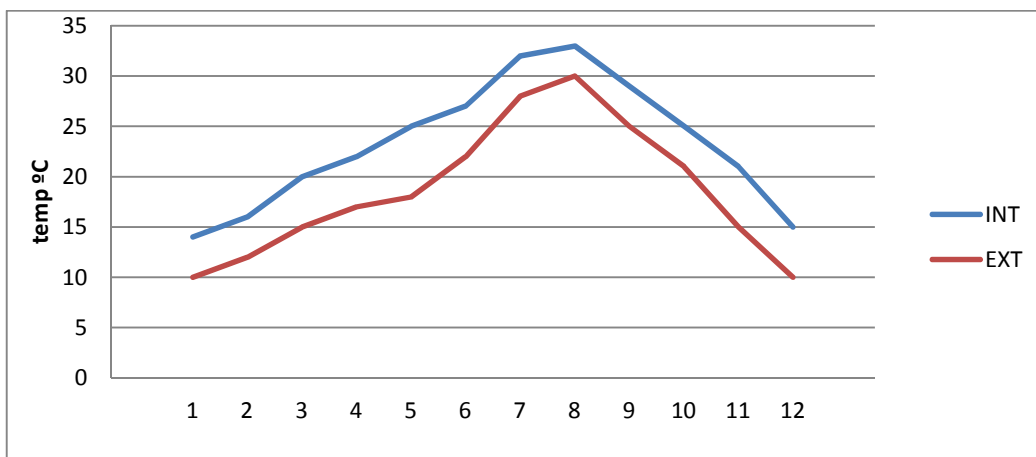


Figura 4.1 – Evolução da temperatura média mensal

Da análise do gráfico da Figura 2, verifica-se que a temperatura média mensal no interior do edifício é sempre superior à temperatura média mensal exterior.

Entre os meses de Novembro e Março, existe necessidade de aquecimento. Entre os meses de Maio a Outubro, existe necessidade de arrefecimento.

4.2 - Análise dos resultados fornecidos pelo Energy Plus para a estação de aquecimento (Inverno)

No Quadro 4.1 são apresentados os valores dos ganhos e perdas de calor associados às zonas térmicas do edifício em estudo, ao longo da estação de aquecimento.

Quadro 4.1 – Valores das perdas e ganhos durante o Inverno

	Piso 0	Piso 1
Perdas de infiltração [kWh]	5.260	4.102
Ganhos de infiltração [kWh]	1	1
Ganhos internos [kWh]	4.209	4.354
Perdas pelo envidraçados [kWh]	1.660	1.587
Ganhos pelo envidraçados [kWh]	1.762	1.032
Ganhos pela envolvente [kWh]	1.762	0
Perdas pela envolvente [kWh]	6.682	12.490
Nic [kWh]	7.907	13.122

Analisando o quadro 4.1 verifica-se alguma semelhança nos valores de perdas e ganhos obtidos entre os dois pisos do edifício.

As diferenças de valores, entre os pisos, resultam da diminuição do pé-direito, traduzindo-se assim num menor volume do piso 2 em 7% e também da área exposta ao exterior.

Ao contrário do que acontece nas perdas, os ganhos por infiltração são nulos. Tal facto era expectável, dado a entrada do ar frio exterior nas zonas aquecidas proporcionar perdas e não ganhos de calor interior.

Os ganhos internos são semelhantes nos dois pisos, ambos com aproximadamente 4.209 e 4.354 kWh..

As trocas de calor pelos envidraçados, nas diferentes zonas, estão dependentes da área total do envidraçado e da sua orientação. De notar que o piso superior apresenta mais ganhos e perdas que o inferior, devido à sua maior área de envidraçado. O piso 0 tem uma área de envidraçado de 22,20m² e o piso 1 tem uma área de envidraçado de 36,24m².

Como seria de esperar, os ganhos pela envolvente são reduzidos porque a temperatura da envolvente é menor. Os ganhos que se verificam no piso 0 correspondem à energia transferida do piso 1.

As perdas pelos elementos da envolvente são o dobro do piso 1 (12.490 kWh) relativamente ao piso 0 (6.682 kWh).

No que respeita às necessidades de energia para aquecimento, verifica-se que o piso 2 é o que apresenta pior desempenho, em resultado da sua maior área em contacto com o ambiente exterior, face ao piso 1.

4.3 - Análise dos resultados fornecidos pelo Energy Plus para a estação de arrefecimento (Verão)

Em comparação com o período de Inverno, verifica-se uma diminuição das perdas e ganhos por infiltração para o piso superior, dado a redução do pé-direito e a consequente redução do seu volume. Os ganhos de infiltração embora reduzidos já se fazem notar no Verão, em virtude do ar quente que se faz sentir nos períodos de maior calor proporcionar um aumento da temperatura interior.

Os ganhos internos são bastante semelhantes nos dois pisos. A justificação para as diferenças existentes segue o mesmo princípio do período de Inverno.

No Quadro 4.2 estão indicados os valores dos ganhos e perdas que as diferentes zonas térmicas do edifício apresentam durante o período de Verão.

Quadro 4.2 – Valores das perdas e ganhos durante o Verão

	Piso 0	Piso 1
Perdas de infiltração [kWh]	1.433	1.167
Ganhos de infiltração [kWh]	387	292
Ganhos internos [kWh]	2.589	2.674
Perdas pelo envidraçados [kWh]	546	483
Ganhos pelo envidraçados [kWh]	1.404	707
Ganhos pela envolvente [kWh]	1.625	1.761
Perdas pela envolvente [kWh]	1.747	569
Nic [kWh]	2.245	3.275

Relativamente aos envidraçados verifica-se que, ao contrário do que sucede no Inverno, os ganhos são superiores às perdas. Esta constatação pode-se justificar pela temperatura exterior, durante o dia, ser superior à interior, sobreaquecendo, assim, o espaço interior. As perdas que ocorrem pelos envidraçados durante o período de Verão surgem, maioritariamente, durante a noite.

No que respeita às trocas de calor pelos elementos da envolvente, verifica-se que os ganhos são superiores às perdas o que exige que se arrefeça o edifício.

Relativamente às necessidades de energia para arrefecimento, verifica-se que estas são maiores no piso 1 que necessitam de maior energia para aquecimento no Inverno. No entanto, as necessidades de energia para arrefecimento durante o Verão são menores que as de aquecimento durante o Inverno.

4.4 - Comparação entre os resultados obtidos pelo Energy Plus e RCCTE

Neste subcapítulo faz-se uma comparação entre os valores obtidos pelo RCCTE e pelo *Energy Plus*, para os períodos de Verão e Inverno.

Dado o edifício corresponder a uma única fracção autónoma, o RCCTE analisa-o como uma única zona térmica, pelo que os ganhos e perdas apresentados corresponderão ao seu todo.

Nas Figuras 4.2 e 4.3 constam as sínteses dos resultados obtidos com os dois métodos de análise:

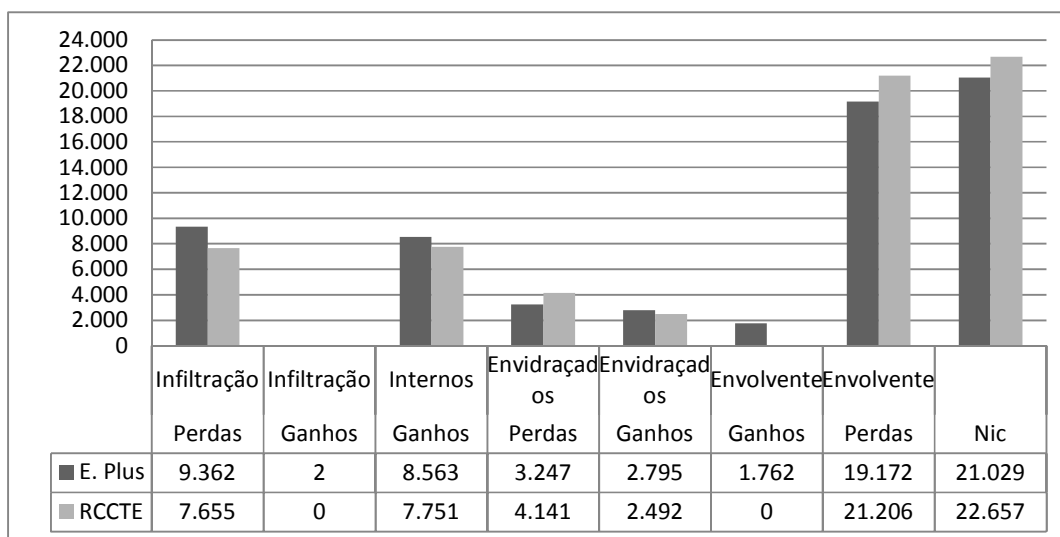


Figura 4.2 – Comparação dos valores das perdas e ganhos no Inverno, antes da reabilitação (unidades em kWh).

