

OTIMIZAÇÃO DE VARIÁVEIS COM INFLUÊNCIA NA CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA

JOÃO BERNARDO SANTOS SOUSA

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

Orientadora: Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira

JUNHO DE 2022

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2021/2022

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@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

✉ 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 em Engenharia Civil - 2021/2022 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2022*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo 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 eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais

Aut viam inveniam aut faciam

Hannibal

AGRADECIMENTOS

A redação e entrega desta dissertação não pode deixar de trazer, num bom sentido, um sabor agridoce, pois marca o fim da mais importante etapa da minha vida e dá o início à próxima que espero que venha a ser a mais longa e a mais feliz.

Por isso, não posso deixar de expressar os meus mais sinceros e sentidos agradecimentos a todas as pessoas que de alguma forma estiveram envolvidas e acabaram por marcar o meu percurso académico, e de forma geral a minha vida até ao momento.

Como não podia deixar de ser, estou eternamente grato a meus pais, pelo amor, pelo carinho, pela educação e valores transmitidos e por, apesar de todas as dificuldades, me terem dado a oportunidade de enfrentar todo este percurso com total liberdade, nunca limitando as minhas escolhas. Em particular, à minha mãe, Maria da Conceição, por todo o carinho e cumplicidade que sempre me deu e continuará a dar. A meu pai, Bernardo de Sousa, pela flexibilidade e capacidade racional que sempre me foi capaz de transmitir quando tudo parecia desabar.

Aos meus padrinhos, Miguel e Mafalda, por terem estado sempre presentes, ensinando-me a sonhar e a lutar para que esses mesmos sonhos se possam concretizar. Agradeço também à minha afilhada, Maria, por constantemente me mostrar o quão feliz é vida quando vista pelos olhos de uma criança e à Beatriz, tantas vezes minha cúmplice nas brincadeiras de família. Quero ainda agradecer de uma forma mais geral a toda a minha família, os que cá estão e os que infelizmente já partiram, que, cada um à sua maneira, sempre me tentaram incentivar a lutar pelo meu futuro e a ser uma pessoa melhor.

Aos amigos de família, Sra. Conceição e Sr. Paulo, Sra. Augusta e Sr. Cardoso, Sra. Julieta e Sr. José, Sra. Palmira por sempre me apoiarem e me fazerem acreditar que tudo isto era possível.

A todas as amigas que fiz na faculdade, que partilharam comigo esta etapa tão especial das nossas vidas e caminharam comigo dia a dia, nos momentos mais difíceis e nos momentos mais alegres.

Ao Pedro Fernandes, com quem tive a oportunidade de partilhar estes últimos meses na A400, que sempre me ajudou na elaboração desta dissertação.

Aos meus amigos de infância, com quem continuo a ter a oportunidade de partilhar todos os momentos da minha vida. Bruno Silva, Diogo Fonseca, Micaela Costa, Nicole Moreira, Ruben Rodrigues e Sofia Abreu, quero-vos agradecer por tudo e que continuemos a celebrar a vida juntos por muitos mais anos.

A todos os professores que com quem tive o prazer de apreender e evoluir ao longo desta jornada. À professora Cristina Marques, que nos momentos finais do Ensino Secundário sempre fez os possíveis para me guiar da melhor forma possível. À professora Isabel Adegas, a minha primeira professora, que até hoje continua a ter um papel especial na minha vida.

Quero agradecer ainda a toda a equipa da A400, que me recebeu de braços abertos e sempre me tratou como se fizesse parte da sua grande família. Um agradecimento especial ao Eng. João Castro, responsável pelos meus trabalhos na A400, por todo o apoio e acompanhamento prestado durante a realização desta dissertação e por todo o conhecimento partilhado. A toda a equipa obrigado e que nos possamos voltar a encontrar.

Por fim, obrigado Professora Doutora Eva Barreira, por todo o apoio prestado e conhecimento transmitido durante estes últimos meses. Todas horas passadas em reuniões, discussões de ideias e acompanhamento do trabalho foram essenciais e indispensáveis para que esta dissertação pudesse ser realizada.

RESUMO

O setor da construção é um dos que mais impacta o ambiente, sendo, neste momento, responsável por grande parte da energia consumida e por grande parte das emissões CO₂ para atmosfera. A União Europeia tem desenvolvido esforços para desenvolver um sistema energético sustentável, concorrencial e descarbonizado até 2050 e a nível do setor da construção procede regularmente à revisão e respetiva republicação da Diretiva Comunitária relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios.

Portugal, não podendo ficar indiferente às diretivas da União Europeia, e até porque é um dos países mais suscetíveis aos efeitos das alterações climáticas, tem feito esforços significativos no que toca a políticas relativas a alterações climáticas. Desde 2013, que em Portugal, é obrigatório por lei que todos os imóveis que estejam à venda ou para arrendamento possuam certificado energético.

A emissão destes certificados está a cargo dos peritos qualificados que aplicam a metodologia de cálculo indicada no Sistema de Certificação Energética para obter uma classe energética, tendo em conta as características do imóvel que estão a analisar. Dada a complexidade desta metodologia existem diversas ferramentas de cálculo automático que visam auxiliar os peritos qualificados no processo de emissão do certificado, sendo apenas necessária a atribuição de valores aos parâmetros de acordo com as características do edifício.

É neste contexto que surge esta dissertação, com o objetivo de auxiliar os peritos qualificados no processo de atribuição de valores aos parâmetros, foi criada uma ferramenta que possibilita a otimização de alguns desses parâmetros sugerindo ao perito qualificado os valores que estes devem tomar de forma a obter uma determinada classe energética. No presente estudo é feita uma análise da legislação existente neste contexto e de algumas das ferramentas disponíveis para auxiliar os peritos qualificados na emissão dos certificados energéticos. De seguida, é feita a descrição de todo o processo de desenvolvimento da ferramenta, assim como a sua aplicação a um caso de estudo, terminando com análise dos resultados obtidos, nomeadamente, a variação entre os valores de referência e os valores sugeridos pela ferramenta.

PALAVRAS-CHAVE: Certificação Energética, Otimização, Eficiência Energética, SCE, VBA.

ABSTRACT

The construction sector is one of the sectors with the greatest impact on the environment, currently being responsible for a big part of the energy consumed and for a huge portion of CO₂ emissions that go into the atmosphere. The European Union has been making efforts to develop a sustainable, competitive and decarbonized energy system by 2050 and, in the construction sector, it regularly reviews and republishes the Energy Performance of Buildings Directive.

Portugal, unable to remain indifferent to the directives of the European Union, and also because it is one of the countries most susceptible to the effects of climate change, has made significant efforts regarding climate change policies. Since 2013, in Portugal, it is mandatory by law that all properties for sale or rent have an energy certificate.

The issuing of these certificates is in charge of qualified experts who apply the calculation methodology indicated in the SCE to obtain an energy class, considering the characteristics of the property they are analysing. Considering the complexity of this methodology, there are several automatic calculation tools that support qualified experts in the process of issuing the certificate, being only necessary to attribute values to the parameters according to the characteristics of the building.

It was in this context that this dissertation was created, with the objective of assisting qualified experts in the process of assigning values to the parameters, it was created a tool that performs an optimisation of some of these parameters suggesting to the qualified expert the values that they should consider in order to obtain a certain energy class. In this study was made an analysis of the existing legislation and of some of the tools available to assist qualified experts in issuing energy certificates. Then, the description of the whole development process of the tool was made, as well as its application to a study case, ending with the analysis of the results obtained, namely, the variation between the reference values and the values suggested by the tool.

