

PRÉ-AQUECIMENTO DO AR DE VENTILAÇÃO POR MEIOS PASSIVOS

Um Estudo Paramétrico

JOÃO LUÍS FERREIRA NEIVA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JANEIRO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/20010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2008/2009 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

A meus Pais

A calma impede que se cometam graves erros

Textos Bíblicos, Eclesiastes 10,4

AGRADECIMENTOS

Deseja o autor expressar os seus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que de algum modo contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

- À Professora Maria Helena Corvacho, orientadora científica desta dissertação, pelo empenho, dedicação e disponibilidade demonstrada, pela quantidade e qualidade de ensinamentos transmitidos;
- A todos os colegas e amigos pela boa disposição, companheirismo e trocas de conhecimento, que de algum modo, ajudaram a enriquecer este trabalho.

Quer por fim o autor expressar a profunda gratidão e estima a toda a família, particularmente aos seus Pais, pelo apoio incondicional que sempre prestaram, principalmente nos momentos de desânimo.

RESUMO

No presente trabalho é feito um estudo a uma solução de janela caracterizada por fazer uso de duas janelas sobrepostas entre as quais existe um espaço de ar ventilado. Daí que se denomine esta solução por janela dupla ventilada.

O objectivo principal da implementação da solução nas habitações é garantir a renovação do ar interior bem como a redução das perdas de calor relacionadas com a renovação do ar, objectivo que tenta cumprir ao promover o pré-aquecimento do ar de ventilação.

A comprovação de tais objectivos é feita com recurso ao RCCTE, mais propriamente, com recurso às suas folhas referentes às necessidades nominais de aquecimento.

Os resultados obtidos para os dois edifícios analisados, onde se simularam algumas variações à solução em estudo, acabam por comprovar que a solução da janela dupla ventilada atinge os objectivos a que se propõe. Comprova também a ideia de que a solução funciona principalmente como recuperador de calor apesar de a função de colector de calor também influenciar a sua capacidade de redução das perdas de calor.

PALAVRAS-CHAVE: renovação do ar, pré-aquecimento, RCCTE, recuperação de calor

ABSTRACT

In this paper it is made a study of a window solution characterized by making use of two overlapping windows between which there is a ventilated air space. Hence this solution might be named ventilated double window.

The main purpose of implementing the solution in the home is to ensure the renewal of the indoor air as well as the reduction of heat losses related to the renewal of the air, objective it tries to meet by promoting pre-heating of the ventilation air.

Proof of such achievements is done by using the RCCTE, more specifically, using the pages referent to nominal heating needs.

The results from the two buildings studied, which simulated some changes to the test solution, ultimately proved that the ventilated double window achieved in fact the objectives. It also proves the idea that the solution works primarily as a heat recovering system while the function of heat collector also affect its ability to reduce heat loss.

KEYWORDS: renewal of the indoor air, pre-heating, RCCTE, heat recovering

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJECTIVOS.....	1
1.3. METODOLOGIA	1
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2. ESTADO DA ARTE	3
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	3
2.2. PROTOCOLO DE QUIOTO E A SUA IMPORTÂNCIA	6
2.2.1. Protocolo na União Europeia	6
2.2.2. Protocolo Em Portugal	7
2.3. JANELAS DUPLAS VENTILADAS	10
2.3.1. JANELAS DE FLUXO DE AR	10
2.3.2. JANELAS COLECTORAS DE CALOR	12
2.4. PARÂMETROS.....	13
2.4.1. VELOCIDADE DO AR DE VENTILAÇÃO.....	13
2.4.2. LARGURA DAS CAVIDADES	14
2.4.3. SOMBREAMENTO DOS ENVIDRAÇADOS	14
2.4.4. PELÍCULA DE BAIXA EMISSIVIDADE NA CAVIDADE	14
2.4.5. DIFERENÇA DE TEMPERATURA ENTRE O AMBIENTE EXTERIOR E O INTERIOR.....	14
2.4.6. RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE	15
2.4.7. TAMANHO DO VÃO ENVIDRAÇADO	15
2.4.8. TIPOLOGIA DO VÃO ENVIDRAÇADO INTERIOR	15
2.4.9. ORIENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA	16

3. Avaliação do impacto da introdução de janelas duplas ventiladas na envolvente dos edifícios: Dois casos de estudo	17
3.1. INTRODUÇÃO	17
3.2. APRESENTAÇÃO DOS DADOS	25
3.3. RESULTADOS	27
3.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	29
4. CONCLUSÃO	31
BIBLIOGRAFIA	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2.1 - Ventilador.....	4
Fig.2.2 - Exemplo de janela de fluxo de ar	10
Fig.2.3 - Esquema da janela com vidro simples e duplo no pano envidraçado interior	11
Fig.2.4 - Exemplo de janela colectora de calor.....	12
Fig.2.5 - Exemplo de fachada dupla.....	13
Fig.3.1 - Folha FCIV.1c referente às perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores	18
Fig.3.2 - Folha FCIV.1d referente às perdas associadas a renovação do ar	19
Fig.3.3 - Folha FCIV.1e referente aos ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)..	20
Fig.3.4 - Folha FCIV.1f referente ao valor máximo das necessidades de aquecimento.....	21
Fig.3.5 - Folha FCIV.2 referente ao cálculo indicador NIC	22

ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

Tabela 2.1 - Concentrações máximas de referência de acordo com o Decreto-Lei 79/06	4
Quadro 4.1 - Dados usados no RCCTE	25
Quadro 4.2 – Dados usados na determinação do $\eta_{ponderado}$	26
Quadro 4.3 - Quadro síntese do Caso 1 para a Covilhã.....	27
Quadro 4.4 - Quadro síntese do Caso 1 para Bragança	28
Quadro 4.5 - Quadro síntese do Caso 1 para o Porto	28
Quadro 4.6 - Quadro síntese do Caso 1 para Lisboa	28
Quadro 4.7 - Quadro síntese do Caso 1 para Faro	29
Quadro 4.8 - Quadro síntese do Caso 2 para a Porto	29
Quadro 5.1 – Melhor situação/parâmetro	32

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

W - watts

°C – graus célsius

h - horas

m³ – metro cúbico

cm - centímetro

U_{eq} – coeficiente de transmissão térmica equivalente [W/m²°K]

η - rendimento das janelas duplas ventiladas

h_{total} – numero de horas totais da estação de aquecimento

h_{c/Sol} – numero de horas de insolação

h_{s/sol} – numero de horas sem insolação

AVAC – aquecimento ventilação e ar condicionado

CELE - Comércio Europeu das Licenças de Emissão

PNAC - Plano Nacional para as Alterações Climáticas

Programa E4 – Eficiência Energética e Energias Endógenas

URE – utilização racional de energia

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - Decreto-Lei nº 40/90, de 6 de Fevereiro

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios - Decreto-Lei 118/98, de 7 de Maio

P3E – Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios

Programa AQS – Água Quente Solar para Portugal

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A evolução dos materiais e das técnicas construtivas leva a que as habitações tenham uma envolvente cada vez mais estanque. Este fenómeno permite eliminar as entradas de ar não controladas, infiltrações de ar, garantindo um maior conforto aos utilizadores. Apesar de maior estanqueidade ser o que os utilizadores procuram, ela acarreta problemas relativamente à qualidade do ar interior.

Com os meios naturais de entrada de ar eliminados o ar interior da habitação deixa de ser renovado, levando ao seu empobrecimento e diminuição das suas qualidades. Tal diminuição é um risco para a saúde dos utilizadores da habitação.

Dispositivos que promovam a admissão de ar devem ser instalados para controlar este problema, no entanto, ao renovar-se o ar interior de uma habitação com ar exterior que está a uma temperatura inferior estamos a arrefecer o ar interior.

Para evitar que a temperatura no interior baixe o utilizador vê-se forçado a recorrer a dispositivos de aquecimento que acarretam elevados consumos energéticos e ambientais.

A solução de janelas duplas ventiladas, estudada neste trabalho, pretende não só resolver o problema de renovação do ar ao promover a sua admissão, mas também, através do pré-aquecimento desse mesmo ar por meios passivos, diminuir o consumo energético no aquecimento das habitações.

Esta solução é amiga do utilizador e do ambiente.

1.2. OBJECTIVOS

Procura-se perceber a influência da solução de janelas duplas ventiladas no comportamento térmico das habitações.

1.3. METODOLOGIA

Usando dados da tese de doutoramento [5] e com as folhas de calculo do RCCTE faz-se um estudo paramétrico aplicado a duas habitações.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho estuda uma solução de janelas duplas caracterizadas por possuírem um espaço de ar ventilado entre os seus dois panos envidraçados

No capítulo 2 é feita uma introdução à problemática que levou à procura desta solução não só a nível de uma melhoria do comportamento térmico mas também o seu enquadramento no âmbito ambiental.

O capítulo 3 analisa a questão do conforto térmico associado à solução de janelas em estudo e a sua relação com a problemática de garantir a renovação do ar interior. Discute-se o que provoca o aumento ou diminuição de tal conforto e o modo como a solução o procura satisfazer ao mesmo tempo que promove a manutenção de níveis de qualidade do ar interior que não levem problemas para a saúde dos habitantes.

No capítulo 4 são apresentados os dados usados na dissertação para fazer as variações paramétricas e a forma como foram determinados de forma a se adequarem a metodologia do RCCTE. Os resultados de tais variações paramétricas são também apresentados neste capítulo e uma breve análise é feita sobre os mesmos.

O capítulo 5 corresponde as conclusões da dissertação. Os dados são analisados em mais pormenor e é determinado o porquê das variações associadas aos parâmetros usados. Determina-se neste capítulo se os objectivos da solução de janelas duplas ventiladas são cumpridos ou não e o porque.

2

Estado da arte

2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A procura de maior conforto no interior dos edifícios leva os utilizadores destes a procurarem envolventes cada vez mais estanques de modo a reduzir as infiltrações de ar. No entanto, ao eliminar estas infiltrações naturais contribui-se para o empobrecimento da qualidade do ar, resultando em problemas de saúde para os utilizadores.

Com a publicação da legislação referente ao Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior em edifícios, a temática da qualidade do ar interior passou a estar consagrada na legislação nacional.

A não existência até então, de requisitos relativos a valores mínimos de renovação de ar, o pouco controlo da conformidade do desempenho das instalações com o respectivo projecto aquando da sua recepção, e a falta de manutenção adequada das instalações durante o funcionamento, têm levado ao aparecimento de problemas de qualidade interior, alguns dos quais com impacto significativo ao nível da saúde.

A relevância do controlo e avaliação da qualidade do ar interior em edifícios, resulta do facto, de hoje em dia, as pessoas passarem cada vez mais tempo dentro de edifícios (habitação, emprego, serviços, lazer) ficando desta forma expostas à acção de poluentes, relacionados com os materiais usados na construção e manutenção dos edifícios, com os sistemas AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), com os ocupantes e com a qualidade do ar exterior.

No Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 Abril, entre outros aspectos, são definidos requisitos a observar no que se refere à qualidade do ar interior para edifícios de serviços e de habitação dotados de sistemas de climatização, através do estabelecimento de concentrações máximas admissíveis de poluentes e imposição de valores mínimos de renovação de ar por espaço, em função da sua utilização.

Tabela 2.1 – Concentrações máximas de referência de acordo com o Decreto-Lei 79/06

Parâmetros	Concentração
Partículas em Suspensão no ar	0,12 mg/m ³
Dióxido de Carbono	1800 mg/m ³
Monóxido de Carbono	12,5 mg/m ³
Ozono	0,2 mg/m ³
Formaldeído	0,1 mg/m ³
Compostos Orgânicos Voláteis	0,6 mg/m ³
Microrganismos - bactérias	500 UFC/m ³
Microrganismos - fungos	500 UFC/m ³
Legionella (Se aplicável)	100 UFC/litro de água, líquido de refrigeração
Rádion (Se aplicável)	400 Bq/m ³

Apesar de os edifícios de habitação sem sistemas de climatização não requererem este decreto de lei, mostra-se evidente a necessidade de sistemas nestes que promovam a admissão/circulação do ar, por esse motivo o uso de ventiladores e outros aparelhos que servem o mesmo propósito tornou-se generalizado.



Fig.2.1 – Ventilador [19]

Existem vários tipos de ventiladores e exaustores. Do menor e mais portátil ao exaustor da casa inteira. O modelo e o tamanho correctos devem ser seleccionados para que atendam às necessidades e mantenham baixos os custos.

Na maioria das vezes o que se procura é um ventilador. Contudo em ambientes onde existe alguma fonte importante de vapor de água, fuligem ou gordura, é conveniente instalar um exaustor, para que a ventilação tome o caminho bem definido e garanta a boa qualidade do ar.