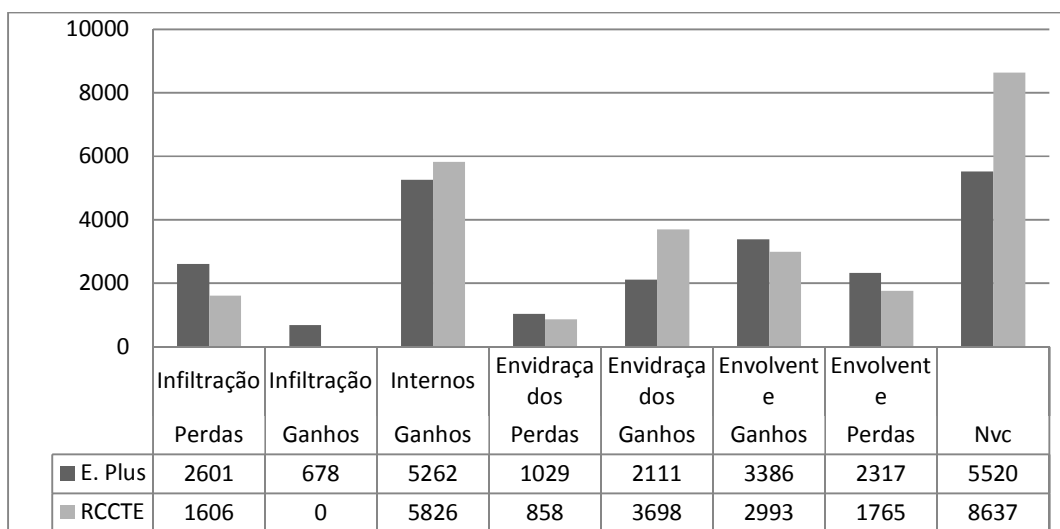


Figura 4.3 – Comparação dos valores das perdas e ganhos no Verão, antes da reabilitação (unidades em kWh).

Analisando os resultados obtidos por ambas as metodologias, verifica-se que as necessidades energéticas apresentadas pelo edifício para aquecimento e arrefecimento do espaço interior são menores quando da abordagem pelo *Energy Plus*. Estas diferenças são, sensivelmente, de 1.628kWh e 3116kWh, para os períodos de Inverno e Verão. Embora as perdas por infiltração sejam maiores na análise efectuada com o *Energy Plus*, o facto deste considerar ganhos de infiltração, torna a diferença total mais próxima da obtida pelo RCCTE.

No entanto, a diferença registada deve-se, essencialmente, à maior área útil considerada pelo *Energy Plus* comparativamente com a que fora utilizada para os cálculos com o RCCTE.

Relativamente aos ganhos internos, há a salientar que enquanto no Inverno o RCCTE considera menores ganhos que o *Energy Plus*, no Verão sucede precisamente o contrário.

No que respeita à troca de calor pelos envidraçados, no Inverno, verifica-se uma maior diferença entre as perdas e os ganhos na abordagem pelo RCCTE.

No Verão, as trocas de calor pelos envidraçados, são aquelas onde se verifica um maior contraste entre os valores obtidos pelos dois processos, o que, por sua vez, se vai reflectir nas necessidades de energia final obtidas.

Dados relativos às propriedades dos envidraçados são sempre uma incógnita que poderá dar origem a eventuais desacertos. Este valor é de menor fiabilidade que o obtido pelo *Energy Plus*, pois neste são consideradas as dimensões da caixilharia, e a sua condutabilidade, para além das do vidro. Outras propriedades, tal como a reflectividade dos mesmos, poderão ser introduzidas no *Energy Plus*, de modo a poder corresponder de uma forma mais real às características dos vãos envidraçados que compõem o edificado.

Assim, o menor rigor apresentado pelo *RCCTE* para a caracterização dos vãos envidraçados implica uma maior exigência na análise das trocas de calor, resultantes, nos dois períodos.

No que respeita aos ganhos e perdas pelos elementos da envolvente, no período de Verão, verifica-se que, embora semelhantes, os mesmos são maiores na elaboração do estudo pelo *Energy Plus*. No período de Inverno, as perdas pela envolvente obtidas pelo *Energy Plus* são menores.

Do ponto de vista geral, estas diferenças de resultados verificadas pelos dois métodos de análise devem-se, essencialmente, às diferentes metodologias de cálculo adoptadas e aos dados climatéricos associados, conforme o mencionado nas secções 3.1.1 e 3.1.2.

De um modo resumido o RCCTE baseia-se numa análise estática, em que as trocas de calor são determinadas em regime permanente para os dois períodos de referência (Inverno e Verão). Em contrapartida, o *Energy Plus*, através de uma análise dinâmica, consegue determinar as trocas de calor em cada instante da simulação.

CAPÍTULO 5 - REABILITAÇÃO TÉRMICA

Como o edifício não satisfaz todos os requisitos mínimos, impostos pela regulamentação actual (RCCTE), torna-se necessário incorporar medidas de eficiência energética com vista a melhorar o seu comportamento térmico e, deste modo, cumprir o preconizado pela mesma regulamentação.

Os cálculos das soluções apresentadas baseiam-se no Energy Plus pelos motivos abaixo apresentados:

- Ganhos internos: resultam, como já foi anteriormente referido, do funcionamento de equipamentos e iluminação, assim como dos hábitos dos ocupantes. Tendo conhecimento das actividades dos ocupantes e da quantidade de energia consumida em iluminação e equipamentos, com o Energy Plus é possível obter um valor mais preciso para os ganhos internos, apesar de estes serem dificilmente quantificáveis de uma forma exacta. O RCCTE assume um valor médio em Watt por metro quadrado consoante a finalidade do edifício e que se mantém constante para ambas as estações;
- Ganhos solares: no RCCTE são assumidos valores genéricos relativamente à radiação incidente, contrariamente ao Energy Plus cuja análise varia com a intensidade e incidência da radiação solar;
- Ventilação: pelo RCCTE é adoptado um valor constante de taxa de renovação horária, em função da classe de caixilharia, existência ou não de estores e dispositivos de admissão na fachada e da classe de exposição ao vento das fachadas do edifício.

Com Energy Plus é possível variar a taxa de renovação de ar.

5.1 - Solução de reabilitação adoptada

Neste projecto são propostas duas estratégias de melhoria do comportamento térmico do edifício em análise:

- ◆ Estratégias A: Intervenção ao nível da envolvente do edifício.
 - Envolvente opaca exterior;
 - Vãos envidraçados exteriores.