KEYWORDS: Energy Certification, Optimisation, Energy Efficiency, SCE, VBA.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. ENQUADRAMENTO	17
1.2. OBJETIVOS	18
1.3. ESTRUTURA DO TEXTO	18

2. CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS EM PORTUGAL	21
2.1. LEGISLAÇÃO PORTUGUESA	21
2.1.1. EVOLUÇÃO DA LEGISLAÇÃO	21
2.1.2. LEGISLAÇÃO ATUALMENTE EM VIGOR.....	23
2.1.3. CERTIFICADOS ENERGÉTICOS	23
2.2. FERRAMENTAS DE CÁLCULO DE APOIO AO SCE	25
2.2.1. FERRAMENTAS DE CÁLCULO DISPONÍVEIS.....	25
2.2.1.1. Ferramenta do Itecons	25
2.2.1.2. Ferramenta da Plataforma peritosqualificados.pt	26
2.2.1.3. Ferramenta da Densare	26
2.2.1.4. CYPETHERM SCE-HAB.....	27
2.2.2. ANÁLISE COMPARATIVA DAS DIFERENTES FERRAMENTAS DE CÁLCULO.....	27
2.3. TRABALHOS PREVIAMENTE REALIZADOS	29

3. DENSENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA DE OTIMIZAÇÃO	33
3.1. ENQUADRAMENTO GERAL.....	33
3.2. METODOLOGIA DE CÁLCULO DO SCE	33
3.2.1. CLASSES ENERGÉTICAS DO EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO	33
3.2.2. NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA	34
3.2.3. NECESSIDADES DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO	36
3.2.4. NECESSIDADES DE ENERGIA PARA ARREFECIMENTO.....	37
3.2.5. NECESSIDADES DE ENERGIA PARA PREPARAÇÃO DE AQS.....	38

3.2.6. VENTILAÇÃO MECÂNICA	39
3.2.7. SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	40
3.3. VISUAL BASIC	40
3.4. DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA APLICANDO O VBA	41
3.4.1. PARÂMETROS A OTIMIZAR	41
3.4.2. PRIMEIRA FASE.....	41
3.4.3. SEGUNDA FASE	42
3.4.4. TERCEIRA FASE	43
3.4.5. QUARTA FASE	44
3.4.6. QUINTA FASE.....	44
3.4.7. SEXTA FASE	45
3.4.8. SÉTIMA FASE	45
3.4.9. OITAVA FASE	47
 4. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA AO CASO DE ESTUDO ...	49
4.1. O CASO DE ESTUDO	49
4.2. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA	51
4.2.1. PRIMEIRA FASE.....	51
4.2.2. SEGUNDA FASE	52
4.2.3. TERCEIRA FASE	55
4.2.4. QUARTA FASE	56
4.2.5. QUINTA FASE.....	56
4.2.6. SEXTA FASE	56
4.2.7. SÉTIMA FASE.....	57
4.2.8. OITAVA FASE.....	58
4.3. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	60
 5. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	63
5.1. CONCLUSÕES	63
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Evolução da Legislação [11].	23
Fig. 2 – Exemplo de CE [15].	24
Fig. 3 – Certificados Emitidos por Classe Energética.	25
Fig. 4 – Logótipo do Itecons e página inicial da ferramenta [17].	26
Fig. 5 – Logótipo peritosqualificados.pt e página inicial da ferramenta. [18]	26
Fig. 6 – Logótipo da Densare e página inicial do programa Dentherm. [19]	27
Fig. 7 – Logótipo CYPE e página inicial do programa CYPETHERM SCE-HAB. [20]	27
Fig. 8 – Página inicial do VBA aplicado ao Excel.	40
Fig. 9 – Estrutura inicial da ferramenta desenvolvida.	42
Fig. 10 – Primeiras linhas de código da ferramenta.	42
Fig. 11 – Quadro final da primeira fase de cálculo.	43
Fig. 12 – Cálculo da eficiência nominal do sistema de preparação de AQS.	43
Fig. 13 – Cálculo do Nvc.	44
Fig. 14 – Cálculo do Htr.	44
Fig. 15 – Cálculo do Qg,v.	45
Fig. 16 – Cálculo dos valores do U da envolvente opaca exterior.	46
Fig. 17 – Cálculo dos fatores solares com proteções permanentes da envolvente envidraçada.	46
Fig. 18 – Cálculo dos fatores solares de inverno da envolvente envidraçada.	47
Fig. 19 – Cálculo do Nic final.	47
Fig. 20 – Cálculo do Nvc final.	47
Fig. 21 – Cálculo final da eficiência do sistema de arrefecimento.	48
Fig. 22 – Folha de sugestão de valores finais.	48
Fig. 23 – Vista aérea da Alameda dos Jardins da Arrábida. [31]	49
Fig. 24 – Alçado poente do edifício.	50
Fig. 25 – Planta do piso 1 do caso de estudo.	50
Fig. 26 – Planta do piso 2 do caso de estudo.	51
Fig. 27 – Preenchimento das informações relativas às características do edifício e da fração.	52
Fig. 28 – Exemplo do preenchimento dos dados relativos às paredes interiores, parâmetro não envolvidos na ferramenta desenvolvida.	52
Fig. 29 – Atribuição dos valores de referência às paredes exteriores.	53
Fig. 30 – Atribuição dos valores de referência aos pavimentos em contacto com o exterior.	53
Fig. 31 – Atribuição dos valores de referência às coberturas em contacto com o exterior.	53
Fig. 32 – Atribuição dos valores de referência aos coeficientes de transmissão dos vãos envidraçados.	53
Fig. 33 – Atribuição dos valores de referência aos fatores solares dos vãos envidraçados.	53
Fig. 34 – Atribuição do valor de referência à eficiência do sistema de aquecimento.	54

Fig. 35 – Atribuição do valor de referência à eficiência do sistema de arrefecimento.....	54
Fig. 36 – Atribuição do valor de referência à eficiência do sistema de preparação de AQS.....	55
Fig. 37 – Cálculo do valor sugerido para a eficiência do sistema de preparação de AQS.....	55
Fig. 38 – Cálculo do Htr necessário para atingir o R_{NT} pretendido.	56
Fig. 39 – Cálculo do $Q_{g,i}$ necessário para atingir o R_{NT} pretendido.	56
Fig. 40 – Cálculo do $Q_{g,v}$ necessário para atingir o R_{NT} pretendido.	57
Fig. 41 – Cálculo dos U's das paredes exteriores necessários para atingir o R_{NT} pretendido.	57
Fig. 42 - Cálculo fatores solares globais necessários para atingir o R_{NT} pretendido.....	57
Fig. 43 - Cálculo fatores solares de inverno necessários para atingir o R_{NT} pretendido.	58
Fig. 44 - Cálculo do U do pavimento exterior necessário para atingir o R_{NT} pretendido.....	58
Fig. 45 - Cálculo dos U's dos vãos envidraçados necessários para atingir o R_{NT} pretendido.	58
Fig. 46 – Valor final de N_{ic} calculado pela ferramenta.	59
Fig. 47 – Valor final de N_{vc} calculado pela ferramenta.	59
Fig. 48 – Valores finais sugeridos pela ferramenta para este caso de estudo.	60
Fig. 49 – Análise comparativa dos resultados obtidos.....	60
Fig. 50 – Código utilizado no desenvolvimento da ferramenta.	70
Fig. 51 – Cálculos relativos à transmissão (A).....	73
Fig. 52 – Ganhos de Inverno (A).....	74
Fig. 53 – Ganhos de Verão (A).....	74
Fig. 54 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento (A).....	75
Fig. 55 – Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (A).....	75
Fig. 56 – Necessidades nominais anuais globais de energia primária (A).....	75
Fig. 57 – Quadro de avaliação final (A).....	76
Fig. 58 – Necessidades nominais anuais globais de energia primaria (B).....	76
Fig. 59 – Necessidade nominais de energia útil para arrefecimento (B).....	76
Fig. 60 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento (B).....	77
Fig. 61 – Ganhos de Verão (B).....	77
Fig. 62 – Ganhos de Inverno (B).....	78
Fig. 63 – Cálculos relativos à transmissão (B).....	80
Fig. 64 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento finais.....	81
Fig. 65 – Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento finais.....	81
Fig. 66 – Quadro final comparativo dos valores iniciais e dos valores sugeridos.	82

ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

Quadro 1 – Análise comparativa das ferramentas de cálculo de apoio ao SCE.	28
Quadro 2 – Classe energética dos edifícios de habitação em função do <i>RNt</i>	34
Quadro 3 – Número de ocupantes correspondentes a cada tipologia.....	38

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

ADENE – Agência para a Energia

AQS – Águas Quentes Sanitárias

CE – Certificado energético

DEE – Desempenho Energético dos Edifícios

DGEG – Direção-Geral da Energia e Geologia

PCE – Pré-certificado energético

PQ – Peritos qualificados

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

A_p – Área interior útil de pavimento [m^2]

$E_{ren,p}$ – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício [kWh/ano];

$f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema k para a fonte de energia j

f_{eh} – Fator de eficiência hídrica, aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica, de acordo com um sistema de certificação de eficiência hídrica da responsabilidade de uma entidade independente reconhecida pelo sector das instalações prediais

$f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k para a fonte de energia j

$f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k para a fonte de energia j

$F_{pu,j}$ – Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia j , incluindo renovável [kWh_{EP}/kWh]

$F_{pu,p}$ – Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia renovável p [kWh_{EP}/kWh]

H_f – Número de horas anuais de funcionamento do ventilador [h/ano]

n_d – Número anual de dias de consumo de AQS, assumindo o valor fixo de 365 [$dias/ano$]

n_{oc} – Número de ocupantes convencionais do edifício em função da tipologia

- N_i – Necessidades nominais anuais de energia útil por aquecimento [kWh/(m².ano)]
- N_{ic} – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/(m².ano)]
- N_t – Necessidades nominais anuais de energia primária de referência [kWhEP/(m².ano)]
- N_{tc} – Necessidades nominais anuais de energia primária [kWhEP/(m².ano)]
- N_v – Necessidades nominais de energia útil por estação de arrefecimento [kWh/(m².ano)]
- N_{vc} – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/(m².ano)]
- M_{AQS} – Consumo médio diário de referência [litros]
- Q_a – Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS [kWh/ano]
- $Q_{a,ref}$ – Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS de referência [kWh/ano]
- $Q_{gu,i}$ – Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes [kWh/ano]
- $Q_{gu,i,ref}$ – Ganhos térmicos úteis de referência na estação de aquecimento [kWh/ano]
- $Q_{g,v}$ – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento [kWh/ano]
- $Q_{g,v,ref}$ – Ganhos térmicos brutos de referência na estação de arrefecimento [kWh/ano];
- $Q_{tr,i}$ – Transferência de calor por transmissão através da envolvente do edifício na estação de aquecimento [kWh/ano]
- $Q_{tr,i,ref}$ – Transferência de calor por transmissão através da envolvente do edifício de referência na estação de aquecimento [kWh/ano]
- $Q_{ve,i}$ – Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [kWh/ano]
- $Q_{ve,i,ref}$ – Transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento [kWh/ano]
- R_{Nt} – Rácio de classe energética em edifícios de habitação
- U – Coeficiente de transmissão térmica [W/(m².°C)]
- V_f – Caudal de ar médio diário escoado através do ventilador [m³/h]
- $W_{v,k}$ – Consumo de energia elétrica j do funcionamento do ventilador [kWh/ano]
- W_{vm} – Consumo de energia elétrica do funcionamento do ventilador [kWh/ano]
- η_k – Eficiência do sistema k para a fonte de energia j , que corresponde ao respetivo valor de $EDEE$, assumindo o valor de 1 no caso de sistemas de cogeração ou trigeração e de sistemas que recorram a fontes de energia renovável, com exceção de sistemas de queima a biomassa sólida
- $\eta_{ref,k}$ – Eficiência de referência do sistema k
- η_{tot} – Eficiência da unidade de ventilação baseada na pressão total
- η_v – Fator de utilização de ganhos térmicos na estação de arrefecimento
- $\eta_{v,ref}$ – Fator de utilização de ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento;

δi – Fator de anulação do consumo de energia para aquecimento

δv – Fator de anulação do consumo de energia para arrefecimento

ΔP_{tot} – Diferença de pressão total no ventilador [Pa]

ΔT – Aumento de temperatura necessário para a preparação das AQS, assumindo o valor de fixo de 35 [°C]

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Nunca as alterações climáticas e o impacto que estas estão a ter em todo planeta estiveram tanto sob análise como no período atual. Invernos anormalmente quentes, incêndios florestais descontrolados, o degelo acelerado de glaciares assim como tantos outros fenómenos climáticos são reportados praticamente todos os dias, resultando na perda de vidas, alterações irreversíveis na fauna e na flora global e na destruição do património global.

Estas variações dos padrões meteorológicos de longo prazo na Terra, como a temperatura, os níveis do mar e a precipitação são causadas pela combustão de combustíveis fósseis como o petróleo, o carvão e o gás natural, que emitem gases com efeito de estufa para a atmosfera, para além de outras atividades humanas como a desflorestação, a agricultura e a pecuária.

Segundo a União Europeia quase 50% do consumo de energia na Europa é utilizada para fins de aquecimento e arrefecimento, sendo que, 80% desta, é utilizada pelo edifício, fazendo com que o parque imobiliário europeu seja responsável por cerca de 36% de todas as emissões de dióxido de carbono.

Tendo em conta esta situação, a União Europeia tem desenvolvido esforços para desenvolver um sistema energético sustentável, concorrencial e descarbonizado até 2050, aconselhando os Estados-Membros a procurar um equilíbrio entre os custos da descarbonização do abastecimento energético e a redução do consumo final de energia e a renovar o seu parque imobiliário dando prioridade à eficiência energética e à implementação de energias renováveis.

Portugal não podendo ficar indiferente às recomendações da União Europeia tem feito esforços significativos no que toca a políticas relativas a alterações climáticas, o que faz todo o sentido, porque Portugal é um dos países mais suscetíveis a estas alterações. Devido às suas características geográficas e climatéricas, Portugal encontra-se numa situação particularmente vulnerável no que toca à subida do nível médio do mar e a outros fenómenos meteorológicos extremos, como a seca, que tem marcado a atualidade do país.

Em Portugal desde 2013, é obrigatório por lei que todos os imóveis que estejam à venda ou para arrendamento possuam certificado energético. Esta obrigatoriedade traz benefícios tanto para o vendedor como o comprador. Do ponto de vista do comprador, a existência do certificado energético e consequente classe energética de um edifício, pode ser decisiva na escolha entre um imóvel ou outro pois, quanto melhor for a classe energética do imóvel mais o comprador irá poupar nas faturas mensais de energia. Para além da poupança edifícios com classes energéticas A ou A+ trazem benefícios fiscais a nível do Imposto Municipal sobre as Transmissões Onerosas de Imóveis e do Imposto Municipal Sobre Imóveis, assim como, facilitam o acesso por parte do comprador a planos de financiamento mais

vantajosos. Do ponto de vista do vendedor, quanto melhor for a classe energética do imóvel que está a tentar vender, maior será a valorização que este terá no mercado imobiliário, incentivando assim o vendedor a aplicar medidas que visem melhorar a eficiência energética do seu imóvel.

Atualmente a emissão deste tipo de certificados está ao encargo de peritos qualificados pela Agência para a Energia, que aplicam a metodologia de cálculo indicada no Sistema de Certificação Energética para obter uma classe energética, tendo em conta as características do imóvel que estão a analisar. Tendo em conta a complexidade desta metodologia existem diversas ferramentas de cálculo automático que visam auxiliar os peritos qualificados no processo de emissão do certificado, sendo apenas necessária a atribuição de valores aos parâmetros de acordo com as características do edifício.