No entanto recorrer a este tipo de solução, ventilação mecânica, levanta problemas relativamente ao consumo energético dos dispositivos

Outro problema reside no facto de as perdas de calor associadas à renovação do ar estarem a ganhar cada vez mais importância, pois o aumento do nível de isolamento térmico da envolvente da habitação leva a que as perdas ocorram quase exclusivamente por estes dispositivos.

De forma a combater esta perda de calor, os moradores recorrem cada vez mais a sistemas de aquecimento das habitações.

As soluções mais comuns de aquecimento não reduzem as perdas de calor propriamente ditas, o que fazem é manter o nível de calor constante através da introdução de calor no interior das habitações.

Dentro destas estão as lareiras ou recuperadores de calor que produzem calor através da chama proveniente da combustão de madeira ou derivados desta, por esse motivo exigem a existência de chaminé na habitação de modo a proceder à exaustão dos fumos; aquecedores eléctricos, são aquecedores a resistência onde o ar é aquecido pela resistência e difundido para o exterior, através de pequenos filamentos, alguns possuem uma espécie de ventoinha que permite espalhar melhor o ar à saída; termo – ventiladores, são aparelhos de pequena dimensão à semelhança dos aquecedores a resistência e possuem dupla função (de fluxo de ar quente e fluxo de ar frio); aquecedores termo – cerâmicos, são aparelhos de maiores dimensões do que os anteriormente referidos, geralmente fixos a paredes e que funcionam com uma resistência eléctrica que aquece uma placa cerâmica sendo esta que irá transmitir o calor ao compartimento; aquecedores a óleo, são aquecedores eléctricos que usam o óleo como um meio para transferir o calor produzido por uma resistência eléctrica imersa em óleo no reservatório e propaga o calor através do radiador blindado para aquecer o ambiente; aquecedores a gás, fazem uso de botijas de gás para produzir calor através de uma chama criada ao queimar o gás; pisos radiantes, são provavelmente os meios mais eficientes de aquecimento das habitações devido principalmente ao facto de quase todo o pavimento ser utilizado como elemento emissor de energia, uma das soluções mais utilizadas recorre a cabos de aquecimento que são previamente aplicados antes da betonilha final.

Todas as soluções descritas são não passivas, isto é, dependem de uma fonte de energia para proporcionarem o aquecimento/ arrefecimento que faz com que partilhem o mesmo problema, acarretam custos de utilização que, tendo em conta o aumento constante e progressivo dos preços das energias, tendem a aumentar.

Tem-se então duas necessidades dos edifícios que levantam graves problemas de consumo energético. Consumo esse que o Estado Português, no âmbito do protocolo de Quioto, tem vindo a tentar diminuir.

2.2.PROTOCOLO DE QUIOTO E A SUA IMPORTÂNCIA

O protocolo estimula os países signatários a cooperarem entre si, através de algumas acções básicas:

- Reforma dos sectores de energia e transportes;
- Promoção do uso de fontes de energia renováveis;
- Limitação das emissões de metano, através da gestão de resíduos e dos sistemas energéticos;
- Protecção das florestas e outros elementos que promovam a eliminação de carbono.

2.2.1.PROTOCOLO NA UNIÃO EUROPEIA

Ao assinar o Protocolo de Quioto, em 29 de Abril de 1998, a União Europeia estabeleceu um Acordo de Partilha de Responsabilidade com os seus Estados Membros, no qual assume o compromisso de reduzir as emissões dos seis Gases com Efeito de Estufa em 8% relativamente a 1990, durante o período de 2008 a 2012.

A União Europeia divulgou no dia 23 de Janeiro de 2008 as quotas relativas a cada Estado-membro, para que sejam atingidas as metas traçadas em Março de 2007 para redução das emissões de gases com efeito de estufa.

Os membros das UE terão de reduzir 10% das emissões de CO₂, em relação a 2005, nos sectores excluídos do Comércio Europeu das Licenças de Emissão (CELE), como os transportes, edifícios ou agricultura.

A União Europeia divulgou ainda um pacote legislativo que prevê a criação de um plano europeu de atribuição de licenças de emissão, que substituirá, a partir de 2013, os planos nacionais dos membros.

No âmbito do Acordo de Partilha de Responsabilidade, Portugal assumiu o compromisso de não apresentar um aumento de emissões superior a 27% relativamente ao ano de referência de 1990, durante o período de 2008 a 2012.

A União Europeia anunciou no dia 23 de Janeiro de 2008 que Portugal pode aumentar em 1% as emissões de gases poluentes nos sectores não abrangidos no CELE.

O enquadramento da política ambiental, para satisfazer o compromisso nacional neste domínio encontra-se explicitado na Resolução de Conselho de Ministros nº 59/2001, de 30 de Maio, que aprovou a estratégia para as Alterações Climáticas, e na Lei 93/2001, de 20 de Agosto, que criou instrumentos para prevenir as alterações climáticas e os seus efeitos, tendo sido recentemente apresentado, neste âmbito, o Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC).

O CO₂, o mais representativo de entre os gases que contribuem para o aquecimento global, resulta essencialmente da queima de combustíveis fósseis, para a produção de calor e de electricidade ou fonte motriz nos transportes, bem assim como da utilização de biomassa. A Energia, no seu processo de conversão/utilização, contribui com cerca de 2/3 do total das emissões de GEE em Portugal. Dado que a energia é repartida pelos vários sectores de actividade, nomeadamente a indústria, os edifícios (residenciais e de serviços) e os transportes, torna-se necessário estabelecer medidas de actuação, de

âmbito sectorial, que conduzam ao estabelecimento de "quotas" de emissões por sector, de forma a que seja possível gerir a respectiva contribuição para o objectivo global.

Através da Resolução do Conselho de Ministros nº 154/2001, de 19 de Outubro, o governo português adoptou formalmente o Programa E4 (Eficiência Energética e Energias Endógenas) com o objectivo de "...pela promoção da eficiência energética e da valorização das energias endógenas, contribuir para a melhoria da competitividade da economia portuguesa e para a modernização da nossa sociedade, salvaguardando simultaneamente a qualidade de vida das gerações vindouras pela redução de emissões, em particular do CO₂, responsável pelas alterações climáticas". O Programa E4 assume-se, assim, como um instrumento de primordial importância na estratégia para as alterações climáticas, dando um contributo decisivo no sentido do cumprimento das obrigações que Portugal assumiu ao subscrever o Protocolo de Quioto.

Sendo os edifícios, tanto os residenciais como os de serviços, responsáveis por mais de 20% do consumo de energia final em Portugal, o Programa E4 não podia deixar de lhes dar especial atenção, apontando um vasto conjunto de medidas que visam, nomeadamente: por um lado, promover a melhoria da eficiência energética nos edifícios, ou a Utilização Racional de Energia (URE), cobrindo todos os tipos de consumo, desde a preparação de água quente sanitária (utilização básica de maior consumo nos edifícios residenciais), passando pela iluminação e pelos equipamentos e electrodomésticos (acesso aos resultados dos avanços tecnológicos), sem esquecer a melhoria da envolvente tendo em conta o impacto desta nos consumos de climatização (aquecimento, arrefecimento e ventilação) para assegurar um confortável ambiente; por outro lado, promover o recurso às energias endógenas nos edifícios, criando os meios e instrumentos que facilitam a penetração das energias renováveis (solar térmico, solar fotovoltaico, etc.) e das novas tecnologias energéticas (micro-turbinas para micro-cogeração, células de combustível, etc.), incluindo o estabelecimento das condições para a ligação destes pequenos produtores de electricidade em baixa tensão à rede eléctrica nacional.

O problema de aumentar a eficiência energética nos edifícios não se coloca apenas a Portugal. A União Europeia, em cujo conjunto os Edifícios representam cerca de 40% dos consumos globais de energia, apontou este objectivo também como uma das suas metas mais importantes para o futuro imediato e preparou uma proposta de Directiva para a Eficiência Energética dos Edifícios que impõe aos Estados Membros um conjunto de medidas que, no essencial, já estão integradas nos objectivos expressos do Programa E4.

2.2.2. PROTOCOLO EM PORTUGAL

Portugal não arranca do zero na área dos edifícios. Desde 1991 que está em vigor o RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - Decreto-Lei nº 40/90, de 6 de Fevereiro) que, após um arranque gradual ao longo de alguns anos, constitui hoje uma base de trabalho excelente. Este primeiro regulamento, ainda que considerado muito moderado em termos de exigências, teve um grande impacto nos edifícios portugueses. Exigências essas que procuram satisfazer as exigências de conforto térmico e de ventilação para garantir a qualidade do ar interior bem como as necessidades de água quente e sanitária sem dispêndio excessivo de energia.

Hoje, passados vários anos da sua aplicação, nem sempre rigorosa por parte das autarquias, praticamente todos os edifícios passaram a utilizar isolamentos térmicos e muitos têm vidros duplos mesmo que o RCCTE não os indique como obrigatórios. Sobretudo, os utilizadores cada vez mais

exigem-no e, por isso, a prática de uma melhoria térmica dos edifícios, não sendo boa, é no mínimo satisfatória. A "Térmica", de que em 1990 praticamente ninguém falava, é um dos aspectos que é agora abordado rotineiramente no projecto e na construção, e existem dados estatísticos que demonstram claramente os progressos efectuados na melhoria do desempenho térmico dos edifícios portugueses na última década.

Um segundo regulamento publicado em 1998, "Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios" (RSECE), Decreto-Lei 118/98, de 7 de Maio (rectificado em 2006), visa fundamentalmente os edifícios com sistemas de climatização, de forma a melhorar a sua eficiência energética. Este regulamento estabelece um conjunto de regras de modo que "as exigências de conforto e de qualidade do ambiente impostas no interior dos edifícios, possam vir a ser asseguradas em condições de eficiência energética". Ainda em fase de implementação, não houve tempo para avaliar o seu real impacto, mas regista-se pelo menos a importância simbólica da sua existência.

É pois, neste enquadramento, que o Ministério da Economia toma a iniciativa de lançar o Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios (P3E), que surge, naturalmente, como o veículo aglutinador de todas as medidas apontadas no E4 para os edifícios.

O Programa E4 aponta claramente para a necessidade de actualizar os dois regulamentos vigentes com incidência na eficiência energética dos edifícios (RCCTE e RSECE), tornando-os em ferramentas de progresso, com maior fiscalização da sua implementação na prática. Aponta igualmente para a dinamização da Certificação Energética de Edifícios, com mecanismos de controlo adequados, e da Qualificação e Responsabilização dos Técnicos intervenientes, medidas estas que surgem, assim, como novos instrumentos que vão permitir dar maior credibilidade à regulamentação e facilitar a sua implementação, levando a uma cada vez maior eficiência energética dos edifícios. Algumas outras medidas preconizadas pelo E4, como por exemplo o Programa AQS (Água Quente Solar para Portugal) e a intensificação da Etiquetagem dos Electrodomésticos, pela sua importância, são objecto de programas específicos autónomos, sendo igualmente necessário coordenar os pontos de ligação com as restantes iniciativas, numa abordagem que se pretende integrada.

Seguindo as linhas do protocolo, a sociedade portuguesa nos últimos anos tem dado uma maior importância às soluções passivas que, apesar de poderem ter custos iniciais mais elevados, tendem a ser soluções económicas mais viáveis a longo prazo visto não dependerem de fontes de energia tributadas, fazendo deles, por esse motivo, os mais eficientes em termos energéticos.

Algumas dessas soluções fazem uso do ar associado à energia solar como forma de redução dos consumos energéticos relativos à climatização dos edifícios, garantindo, desta forma, a sua admissão e combatendo o empobrecimento do ar no interior. Para tal usam sistemas onde o ar que irá fazer a ventilação do edifício é aquecido pela radiação solar antes de entrar no ambiente interior, reduzindo, deste modo, as perdas térmicas.

A solução estudada neste trabalho aproveita o facto de na envolvente de um compartimento as janelas serem o ponto fraco desta, a sua fraca qualidade relativamente à estanqueidade ou ao isolamento leva a perdas de calor, bem como desconforto dos utilizadores aquando estas se encontram viradas a arruamentos com elevada circulação automóvel e/ou pedonal (funcionam como isolamento acústico).

O uso de janelas duplas como forma de reduzir as perdas de calor não é recente fora do território nacional não é recente sendo usada há várias décadas em países como os Estados Unidos da América ou Alemanha. No entanto, no início da sua aplicação tal redução não era vista como algo indispensável, isto aliado ao facto de o preço do vidro na época ser consideravelmente elevado devido ao modo de produção levou á descontinuação do uso da solução.

Consoante a produção de vidro se foi modernizando (década de 60) resultando em vidros a preços cada vez mais acessíveis à população e também com o aumento da preocupação para com os gastos energéticos resultantes da climatização das habitações, este tipo de soluções passivas voltaram a ganhar nova força.