Dado o edifício integrar um espaço histórico, não é aceitável qualquer intervenção que implique a alteração da fachada. A intervenção ao nível dos elementos da envolvente terá de ser efectuada, obrigatoriamente, pelo paramento interior. A solução adoptada corresponde à execução de uma contra-fachada pelo lado interior com a utilização de placas de isolamento térmico (EPS) e de gesso cartonado (1,5 cm). O gesso cartonado vai adicionar alguma resistência mecânica ao sistema, conferindo alguma protecção à camada de isolante. O facto de ser incombustível e um mau condutor de calor garante alguma protecção contra eventuais incêndios.

Relativamente à intervenção na cobertura, a solução adoptada é feita pelo exterior, com aplicação de painéis de isolamento térmico com uma camada de material impermeabilizante incorporado.

A intervenção nos vãos envidraçados implicará a substituição de vidros simples por duplos, a substituição da caixilharia de madeira por PVC, e possíveis intervenções no sombreamento dos envidraçados no período de Verão.

A substituição dos caixilhos vai aumentar o custo da reabilitação, mas também melhorar a qualidade térmica do edifício. É importante que se entenda a reabilitação térmica como um investimento, que ao fim de alguns anos, com a poupança de energia obtida, se tornará rentável.

CAPÍTULO 6 - ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO APÓS REABILITAÇÃO

Tal como na análise do comportamento térmico do edifício, para as soluções construtivas actuais, apresentam-se também os resultados obtidos com a implementação das medidas de reabilitação térmica referidas no capítulo 5, que se aplicam à envolvente interior dos elementos em contacto com o exterior e com o rés-do-chão.

6.1 - Evolução das necessidades energéticas após reabilitação na estação de arrefecimento (Verão)

No Quadro 6.1 são apresentados os valores dos ganhos e perdas de calor associados às zonas térmicas em estudo, ao longo do período de Inverno, após reabilitação.

Quadro 6.1 – Perdas e ganhos obtidos durante o Inverno, após reabilitação

	Piso 0	Piso 1
Perdas de infiltração [kWh]	5.472	4.218
Ganhos de infiltração [kWh]	0	0
Ganhos internos [kWh]	4.209	4.354
Perdas pelo envidraçados [kWh]	1.098	1.065
Ganhos pelo envidraçados [kWh]	1.658	963
Ganhos pela envolvente [kWh]	302	41
Perdas pela envolvente [kWh]	3.849	5.634
Nic [kWh]	4.555	5.865

Analisando os ganhos e perdas apresentados pelos pisos e comparando-os com os obtidos antes da reabilitação (Quadro 4.1), verifica-se um melhoramento geral do comportamento térmico do edifício. A melhoria da resistência térmica dos vãos envidraçados resultou numa diminuição das trocas de calor pelos mesmos, e a incorporação de isolamento térmico nos elementos da envolvente provocou, em resultado do aumento da sua resistência térmica, uma diminuição das perdas de calor interior no período de Inverno de 3.352 kWh no piso 0 e 7.437 kWh no piso 1.

Assim, tal como era esperado, verifica-se uma redução das necessidades de energia para aquecimento

No Quadro 6.2 estão indicados os valores dos ganhos e perdas que as diferentes zonas térmicas do edifício apresentam durante o período de Verão, após reabilitação.

Quadro 6.2 – Perdas e ganhos obtidos durante o Verão, após reabilitação

	Piso 0	Piso 1
Perdas de infiltração [kWh]	1.471	1.258
Ganhos de infiltração [kWh]	384	292
Ganhos internos [kWh]	2.589	2.674
Perdas pelo envidraçados [kWh]	377	388
Ganhos pelo envidraçados [kWh]	1.622	884
Ganhos pela envolvente [kWh]	1.464	1.392
Perdas pela envolvente [kWh]	1.549	911
Nic [kWh]	2.619	2.619

No Quadro 6.2 verificam-se valores próximos dos apresentados no Quadro 4.2, para as soluções construtivas actuais. Isto é resultado da aplicação do isolamento térmico pelo interior melhorando a resistência térmica da envolvente e proporcionando assim uma diminuição da inércia. Deste modo, verifica-se que, para a estação de Verão, o piso que mais beneficiou da reabilitação realizada foi o 2. O isolamento da cobertura teve um efeito bastante satisfatório, dada a sua aplicação dificultar os ganhos de calor que daí poderão advir e de não contribuir de forma significativa na redução da inércia da cobertura.

CAPÍTULO 7 - ESTIMATIVA DE CUSTOS

No presente projecto serão elaboradas estimativas de custos para o edifício em estudo referentes a:

- Reabilitação Global;
- Reabilitação Térmica.

A estimativa da recuperação global do edifício teve como base o método proposto pelo manual *Reabilitação e Manutenção de Edifícios* (método MECREH) (FARINHA, Manuel Brazão e outros, *Reabilitação e Manutenção de Edifícios – Uma publicação prática com soluções e estratégias de reabilitação e manutenção de edifícios*, Verlag Dashofer, Lisboa, 2006.). [9]

Consideraram-se ainda quatro estados de degradação possíveis, correspondendo a cada um deles uma percentagem de degradação física do ponto de vista económico, face à construção de raiz.

No Quadro 7.1 identificam-se os vários estados e a respectiva percentagem de degradação

Quadro 7.1 – Estados de degradação física a considerar para o edifício

Estado de degradação	Degradação Física (económica) %
Bom	0
Razoável	35
Sofrível	75
Mau	120

- o estado “Bom” é atribuído quando não é necessário qualquer tipo de intervenção;
- o estado “Razoável” quando a intervenção a fazer é ligeira;
- o estado “Sofrível” quando a reparação a fazer é considerável;
- o estado “Mau” quando é necessário proceder a uma reconstrução total do elemento analisado;

Tendo em conta a situação e conservação actual dos vários componentes do edifício foi atribuído um estado de degradação a cada elemento pertencente à estrutura de custos. Esta atribuição do estado de degradação teve por base a visita ao local com o intuito de avaliar o estado físico do edifício. O quadro 7.2 demonstra a avaliação atribuída somente dos aspectos visíveis, onde ocorrem melhoramentos e não situações de substituição.

Quadro 7.2 – Justificação da avaliação atribuída

FOTOGRAFIA	SUBCAPITULO	ESTADO
	Fundações e Muros de Suporte	
	Fundações	Razoável
	Muros de Suporte	Razoável
	Estrutura Portante Vertical	
	Paredes resistentes	Razoável
	Estruturas de Escadas e pavimentos	
	Lajes	Razoável
	Escadas	Razoável
	Pavimentos térreos	Razoável
	Revestimento de paredes exteriores	Sofrível
	Vãos	
	Caixilhos e vidros	Mau
	Elementos de ocultação	Mau
	Cobertura	
	Estrutura	Sofrível
	Revestimento	Sofrível
	Outros	Razoável
	Paredes não resistentes	Sofrível
	Revestimentos	
	Pavimentos	Sofrível
	Paredes	Razoável
	Tectos	Mau
	Vãos Interiores	
	Circulação	Sofrível
	Pavimentos	Sofrível
	Paredes e tectos	Sofrível