Apesar da simplificação que este tipo de ferramentas de cálculo vieram trazer, o processo de atribuição de valores aos parâmetros continua muitas vezes a ser um processo de tentativa e erro, muito dependente da experiência do perito qualificado, que poderá precisar de testar inúmeras combinações até encontrar uma que resulte na classe energética pretendida. Surge assim, a necessidade de desenvolvimento de uma ferramenta auxiliar que, funcionando com base numa das ferramentas já existentes, sugira ao perito qualificado valores que certos parâmetros devem tomar de forma a ser possível chegar a uma certa classe energética.

1.2. OBJETIVOS

O principal objetivo desta dissertação consiste na criação de uma ferramenta que permita a otimização de variáveis com influência na certificação energética de edifícios de habitação. Para a satisfação deste objetivo principal propõem-se os seguintes objetivos parciais:

- Análise da legislação em vigor de certificação energética de edifícios de habitação;
- Identificação das variáveis com impacto no resultado da certificação energética;
- Análise e comparação de folhas de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios de habitação;
- Desenvolvimento da ferramenta em Visual Basic for Applications, para otimização;
- Aplicação da ferramenta a um caso de estudo real e análise de impacto das diferentes variáveis nas necessidades energéticas.

1.3. ESTRUTURA DO TEXTO

Esta dissertação será constituída por cinco capítulos, incluindo o presente capítulo, a Introdução, onde se faz o enquadramento do trabalho, a descrição dos seus objetivos e da sua estrutura.

No segundo capítulo é feita uma abordagem ao sistema de certificação energética de edifícios em Portugal, fazendo uma referência à legislação nacional e europeia no âmbito deste tema, às ferramentas de cálculo atualmente disponíveis que visam auxiliar os peritos qualificados na emissão dos certificados energéticos e, por fim, se apresenta uma revisão de alguns trabalhos realizados no âmbito de temas como a certificação energética, a eficiência energética e o conforto térmico.

O terceiro capítulo é dedicado ao processo de desenvolvimento da ferramenta de otimização, sendo feito inicialmente um breve resumo da metodologia de cálculo prevista no SCE e da linguagem de código utilizada para o desenvolvimento da ferramenta. Posteriormente, é feita uma descrição passo a passo de como a ferramenta foi desenvolvida e de como a metodologia de cálculo foi aplicada ao processo de

desenvolvimento da ferramenta.

O quarto capítulo consiste na aplicação da ferramenta desenvolvida a um caso de estudo, que é descrito no início do capítulo. De seguida, expõem-se passo a passo o funcionamento da ferramenta aplicada ao caso de estudo, sendo feita no fim a interpretação e a discussão dos resultados obtidos.

O quinto e último capítulo resume as principais conclusões retiradas durante o desenvolvimento desta dissertação, propondo-se também algumas recomendações e eventuais desenvolvimentos futuros.

2

CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS EM PORTUGAL

2.1. LEGISLAÇÃO PORTUGUESA

2.1.1. EVOLUÇÃO DA LEGISLAÇÃO

A regulamentação relativa às condições térmicas de edifícios e ao melhoramento do desempenho térmico dos mesmos não é algo propriamente recente em Portugal. Em 1990 foi publicado em diário da república o primeiro instrumento legal que tinha em vista a regulamentação das condições térmicas dos edifícios, o Decreto-Lei nº 40/90 [1], cujo objetivo era melhorar as condições de salubridade, de higiene e de conforto nos edifícios. Assim, foram definidos alguns índices e parâmetros cuja quantificação se traduz na caracterização do comportamento térmico dos edifícios nomeadamente, as necessidades nominais de energia útil por estação de aquecimento (N_i) e por estação de arrefecimento, (N_v), os coeficientes de transmissão térmica (U) de elementos da envolvente, a classe de inércia térmica do edifício e o fator solar dos vãos envidraçados.

A aprovação do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios foi um passo significativo no sentido da melhoria das condições de conforto térmico na generalidade dos edifícios porém, faltava ainda regulamentar o processo de instalação e utilização de equipamentos e sistemas energéticos de aquecimento e/ou de arrefecimento de forma a assegurar a qualidade dos respetivos desempenhos, com respeito pela utilização racional da energia, pelo ambiente e pela segurança das instalações. Assim, a 7 de maio de 1998 foi aprovado o Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios através do Decreto-Lei nº 118/98 [2] que veio estabelecer as regras a ter em conta no dimensionamento e instalação dos sistemas energéticos de climatização em edifícios.

Posteriormente, em 2006, o parlamento europeu e o conselho da união europeia adotou Diretiva nº 2002/91/CE [3] que vem estabelecer um enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios, a aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético de novos edifícios e de edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação, requisitos em matéria de certificação energética e requisitos em matéria de inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado. Esta Diretiva foi mais tarde transposta para o ordenamento jurídico nacional através do Decreto-Lei nº 78/2006 [4], do Decreto-Lei nº 79/2006 [5] e do Decreto-Lei nº 80/2006 [6]. O Decreto-Lei nº 78/2006 aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) com a finalidade de:

- Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no Regulamento

das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e no Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE);

- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- Identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respetivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior.

O Decreto-Lei nº 79/2006 aprova o RSECE onde ficam estabelecidos:

- As condições a observar no projeto de novos sistemas de climatização, nomeadamente:
 - Os requisitos em termos de conforto térmico e de qualidade do ar interior e os requisitos mínimos de renovação e tratamento de ar que devem ser assegurados em condições de eficiência energética;
 - Os requisitos em termos da conceção, da instalação e do estabelecimento das condições de manutenção a que devem obedecer os sistemas de climatização;
 - A observância dos princípios da utilização racional da energia e da utilização de materiais e tecnologias adequados em todos os sistemas energéticos do edifício, na ótica da sustentabilidade ambiental.
- Os limites máximos de consumo de energia nos grandes edifícios de serviços existentes;
- Os limites máximos de consumos de energia para todo o edifício bem como os limites de potência aplicáveis aos sistemas de climatização a instalar nesses edifícios;
- As condições de manutenção dos sistemas de climatização;
- As condições de monitorização e de auditoria de funcionamento dos edifícios em termos dos consumos de energia e da qualidade do ar interior;
- Os requisitos, em termos de formação profissional, a que devem obedecer os técnicos responsáveis pelo projeto, instalação e manutenção dos sistemas de climatização.

O Decreto-Lei nº 80/2006 aprova o RCCTE que estabelece as regras a observar no projeto de todos os edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados de modo que:

- As exigências de conforto térmico possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia;
- Sejam minimizadas as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas.

Em 2010 a Diretiva nº 2002/91/CE é alvo de revisão e reformulação levando à criação da Diretiva nº 2010/31/EU [7]. Esta veio a ser transposta para ordem jurídica através do Decreto-Lei nº 118/2013 [8] onde é feita a atualização da legislação nacional existente, aglutinando, num só diploma, o SCE, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Este Decreto-Lei vem fazer também uma separação clara do âmbito do REH e do RECS, passando o primeiro a incidir, exclusivamente, sobre edifícios de habitação e o último sobre os edifícios de comércio e serviços, o que facilita o tratamento técnico e a gestão administrativa dos processos reconhecendo, simultaneamente, as especificidades técnicas de cada tipo de edifício naquilo que é mais relevante para caracterização e melhoria do seu desempenho energético.

Em 2018 a legislação a nível europeu foi novamente revista e reformulada tendo sido publicada a Diretiva nº 2018/844/EU [9] que foi transposta para ordem jurídica através do Decreto-Lei nº 101-D/2020 [10], atualmente em vigor.

A evolução da legislação acima descrita está resumida de forma a ser mais facilmente interpretada na Fig. 1.