Na sua estrutura inicial a solução contemplava uma janela no interior, seguida do estore e por fim de uma segunda janela exterior. Durante a estação de Verão esta segunda janela podia ser retirada, em algumas soluções, de forma a evitar o sobreaquecimento do compartimento.

Mais tarde uma alteração à solução colocou os dois panos de janelas juntos e fixos um ao outro de modo a serem abertos e fechados em simultâneo.

Quando na década de 70 surgiram no mercado vidros com uma capacidade superior de isolamento (vidro duplo com gás na cavidade e/ou revestimento de baixa emissividade) a solução das janelas duplas deixou de ser praticada quase na sua generalidade, até que anos mais tarde a crise energética levou à sua reutilização como forma de complementar a solução já existente.

Em Portugal nos últimos anos tem-se vindo a verificar o uso cada vez mais frequente desta solução, ainda assim, não há um conhecimento corrente da janela dupla como solução construtiva relativamente a problemas de isolamento térmico, acústico e infiltrações de ar.

2.3. JANELAS DUPLAS VENTILADAS

2.3.1. JANELAS DE FLUXO DE AR

Sobrepondo 2 janelas cria-se então uma cavidade e devido a aberturas nestas, abertura inferior na janela exterior e abertura superior na janela interior, possibilita-se a entrada e passagem de ar por essa cavidade.



Fig.2.2 – Exemplo de janela de fluxo de ar [9]

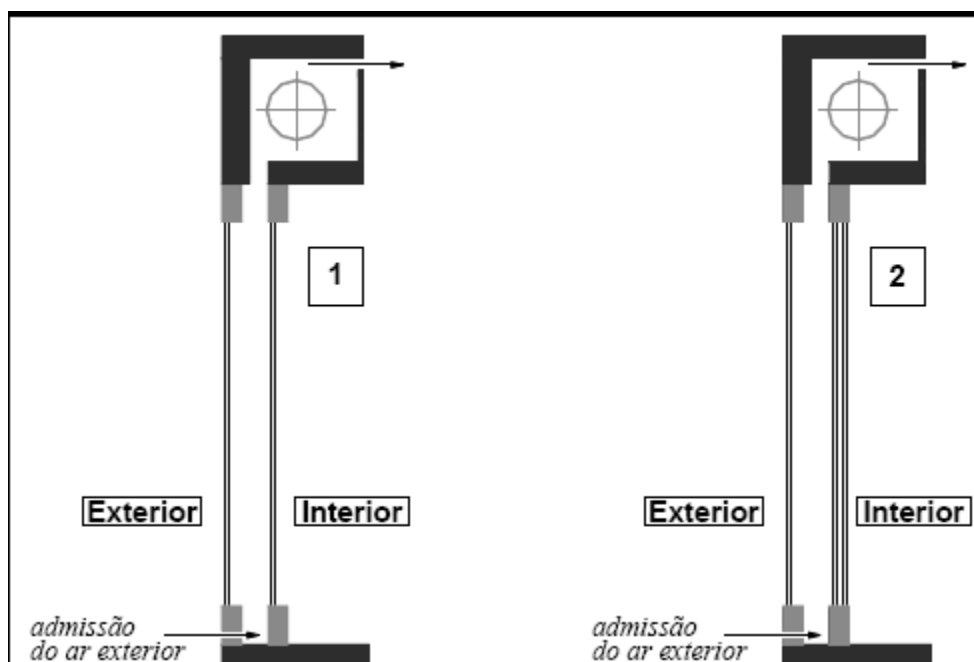


Fig.2.3 – Esquema da janela com vidro simples e duplo no plano envidraçado interior [5]

Ao entrar na cavidade, o ar irá ser aquecido por meios passivos tais como a recuperação de calor do ambiente interior e a incidência solar funcionando como um recuperador de calor e colector solar.

Como o ar quente, pelo efeito de chaminé ou pela acção do vento, tende a subir, este irá deslocar-se ao longo da cavidade, após ter entrado pela abertura inferior do pano exterior, saindo pela abertura superior do pano interior a uma temperatura mais elevada do que a com que entrou, isto é, a uma temperatura superior à temperatura do ambiente exterior.

Por tal motivo diz-se que o ar é pré-aquecido antes de entrar na habitação.

2.3.2. JANELAS COLECTORAS DE CALOR



Fig.2.4 – Exemplo de janela colectora de calor

Constituída por 2 panos de janelas intercaladas com um dispositivo de sombreamento absorve a energia solar que nele incide.

Funciona do mesmo modo que a janela de fluxo de ar com as grelhas de admissão a introduzirem ar pré-aquecido na habitação. No entanto a protecção solar intermédia pode contribuir para a redução das perdas de calor durante o período nocturno.

Como nota de curiosidade, este sistema evoluiu desde a aplicação de panos duplos de janelas para a aplicação panos duplos de fachadas em edifícios.

A primeira fachada funciona principalmente como pano isolante complementado pela segunda fachada, essencialmente envidraçada de modo a tirar o máximo proveito da radiação solar. A cavidade criada pelos dois panos de fachada, cuja largura pode ir de meros centímetros a vários metros, funciona como isolamento contra temperaturas extremas, ventos e som. A ventilação da cavidade pode ser puramente por meios naturais ou suportada por ventoinhas ou outros meios mecânicos.

A integração de dispositivos de sombreamento no interior da cavidade é procedimento comum.



Fig.2.5 – Exemplo de fachada dupla [24]

2.4.PARÂMETROS

A solução de janelas duplas ventiladas depende de vários parâmetros, consoante os seus valores variam, também varia a eficiência da solução como recuperador e colector de calor. Alguns dos mais importantes são referidos a seguir e a respectiva influencia que a variação dos seus valores provoca.

2.4.1.Velocidade do ar de ventilação

A velocidade com que o ar circula na cavidade influencia a quantidade de calor que este consegue absorver dos panos das janelas. Deste modo, se a velocidade for reduzida mais tempo o ar estará dentro da cavidade, resultando numa maior absorção de calor por parte deste. Do mesmo modo se o ar circular com elevada velocidade dentro da cavidade não terá tempo suficiente para absorver tanta quantidade de calor antes de entrar no interior da habitação. Concluindo, velocidades mais reduzidas favorecem um melhor pré-aquecimento do ar.

No entanto a velocidade do ar na cavidade também influencia a quantidade de ar pré-aquecido que entra na habitação. Velocidades mais elevadas levam à entrada de mais ar do mesmo modo que velocidades mais baixas levam à entrada de menos ar.

Deste modo a eficiência das várias velocidades, que o ar pré-aquecido pode ter, vão ser semelhantes apesar de, para valores mais elevados de velocidade esta eficiência ser superior. No entanto, valores exageradamente elevados não são aconselhados pois, apesar de entrar mais ar no interior da habitação este não consegue absorver calor suficiente na cavidade para compensar, entrando nesta sem ser pré-aquecido. Algo parecido se passa para valores demasiado reduzidos pois, o ar que entra na habitação, apesar de ter um bom pré-aquecimento é em insuficiente quantidade.

2.4.2.Largura das cavidades

Este parâmetro acaba por relacionar-se com a velocidade do ar de ventilação.

Para valores elevados de largura da cavidade temos velocidades mais baixas, que resulta num maior pré-aquecimento e traduzem-se numa maior temperatura do ar de ventilação mas numa menor quantidade deste que entra para o interior da habitação. Para valores mais baixos de largura da cavidade temos velocidades mais elevadas que resultam num menor pré-aquecimento e traduzem-se numa menor temperatura do ar de ventilação mas numa maior quantidade deste que entra para o interior da habitação.

Do mesmo modo que o parâmetro velocidade do ar de ventilação, este possui valores de eficiência semelhantes para larguras baixas ou elevadas.

2.4.3.Sombreamento dos envidraçados

A consideração de que este sombreamento não ocorre, implica que desta forma não há radiação directa incidente no caixilho da janela interior, contabilizando-se a reflexão e absorção solar apenas nos envidraçados.

Caso este sombreamento seja considerado, uma vez que ele ocorre em situações reais, o percurso do Sol no firmamento implica diferentes ângulos de incidência da radiação solar no sistema construtivo, levando a que existam certamente áreas de envidraçado da janela interior em sombra devido ao caixilho da janela exterior, no entanto haverá partes do caixilho da janela interior banhadas directamente pelo Sol. Como o coeficiente de transmissão térmica do caixilho é nulo, maior quantidade de energia solar ficará retida no canal de ar, acabando por ser absorvida pelos elementos construtivos adjacentes que por sua vez o transmitem para o ar de ventilação.

Desta forma, em situações reais, onde ocorre o sombreamento dos envidraçados e na presença de radiação solar, a presença do caixilho da janela interior é significativa.

2.4.4.Película de baixa emissividade na cavidade

Este tipo de películas quando associadas aos panos envidraçados reduzem as sua capacidade de radiação de calor.

Tanto na ausência como na presença de radiação solar, a aplicação desta película nas superfícies envidraçadas viradas para a cavidade traduz-se num aumento da eficiência na redução das perdas de calor.

2.4.5.Diferença de temperatura entre o ambiente exterior e o interior

Esta diferença parece não afectar significativamente o desempenho do sistema em reduzir as perdas de calor.

Se a diferença for elevada será também mais elevada a quantidade de calor que se perde do ambiente interior para a cavidade, implicando uma maior quantidade de calor que o sistema pode recuperar, esta maior perda é anulada por este maior ganho.

Caso a diferença de temperaturas seja menor não haverá tantas perdas/ganhos, mantendo-se os valores das duas situações equilibrados.

2.4.6. Radiação solar incidente

A radiação solar é um factor importante eficiência da solução. Quanto maior for a radiação solar incidente maior será o calor que a envolvente da janela irá absorver, deste modo o ar circulante na cavidade poderá absorver mais calor antes de entrar na habitação.

2.4.7. Tamanho do vão envidraçado

Na ausência de radiação solar, o aumento do vão envidraço implica um aumento da área pela qual irá ocorrer a perda de calor. Os ganhos por recuperação do calor não são proporcionais às perdas.

Na presença de radiação solar vãos maiores tiram partido do facto de haver maior percentagem de envidraçado correspondendo a maiores ganhos solares directos para o ambiente interior, levando a que os ganhos ultrapassem as perdas.

O tamanho da janela influencia também o tempo que o ar circulante na cavidade demora até entrar na habitação. Janelas maiores implicam uma maior distância para o ar percorrer, uma maior distância implica um maior intervalo de tempo que o ar terá que estar dentro da cavidade, resultando numa maior transferência de calor da envolvente para este.

2.4.8. Tipologia do vão envidraçado interior

A influência do uso de vidro simples ou duplo, no pano envidraçado interior, na eficiência da solução em reduzir as perdas de calor está relacionada com os seus coeficientes de transmissão térmica.

O vidro simples tem uma resistência térmica menor que o duplo, deste modo uma maior quantidade de calor é transferido do interior para a cavidade proporcionando valores mais elevados de calor recuperado.

Enquanto que na presença de radiação solar outros parâmetros variam de forma constante em que vê a sua eficácia melhorada, este parâmetro varia essa eficácia consoante a intensidade da radiação.

Para valores baixos de radiação solar, a redução das perdas de calor é feita quase exclusivamente por recuperação de calor, deste modo o vidro simples é o que apresenta uma maior eficiência, no entanto conforme os valores de radiação solar aumentam, o uso de vidro duplo é preferencial. Tal acontece porque o vidro duplo tem uma resistência térmica superior, logo menos radiação solar passa para o interior da habitação ficando retido na cavidade onde será absorvido pela envolvente, aumentando a sua temperatura e também a transferência de calor para o ar de ventilação.

2.4.9. Orientação e localização geográfica

Apesar de os vãos envidraçados orientados a Sul apresentarem os melhores resultados relativamente a redução das perdas de calor, a variação destes, relativamente aos restantes quadrantes, não é significativa.

A posição geográfica não é relevante para a eficiência da solução de janelas duplas ventiladas. As perdas e ganhos térmicos serão obviamente diferentes para diferentes localizações geográficas, no entanto, a eficácia da solução como recuperador e colector de calor não será alterada de modo significativo.

Para uma situação genérica com um caudal de $30\text{m}^3/\text{h}$ e uma temperatura interior de 20°C a percentagem de redução das perdas térmicas nas 3 zonas do país (I1,I2,I3) e nos quatro quadrantes de orientação possíveis anda a volta do valor de 30%.

A forma como estes dois parâmetros influenciam a eficiência da solução, ou melhor o modo como não influenciam, reflecte a maior importância que o sistema tem como recuperador de calor do que como colector de calor.