Quadro 7.3 – Percentagem de degradação física do edifício

SUBCAPÍTULO		CUSTOS	ESTADO	DEGRADAÇÃO	INTERVENÇÃO
		%		%	%
1.1	Fundações e Muros de Suporte	4,22			
1.1.1	Fundações Propriamente Ditas	2,89	Razoável	35%	1,01
1.1.2	Muros de Suporte	1,33	Razoável	35%	0,47
1.2	Estrutura Portante Vertical	21,58			
1.2.1	Paredes Resistentes	21,58	Razoável	35%	7,55
1.3	Estruturas De Escadas e Pavimentos	8,74			
1.3.1	Lajes (Estrutura de)	7,89	Razoável	35%	2,76
1.3.2	Escadas (Estruturas de)	0,85	Razoável	35%	0,3
2.1	Pavimentos Térreos	0,96	Razoável	35%	0,34
2.2	Revestimentos de Paredes Exteriores	0,86	Sofrível	75%	0,65
2.3	Vãos	10,53			
2.3.1	Caixilhos e Vidros	6,82	Mau	120%	8,18
2.3.2	Elementos de Oculação	3,71	Mau	120%	4,45
2.4	Cobertura	3,52			
2.4.1	Estrutura	1,87	Sofrível	75%	1,4
2.4.2	Revestimento	0,66	Sofrível	75%	0,5
2.4.3	Outros	0,99	Razoável	35%	0,35
3.1	Paredes não Resistentes	4,87	Sofrível	75%	3,65
3.2	Revestimentos	16,01			
3.2.1	Pavimentos	4,49	Sofrível	75%	3,37
3.2.2	Paredes	5,03	Razoável	35%	1,76
3.2.3	Tectos	6,49	Mau	120%	7,79
3.3	Equipamentos	3,04			
3.3.1	Cozinhas	1,66	Mau	120%	1,99
3.3.2	Casas de banho	1,38	Mau	120%	1,66
3.4	Instalações	6,09			
3.4.1	Águas (Incluindo Torneiras)	1,17	Mau	120%	1,4
3.4.2	Esgotos	0,7	Mau	120%	0,84
3.4.3	Electricidade e Telecomunicações	4,22	Mau	120%	5,06
3.5	Vãos Interiores	5,39	Razoável	35%	1,89
4.1	Revestimentos	6,43			
4.1.1	Circulações	0,38	Sofrível	75%	0,29
4.1.1.1	Pavimentos	1,74	Sofrível	75%	1,31
4.1.1.2	Paredes e Tectos	4,31	Sofrível	75%	3,23
4.2	Instalações	2,48			
4.2.1	Águas	0,11	Mau	120%	0,13
4.2.2	Esgotos	0,17	Mau	120%	0,2
4.2.3	Electricidade e Telecomunicações	2,2	Mau	120%	2,64
4.3	Outros	2,61	Razoável	35%	0,91
5.1	Outros Equipamentos	2,67			0
5.1.1	Outros	2,67	Razoável	35%	0,93
% Total de Degradação:					67,01

Quadro 7.4 – Estrutura de custos para o edifício em estudo

Capítulo	Subcapítulo		%
Elementos Estruturais	1.1	Fundações e Muros de Suporte	4,22
	1.1.1	Fundações Propriamente Ditas	2,89
	1.1.2	Muros de Suporte	1,33
	1.2	Estrutura Portante Vertical	21,58
	1.2.1	Paredes Resistentes	21,58
	1.3	Estruturas De Escadas e Pavimentos	8,74
	1.3.1	Lajes (Estrutura de)	7,89
	1.3.2	Escadas (Estruturas de)	0,85
Envolvente Exterior	2.1	Pavimentos Têrreos	0,96
	2.2	Revestimentos de Paredes Exteriores	0,86
	2.3	Vãos	10,53
	2.3.1	Caixilhos e Vidros	6,82
	2.3.2	Elementos de Ocultação	3,71
	2.4	Cobertura	3,52
	2.4.1	Estrutura	1,87
	2.4.2	Revestimento	0,66
Trabalhos Interiores	2.4.3	Outros	0,99
	3.1	Paredes não Resistentes	4,87
	3.2	Revestimentos	16,01
	3.2.1	Pavimentos	4,49
	3.2.2	Paredes	5,03
	3.2.3	Tectos	6,49
	3.3	Equipamentos	3,04
	3.3.1	Cozinhas	1,66
	3.3.2	Casas de banho	1,38
	3.4	Instalações	6,09
	3.4.1	Águas (Incluindo Torneiras)	1,17
	3.4.2	Esgotos	0,70
	3.4.3	Electricidade e Telecomunicações	4,22
	3.5	Vãos Interiores	5,39
	Trabalhos Interiores (Zonas Comuns)	4.1	Revestimentos
4.1.1		Circulações	0,38
4.1.1.1		Pavimentos	1,74
4.1.1.2		Paredes e Tectos	4,31
Trabalhos e Equipamentos Suplementares	4.1.2	Outros	0,00
	4.2	Instalações	2,48
	4.2.1	Águas	0,11
	4.2.2	Esgotos	0,17
	4.2.3	Electricidade e Telecomunicações	2,20
	4.3	Outros	2,61
	5.1	Outros Equipamentos	2,67
5.1.1	Outros	2,67	
			100,00

A percentagem de intervenção de cada elemento, bem como o da respectiva intervenção global é obtido pela multiplicação do valor existente na estrutura de custos pela percentagem de degradação física do mesmo, tal como demonstrado no quadro 7.4.

Foram feitas algumas alterações relativamente à estrutura de custos, para que correspondesse ao edifício em causa.

Os valores indicados no Quadro 7.4, representam a percentagem de custo que cada “subcapítulo” tem relativamente a todo o edifício

Somando as percentagens de intervenção de todos os elementos e multiplicando este valor pelo custo unitário do edifício novo e pela área bruta, obtém-se o custo estimado da recuperação global do edifício, dado pelo quadro 7.4:

Quadro 7.5 – Custo da reabilitação global do edifício

Área Bruta m ²	Custo da Construção €/m ²	Degradação do edifício %	Número de Pisos	Custo da Reabilitação Global
1.390	630	67	2	1.173.438€

O quadro 7.5 corresponde ao cálculo do custo total da reabilitação, o qual é feito da seguinte forma:

Somando as percentagens de intervenção de todos os elementos (quadro 7.3), o que dá um total de 67%, e multiplicando este valor pelo custo unitário do edifício novo (custo da construção assumido, tomando por base o valor considerado pelo Ministério das Finanças) e pela área bruta (1390,00m²), obtém-se o custo estimado da recuperação global do edifício.

7.1 - Reabilitação Térmica

A solução escolhida, para dotar o edifício em estudo com um melhor comportamento térmico, consiste na utilização de materiais de isolamento térmico e de placas de gesso cartonado.

Para uma estimativa de custos desta reabilitação foram tidos em conta os preços correntes no mercado da zona de Vila Real, após pedido de orçamento a uma empresa da especialidade (documento em anexo).

Tomando por base o preço dado pelo orçamento da empresa consultada, elaborou-se uma simples tabela de estimativa do custo em euros por metro quadrado para o edifício em estudo.

Quadro 7.6 – Custo por metro quadrado da reabilitação dos elementos da envolvente

TRABALHOS	CUSTO €/m ²
Montagem	41
Pintura	8

Na montagem, estão incluídos os custos do isolamento térmico, e a colocação de placas de gesso cartonado ou parede em tijolo de 30x20x7cm, bem como a mão-de-obra necessária para a sua aplicação.

Quadro 7.7 – Custo total da reabilitação térmica

AREA DE MONTAGEM A_m	ÁREA DE PINTURA A_p	CUSTO DA MONTAGEM €/m ²	CUSTO DA PINTURA €/m ²	CUSTO DO ISOLAMENTO €/m ²
1.974,00	0	41,00 €	8,00 €	80.934,00 €

No quadro 7.7, estão apresentados os valores que permitiram calcular o custo total da reabilitação térmica.

Estes custos correspondem somente ao isolamento térmico uma vez que os envidraçados têm que ser novos, como tal seria uma obra a executar de qualquer forma, temos que somar os que correspondem à remoção e instalação dos vãos envidraçados.

Quadro 7.8 – Custo total da reabilitação térmica

ÁREA DE ENVIDRAÇADO m^2	CUSTO DA CAIXILHARIA €/m ²	VALOR DA CAIXILHARIA €	REMOÇÃO DO EXISTENTE €/m ²	VALOR GLOBAL DA REMOÇÃO €	CUSTO DO ISOLAMENTO €	CUSTO DA REABILITAÇÃO TÉRMICA €
154,23	285,00 €	43.955,55 €	10,00 €	1.542,30 €	80.934,00 €	80.934,00 €

Verifica-se que a inclusão de uma reabilitação térmica aquando da reabilitação global, proporciona um acréscimo do custo em cerca de 7%.