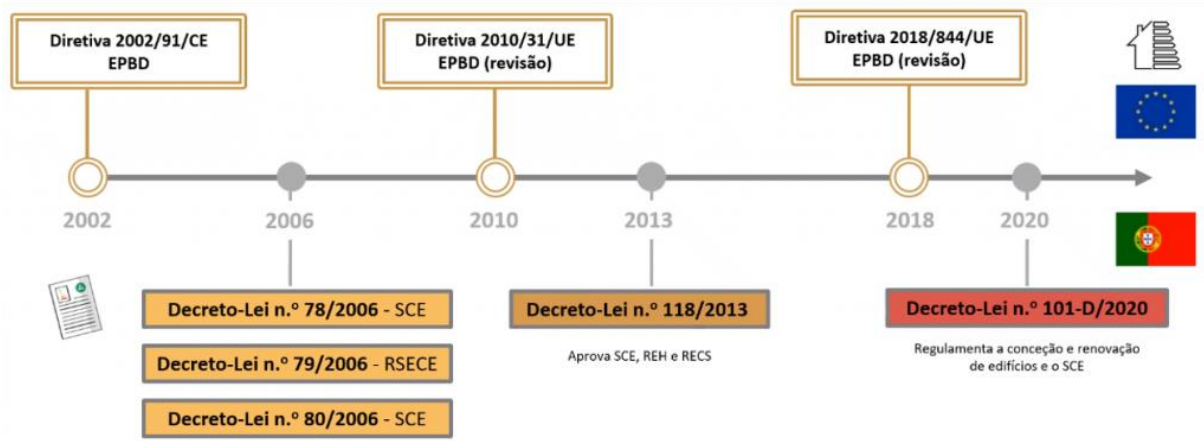


Fig. 1 – Evolução da Legislação [11].

2.1.2. LEGISLAÇÃO ATUALMENTE EM VIGOR

Como referido no ponto anterior, atualmente vigora em Portugal o Decreto-Lei nº 101-D/2020 onde estão estabelecidos os requisitos aplicáveis à conceção e renovação de edifícios, com o objetivo de assegurar e promover a melhoria do respetivo desempenho energético através do estabelecimento de requisitos aplicáveis à sua modernização e renovação. Este Decreto-Lei tem também como objetivo regular o SCE sendo que, a Direção-Geral da Energia e Geologia (DGEG) fica responsável pela supervisão e fiscalização do funcionamento do SCE, ficando gestão à responsabilidade da Agência para a Energia (ADENE). Assim, através do Despacho nº 6476-H/2021 [12], foi aprovado e publicado o Manual do SCE, ficando estabelecido que este deve ser revisto no intervalo máximo de dois anos, ou sempre que alterações de natureza técnica ou regulamentar o justifique. Neste manual estão descritos os procedimentos para a emissão de um pré-certificado energético (PCE) ou de um certificado energético (CE), que incluem o enquadramento, caracterização do edifício e sua localização, caracterização dos elementos da envolvente e dos sistemas técnicos, metodologia de cálculo, determinação de indicadores e da classe energética do edifício, identificação e estudo de medidas de melhoria e relatório de avaliação do desempenho energético dos edifícios.

No Decreto-Lei nº 101-D/2020 ficou também definido que os requisitos associados aos componentes dos edifícios são regulamentados por portaria dos membros do governo responsáveis pelas áreas da energia e da habitação. Surge assim a Portaria nº 138-I/2021 [13] que regulamenta:

- Os requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente dos edifícios e respetiva aplicação em função do tipo de utilização do edifício;
- Os requisitos relativos aos sistemas técnicos, variáveis em função de cada sistema técnico em concreto.

2.1.3. CERTIFICADOS ENERGÉTICOS

Segundo o portal do SCE [14], o CE (Fig. 2) é um documento que avalia a eficiência energética de um imóvel e traduz o seu desempenho energético numa escala de F (muito pouco eficiente) a A+ (muito eficiente). Este documento é emitido por Peritos Qualificados (PQ) independentes e contém informação sobre as características do imóvel como janelas, isolamentos, climatização e produção de águas quentes sanitárias (AQS), ventilação, a existência ou não de aproveitamento de energias renováveis, e o seu efeito no consumo de energia. O CE deve incluir também medidas de melhoria que possam ser efetuadas para reduzir o consumo, melhorar o conforto e a saúde dos utilizadores, identificando benefícios fiscais e acesso a financiamento específico, quando disponíveis.



Fig. 2 – Exemplo de CE [15].

O desempenho energético do edifício é obtido comparando o consumo de energia para aquecer e arrefecer o ambiente, preparar AQS e para ventilação mecânica com os valores calculados para um edifício de referência semelhante ao analisado. Quanto maiores forem as necessidades energéticas face aos valores de referência, pior a classe energética.

Segundo as informações estatísticas disponibilizadas pelo SCE [16], desde 2014 até à data foram emitidos em Portugal 1 454 496 CE's para edifícios de habitação, sendo que, quase metade correspondem às classes energéticas C e D, tendo apenas 3,2 % dos edifícios certificados obtido a classe A+, como se pode ver na Fig. 3.

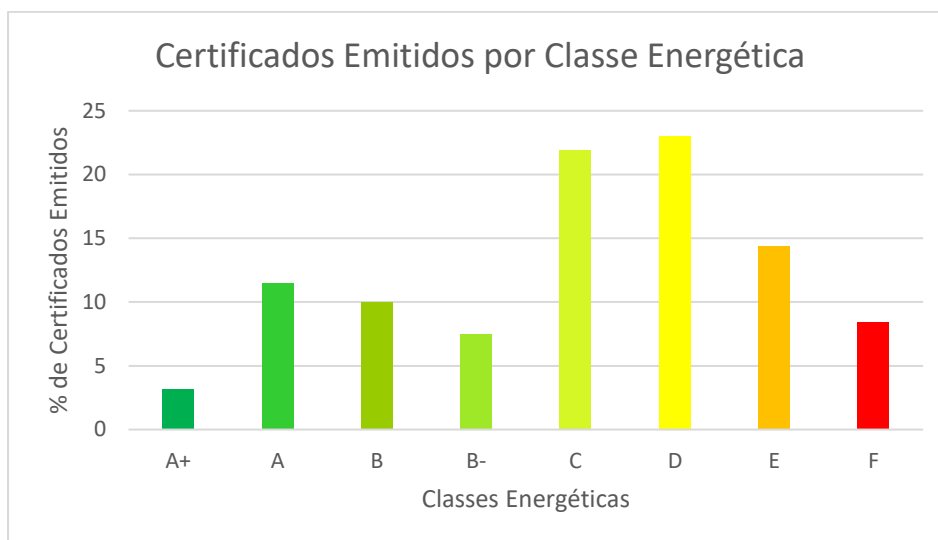


Fig. 3 – Certificados Emitidos por Classe Energética.

2.2. FERRAMENTAS DE CÁLCULO DE APOIO AO SCE

2.2.1. FERRAMENTAS DE CÁLCULO DISPONÍVEIS

Apesar do seu uso não ser obrigatório, existem diversas ferramentas de cálculo usadas habitualmente pelos PQ que visam auxiliar o processo de cálculo necessário à emissão de PCE e CE. Uma dessas ferramentas é a ferramenta disponibilizada pelo Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade (Itecons), que serve de base para o desenvolvimento desta dissertação. Assim, e com fins comparativos, são, abaixo, listadas e descritas, quatro ferramentas, incluindo a do Itecons, atualizadas à legislação em vigor, que podem ser utilizadas neste processo.

2.2.1.1. Ferramenta do Itecons

O Itecons é uma associação sem fins lucrativos prestadora de serviços de investigação aplicada, ensaios, consultoria e formação nas áreas da construção, energia, ambiente e sustentabilidade [17].

Com o objetivo de apoiar os projetistas na aplicação das novas metodologias de cálculo, o Itecons disponibiliza ferramentas de cálculo (Fig. 4) que através do preenchimento de toda a informação necessária possibilitam a emissão do relatório de peritagem e consequente PCE ou CE. Estas ferramentas estão também preparadas para fazer a verificação dos requisitos mínimos e energéticos para a legislação em vigor, permitindo ainda, a análise técnico-económica de medidas de melhoria. Este trabalho vai ter por base uma destas ferramentas de cálculo, a folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios de habitação, sobre a qual irá ser desenvolvida a aplicação para a análise paramétrica.