3

Avaliação do impacto da introdução de janelas duplas ventiladas na envolvente dos edifícios: Dois casos de estudo

3.1. INTRODUÇÃO

Garantir a renovação do ar interior de forma a evitar o empobrecimento das suas qualidades é um dos principais objectivos da solução em estudo.

No entanto, sem se proceder ao pré-aquecimento do ar de ventilação, este entrará na habitação com uma temperatura igual à do ar exterior, caso isto se verifique, os ocupantes irão sentir uma sensação de desconforto, popularmente denominada por “sentir uma corrente de ar”.

Tendo em conta que a temperatura interior da habitação andará na ordem dos, por exemplo, 20°C a infiltração desta corrente de ar frio não só irá causar desconforto poderá mesmo, aos ocupantes mais sensíveis e em casos de diferenças de temperatura extremas, provocar alterações nos seus estados de saúde (provocando gripes, constipações, etc) devido ao choque térmico.

Outro problema que poderá surgir perante esta sensação de desconforto, é a selagem das admissões de ar nas janelas por parte dos ocupantes por forma a impedir as infiltrações de ar frio e eliminar a sensação de desconforto. No entanto ao recorrer a esta solução volta-se novamente ao problema inicial de insuficiente regeneração do ar interior da habitação.

O desconforto térmico, entrada de ar frio, está maioritariamente associado ao caudal de ventilação, ou como foi denominado no ponto 2.4.1 taxa de ventilação, o que não é surpresa visto que a maioria das alterações possíveis à solução acabam por influenciar esta taxa.

Verificam-se penalidades térmicas associadas ao aumento do caudal de ventilação por não ocorrer um aumento comparativo do valor do coeficiente de transmissão térmica e subsequente transferência de calor para o ar de ventilação, resultando na entrada de ar frio na habitação e redução dos níveis de conforto.

A solução de janelas duplas ventiladas pode incorrer em várias alterações de modo a melhorar o seu desempenho, no entanto, aumento do desempenho não significa aumento do conforto térmico. Analisando alguns parâmetros de variação na solução facilmente se percebe a sua relação com o caudal de ventilação e conseqüente relação com o aumento ou diminuição do conforto térmico dos ocupantes.

Como foi explicado no ponto 2.4.2 a variação da largura das cavidades relaciona-se com a variação do caudal de ventilação, deste modo para larguras pequenas temos níveis de conforto baixos associados a um aumento do caudal, enquanto que para valores de larguras mais elevados os níveis de conforto, associados a caudais mais baixos, aumentam.

Nos pontos 2.4.3 e 2.4.4 são referidos os sombreamentos dos envidraçados e a presença de películas de baixa emissividade. Estes parâmetros, apesar de alterarem o desempenho da solução, são descartados, para a determinação dos níveis de conforto térmico. Os referidos parâmetros alteram o modo como a radiação solar afecta a solução e, tendo em conta que o conforto térmico depende mais da radiação solar directa do que do pré-aquecimento do ar pela radiação incidente, a variação destes dois parâmetros reduz o conforto térmico. No entanto, a variação dos valores de conforto é bastante baixa de modo que a não contabilização desta variação para o nível de conforto é aceite.

A diferença de temperatura entre o interior e o exterior, parâmetro referido no ponto 2.4.5, afecta o conforto térmico do mesmo modo que o parâmetro largura das cavidades afecta, afectação relacionada com o caudal de ventilação.

Para valores elevados de diferença de temperaturas temos uma maior velocidade do ar dentro da cavidade, isto é, temos um maior caudal de ventilação devido ao efeito chaminé. Mais uma vez, este maior caudal resulta numa redução do pré-aquecimento do ar de ventilação, levando à entrada de ar frio no interior da habitação e provocando desconforto térmico aos ocupantes.

Devido a dificuldades em obter os programas necessários para as simulações que resultariam na obtenção de resultados relativos a eficiência do sistema de dupla janela ventilada, foram usados os resultados obtidos por [5].

Com base nesses resultados procede-se ao preenchimento do RCCTE DL 80/2006 por forma a determinar o grau de influencia que a aplicação desta solução provoca.

Como a solução está relacionada com as renovações do ar, as folhas nas quais são introduzidos dados relativos ao caso em estudo são as folhas FCIV.1c, FCIV.1d, FCIV.1e.

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Verticais:			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
Horizontais:			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
		TOTAL	0,00

Fig.3.1 - Folha FCIV.1c referente às perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores

Perdas associadas à Renovação de Ar					
Área Útil de Pavimento		<input type="text"/>	(m ²)		
Pé-direito médio		<input type="text"/>	(m)		
		=			
Volume interior (V)		<input type="text" value="0,00"/>	(m ³)		
VENTILAÇÃO NATURAL <small>(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)</small>					
Cumprir a NP 1037-1?	(S ou N)	<input type="text"/>	se SIM:	RPH = <input type="text"/>	
Se NÃO:					
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	<input type="text"/>		Taxa de Renovação Nominal: Ver Quadro IV.1	
Caixas de Estore	(S ou N)	<input type="text"/>			
Classe de Exposição	(1, 2, 3 ou 4)	<input type="text"/>		RPH = <input type="text"/>	
<small>(Ver Quadro IV.2)</small>					
Aberturas Auto-reguladas?	(S ou N)	<input type="text"/>			
Área de envidraçados > 15% Ap?	(S ou N)	<input type="text"/>			
Portas Exteriores bem vedadas?	(S ou N)	<input type="text"/>			
VENTILAÇÃO MECÂNICA <small>(excluir exaustor da cozinha)</small>					
Caudal de Insuflação	Vins - (m ³ /h)	<input type="text"/>		Vf = <input type="text" value="0,00"/>	
Caudal Extraído	Vev - (m ³ /h)	<input type="text"/>			
Diferença entre Vins e Vev	(m ³ /h)	<input type="text"/>	/	V = <input type="text" value="#DIV/0!"/> (volume int) RPH (**)	
Infiltrações <small>(Vent. Natural)</small>	Vx - (h ⁻¹)	<input type="text"/>			
Recuperador de calor	(S ou N)	<input type="text"/>		se SIM, η = <input type="text" value="0"/> se NÃO, η = <input type="text" value="0"/>	
Taxa de Renovação Nominal	(mínimo: 0,6)	<input type="text"/>		(Vf / V + Vx) · (1-η)	
Consumo de Electricidade para os ventiladores		<input type="text"/>		(Ev = Pvx24x0,03xM(kWh))	
Volume		<input type="text" value="0,00"/>			
		x			
Taxa de Renovação Nominal		<input type="text" value="0,000"/>			
		x			
		<input type="text" value="0,34"/>			
		=			
TOTAL		<input type="text" value="0,00"/>		(Vol x Taxa Renovação Nominal x 0,34)x(1-η)	(W/°C)

Fig.3.2 – Folha FCIV.1d referente às perdas associadas à renovação do ar

Folha de Cálculo FC IV.1f			
Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)			
Factor de forma			
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)		m ²
Paredes exteriores			
Coberturas exteriores			
Pavimentos exteriores			
Envidraçados exteriores			
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A .τ)		
Paredes interiores			
Coberturas interiores			
Pavimentos interiores			
Envidraçados interiores			
Área total:			0,00
			/
Volume (de FCIV.1d):			=
FF			#DIV/0!
Graus-dias no local (°C.dia) (do Quadro III.1)			
Ni = 4,5 + 0,0395 GD	Para FF < 0,5	Auxiliar	4,5
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD	Para 0,5 < FF < 1		#DIV/0!
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)	Para 1 < FF < 1,5		#DIV/0!
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	Para FF > 1,5		4,050
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)			#DIV/0!

Fig.3.4 - Folha FCIV.1f referente ao valor máximo das necessidades de aquecimento

Os dados introduzidos nestas folhas serão tratados e a sua análise será feita na folha FCIV.2 que se refere às necessidades nominais de aquecimento.

Perdas térmicas associadas a:		(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)		0,00
Envolvente Interior (de FCIV.1b)		0,00
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)		0,00
Renovação de Ar (de FCIV.1d)		#DIV/0!
		=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)		#DIV/0!
		x
Graus-dias no Local (°C.dia)		0,00
		x
		0,024
		=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)		#DIV/0!
		+
Consumo de Electricidade para os ventiladores (Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))		0
		-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)		#DIV/0!
		=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)		#DIV/0!
		/
Área Útil de Pavimento (m2)		0,00
		=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)		#DIV/0!
		≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)		#DIV/0!
		#DIV/0!
		#DIV/0!
		Nic/Ni = #DIV/0!

Fig.3.5 - Folha FCIV.2 referente ao cálculo indicador NIC

Os dados a introduzir irão variar conforme se procedem a alterações na solução, alterações estas relativas ao uso de vidro simples ou duplo para o pano envidraçado interior combinadas com a variação da largura das cavidades.

Cada uma destas variações provoca alterações relativamente ao valor do coeficiente de transmissão térmica bem como da taxa de redução das perdas de calor por ventilação, que no presente trabalho e tendo por base a seguinte explicação, é considerada como o valor do rendimento das janelas duplas ventiladas como recuperador de calor, η , na folha FCIV.1d.

As perdas térmicas de um edifício associadas à ventilação para renovação do ar interior estão dependentes, essencialmente, do volume de ar renovado e das temperaturas dos ambientes interior e exterior. Com o pré-aquecimento desse ar de ventilação, a temperatura do ar insuflado no interior será mais elevada do que a que se verifica no exterior representando um ganho térmico que compensará as perdas térmicas por via da renovação do ar. Conhecendo-se o valor das perdas térmicas por ventilação e os ganhos térmicos devido ao pré-aquecimento do ar podemos encontrar a proporção de redução de perdas de calor que se obtém com cada configuração. De acordo com a equação aqui reproduzida

$$\frac{Q_{util}}{Q_{rar}} 100 = \frac{\rho c V (\theta_{out} - \theta_{in})}{\rho c V (\theta_{int} - \theta_{ext})} 100 \quad (3.1.)$$

em que Q_{util} representa o calor obtido com o pré-aquecimento do ar de ventilação (W), Q_{rar} as perdas térmicas por ventilação (W), ρ a densidade ou massa específica do ar (Kg/m^3), c o calor específico do ar ($\text{J/Kg}^\circ\text{C}$), V o caudal volúmico (m^3/s), θ_{out}/θ_{in} representam a temperatura do ar à saída e à entrada e $\theta_{int}/\theta_{ext}$ as temperaturas no interior e exterior respectivamente.

Antes de se avançar com os resultados do presente trabalho é necessário referir que os dados usados, retirados de Jorge Carlos [5], são relativos a valores de referência para um caudal de ventilação de cada janela de $30 \text{ m}^3/\text{h}$, uma diferença entre as temperaturas interiores e exteriores de 20°C e para uma radiação solar incidente de 350 W/m^2 .

Duas habitações distintas foram escolhidas para testar o modo como as janelas duplas ventiladas influenciam o seu desempenho segundo a metodologia do RCCTE relativamente à diminuição das perdas de calor por ventilação e às necessidades nominais de aquecimento. As respectivas folhas de cálculo do RCCTE e mais informações sobre as habitações, nomeadamente as suas plantas onde constam as janelas que sofreram alterações, são dadas no ANEXO I.

O primeiro caso refere-se a uma habitação relativamente recente e que já cumpre os requisitos relativos as necessidades de aquecimento impostas pelo RCCTE, sendo que a alteração da solução das janelas serve para verificar se neste tipo de situações ocorrem alterações significativas com a implementação das janelas duplas ventiladas que justifiquem a sua utilização.

Temos então uma habitação unifamiliar pertencente a um edifício multifamiliar sem qualquer tipo de sistema de climatização.

Corresponde a um T3 constituído por uma sala, corredor/hall, cozinha, duas casas de banho (uma privativa) e três quartos. O pavimento desta confronta-se com uma habitação semelhante, e a cobertura define-se como sendo horizontal e visitável, isto é, uma cobertura em terraço.

As orientações da fachada frontal e posterior, são respectivamente Nordeste e Sudoeste. Relativamente às fachadas orientadas para Sudeste e Noroeste, desconhece-se o tipo de utilização futura dos espaços envolvente. Face a sua localização e atendendo à divisão do país em zonas climáticas de Inverno e de Verão apresentadas no Anexo III do RCCTE [7], o edifício em estudo situa-se nas zonas I_2 e V_1 respectivamente.

As paredes exteriores são descritas como sendo paredes duplas (pano interior de tijolo 11; pano exterior de tijolo 15) com 8cm de caixa-de-ar preenchida parcialmente por isolamento térmico, constituído por placas de poliestireno extrudido com 4cm de espessura. As paredes são rebocadas em ambas as faces com uma espessura de 1,5cm de argamassa dando às paredes uma espessura total de aproximadamente 38cm.