7.3 - Rentabilidade da Reabilitação Térmica

Um aspecto a considerar e que poderá ser questionado é o da rentabilidade económica da reabilitação térmica num edifício com estas características.

Pretende-se com isto responder à seguinte questão:

A partir de que ano o proprietário começa a obter rendimento do investimento efectuado?

De acordo com o RCCTE, a necessidade de aquecimento e arrefecimento do edifício no seu estado actual é a representada no quadro 7.9:

Quadro 7.9 – Custo das necessidades de aquecimento e arrefecimento antes da reabilitação

Nic KWh/m2*ano	Nvc KWh/m2*ano	PREÇO DA ELECTRICIDADE c/ IVA 5%	CUSTO €/m2*ano	CUSTO FINAL €/ano	ÁREA ÚTIL m2
30,89	11,89	0,1349	5,77	11.195,78	1.940

Com a reabilitação térmica, de acordo com o RCCTE, a necessidade de aquecimento e arrefecimento, é a representada no quadro 7.10:

Quadro 7.10 – Custo das necessidades de aquecimento e arrefecimento depois da reabilitação

Nic KWh/m2*ano	Nvc KWh/m2*ano	PREÇO DA ELECTRICIDADE c/ IVA 5%	CUSTO €/m2*ano	CUSTO FINAL €/ano	ÁREA ÚTIL m2
8,03	4,03	0,1349	1,63	3.156,17 €	1.940

Tendo em conta o investimento inicial correspondente à reabilitação térmica realizada, cujo valor calculado é de 80.934,00 € pode-se calcular o tempo de retorno do investimento inicial, conforme se apresenta no quadro 7.11.

Quadro 7.11 – Cálculo do tempo de retorno do investimento [5]

Investimento inicial	Cash-flow anual	TIR	Payback
80.934,00	8.039,61	10% 9%	11,56

Pelo quadro 7.11 verifica-se que o investimento inicial começa a ser rentabilizado ao fim de 11,5 anos (payback), valor este bastante aceitável se tivermos em conta que o tempo de vida útil dos edifícios é no mínimo de 25anos.

A taxa necessária para igualar o valor de um investimento (valor presente) com os seus respectivos retornos futuros (TIR), é de 9%. É a taxa que o investidor obtém em média em cada ano sobre os capitais que se mantêm investidos no projecto, enquanto o investimento inicial é recuperado progressivamente. É um critério que atende ao valor de dinheiro no tempo, valorizando os cash-flows actuais mais do que os futuros.

O cash-flow anual foi calculado através da diferença entre o custo das necessidades de aquecimento e arrefecimento antes da reabilitação (quadro 7.9) e o Custo das necessidades de aquecimento e arrefecimento depois da reabilitação (quadro 7.10).

No caso concreto do edifício em estudo, considerando a preservação da sua traça, considera-se vantajosa a inclusão da reabilitação térmica aquando da elaboração da recuperação global.

CAPÍTULO 8 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Terminado o estudo do edifício, importa referir as conclusões e observações finais que dele se obtiveram.

De salientar, em primeiro lugar, o facto do edifício estudado se enquadrar no grupo de edifícios existentes nas quintas do Douro, cujas soluções construtivas diferem, significativamente, daquelas que são usualmente utilizadas na construção dos edifícios novos.

Da análise do edifício antes e após a reabilitação térmica, passam-se a referir os resultados:

1. Antes da reabilitação:

Da análise do comportamento térmico do edifício, verifica-se que o mesmo cumpre as necessidades máximas de arrefecimento estabelecidas pelo RCCTE, mas ultrapassa as necessidades de aquecimento máximas impostas pelo mesmo.

De acordo com a metodologia de análise térmica dinâmica, com recurso ao *Energy Plus*, o edifício apresenta necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento de aproximadamente 21029kWh e 5520kWh, respectivamente.

A elevada espessura das paredes e o facto de não incorporar qualquer isolamento térmico pelo interior origina a que a sua inércia térmica atinja um valor de 458 Kg /m².

No Inverno, as maiores perdas de calor do edifício surgem pelos elementos da envolvente (60 %), seguidas das perdas por renovação do ar (29%) e, por último, das perdas pelos vãos envidraçados (10%).

Os ganhos são conseguidos, essencialmente, pelos ganhos internos resultantes da ocupação humana, iluminação e equipamentos existentes (65%), e pelos vãos envidraçados (21%), sendo quase insignificantes os ganhos obtidos pelos elementos da envolvente e da infiltração do ar.

No Verão, as perdas de calor surgem, maioritariamente pelas perdas por renovação do ar (44%), pelos elementos da envolvente (39%), seguindo-se os vãos envidraçados (17%).

Os ganhos de calor interior são proporcionados em primeiro lugar pelos ganhos internos (46%), seguindo-se os ganhos pelos elementos da envolvente (30%). Os ganhos

pelos vãos envidraçados também apresentam algum peso para o aquecimento interior (18%) e, embora com menor contributo, os ganhos por infiltração (6%).

No entanto, pela análise dos valores referidos, é importante salientar que enquanto os ganhos de calor no Inverno são benéficos para o aquecimento interior, os ganhos no Verão podem ser prejudiciais, na medida em que proporcionarão um maior sobreaquecimento interior.

2. Após a reabilitação: (A+B)

Para um melhoramento do comportamento térmico do edifício, de forma a cumprir os limites máximos de necessidades de energia no Verão e Inverno, adoptou-se uma solução de reabilitação que não interferisse na sua fachada.

De acordo com os dados obtidos com recurso ao *Energy Plus*, após reabilitação, as necessidades de energia do edifício passam a ser de 10420kWh e 5238kWh para o período de aquecimento e arrefecimento, respectivamente.

Contrariamente ao verificado com as soluções construtivas actuais, após a reabilitação as perdas de calor durante o Inverno são causadas maioritariamente pela renovação do ar interior (45%). Em seguida seguem-se as perdas pelos elementos da envolvente (45%) e pelos vãos envidraçados (10%).

Relativamente aos ganhos de calor, estes são devidos aos ganhos internos (74%), e aos vãos envidraçados (23%).

No Verão, verifica-se, tal como na solução actual, que as perdas são maiores nas perdas por infiltração do ar (47%), nos elementos da envolvente (41%), seguindo-se os vãos envidraçados (13%).

Os ganhos são devidos aos ganhos internos (47%), aos ganhos pela envolvente (25%), aos ganhos pelos envidraçados (22%) e por infiltração (6%).

Após reabilitação verifica-se uma diminuição das suas necessidades de energia para aquecimento no Inverno.

Embora esta diferença de necessidade energética seja significativa no Inverno, no Verão é insignificante.

Nos gráficos das Figuras 9.1 e 9.2 são apresentadas as diferenças obtidas nas trocas de calor, antes e após a reabilitação:

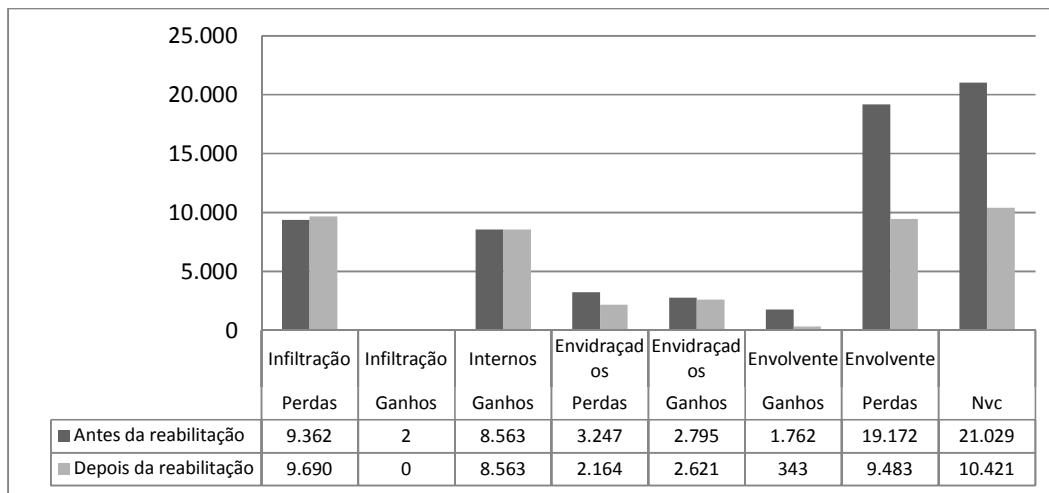


Figura 9.1 – Comparação das perdas e ganhos antes e após a reabilitação, durante o período de Inverno (unidades em kWh).