FOLHA DE CÁLCULO DE AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO E DO DESEMPENHO
ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO, DE ACORDO COM O DECRETO-LEI N.º 101-D/2020 DE 7 DE DEZEMBRO
(Versão V1.06 de 7 de setembro de 2021)



Fig. 4 – Logótipo do Itecons e página inicial da ferramenta [17].

2.2.1.2. Ferramenta da Plataforma peritosqualificados.pt

A peritosqualificados.pt é uma plataforma de pesquisa e contratação online de serviços de Certificação Energética de edifícios de habitação existentes em Portugal. Esta plataforma permite identificar PQ disponíveis para a emissão do CE indicando de imediato o valor dos honorários. Assim como o Itecons, esta plataforma disponibiliza ferramentas de cálculo (Fig. 5) de acordo com a legislação em vigor que auxiliam os peritos na emissão de PCE's e CE's, sendo a folha que mais se aproxima com a folha do Itecons, a folha PTnZEB.

Fig. 5 – Logótipo peritosqualificados.pt e página inicial da ferramenta [18].

2.2.1.3. Ferramenta da Densare

A Densare é uma empresa portuguesa especializada no desenvolvimento de softwares técnicos para engenharia e arquitetura. Um dos softwares desenvolvidos por esta empresa é o Dentherm (Fig. 6) que permite fazer a verificação regulamentar de projetos pelo REH. Para além do software a Densare disponibiliza uma lista extensiva de tutoriais que visam auxiliar os PQ em todo processo de certificação desde a definição dos dados gerais do processo, do requerente e da fração até à emissão da memória

descritiva e do relatório de certificação onde estão incluídos dados como as medições das envolventes, a comprovação do cálculo dos coeficientes de transmissão térmica, a verificação dos fatores solares máximos, o cálculo da inércia, o estudo das medidas de melhoria e descrições diversas.

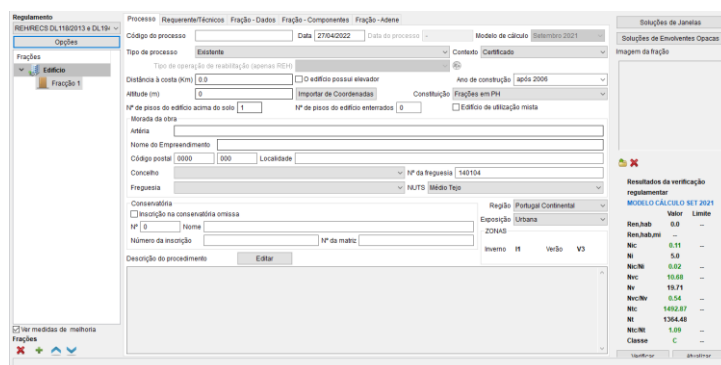


Fig. 6 – Logótipo da Densare e página inicial do programa Dentherm [19].

2.2.1.4. CYPETHERM SCE-HAB

A CYPE é uma empresa espanhola especializada no desenvolvimento de softwares para arquitetura, engenharia e construção. Um dos softwares disponibilizados pela CYPE é o CYPETHERM SCE-HAB (Fig. 7) que permite avaliar o desempenho energético em edifícios de habitação cumprindo com os requisitos impostos pelo Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, com base no Decreto-Lei nº 101-D/2020.

Este software possui ferramentas para se poder fazer uma análise rápida e objetiva dos resultados, de forma a ajudar o utilizador a tomar decisões no sentido de melhorar o desempenho energético do edifício permitindo ainda a exportação dos dados para ficheiro em formato XML, para posterior importação no portal SCE.

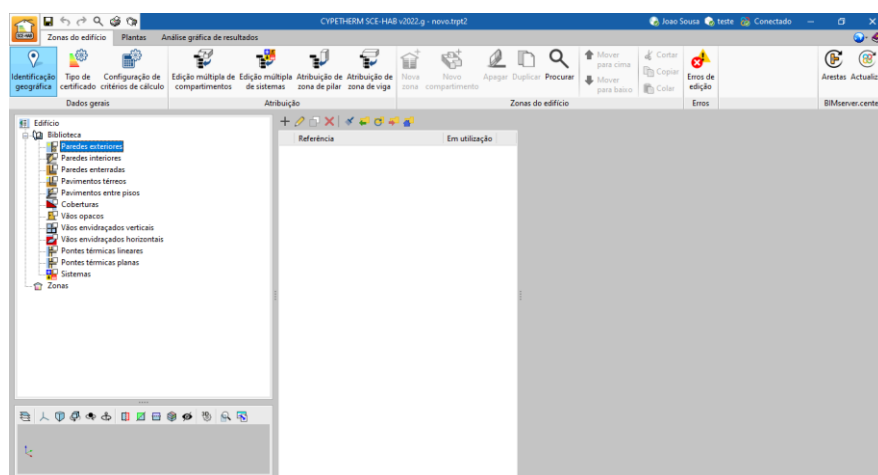


Fig. 7 – Logótipo CYPE e página inicial do programa CYPETHERM SCE-HAB [20].

2.2.2. ANÁLISE COMPARATIVA DAS DIFERENTES FERRAMENTAS DE CÁLCULO

De forma a perceber as potencialidades de cada ferramenta analisada e as eventuais vantagens e desvantagens de cada uma em relação às demais é feita, neste ponto, uma análise comparativa através do Quadro 1. Neste Quadro entram parâmetros relativos aos dados que podem ser introduzidos na

ferramenta em questão, aos dados que são calculados pela ferramenta e outras informações e possibilidades que são fornecidas pela ferramenta durante o cálculo permitindo ao utilizador uma melhor perceção do processo.

Quadro 1 – Análise comparativa das ferramentas de cálculo de apoio ao SCE.

Ferramenta Parâmetro	Folha Itecons	Folha PTnZEB	Dentherm	CYPETHERM SCE- HAB
Introdução de Dados:				
Identificação Geográfica	✓	✓	✓	✓
Requerente/ Técnicos	✗	✗	✓	✗
Identificação do Imóvel	✓	✓	✓	✓
Características do Imóvel	✓	✓	✓	✓
Levantamento Dimensional	✓	✓	✓	✓
Paredes Exteriores	✓	✓	✓	✓
Pavimentos Exteriores	✓	✓	✓	✓
Coberturas Exteriores	✓	✓	✓	✓
Vãos Envidraçados Exteriores	✓	✓	✓	✓
Vãos Opacos Exteriores	✓	✓	✓	✓
Pavimentos Térreos	✓	✓	✓	✓
Pavimentos Enterrados	✓	✓	✓	✓
Paredes Enterradas	✓	✓	✓	✓
Pontes Térmicas Lineares Exteriores	✓	✓	✓	✓
Definição Envolvente Exterior	✓	✓	✓	✓
Paredes Interiores	✓	✓	✓	✓
Vãos Opacos Interiores	✓	✓	✓	✓
Coberturas Interiores	✓	✓	✓	✓
Vãos Envidraçados Interiores	✓	✓	✓	✓
Pontes Térmicas Lineares Interiores	✓	✓	✓	✓
Ventilação	✓	✓	✓	✓
Sistemas Técnicos	✓	✓	✓	✓
Custo da Energia	✗	✓	✗	✗
Dados de Saída:				
Balanco Energético	✓	✓	✓	✓

Medidas de Melhoria	✓	✗	✓	✗
Consumos Anuais de Energia	✗	✓	✗	✗
Análise Simultânea de Medidas	✗	✓	✗	✗

As conclusões a que se chega após a análise deste quadro são que, em termos de dados de entrada, as ferramentas analisadas são todas muito semelhantes, uma vez que todas essencialmente exigem os mesmos dados que são necessários ao cálculo do desempenho energético. As únicas exceções são nos parâmetros dos Requerente/ Técnicos e Custo da Energia, em que apenas a Dentherm e PTnZEB, respetivamente, exigem essa informação. Especificamente no caso da última, a introdução dos dados relativos ao custo da energia faz com que haja também informação adicional disponível, nomeadamente, os Consumos Anuais de Energia.