As paredes interiores que funcionam como meio de separação da habitação e dos espaços comuns não aquecidos descrevem-se como sendo paredes duplas (pano interior de tijolo 7; pano exterior de tijolo 11) com 4cm de caixa-de-ar preenchida parcialmente por isolamento térmico, constituído por placas de poliestireno extrudido com 2cm de espessura. As paredes são rebocadas em ambas as faces com uma espessura de 1,5 cm de argamassa dando às paredes uma espessura total de aproximadamente 25cm. As paredes interiores que funcionam como divisórias interiores da habitação descrevem-se

como sendo paredes simples de tijolo 11, rebocadas em ambas as faces com 1,5cm de espessura. A espessura total destas paredes é de aproximadamente 15cm.

Os pavimentos são formados por uma laje maciça com 28cm de espessura, adicionada de uma camada de regularização com 5cm de betão de argila expandida.

A cobertura horizontal e invertida, constituída por uma laje maciça com 28cm de espessura, adicionada de uma camada de forma de 10cm, regularização da face inferior a partir de um recobrimento de argamassa com 2cm de espessura. Sobre a camada de forma encontra-se uma tela de impermeabilização e, sobre esta, uma protecção exterior da cobertura composta por seixos.

Os envidraçados são simples compostos por vidro duplo (5+8+4) incolor e caixilharia de alumínio. A protecção exterior define-se por uma persiana metálica em todos os envidraçados, excepto na cozinha que é protegida por um tipo de estore veneziano constituído por lâminas metálicas.

O segundo caso refere-se a uma habitação antiga com prestação muito negativa no RCCTE que é sujeita a obras de reabilitação. O objectivo é determinar a influência das janelas duplas ventiladas neste tipo de situações e ver se esta promove uma melhoria dos resultados no RCCTE.

Temos então uma vivenda de dois pisos unifamiliar, contendo 3 quartos (um deles com varanda aberta), duas casas de banho (uma em cada piso), sala (com o respectivo fogão de sala), cozinha e um hall de entrada. Contém ainda um sótão não habitável e não acessível.

A estrutura é em alvenaria de pedra (granito), cujas paredes têm 25cm de espessura, com lajes maciças de betão armado 20cm de espessura sendo a escadaria em madeira envernizada com o respectivo corrimão.

Todas as janelas são simples de vidro simples, de correr, com caixa de estore exterior e persiana corrida à mão contendo um gancho de fecho estando a caída feita em chapa no exterior da habitação.

Todas as portas tanto interiores como exteriores são de madeira com excepção da porta da cozinha de ligação ao exterior (em alumínio e com uma fracção envidraçada) e da porta da sala (também em alumínio mas essencialmente envidraçada).

Como já foi referido esta habitação irá sofrer obras de reabilitação e tendo em conta que o coeficiente de transmissão térmica da fachada é muito superior ao máximo regulamentar, um ponto de partida será reforçar as paredes de fachada com isolamento térmico pelo interior, colmatando com placas de gesso cartonado. As lajes deverão também ser reforçadas com isolante térmico sendo removida a alcatifa existente para a colocação deste, sendo posteriormente colocado um soalho de madeira (à excepção da cozinha e das casas de banho, onde serão colocados azulejos).

A solução prevista a testar será uma camada de 5cm de espessura de poliestireno extrudido com posterior colocação de uma placa de gesso cartonado de 4cm de espessura. Será também aplicada a mesma camada de poliestireno extrudido na parte superior das lajes, revestido com o soalho de contraplacado de 1cm de espessura na laje do tecto do piso 1, aplicando-se o mesmo na zona dos quartos e da sala dos restantes pisos e material cerâmico na cozinha e casas de banho.

Para se proceder à análise dos resultados o RCCTE original das habitações não oferece os melhores termos de comparação. De modo a permitir a comparação entre as janelas originais e situações com a tipologia destas alterada, as folhas de cálculo relativas às perdas associadas à renovação de ar sofrem uma alteração relativa ao caudal de ventilação. Este passa a ser mecânico sem recuperação de calor com os mesmos 30 m³/h por janela usados como valor de referência para as janelas duplas ventiladas.

No Anexo 2 é dado um exemplo desta alteração à folha de cálculo do RCCTE para o caso da habitação 1.

3.2. APRESENTAÇÃO DOS DADOS

São então usados como dados a introduzir nas folhas de cálculo do RCCTE os valores constantes no Quadro 4.1 em função da variação aplicada à solução, onde η representa o rendimento das janelas duplas ventiladas como recuperador de calor e U representa o coeficiente de transmissão térmica do conjunto. De notar que as situações denominadas com vidro simples ou duplo referem-se a tipologia do vidro do pano envidraçado interior, que é composto por vidro simples ou duplo respectivamente, e que espessura da cavidade entre panos envidraçados varia entre os valores referidos devido ao modo como a instalação do protótipo realizado por [5] foi efectuado.

Os valores de U são retirados directamente de [5], no entanto, os de η não o podem ser. Este coeficiente consta nesse estudo como a proporção de redução das perdas de calor que relaciona os ganhos térmicos provocados devido ao pré-aquecimento do ar insuflado na habitação com as perdas térmicas por via da renovação do ar. Dai que esta proporção é considerada como o rendimento das janelas duplas ventiladas.

Esta proporção está nesse estudo afectada a períodos com radiação solar e sem radiação solar, fornecendo valores para cada uma das situações. O RCCTE não faz esta distinção trabalhando com períodos de tempo contínuos, daí que, para determinar os valores do coeficiente η a usar foi necessário o cálculo para cada localização e tipologia de janela do seu valor ponderado.

Tal determinação foi feita com base no número de horas total (h_{Total}) ao longo da estação de aquecimento e na sua divisão em número total de horas de insolação ($h_{c/Sol}$) e número total de horas sem insolação ($h_{s/Sol}$) ao longo da mesma estação, relacionadas segundo a seguinte expressão

$$\eta_{ponderado} = \eta_{s/Sol} \times \frac{h_{s/Sol}}{h_{Total}} + \eta_{c/Sol} \times \frac{h_{c/Sol}}{h_{Total}} \quad (3.2.)$$

Usando o RCCTE [7] para retirar a duração da estação de aquecimento para as várias localizações geográficas e considerando meses de 30 dias determina-se o h_{Total} , com as informações relativas à duração total do tempo de insolação retiradas do instituto de meteorologia [25] calcula-se então os $h_{c/Sol}$ e $h_{s/Sol}$.

No quadro 3.1 faz-se uma síntese dos dados usados para a determinação dos $\eta_{ponderados}$.

Quadro 3.1 – Dados usados no cálculo dos $\eta_{ponderados}$

Localização	Dias estação aquecimento	h_{Total}	$h_{c/Sol}$	$h_{s/Sol}$
Covilhã	219	5256	1328,75	3927,25
Bragança	240	5760	1452,50	4307,50
Porto	201	4896	1056,25	3839,75
Lisboa	159	3816	901,25	2914,75
Faro	129	3096	710,50	2385,50

Quadro 3.2 – Valores de $\eta_{ponderado}$ e U usados nas folhas de cálculo

Situação	U (W/m ² °C)	η (%)				
		Covilhã	Bragança	Porto	Lisboa	Faro
Vidro simples-7,3	2,485	23,02	23,02	22,73	22,89	22,84
Vidro duplo-7,3	2,45	19,53	19,52	19,16	19,36	19,29
Vidro simples-19,3	2,485	22,64	22,63	22,39	22,53	22,48
Vidro duplo-19,3	2,45	18,63	18,62	18,42	18,54	18,50

Ao alterar a solução de janelas das habitações o factor solar correspondente à nova solução tem que ser calculado. Recorrendo à tabela IV 4.1 e ao quadro V.4 do RCCTE [7] facilmente se chega a este novo valor com base no seguinte raciocínio:

- na tabela IV 4:1 retira-se o factor solar do envidraçado (g_v), como estamos perante janelas duplas cada pano envidraçado terá 1 factor, este dois factores devem ser multiplicados um pelo outro;
- no quadro V.4 retira-se o valor do factor solar do vão envidraçado com protecção solar e vidro incolor (g');
- usando a formula correspondente para cada configuração determina-se o factor solar do vão envidraçado (g) correspondente ao factor a usar na folha FC.IV.1e do RCCTE.

Equação do factor solar para vidros simples:

$$g = g_v \times \Pi \frac{g'}{0,85} \quad (3.3.)$$

Onde $g_v = 0,88 \times 0,88$ correspondendo ao pano envidraçado interior e exterior e $g' = 0,70$ dando um valor de factor solar para as janelas duplas ventiladas com vidro simples no pano interior de 0,638.

Equação do factor solar para vidros duplos:

$$g = g_v \times \Pi \frac{g'}{0,75} \quad (3.4.)$$

Onde $g_v = 0,78 \times 0,88$ correspondendo ao pano envidraçado interior e exterior e $g' = 0,63$ dando um valor de factor solar para as janelas duplas ventiladas com vidro duplo no pano interior de 0,577.

3.3. RESULTADOS

Para cada um dos casos são preenchidas as folhas de cálculo do RCCTE, correspondendo a determinadas alterações na solução a implementar, por forma a determinar qual alteração é a mais significativa.

São então preenchidos 5 documentos correspondentes às seguintes situações:

- vidro simples no pano interior com cavidade de 7,3cm
- vidro duplo no pano interior com cavidade de 7,3cm
- vidro simples no pano interior com cavidade de 19,3cm
- vidro duplo no pano interior com cavidade de 19,3cm
- vidro simples no pano interior com cavidade de 7,3cm e com película de baixa emissividade;

No Anexo 3 estão as folhas de cálculo do RCCTE preenchidos para ambos os casos relativamente a vidro simples no pano interior com cavidade de 7,3cm a título de exemplo.

Uma síntese dos resultados relativos às perdas térmicas pelos envidraçados, às perdas térmicas devidas a ventilação, aos ganhos solares e às necessidades nominais de aquecimento é feita nos seguintes quadros. Notar que as unidades das perdas relativas aos envidraçados e à ventilação foram alteradas de modo a que os valores sofram alterações consoante a localização geográfica, passaram de W/°C para kWh/ano em que por ano entenda-se por estação de aquecimento. Tal alteração consistiu em multiplicar os resultados obtidos no RCCTE pelo número de Graus Dia e por 0,024.

Quadro 3.3 – Quadro síntese do Caso 1 para a Covilhã

Situação	Covilhã			
	Perdas envidraçadas kWh/ano	Perdas ventilação kWh/ano	Ganhos kWh/ano	Nic/Ni %
Habitação original	3816,18	2754,000	3215,79	88,35%
Vidro simples-7,3	3090,42	2120,040	3463,66	73,77
Vidro duplo-7,3	2649,78	2216,160	3313,92	72,01
Vidro simples-19,3	3090,42	2130,300	3463,71	73,86
Vidro duplo-19,3	2649,78	2241,000	3314,03	72,23

Quadro 3.4 – Quadro síntese do Caso 1 para Bragança

Bragança				
Situação	Perdas envidraçados kWh/ano	Perdas ventilação kWh/ano	Ganhos kWh/ano	Nic/Ni %
Habitação original	4833,828	3488,400	3784,89	91,12
Vidro simples-7,3	3914,532	2685,384	3803,03	78,56
Vidro duplo-7,3	3356,388	2807,136	3638,26	76,61
Vidro simples-19,3	3914,532	2699,064	3803,06	78,66
Vidro duplo-19,3	3356,388	2838,600	3638,33	76,83

Quadro 3.5 – Quadro síntese do Caso 1 para o Porto

Porto				
Situação	Perdas envidraçados kWh/ano	Perdas ventilação kWh/ano	Ganhos kWh/ano	Nic/Ni %
Habitação Original	2679,806	1933,920	3196,06	75,06
Vidro simples-7,3	2170,162	1494,427	3200,63	62,93
Vidro duplo-7,3	1860,734	1563,442	3061,14	61,65
Vidro simples-19,3	2170,162	1500,874	3200,74	63,02
Vidro duplo-19,3	1860,734	1577,851	3061,38	61,83

Quadro 3.6 – Quadro síntese do Caso 1 para Lisboa

Lisboa				
Situação	Perdas envidraçados kWh/ano	Perdas ventilação kWh/ano	Ganhos kWh/ano	Nic/Ni %
Habitação Original	2018,335	1456,560	2703,15	68,90
Vidro simples-7,3	1634,489	1123,265	2702,15	57,01
Vidro duplo-7,3	1401,439	1174,673	2576,23	56,08
Vidro simples-19,3	1634,489	1128,406	2702,31	57,09
Vidro duplo-19,3	1401,439	1186,382	2576,56	56,28

Quadro 3.7 – Quadro síntese do Caso 1 para Faro

Situação	Faro			
	Perdas envidraçados kWh/ano	Perdas ventilação kWh/ano	Ganhos kWh/ano	Nic/Ni %
Habitação Original	1797,845	1297,440	2201,31	72,15
Vidro simples-7,3	1455,931	1001,064	2204,46	60,29
Vidro duplo-7,3	1248,341	1047,110	2101,30	59,22
Vidro simples-19,3	1455,931	1005,898	2204,56	60,38
Vidro duplo-19,3	1248,341	1057,541	2101,22	59,41

Quadro 3.8 – Quadro síntese do Caso 2 para o Porto

Situação	Porto			
	Perdas envidraçados kWh/ano	Perdas ventilação kWh/ano	Ganhos kWh/ano	Nic/Ni %
Original	2951,323	1970,640	4016,99	110,58-KO
Vidro simples-7,3	1662,792	1494,427	3487,63	94,64
Vidro duplo-7,3	1508,458	1563,442	3356,91	95,24
Vidro simples-19,3	1662,792	1500,874	3487,68	94,73
Vidro duplo-19,3	1508,458	1578,230	3357,01	95,43

3.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As perdas pelos envidraçados dependem da localização geográfica e da tipologia da solução das janelas duplas ventiladas usada. Esta variação é de forma a que aos melhores resultados relativos às perdas pelos envidraçados, isto é, menores valores de perdas, correspondem as janelas com vidro duplo no pano envidraçado interior não dependendo da espessura da cavidade devido ao elevado valor desta.