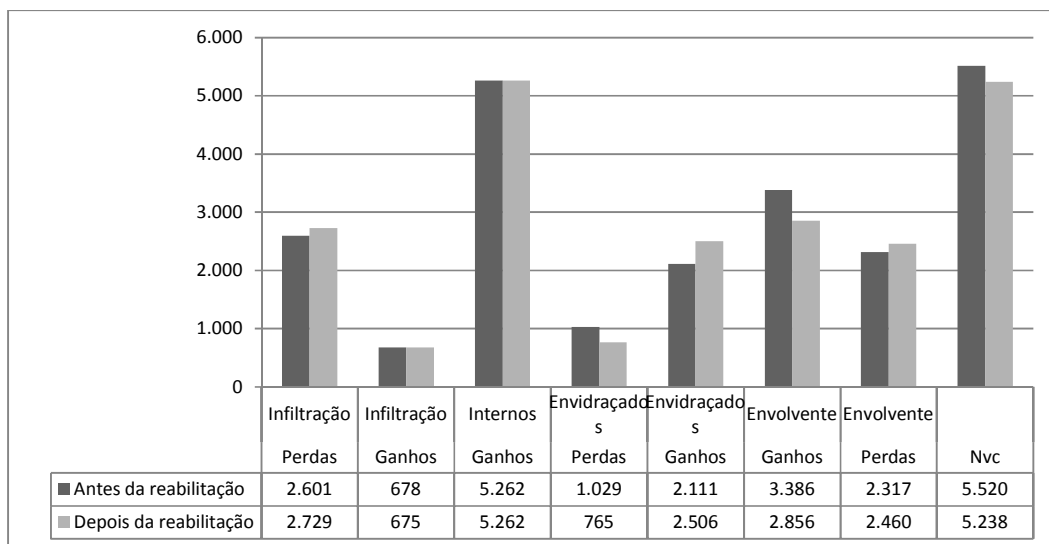


Figura 9.2 – Comparação das perdas e ganhos antes e após a reabilitação, durante o período de Verão (unidades em kWh).

Da análise efectuada pode-se concluir o seguinte:

- A solução de reabilitação térmica adoptada será mais vantajosa durante o período de Inverno.
- No período de Verão, os benefícios decorrentes da reabilitação têm pouco significado.
- Para a redução das necessidades energéticas do edifício, podem-se utilizar estratégias ao nível dos elementos da envolvente opaca, dos vãos envidraçados e da infiltração do ar.

- No que respeita à estimativa de custos realizada, constatou-se que o investimento feito para reabilitar termicamente o edifício passará a ser rentabilizado 12 anos após conclusão da obra.
- Constatou-se, ainda, que a inclusão de uma reabilitação térmica, durante a reabilitação global, proporciona um acréscimo do custo global inferior a 10%.

8.1 – Trabalhos Futuros

A abordagem global realizada leva a que muitas questões importantes não tivessem o desenvolvimento adequado.

Obviamente, este é um ponto que poderá ser desenvolvido. Todos os Capítulos de desenvolvimento deste trabalho, e para ser mais exacto todas as secções de cada capítulo poderão ser aproveitadas para prosseguir com estudos científicos de elevado interesse.

Tendo sido uma das principais preocupações para o desenvolvimento deste Método que fossem englobados o maior número possível de componentes mas sem inviabilizar uma aplicação prática com alguma facilidade, em todas as vertentes analisadas restam, sem dúvida, diversos factores que não foram considerados mas com alguma influência em cada domínio do projecto. Seria, assim, importante o desenvolvimento de outros indicadores da qualidade, concentrados em área específicas de projecto, que pudessem fornecer informação ainda mais detalhada e profunda sobre a eficiência das estratégias ou soluções projectadas.

Para além do desenvolvimento de outros indicadores, seria importante desenvolver estudos de sensibilidade que permitissem eventuais ajustes aos critérios agora definidos e que ajudassem a fundamentar os valores da ponderação dos critérios.

Para facilitar a aplicação do método de avaliação pode ser desenvolvido um programa informático que permita efectuar a gestão dos dados de caracterização das soluções, a gestão dos indicadores de qualidade e a interpretação dos resultados das soluções adoptadas segundo os requisitos e critérios de avaliação definidos.

A Qualidade Térmica dos Edifícios é um acto de cultura que deve ser promovida e incentivada.

CAPÍTULO 9 – CONCLUSÕES

Neste capítulo apresenta-se uma síntese dos principais temas abordados neste trabalho.

Embora já tenham sido feitos comentários parciais relativos a cada tema tratado, para uma análise mais completa do que foi estudado é importante abordar a temática de forma inteira.

De salientar, em primeiro lugar, o facto do edifício estudado se enquadrar no grupo de edifícios da Região do Douro, cujas soluções construtivas diferem, significativamente, daquelas que são usualmente utilizadas na construção dos edifícios novos.

Na realização deste trabalho foram empregadas duas ferramentas para o estudo do comportamento térmico do edifício, o RCCTE, que possibilitou o cálculo das necessidades energéticas do edifício em períodos de aquecimento e arrefecimento, recorrendo a uma análise de comportamento térmico do tipo “estática” e o programa *Energy Plus* que se baseia numa metodologia de cálculo dinâmico, facto que permite aumentar o rigor aquando da avaliação do comportamento térmico do edifício em causa.

Da análise efectuada por ambas as metodologias, verifica-se que as necessidades energéticas apresentadas pelo edifício para aquecimento e arrefecimento do espaço interior são menores quando da abordagem pelo *Energy Plus*.

Verificou-se que a solução de reabilitação térmica adoptada será mais vantajosa durante o período de Inverno. No período de Verão, os benefícios decorrentes da reabilitação têm pouco significado.

No que respeita à estimativa de custos realizada, constatou-se que o investimento feito para reabilitar termicamente o edifício passará a ser rentabilizado 12 anos após conclusão da obra.

Constatou-se, ainda, que a inclusão de uma reabilitação térmica, durante a reabilitação global, proporciona um acréscimo do custo global inferior a 10%.

Referências Bibliográficas:

- [1] Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril; Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril; Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril; Portaria n.º 461/2007, dos Ministérios da Administração Interna, do Ambiente, do Ordenamento do território e do Desenvolvimento Regional; da Economia e da Inovação e das Obras Públicas Transportes e Comunicações, publicada na Parte C do DR IIª Série n.º 108, de 5 de Junho.
- [2] Input Output Reference, The Encyclopedic Reference to *Energy Plus* Input a Output, November, 2008.
- [3] FREITAS, Vasco Peixoto e vários, *3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios*, Comissão Organizadora do PATORREB 2009, Porto, 2009.
- [4] <http://www.ine.pt/> Data da Consulta: 23/10/2010 – 23:40
- [5] Carlos A. Pina dos Santos e Luis Matias “ITE 50 – Coeficientes de transmissão Térmica de elementos da envolvente dos Edifícios – Laboratório Nacional de Engenharia Civil”. Versão actualizada 2006.
- [6] A. Canha da Piedade, A. Moret Rodrigues e Luis F. Roriz “CLIMATIZAÇÃO EM EDIFÍCIOS – Envolvente e Comportamento Térmico”. 2ª Edição, Edições ORION.
- [7] Peixoto de Freitas, Vasco; “Metodologia e aplicação do novo RCCTE e implicações construtivas”; FEUP;2007
- [8] GOMES, R. (1962), *Condicionamentos Climáticos da Envolvente dos Edifícios para Habitação*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa
- [9] FARINHA, Manuel Brazão e outros, *Reabilitação e Manutenção de Edifícios – Uma publicação prática com soluções e estratégias de reabilitação e manutenção de edifícios*, Verlag Dashofer, Lisboa, 2006.