As ferramentas Itecons e Dentherm permitem, ainda, com base na classe energética calculada, a introdução de medidas de melhoria dentro do mesmo processo de forma que seja possível estudar possíveis soluções para melhorar o desempenho do edifício.

Relativamente à ferramenta PTnZEB, esta possui, em relação às outras, um ponto bastante positivo pois permite ao utilizador a análise simultânea de diversas soluções.

2.3. TRABALHOS PREVIAMENTE REALIZADOS

Nesta dissertação serão abordados diversos tópicos que estão relacionados com a certificação energética de edifícios, por isso, neste ponto, irá ser realizada uma breve abordagem a outros estudos realizados nesse âmbito, nomeadamente, o conforto térmico, a eficiência energética e sustentabilidade e o comportamento dos diversos elementos da envolvente como isolamentos térmicos, pisos e vãos envidraçados.

No âmbito da certificação energética, destacam-se os seguintes estudos considerados relevantes para a elaboração desta dissertação.

Rodrigues [21] analisou e comparou diferentes metodologias para determinação da classe energética de edifícios de habitação, nomeadamente o REH, o RECS e o SCE2020, com o objetivo de comparar os resultados obtidos comparando diferentes metodologias. Como principais conclusões deste estudo destacam-se:

- A metodologia do SCE2020, quando comparada com o consumo real da fração, é a que apresenta um desvio do consumo mais baixo, cerca de 1%. No entanto, devido aos valores de eficiência dos sistemas de referência, e que são assumidos por defeito, foi o método que conduziu a maiores desvios na energia final e primária, -21,2 kWh/ (m². ano) e -16,2 kWh/ (m². ano), respetivamente;
- Há necessidade de aplicar a presente metodologia a mais casos, no sentido de confirmar as tendências obtidas.

Figueiredo [22] estudou toda a legislação referente ao SCE, assim como a folha de cálculo do Itecons e acompanhou, posteriormente, um PQ, durante a realização de levantamentos *in situ* e durante o tratamento dos dados recolhidos, nomeadamente no processo de cálculo para a emissão de CE's de edifícios. As principais conclusões a destacar deste estudo são:

- A utilização de envolventes adequadas permite que a necessidade do uso de equipamentos para

a climatização do ar interior dos edifícios seja menor, reduzindo desta forma as emissões de gases poluentes;

- É necessário estudar os sistemas de climatização e de preparação de AQS de modo a serem propostos equipamentos com uma elevada eficiência e que permitam assim uma redução da fatura energética e de gases poluentes.

Tomé [23] predispôs-se a avaliar a robustez do SCE, usando a metodologia de cálculo imposta pelo REH, tendo obtido como principais conclusões:

- O cálculo descrito no SCE é consideravelmente robusto na classificação final das habitações, considerando que, após numerosas variações dos dados de entrada, os resultados apresentam pouca variabilidade no que diz respeito à classe energética inicial;
- Os parâmetros mais influentes na classificação energética são os coeficientes de transmissão térmica;
- Quando os sistemas técnicos, alimentados por uma fonte de energia renovável, sustentam uma necessidade energética da habitação, esta passa a ter valor nulo ou quase nulo, o que permite que a habitação tenha uma classe energética mais eficiente;
- Os parâmetros de sombreamento e orientação das fachadas têm uma influência nula na classe energética quando, as habitações são isoladas e/ou com fachadas de dimensões aproximadas. No caso de habitações com edifícios adjacentes ou em frações de edifícios multifamiliares estes parâmetros já exercem alguma influência na classe energética dos mesmos;
- A variação de áreas de pavimento tem uma influência praticamente nula na classificação energética do edifício.

Estar em conforto térmico significa ter condições adequadas e bem-estar físico e mental para desempenhar as atividades diárias. Tentar atingir o conforto térmico através de escolhas definidas durante a fase de projeto aumenta a eficiência energética do edifício e reduz gastos com aparelhos de refrigeração ou aquecimento, que são variáveis importantes no processo de cálculo do CE.

Curado [24] abordou o tema de conforto térmico tentando definir a melhor estratégia de reabilitação passiva dos edifícios de habitação social, criando um indicador de desempenho denominado Índice de Desconforto Térmico permitiu avaliar o desconforto térmico de inverno e de verão. As principais conclusões a que o autor chegou foram:

- A aplicação de uma cobertura bem isolada, de envidraçados com um elevado desempenho térmico e proteção solar exterior, a adoção de dispositivos de ventilação mecânica coletiva nas cozinhas, com funcionamento centralizado, e de dispositivos de ventilação mecânica individual nas instalações sanitárias, constituem soluções que num clima temperado como o da cidade do Porto, permitem garantir o conforto térmico na estação de arrefecimento e durante uma parte considerável da estação de aquecimento;
- A aplicação de grelhas autorreguláveis nas caixas de estores, não garante, por si só, uma adequada renovação de ar, na ausência de um sistema mecânico de extração a funcionar na cozinha;
- A simples apresentação de 2 valores de temperatura de referência, para o inverno e para o verão, constitui uma abordagem bastante simplista da questão, tornando evidente que as exigências regulamentares de conforto térmico não se adequam ao estudo do conforto em edifícios de habitação de social. Para isso o autor propõe a criação de um regulamento de desempenho

térmico específico para reabilitação de edifícios de habitação que permita a aplicação de um modelo de conforto térmico adaptativo para avaliação do desempenho.

A busca de soluções que melhorem o desempenho energético dos edifícios é uma prioridade no sentido de alcançar metas de sustentabilidade energética.

Silva [25] procurou averiguar a implementação do conceito NZEB (Net/ Nearly Zero Energy Building) nos países do sul da Europa estudando as principais dificuldades e oportunidades. A principal conclusão do autor foi que a simples aplicação do cálculo regulamentar pode conduzir a situações em que os sistemas de aquecimento são sobredimensionados, ou seja, em condições mais realistas de utilização será possível recorrer a consumos de energia muito inferiores e manter, igualmente, condições de conforto.

Almeida [26] estudou as alterações introduzidas pela Portaria n.º 98/2019, que estabelece novos critérios para a edifícios NZEB, e as implicações desta na construção portuguesa. O autor chegou à conclusão que:

- As energias renováveis são a única via para responder às novas exigências da Portaria n.º 98/2019, uma vez que reduzem as necessidades nominais anuais de energia primária (Ntc) e representam um novo índice mínimo exigido (%Eren), que traduz a percentagem de energia proveniente de fontes renováveis e deve ser superior a 50%;
- A envolvente do edifício revela ser bastante importante, uma vez que está diretamente relacionada com as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic), parâmetro este também condicionado pelas alterações introduzidas na Portaria n.º 98/2019;
- As novas exigências demonstram ser alcançáveis para todas as zonas climáticas em portuguesas, contudo esta portaria acarreta maior exigência térmica para a envolvente e instalação de equipamentos associados a energia renovável particularmente para a zona climática I3 que, sendo uma zona pouco povoada e com os valores de produto interno bruto (PIB) mais baixos a nível nacional, é a que mais sofre com a entrada em vigor das novas exigências.

Relativamente à envolvente, Castro [27] procurou criar um modelo de certificação de materiais de isolamento térmico assim como um manual para a sua seleção exigencial. O modelo de certificação tem como objetivo conhecer e uniformizar as características dos materiais de modo a estas serem otimizadas tendo por base as características requeridas. As principais conclusões a que a autora chegou foram:

- Os materiais de isolamento térmico, devido à sua capacidade de reduzirem a quantidade de calor que é transferida, possuem um papel importante no desempenho global do edifício;
- A existência de um documento que faça a regulamentação no âmbito da térmica de edifícios é uma mais-valia para o setor, pois, através da imposição de um conjunto de requisitos na fase de projeto, permite reduzir o consumo de energia dos edifícios e consequentemente os custos que lhe estão associados.