A sua melhoria em relação à situação original, isto é, à habitação sem a solução de janelas duplas ventiladas implementada, é bastante expressiva havendo situações onde essa melhoria é acima dos 1000kWh/ano.

As perdas associadas à ventilação variam com a localização geográfica e a tipologia da solução das janelas duplas ventiladas usada. Os melhores resultados relativos às perdas associadas à ventilação, isto é, menores perdas, correspondem às janelas com vidro simples no pano envidraçado interior com espessura de cavidade de 7,3cm.

A sua melhoria em relação à situação original também é significativa em todas as localizações.

Os ganhos totais úteis variam com a localização e com a tipologia da solução das janelas duplas ventiladas usada. Os maiores ganhos correspondem a janelas com vidro simples no pano envidraçado interior e mais uma vez não dependendo da espessura da cavidade devido ao elevado valor desta.

A razão entre as necessidades nominais de aquecimento e as necessidades nominais de aquecimento máximas dependem da localização geográfica e da tipologia da solução de janelas duplas ventiladas usada. Os seus valores têm por base os valores das perdas e dos ganhos e indicam a solução de janelas com vidro duplo no pano envidraçado interior e 7,3cm de espessura de cavidade como a que melhor redução apresenta em relação à situação original.

Conclusão

A solução de janelas duplas ventiladas não só cumpre os objectivos a que se propôs, garantir a renovação do ar interior e redução das perdas associadas a renovação do ar, como promove a redução das perdas pelos envidraçados e efectiva melhoria dos resultados do RCCTE.

Tal como já foi dito no capítulo anterior para a determinação dos resultados foram usados dados com base em valores de referência. Foi considerado um caudal fixo de 30m³/h para cada janela, uma radiação solar incidente de 350 kWh/ano e uma diferença de temperatura entre o interior e o exterior de 20°C.

Relativamente à tipologia da janela usada a análise dos resultados leva à conclusão que os valores são influenciados pelo melhor ou pior isolamento térmico do conjunto da janela, ou seja, pelo seu coeficiente de transmissão térmica. Apesar de a espessura da cavidade entre panos envidraçados influenciar este coeficiente é importante referir também que para maiores espessuras ocorre um aumento do pré-aquecimento do ar de ventilação, explicado pela seguinte expressão, que irá influenciar as perdas associadas à ventilação.

$$Q = V \times S \quad (4.1)$$

Onde Q corresponde ao caudal de ventilação, V à velocidade do ar na cavidade e S a área da cavidade, facilmente se chega a esta conclusão.

Mantendo o caudal de ventilação constante (Q), pois o caudal de referencia para cada janela tem o valor fixo de 30 m³/h, e aumentando a área da cavidade (S) a velocidade do ar diminui e relembrando o ponto 2.4.1 no qual se fala sobre o parâmetro velocidade do ar de ventilação, para velocidades de ventilação mais reduzidas ocorre um aumento do pré-aquecimento do ar na cavidade.

As perdas pelos envidraçados e os ganhos totais úteis de energia variam de modo a que aos piores valores de U_{eq} (valores mais elevados) correspondem as maiores perdas e os maiores ganhos. Esta relação na variação dos resultados é óbvia pois para os piores valores de U_{eq} ocorrem maiores quantidades de trocas de calor entre o interior e o exterior.

Seguindo o mesmo raciocínio de que os maiores valores de U_{eq} correspondem a maiores trocas de calor a variação das perdas associadas à ventilação também é explicada comprovando que a solução de janelas duplas ventiladas funciona principalmente como recuperador de calor.

Se maior quantidade de calor escapa do interior da habitação pelos dispositivos de ventilação que possuem a capacidade de recuperador de calor (janelas duplas ventiladas), também maior é a

quantidade de calor que é recuperada por estes dispositivos daí que aos maiores valores de U_{eq} correspondem os maiores valores de rendimento como recuperador de calor, η .

Retirando os valores de U_{eq} do quadro 4.1 relativo aos dados inseridos nas folhas de cálculo do RCCTE, as situações simuladas podem ser dispostas seguindo a sua ordem crescente de prestação (do pior para o melhor).

- Situação 1 - vidro simples no pano interior com cavidade de 7,3cm
- Situação 2 - vidro duplo no pano interior com cavidade de 7,3cm
- Situação 3 - vidro simples no pano interior com cavidade de 19,3cm
- Situação 4 - vidro duplo no pano interior com cavidade de 19,3cm

Quadro 4.1 – Melhor situação para cada parâmetro

	Pior Solução	→→→	→→→	Melhor Solução
Perdas envidraçados	1 e 3			2 e 4
Perdas ventilação	4	2	3	1
Ganhos	2	4	1	3
Nic/Ni	3	1	4	2

Estes três primeiros parâmetros traduzem-se no fim na razão entre as necessidades nominais de aquecimento e as necessidades nominais de aquecimento, Nic/Ni.

Apesar de a ordem ser diferente de qualquer uma das ordens dos restantes parâmetros na sua totalidade, as situações consideradas como as piores e melhores são iguais às do parâmetro perdas pelos envidraçados levando à conclusão que esta razão depende principalmente deste tipo de perdas

No entanto, os resultados também demonstram que a variação desta razão entre as necessidade de aquecimento para as diferentes situações em cada localização é muito reduzida, sendo que a escolha, por parte dos ocupantes, sobre o tipo de situação a usar relativamente às janelas duplas ventiladas irá depender principalmente de factores como o orçamento, o espaço disponível e a situação previamente existente no que respeita ao tipo de vão envidraçado em detrimento da eficiência específica de cada uma das situações.

No domínio da localização geográfica a Covilhã parece ser que melhores resultados obtêm devido a implementação da solução de janelas duplas ventiladas, considerando tal como já referido que os parâmetros perdas e ganhos se conjugam para fornecer a razão entre as necessidades de aquecimento. Pode não ter os menores valores de perdas ou os maiores valores de ganhos úteis, no entanto, é esta localização que possui a maior diferença entre as percentagens das necessidades nominais de aquecimento relativas à habitação original e às habitações onde as janelas duplas ventiladas são implementadas.

O caso 2 foi simulado como uma curiosidade para se determinar que tipo de alteração na classificação pelo RCCTE as janelas duplas ventiladas conseguem alcançar.

A situação original reprovava com 110,58% nas necessidades nominais de aquecimento, no entanto mediante a aplicação da solução em estudo no presente trabalho, e para todas as situações simuladas ocorre a alteração dessa classificação comprovando que a solução de janelas duplas ventiladas faz a diferença atingindo os objectivos a que se propôs.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Victor Mineiro, A. *Estudo Do Comportamento Térmico De Uma Habitação*. Trabalho realizado no âmbito da cadeira de Térmica dos Edifícios, Universidade do Porto, 2006
- [2] Ana Isabel Ribeiro David Pereira, A. *Estudo Do Comportamento Térmico De Uma Habitação*. Trabalho realizado no âmbito da cadeira de Térmica dos Edifícios, Universidade do Porto, 2006
- [3] Nuno Tiago Mendes Guerra, A. *Estudo Do Comportamento Térmico De Uma Habitação*. Trabalho realizado no âmbito da cadeira de Térmica dos Edifícios, Universidade do Porto, 2006
- [4] Filipe Robalinho Freitas, A. *Estudo Do Comportamento Térmico De Uma Habitação*. Trabalho realizado no âmbito da cadeira de Térmica dos Edifícios, Universidade do Porto, 2006
- [5] Jorge Manuel da Silva Carlos, A. *Sistema Passivo de Pré-Aquecimento do Ar de Ventilação: A Dupla Janela Ventilada*. Dissertação Doutoramento, Universidade da Beira Interior, 2009.
- [6] Jorge S. Carlos., Helena Corvacho., Pedro D. Silva., J. P. Castro-Gomes. *Estudo experimental de uma dupla janela modificada para pré-aquecimento do ar de ventilação*. Engenharia 2009 - Inovação e Desenvolvimento, 25 - 27 de Novembro 2009, Covilhã
- [7] MOPTC - Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações (2006), Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE), Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril, Diário da República, 67, Série I-A
- [8] Santos, Carlos A. Pina e Matias, Luís (2006), Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Edifícios – ITE 50
- [9] Mike McEvoy, A., and Ryan Southall, A. *The redefinition of the functions of a window to achieve improved air quality and energy performance in European Housing*. Plea2004 - The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture, 19-22 de Setembro 2004, Eindhoven, Países Baixos
- [10] Apontamentos da cadeira de Térmica dos Edifícios, Universidade do Porto, 2009
- [11] http://www.futureenergia.org/ww/pt/pub/futureenergia/energy_world_/guide.htm. 13/10/2009
- [12] http://www.anobre.pt/anobre.asp?pag=produtos&menu_on=1&prod=A1. 13/10/2009
- [13] <http://www.apsol.pt/cgi-bin/produtos.asp?tipo=Solar>. 13/10/2009
- [14] <http://www.perc.ca/PEN/1995-02/catalli.html>. 15/10/2009
- [15] <http://www.home-heating-systems-and-solutions.com/thermal-heat-loss.html>. 15/10/2009
- [16] <http://pt.wikipedia.org>. 13/10/2009
- [17] http://www.eficiencia-energetica.com/html/eee/eee_rsece.htm. 16/10/2009
- [18] http://www.dimplex.co.uk/products/domestic_heating/installed_heating/index.htm. 17/10/2009
- [19] <http://www.fazfacil.com.br/manutencao/aquecedor.html>. 13/10/2009
- [20] <http://www.pavimentoradiante.eu/>. 18/10/2009
- [21] <http://www.sotecnisol.pt/materiais/5/isolamento-termico-e-acustico.php>. 18/10/2009

- [22] <http://www.ua.pt/idad/PageText.aspx?id=9187>. 16/10/2009
- [23] http://www.compagno.ch/EN/Vortrag_EN_rosenheim.htm. 20/10/2009
- [24] http://www.bestfacade.com/textde/01_def.htm. 20/10/2009. 16/10/2009
- [25] <http://www.meteo.pt/pt/index.html>. 18/1/2010

Anexo 1

Informações relativas as habitações em estudo

Aqui são apresentadas as plantas, os alçados e as folhas de calculo originais correspondentes às habitações estudadas. São também indicadas as janelas que sofreram alteração passando a ser janelas duplas ventiladas, cada uma destas janelas é considerada como tendo 1 caudal fixo de $30\text{m}^3/\text{h}$, sendo que o caudal de ventilação total será a soma dos caudais de todas as janelas duplas ventiladas instaladas na habitação.