ANEXO I

Planta de Implantação

ANEXO II

Planta do Rés do Chão

ANEXO III

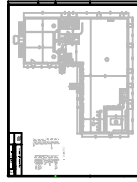
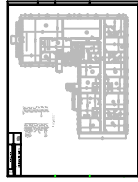
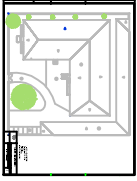
Planta do Andar

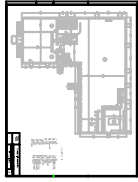
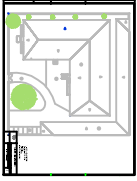
ANEXO IV

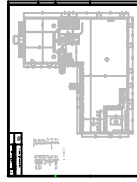
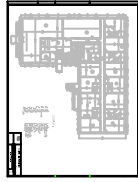
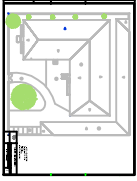
Cálculo de Análise de Projecto antes da reabilitação

ANEXO V

Orçamento do Pladur







Cálculo Térmico

Projecto: Transformação de solar em hotel
Fracção: *****
Ref.: Ex



instituto de soldadura
e qualidade

FCIV.1A

Perdas associadas à envolvente exterior

Paredes	Área	U	U*A
Norte	181,7	3,1	563,27
Sul	188,05	3,1	582,955
Este	157,81	3,1	489,211
Oeste	136,42	3,1	422,902
Total			2058,34

 W/°C

Pavimentos	Área	U	U*A
	0	0	0,00
Total			0,00

 W/°C

Cobertura	Área	U	U*A
	0	0	0,00
Total			0,00

 W/°C

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perimetro B	Ψ	B*Ψ
Paredes	37	0,3	11,10
Pavimento	59	0,3	17,70
Total			28,80

 W/°C

Pontes Térmicas Lineares	Comp. (m)	Ψ (W/m°C)	Comp*Ψ
Ligações entre:			
Fachada com pav. Térreo	35	0,3	10,50
Fachada com pav. Sobre locais n/aquec.	18	0,65	11,70
Fachada com pavim. Intermédio	36	0,4	14,40
Duas paredes verticais	8	0,35	2,80
Total			39,40

 W/°C

Perdas pela envolvente exterior	Total	2126,54
---------------------------------	--------------	----------------

 W/°C

Cálculo Térmico

Projecto: Transformação de solar em hotel

Fracção: *****

Ref.: Ex



instituto de soldadura
e qualidade

FCIV.1B

Perdas associadas à envolvente interior

Paredes Interiores	Área	τ	U	$A*\tau*U$	
Paredes IS R/C	138,5	0,8	3,1	343,48	
Acesso ao R/C	45	0,9	3,1	125,55	
Total				469,03	W/°C

Pavimentos Interiores	Área	τ	U	$A*\tau*U$	
Intermédio	1000	0,8	1,8	1440,00	
Total				1440,00	W/°C

Coberturas Interiores	Área	τ	U	$A*\tau*U$	
Intermédio	1390	1	0	0,00	
Total				0,00	W/°C

Envidraçados Interiores	Área	τ	U	$A*\tau*U$	
	0	0	0	0,00	
Total				0,00	W/°C

Pontes Térmicas	Comp	τ	Ψ	$A*\tau*\Psi$	
Casa das máquinas	30,15	0,8	0,25	6,03	
Cozinha	18,76	0,6	0,25	2,814	
Total				8,844	W/°C

Total				1917,87	W/°C
--------------	--	--	--	----------------	------

Cálculo Térmico

Projecto: Transformação de solar em hotel

Fracção: *****

Ref.: Ex



instituto de soldadura
e qualidade

FCIV.1C

Perdas associadas ao envidraçado exterior

FCIV.1C

Envidraçados Exteriores	Área	U	A*U
Alçado Norte	23,49	4,2	98,66
Alçado Sul	33,95	4,2	142,59
Alçado Este	23,49	4,2	98,66
Alçado Oeste	17,58	4,2	73,84

Total	413,74	W/°C
-------	--------	------

Cálculo Térmico

Projecto: Transformação de solar em hotel

Fracção: *****

Ref.: Ex



instituto de soldadura
e qualidade

FCIV.1D

Perdas associadas à renovação de ar

Área útil do Pavimento	<input type="text" value="1390"/>	m ²
Pé Direito	<input type="text" value="3,2"/>	m
Volume Interior	<input type="text" value="4448"/>	m ³

VENTILAÇÃO NATURAL

Cumpre NP 1037_1?	<input type="text" value="Não"/>	Se SIM	<input type="text" value="RPH=0,8"/>
Se Não:			
Classe da Caixilharia	<input type="text" value="Classe 3"/>		
Caixa de Estore	<input type="text" value="Não"/>		
Classe de Exposição	<input type="text" value="2"/>		
Aberturas Auto-reguladas?	<input type="text" value="Não"/>		
Área de envidraçados >15% Ap?	<input type="text" value="Não"/>		
Portas exteriores bem vedadas?	<input type="text" value="Não"/>		

Taxa de renovação Efectiva:

RPH=

Cálculo Térmico

Projecto: Transformação de solar em hotel
Fracção: *****
Ref.: Ex



instituto de soldadura
e qualidade

VENTILAÇÃO MECÂNICA (excluir exaustor da cozinha)			
Caudal de Insuflação	<input type="text" value="0"/>	m3/h	
Caudal extraído	<input type="text" value="0"/>	m3/h	Vf= <input type="text" value="0"/>
Diferença entre Vins e Vext	<input type="text" value="0,000"/>	rph	
Infiltrações	<input type="text" value="0,700"/>	rph	
Recuperador de calor?	<input type="text" value="Não"/>		
Rendimento:	<input type="text" value="0"/>		
Consumo de electricidade para os ventiladores	<input type="text" value="0,00"/>	kWh	
Taxa de renovação efectiva:	<input type="text" value="0,70"/>	kWh	

Volume interior	4448	m3	
	x		
Taxa de renovação efectiva	0,85	kWh	
	x		
	0,34		
Total	1285,47	W/°C	

Cálculo Térmico

Projecto: Transformação de solar em hotel

Fracção: *****

Ref.: Ex



instituto de soldadura
e qualidade

FCIV.1E

Ganhos úteis na estação de aquecimento

Envidraçado	Área m ²	Factor de orientação X(-)	Factor solar do vidro g(-)	Factor de obstrução Fs(-)	Fracção envidraçada Fg(-)	Factor de incidência Fw(-)	Área efectiva Ae (-)
Alçado Norte	28,29	0,27	0,63	1	0,57	0,9	2,47
Alçado Sul	49,95	1	0,63	0,81	0,57	0,9	13,08
Alçado Este	27,19	0,56	0,63	0,76	0,57	0,9	3,72
Alçado Oeste	18,58	0,56	0,63	0,76	0,57	0,9	2,54
Total							21,81