Habitação do caso 1

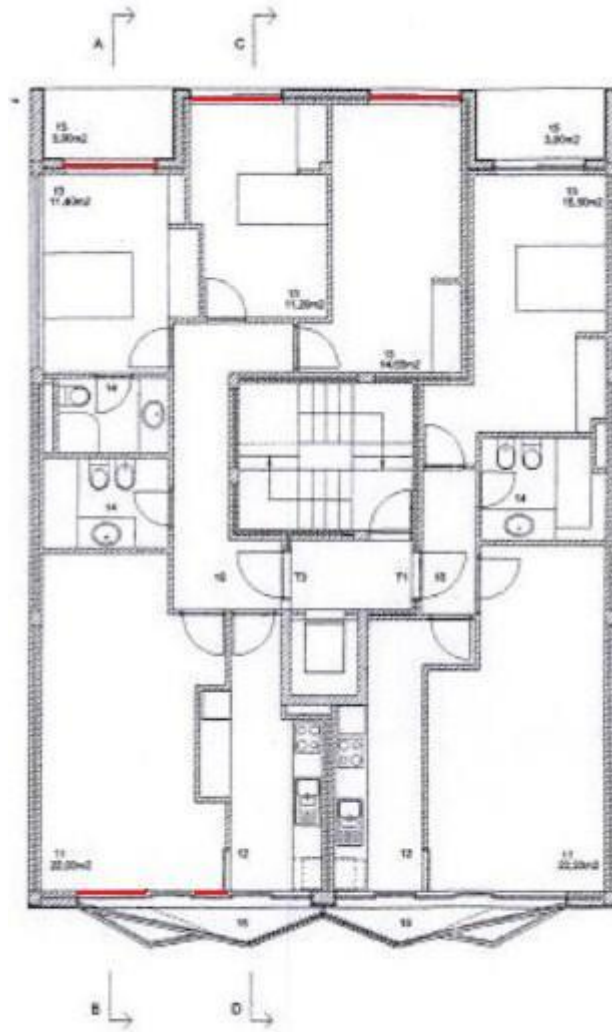


Fig.1 – Planta da habitação considerada no Caso 1

Alçado Frontal



Alçado Posterior



Fig.2 – Alçados Frontal e Posterior da habitação considerada no Caso 1

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Parede Nordeste	7,22	0,459	3,31
Parede Sudeste	38,16	0,459	17,52
Parede Sudoeste	19,41	0,459	8,91
pontes termicas planas.cx.estore	2,1	0,758	1,59
Pontes termicas planas-pilares	1,5	0,836	1,25
			0,00
			0,00
		TOTAL	32,58
Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
			0,00
			0,00
			0,00
		TOTAL	0,00
Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Cobertura plana	90,2675	0,45	40,62
			0,00
			0,00
		TOTAL	40,62
Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
			0,00
			0,00
			0,00
		TOTAL	0,00
Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos			0,00
Fachada com os pavimentos			0,00
Fachada com pavimentos intermédios	20,45	0,30	6,14
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	31,2	0,75	23,40
Fachada com varanda	9,7	0,45	4,37
Duas paredes verticais	7,5	0,2	1,50
Fachada com caixa de estore			0,00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	34,80		0,00
Outras			0,00
		TOTAL	35,40
Perdas pela envolvente exterior da Fracção Autónoma	(W/°C)	TOTAL	108,60

Fig.3 – Folha de cálculo do RCCTE referente ao Caso 1

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Parede da caixa de escadas	19,7425	0,658972	0,5	6,50
Parede do corredor	1,66	0,658972	0	0,00
Parede da caixa de elevador	7,42	1,42	0,3	3,15
Porta de entrada	2,05	1,87	0	0,00
				0,00
				0,00
				0,00
			TOTAL	9,66
Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
			TOTAL	0,00
Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
			TOTAL	0,00
Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
			TOTAL	0,00
Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
				0,00
				0,00
			TOTAL	0,00
Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma		(W/°C)	TOTAL	9,66

Fig.4 – Folha de cálculo do RCCTE referente ao Caso 1

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Verticais:			0,00
Orientação Nordeste-sala	7,75	3,9	30,23
Orientação Nordeste-cozinha	4	3,9	15,60
Orientação Sudoeste	8,28	3	24,84
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
Horizontais:			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
		TOTAL	70,67

Fig.5 – Folha de cálculo do RCCTE referente ao Caso 1

Área Útil de Pavimento		90,2675	(m ²)		
Pé-direito médio		2,5	(m)		
		=			
Volume interior	(V)	225,67	(m ³)		
<hr/>					
VENTILAÇÃO NATURAL		<i>(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)</i>			
Cumprir a NP 1037-1?	(S ou N)	N	se SIM:	RPH =	0,6
Se NÃO:					
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	s/c		Taxa de Renovação Nominal:	
Caixas de Estore	(S ou N)	S		Ver Quadro IV.1	
Classe de Exposição	(1, 2, 3 ou 4)	1		RPH =	1,1
<i>(Ver Quadro IV.2)</i>					
Aberturas Auto-reguladas?	(S ou N)	N			
Área de envidraçados > 15% Ap?	(S ou N)	S			
Portas Exteriores bem vedadas?	(S ou N)	N			
<hr/>					
VENTILAÇÃO MECÂNICA <i>(excluir exaustor da cozinha)</i>					
Caudal de Insuflação	Vins - (m ³ /h)			Vf =	0,00
Caudal Extraído	Vev - (m ³ /h)				
Diferença entre Vins e Vev	(m ³ /h)	0,00	/	V =	0
				(volume int)	RPH (**)
Infiltrações <i>(Vent. Natural)</i>	Vx - (h ⁻¹)				
Recuperador de calor	(S ou N)			se SIM, η =	
				se NÃO, η =	0
Taxa de Renovação Nominal	(mínimo: 0,6)	0,000		(Vf / V + Vx). (1-η)	
Consumo de Electricidade para os ventiladores				(Ev = Pvx24x0,03xM(kWh))	
<hr/>					
Volume		225,67			
		x			
Taxa de Renovação Nominal		1,100			
		x			
		0,34			
		=			
	TOTAL	84,40		(W/°C)	

Fig.6 – Folha de cálculo do RCCTE referente ao Caso 1

Factor de forma			
De FCIV. 1a e FCIV. 1c:	(Áreas)		m ²
Paredes exteriores			68,395
Coberturas exteriores			90,2675
Pavimentos exteriores			0
Envidraçados exteriores			20,03
De FCIV. 1b:	(Áreas equivalentes, A . τ)		
Paredes interiores			12,09725
Coberturas interiores			0
Pavimentos interiores			0
Envidraçados interiores			0
Área total:			190,79
			/
Volume (de FCIV. 1d):			225,67
			=
FF			0,85
<hr/>			
Graus-dias no local (°C.dia)	(do Quadro III.1)		1580
			Auxiliar
Ni = 4,5 + 0,0395 GD		Para FF < 0,5	66,91
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD		Para 0,5 < FF < 1	87,105
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)		Para 1 < FF < 1,5	89,797
Ni = 4,05 + 0,06885 GD		Para FF > 1,5	112,833
<hr/>			
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)			87,10

Fig.8 – Folha de cálculo do RCCTE referente ao Caso 1

Perdas térmicas associadas a:		(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)		108,60
Envolvente Interior (de FCIV.1b)		9,66
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)		70,67
Renovação de Ar (de FCIV.1d)		84,40
		=
Coefficiente Global de Perdas (W/°C)		273,33
		x
Graus-dias no Local (°C.dia)		1580,00
		x
		0,024
		=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)		10364,59
		+
Consumo de Electricidade para os ventiladores ($E_v = P_v \times 24 \times 0,03 \times M$ (kWh))		0
		-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)		3206,34
		=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)		7158,25
		/
Área Útil de Pavimento (m ²)		90,27
		=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m ² .ano)		79,30
		≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m ² .ano)		87,10
	Verifica	O.K.
	Nic/Ni =	91,04%

Fig.9 – Folha de cálculo do RCCTE referente ao Caso 1

Habitação do caso 2

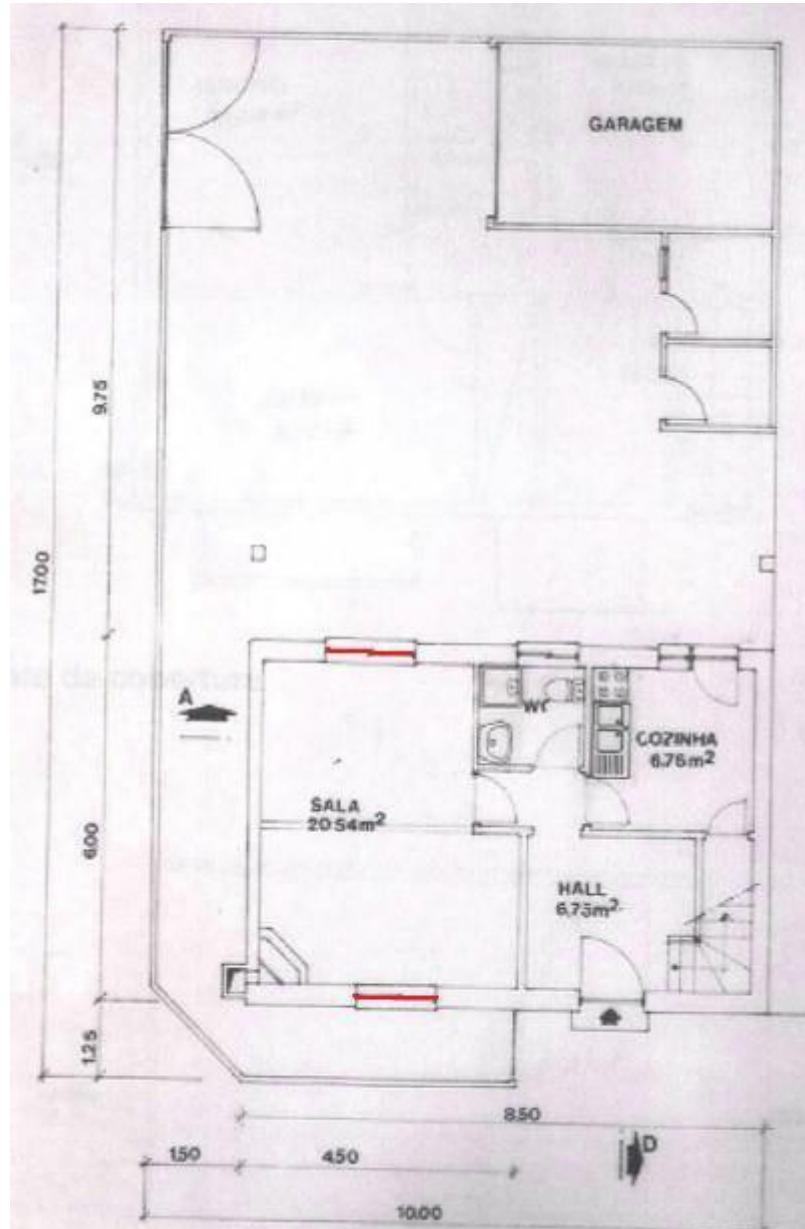


Fig.10 – Planta do R/C da habitação considerada no Caso 2

Planta do 1º andar

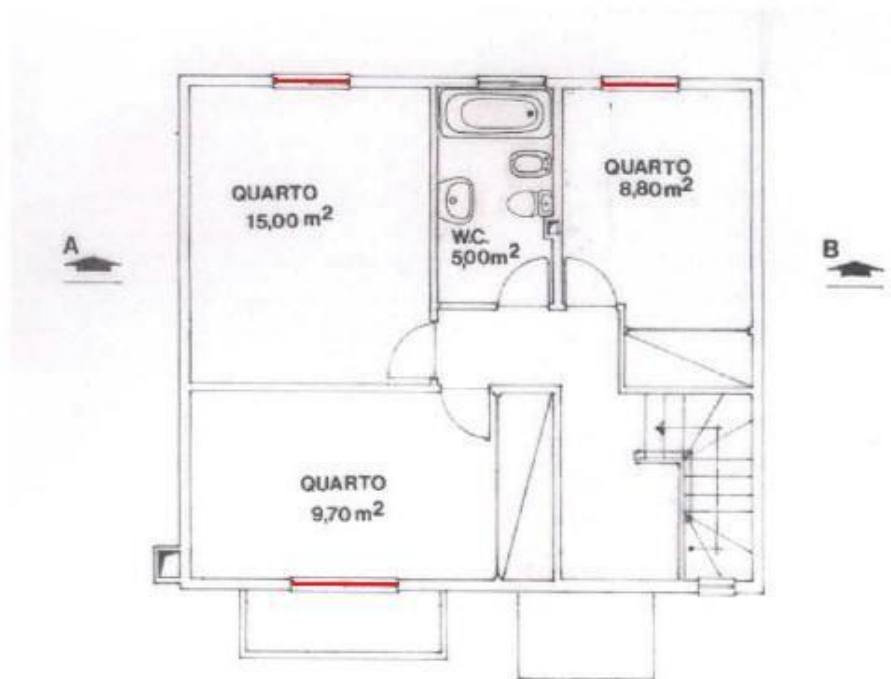


Fig.11 – Planta do 1º andar da habitação considerada no Caso 2

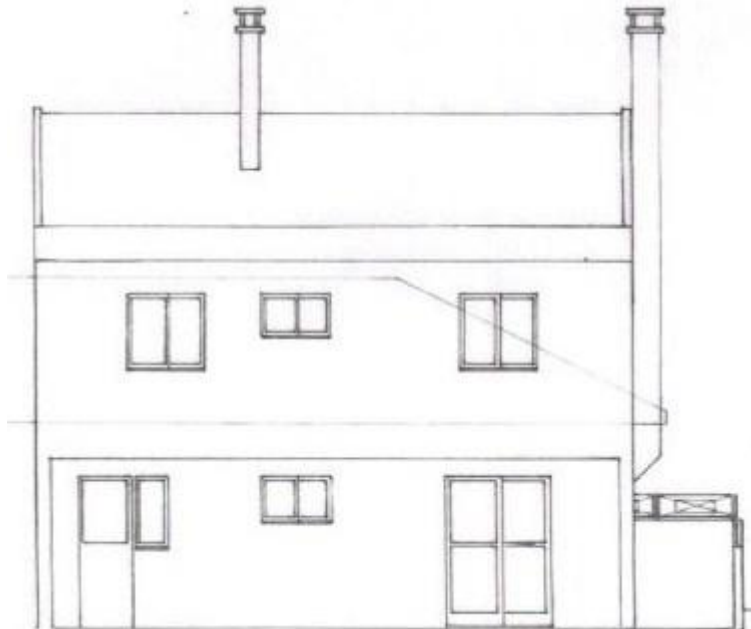
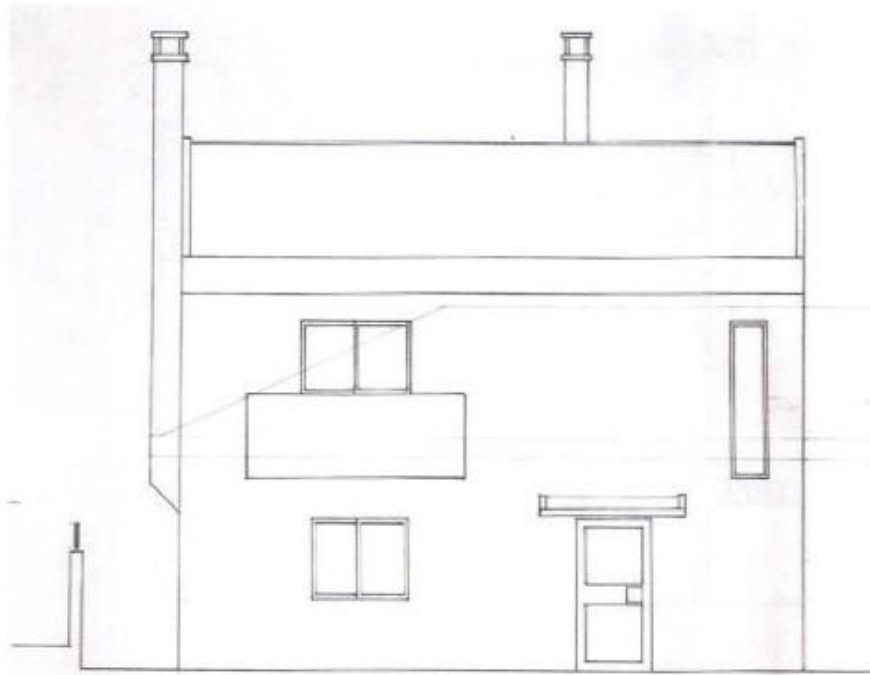


Fig.12 – Alçado Poente da habitação considerada no Caso 2

Alçado Nascente



Alçado Sul

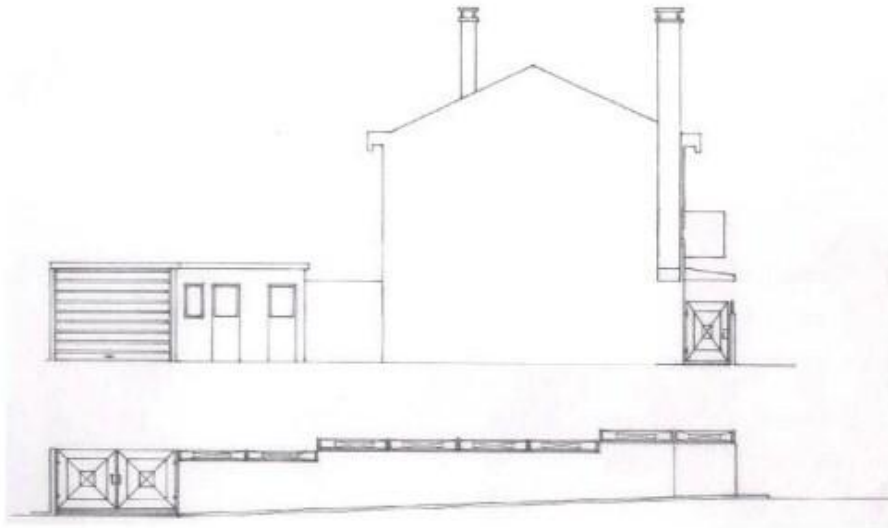


Fig.13 – Alçados Nascente e Poente da habitação considerada no Caso 2

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Sul	32,76	0,56	18,35
Nascente R/C	17,08	0,56	9,56
Poente R/C	13,02	0,56	7,29
Nascente 1º Andar	17,64	0,56	9,88
Poente 1º Andar	14,56	0,56	8,15
			0,00
			0,00
		TOTAL	53,23
Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
			0,00
			0,00
			0,00
		TOTAL	0,00
Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
			0,00
			0,00
			0,00
		TOTAL	0,00
Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Pavimento do R/C	29	1,5	43,50
			0,00
			0,00
		TOTAL	43,50
Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos	26,2	0,55	14,41
Fachada com os pavimentos	26,2	0,65	17,03
Fachada com pavimentos intermédios	26,2	0,35	9,17
Fachada com cobertura inclinada ou terraço			0,00
Fachada com varanda	3	0,4	1,20
Duas paredes verticais			0,00
Fachada com caixa de estore			0,00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	9,55	0,20	1,91
Outras			0,00
		TOTAL	43,72
Perdas pela envolvente exterior da Fracção Autónoma	(W/°C)	TOTAL	140,45

Fig.14 – Folha de cálculo do RCCTE referente ao Caso 2

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Fachada Norte	32,76	0,56	0,6	11,01
				0,00
				0,00
				0,00
				0,00
				0,00
				0,00
			TOTAL	11,01
Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
			TOTAL	0,00
Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Laje tecto 1º Andar	55,25	0,82	0,8	36,24
				0,00
				0,00
			TOTAL	36,24
Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
			TOTAL	0,00
Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
				0,00
				0,00
			TOTAL	0,00
Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma	(W/°C)		TOTAL	47,25

Fig.15 – Folha de cálculo do RCCTE referente ao Caso 2

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Verticais:			0,00
janela sala nascente	1,43	6,11	8,74
porta correr da varanda	3	6,11	18,33
porta correr da sala	3,15	6,11	19,25
env. porta ext. da cozinha	0,7	6,11	4,28
env na cozinha	0,5	6,11	3,06
janelas casas de banho	1,3	6,11	7,94
janelas quartos Poente	2,42	6,11	14,79
			0,00
			0,00
Horizontais:			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
		TOTAL	76,38

Fig.16 – Folha de cálculo do RCCTE referente ao Caso 2

Área Útil de Pavimento		84,23	(m ²)		
Pé-direito médio		2,6	(m)		
		=			
Volume interior	(V)	219,00	(m ³)		
<hr/>					
<i>(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)</i>					
VENTILAÇÃO NATURAL					
Cumpre a NP 1037-1?	(S ou N)	N	se SIM:	RPH =	0,6
Se NÃO:					
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	s/c		Taxa de Renovação Nominal: Ver Quadro IV.1 RPH = 0,9	
Caixas de Estore	(S ou N)	n			
Classe de Exposição	(1, 2, 3 ou 4)	1			
<i>(Ver Quadro IV.2)</i>					
Aberturas Auto-reguladas?	(S ou N)	n			
Área de envidraçados > 15% Ap?	(S ou N)	n			
Portas Exteriores bem vedadas?	(S ou N)	s			
<hr/>					
VENTILAÇÃO MECÂNICA <i>(excluir exaustor da cozinha)</i>					
Caudal de Insuflação	Vins - (m ³ /h)			Vf =	0,00
Caudal Extraído	Vev - (m ³ /h)				
Diferença entre Vins e Vev	(m ³ /h)	0,00	/	V =	0
				(volume int)	RPH (**)
Infiltrações <i>(Vent. Natural)</i>	Vx - (h ⁻¹)				
Recuperador de calor	(S ou N)			se SIM, η =	
				se NÃO, η =	0
Taxa de Renovação Nominal	(mínimo: 0,6)	0,000		(Vf / V + Vx) · (1-η)	
Consumo de Electricidade para os ventiladores				(Ev = Pvx24x0,03xM(kWh))	
<hr/>					
Volume		219,00			
		x			
Taxa de Renovação Nominal		0,900			
		x			
		0,34			
		=			
	TOTAL	67,01		(W/°C)	

Fig.17 – Folha de cálculo do RCCTE referente ao Caso 2

Ganhos Solares:								
Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m ²)	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m ²)
Nascente	Simples	1,43	0,56	0,88	1	0,7	0,9	0,44
Nascente	Simples	3	0,56	0,88	1	0,7	0,9	0,93
Poente	Simples	3,15	0,56	0,88	1	0,7	0,9	0,98
Poente	Simples	0,7	0,56	0,88	1	0,7	0,9	0,22
Poente	Simples	0,5	0,56	0,88	1	0,7	0,9	0,16
Poente	Simples	1,3	0,56	0,88	1	0,7	0,9	0,40
Poente	Simples	2,42	0,56	0,88	1	0,7	0,9	0,75
								0,00
								0,00
								0,00
Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m ²)								3,88
								x
Radiação incidente num envidraçado a Sul (G _{sul}) na zona 12 do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m ² .mês)								93
								x
Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1 (meses)								6,7
								=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)								2418,13
Ganhos Internos								
Ganhos internos médios (Quadro IV.3)						4	(W/m ²)	
						x		
Duração da Estação de Aquecimento						6,70	(meses)	
						x		
Área Útil de pavimento						84,23	(m ²)	
						x		
						0,72		
						=		
Ganhos Internos Brutos						1625,30	(kWh/ano)	
Ganhos Úteis Totais:								
$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$								4043,43
								12793,45
Inércia do edifício:		3	a =	4,2	γ =	0,32		
<i>(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)</i>								
Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos (η)						0,99		
						x		
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos						4043,43		
						=		
Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)						4021,46		

Fig.18 – Folha de cálculo do RCCTE referente ao Caso 2

Factor de forma			
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)		m ²
Paredes exteriores			124,46
Coberturas exteriores			
Pavimentos exteriores			
Envidraçados exteriores			12,5
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A .τ)		
Paredes interiores			
Coberturas interiores			44,2
Pavimentos interiores			
Envidraçados interiores			
Área total:			181,16
			/
Volume (de FCIV.1d):			219,00
			=
FF			0,83
<hr/>			
Graus-dias no local (°C.dia)	(do Quadro III.1)		1610
<hr/>			
Ni = 4,5 + 0,0395 GD		Para FF < 0,5	
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD		Para 0,5 < FF < 1	
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)		Para 1 < FF < 1,5	
Ni = 4,05 + 0,06885 GD		Para FF > 1,5	
<hr/>			
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)			87,59

Fig.19 – Folha de cálculo do RCCTE referente ao Caso 2

Folha de Cálculo FC IV.2	
Cálculo do Indicador Nic	
Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	140,45
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	47,25
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	76,38
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	67,01
	=
Coefficiente Global de Perdas (W/°C)	331,09
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1610,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	12793,45
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores (Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	4021,46
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	8771,99
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	84,23
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	104,14
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	87,59
	Não verifica
	K.O.
	Nic/Ni = 118,90%

Fig.20 – Folha de cálculo do RCCTE referente ao Caso 2

Anexo 2

Ventilação mecânica, exemplo aplicado a habitação do caso 1

VENTILAÇÃO MECÂNICA (excluir exaustor da cozinha)						
Caudal de Insuflação	Vins - (m ³ /h)				Vf =	150,00
Caudal Extraído	Vev - (m ³ /h)	150				
Diferença entre Vins e Vev	(m ³ /h)	150,00	/	V =	0,664691	
Infiltrações (Vent. Natural)	Vx - (h ⁻¹)			(volume int)	RPH (**)	
Recuperador de calor	(S ou N)			se SIM, η =		
				se NÃO, η =	0	
Taxa de Renovação Nominal	(mínimo: 0,6)	0,665		(Vf / V + Vx).(1-η)		
Consumo de Electricidade para os ventiladores				(Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))		
<hr/>						
Volume		225,67				
		x				
Taxa de Renovação Nominal		0,665				
		x				
		0,34				
		=				
	TOTAL	51,00			(W/°C)	

Fig.1 – Folha FCIV.1d referente às perdas associadas à renovação do ar com ventilação mecânica sem recuperação de calor para a habitação 1