Área efectiva total equivalente na orientação Sul

m²

x

Radiação incidente num envidraçado a Sul na zona I3

kWh/m².ano

x

Duração da estação de aquecimento

Ganhos solares brutos

kWh/ano

Ganhos internos médios

Ganhos internos médios

W/m²

Duração da estação de aquecimento

meses

Área útil do pavimento

m²

Ganhos internos brutos

kWh/ano

Cálculo Térmico

Projecto: Transformação de solar em hotel

Fracção: *****

Ref.: Ex



instituto de soldadura
e qualidade

Ganhos totais úteis

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos solares brutos} + \text{Ganhos internos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento}} = 0,102$$

Factor de utilização dos ganhos solares 1

x

Ganhos solares brutos + Ganhos internos 41760,96

Ganhos totais úteis (kWh/ano) 41760,96

Cálculo Térmico

Projecto: Transformação de solar em hotel
Fracção: *****
Ref.: Ex



instituto de soldadura
e qualidade

FCIV.1F

Valor máximo das necessidades de aquecimento

Factor de forma	
Paredes exteriores	785,98
Coberturas exteriores	1400
Pavimentos exteriores	0
Envidraçados exteriores	124,01
Paredes interiores	151,3
Coberturas interiores	1390
Pavimentos interiores	800
Envidraçados interiores	0
Área total	4651,29
	:
Volume	4448
FF	1,046

Graus-dia no local °C.dia

Nec. Nom. De Aquec. Máximas - Ni kWh/m2.ano

Cálculo Térmico

Projecto: Transformação de solar em hotel
Fracção: *****
Ref.: Ex



FCIV.1

Cálculo do indicador Nic

Perdas associadas a:		
Envolvente exterior	2120,55	
Envolvente interior	1917,73	
Vãos envidraçados	520,84	
Renovação de ar	1362,35	
Coefficiente global de perdas	5921,47	W/°C
	x	
Graus-dia no local	2500,00	°C.dia
	x	
	0,024	
Necessidades brutas de aquecimento	355288,20	kWh/ano
Ganhos totais úteis	41760,96	kWh/ano
Consumo de electricidade para os ventiladores	1406,16	kWh/ano
Necessidades de aquecimento	314933,40	kWh/ano
Área útil do pavimento	1390,00	m ²
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic	226,57	kWh/m ² .ano
	<	
Nec. Nom. De Aquec. Máximas - Ni	152,32	kWh/m ² .ano

Não Conforme

Cálculo Térmico

Projecto: Transformação de solar em hotel

Fracção: *****

Ref.: Ex



instituto de soldadura
e qualidade

FCV.1A

Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores	2436,54
Perdas associadas aos pavimentos exteriores	0,00
Perdas associadas às coberturas exteriores	0,00
Perdas associadas aos envidraçados exteriores	520,84
Perdas associadas à renovação de ar	1362,35
Perdas	4319,73
	25,00
Temperatura média na estação de aquecimento	22,00
	3,00
Perdas	4319,73
	2,928
Perdas totais	37944,51

Cálculo Térmico

Projecto: Transformação de solar em hotel

Fracção: *****

Ref.: Ex



instituto de soldadura
e qualidade

FCV.1B

Perdas associadas a cobertura e envidraçados exteriores

Perdas associadas às coberturas exteriores

Coberturas	Área	U	A*U
Cob. Ext.	1400	0	0

Coberturas	0,00	W/°C
-------------------	------	------

Perdas associadas aos envidraçados exteriores

Envidraçados Exteriores	Área	U	A*U
Alçado Norte	28,29	4,2	118,82
Alçado Sul	49,95	4,2	209,79
Alçado Este	27,19	4,2	114,20
Alçado Oeste	18,58	4,2	78,04

Envidraçados	520,84	W/°C
---------------------	--------	------

Cálculo Térmico

Projecto: Transformação de solar em hotel

Fracção: *****

Ref.: Ex



instituto de soldadura
e qualidade

FCV.1C

Ganhos solares pela envolvente opaca

Coberturas	Área	U	α	Ir	$A*U*\alpha*Ir$
Cob. Ext.	1400	0	0,4	730	0,00

Coberturas	0,00
------------	------

Paredes	Área	U	α	Ir	$A*U*\alpha*Ir$
Norte	231,7	3,1	0,4	200	57461,60
Sul	210,1	3,1	0,4	400	104209,60
Este	167,81	3,1	0,4	450	93637,98
Oeste	176,42	3,1	0,4	450	98442,36

Paredes	353751,54
---------	-----------

Total 353751,54

x

0,04

Ganhos totais pela envolvente opaca

14150,06

kWh

Cálculo Térmico

Projecto: Transformação de solar em hotel

Fracção: *****

Ref.: Ex



instituto de soldadura
e qualidade

FCV.1D

Ganhos solares pelos envidraçados exteriores

Orientação	Área	Factor solar do vidro g	Factor de obstrução Fs	Fracção envidraçada Fg	Factor de selectividade Fw	Área efectiva	Ir	Ganho solar
Alçado Norte	28,29	0,29	0,00	0,57	0,85	0,00	200	0,00
Alçado Sul	49,95	0,29	0,00	0,57	0,80	0,00	400	0,00
Alçado Este	27,19	0,29	0,00	0,57	0,90	0,00	450	0,00
Alçado Oeste	18,58	0,51	0,00	0,57	0,90	0,00	450	0,00
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores								0,00

Cálculo Térmico

Projecto: Transformação de solar em hotel

Fracção: *****

Ref.: Ex



instituto de soldadura
e qualidade

FCV.1E e FCV.1F

FCV.1E

Ganhos internos

Ganhos internos médios	8	W/m2
	x	
Área útil do pavimento	1390	m2
	x	
	2,928	
Ganhos internos	32559,36	kWh/ano

FCV.1F

Ganhos totais na estação de arrefecimento

Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	0,00	kWh
Ganhos solares pela envolvente opaca	14149,07	kWh
Ganhos internos	32559,36	kWh
Ganhos totais	46708,43	kWh

Cálculo Térmico

Projecto: Transformação de solar em hotel
Fracção: *****
Ref.: Ex



FCV.1G

Valor das necessidades nominais de arrefecimento

Ganhos totais	46708,43	
	:	
Perdas totais	39261,84	
Gama	1,19	
	1	
Factor de utilização dos ganhos solares	0,781	
	0,219	
	x	
Ganhos totais	46708,43	
	0,00	
Necessidades brutas de arrefecimento	10229,15	kWh/ano
Consumo de electricidade para os ventiladores	1803,52	kWh/ano
	12032,67	
Área útil do pavimento	1390,00	m ²
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc	8,66	kWh/m ² .ano
	<	
Necessidades Nominais de Arrefecimento Máximo - Ni	26,00	kWh/m ² .ano

CONFORME

Cálculo Térmico

Projecto: Transformação de solar em hotel

Fracção: *****

Ref.: Ex



instituto de soldadura
e qualidade

Cálculo Térmico

Projecto: Transformação de solar em hotel

Fracção: *****

Ref.: Ex



instituto de soldadura
e qualidade

Exmo (s). Senhor (es).
Engº Carlos Veiga

Murça, 20 de Maio de 2011

Assunto: Orçamento

Exmo (s). Senhor (es).

Vimos por este meio apresentar-lhe o nosso melhor preço para fornecimento e colocação de:

- | | |
|---|-----------|
| 1. Tecto Falso em Placa de Gesso BA13 Knauf | 19,00€ m2 |
| 2. Tecto Falso em Placa de Gesso BA13 Knauf Hidrófoga | 20,50€ m2 |
| 3. Isolamento Térmico e Acústico c/ roofmate de 8mm..... | 4,80€ m2 |
| 4. Paredes em Placa de Gesso BA13 Knauf | 22,00€ m2 |
| 5. Como Opção: Remate em perfil Alheta | 1,50€ ml |

Ao preço acresce o IVA à taxa em vigor para fins de facturação.

Sem assunto de momento, esperamos vir a merecer a sua preferência e subscrevemo-nos com elevada estima e consideração.

Com os nossos melhores cumprimentos,

Atenciosamente