No âmbito dos vãos envidraçados, Oliveira [28] procurou compreender melhor o impacto dos vãos envidraçados no desempenho térmico da envolvente, na eficiência energética dos edifícios e no conforto térmico dos seus utilizadores desenvolvendo um modelo simplificado de seleção para os vãos envidraçados. As principais conclusões do autor foram:

- O modelo desenvolvido permitiu confirmar o impacto da orientação, da relação entre a área do vão envidraçado e a área do pavimento e da localização do espaço que servem e geografia do edifício no seu desempenho térmico e na necessidade de energia para climatização;

- Foi ainda definida a importância de cada uma das características dos vãos envidraçados, sendo a mais importante, a relação entre a área do vão envidraçado e a área do pavimento, e as menos importantes, o tipo de vidro e o tipo de caixilharia;

3

DENSENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA DE OTIMIZAÇÃO

3.1. ENQUADRAMENTO GERAL

Sendo o principal objetivo desta dissertação o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de realizar a otimização de variáveis com influência na certificação energética, neste capítulo vai ser realizada uma apresentação da mesma e da metodologia usada para o seu desenvolvimento.

No início do capítulo é feita uma breve apresentação da metodologia de cálculo do SCE, onde são indicadas as principais fórmulas utilizadas para o cálculo da classe energética de um edifício, assim como todos os parâmetros envolvidos nessas mesmas fórmulas.

De seguida é feita uma breve introdução à ferramenta utilizada para desenvolver o código e todo o processo de cálculo que torna possível o funcionamento da ferramenta criada.

Por fim, é explicado passo a passo o processo de desenvolvimento da ferramenta, todo o código que foi escrito e como este traduz o funcionamento da mesma e todo o processo de cálculo utilizado para a determinação dos valores dos parâmetros que são apresentados ao utilizador na última fase como valores sugeridos, de forma a poder obter uma classe energética igual aquela que mais à frente vai ser introduzida como o objetivo da ferramenta.

3.2. METODOLOGIA DE CÁLCULO DO SCE

3.2.1. CLASSES ENERGÉTICAS DO EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Como já referido, o Manual SCE estabelece a metodologia de cálculo usada para avaliar o desempenho energético dos edifícios (DEE) abrangidos pelo SCE, tanto para edifícios de habitação como de comércio e serviços.

A avaliação do DEE consiste na determinação dos balanços dos consumos de energia primária, contando com a influência de fontes de energia renovável, entre os edifícios em análise e de referência, sendo estes expressos por um indicador de energia primária anual por unidade de área interior útil de pavimento. São assim determinadas, tendo em conta as condições de referência e as necessidades reais de energia, de forma a garantir a qualidade do ar interior, o conforto térmico e a salubridade dos espaços.

O processo de cálculo do DEE resulta na determinação de um valor, o rácio de classe energética (R_{Nt}), que traduz a relação entre as necessidades nominais de energia primária previstas e as de referência, conforme a Equação 1, ao qual corresponde uma classe energética, que se encontra traduzida no Quadro 2.

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

- R_{Nt} – Rácio de classe energética em edifícios de habitação;
- N_{tc} – Necessidades nominais anuais de energia primária [kWh_{EP}/(m² .ano)];
- N_t – Necessidades nominais anuais de energia primária de referência [kWh_{EP}/(m² .ano)].

Quadro 2 – Classe energética dos edifícios de habitação em função do R_{Nt}

Classe Energética	Valor do R_{Nt}
A ⁺	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,25 < R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,50 < R_{Nt} \leq 0,75$
B	$0,75 < R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,01 < R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,51 < R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,01 < R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} \geq 2,51$

3.2.2. NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

O N_{tc} traduz o total de energia primária necessária para satisfazer anualmente as necessidades de aquecimento e de arrefecimento ambiente e de preparação de AQS, assim como para o funcionamento dos sistemas de ventilação mecânica, à qual é subtraída o contributo das fontes de energia renovável para estes usos, conforme a Equação 2.

$$N_{tc} = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} * N_{ic}}{\eta_k} \right) * \delta_i * F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} * N_{vc}}{\eta_k} \right) * \delta_v * F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} * Q_a / A_p}{\eta_k} \right) * F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} * F_{pu,j} - \sum_j \frac{E_{ren,p}}{A_p} * F_{pu,p} \quad (\text{Eq. 2})$$

[kWh_{EP} (m² / . ano)]

Em que:

- N_{tc} – Necessidades nominais anuais de energia primária [kWh_{EP}/(m² .ano)];
- N_{ic} – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/(m² .ano)];
- $f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k para a fonte de energia j ;
- N_{vc} – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/(m² .ano)];
- $f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k para a fonte de energia j ;
- Q_a – Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS [kWh/ano];
- $f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema k para a fonte de energia j ;

- η_k – Eficiência do sistema k para a fonte de energia j , que corresponde ao respetivo valor de $EDEE$, assumindo o valor de 1 no caso de sistemas de cogeração ou trigeração e de sistemas que recorram a fontes de energia renovável, com exceção de sistemas de queima a biomassa sólida;
- $W_{v,k}$ – Consumo de energia elétrica j do funcionamento do ventilador [kWh/ano];
- $E_{ren,p}$ – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício [kWh/ano];
- A_p – Área interior útil de pavimento [m²];
- δ_i – Fator de anulação do consumo de energia para aquecimento;
- δ_v – Fator de anulação do consumo de energia para arrefecimento;
- $F_{pu,j}$ – Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia j , incluindo renovável [kWh_{EP}/kWh];
- $F_{pu,p}$ – Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia renovável p [kWh_{EP}/kWh].

Já o indicador N_t , Equação 3, representa o que será o valor máximo admissível para as necessidades nominais de energia primária, traduzindo o balanço de energia do edifício no caso de serem adotados os valores de referência tanto para a envolvente como para os sistemas técnicos, não alterando as restantes características do mesmo.

$$N_t = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} * N_{ic}}{\eta_{ref,k}} \right) * F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} * N_{vc}}{\eta_{ref,k}} \right) * F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} * Q_{a,ref} / A_p}{\eta_{ref,k}} \right) * F_{pu,j} \quad (\text{Eq. 3})$$

[kWh_{EP} (m² / . ano)]

Em que:

- N_t – Necessidades nominais anuais de energia primária de referência [kWh_{EP}/(m² .ano)];
- N_i – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência [kWh/(m² .ano)];
- $f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k de referência para a fonte de energia j ;
- N_v – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de referência [kWh/(m² .ano)];
- $f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k de referência para a fonte de energia j ;
- $Q_{a,ref}$ – Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS de referência [kWh/ano];
- $f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema k de referência para a fonte de energia j ;
- $\eta_{ref,k}$ – Eficiência de referência do sistema k ;

- A_p – Área interior útil de pavimento [m^2];
- $F_{pu,j}$ – Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia j , excluindo renovável [kWh_{EP}/kWh].

3.2.3. NECESSIDADES DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}), representam a quantidade de energia necessária para manter a habitação a 18 °C durante as 24 horas de cada dia da estação de aquecimento. Para determinar estas necessidades, são contabilizadas a transferência de calor pela envolvente, a transferência de calor por ventilação e os ganhos de calor úteis, provenientes dos ganhos solares pelos vãos envidraçados e dos ganhos devido às cargas internas do edifício, traduzidas na Equação 4.

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

Em que:

- N_{ic} – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [$kWh/(m^2 .ano)$];
- $Q_{tr,i}$ – Transferência de calor por transmissão através da envolvente do edifício na estação de aquecimento [kWh/ano];
- $Q_{ve,i}$ – Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [kWh/ano];
- $Q_{gu,i}$ – Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes [kWh/ano];
- A_p – Área interior útil de pavimento [m^2]

As necessidades nominais de energia útil para aquecimento de referência (N_i) são determinadas usando o mesmo processo de cálculo apresentado para o N_{ic} , no qual, devem ser adotados os valores e as considerações de referência (Equação 5).

$$N_i = \frac{(Q_{tr,i_{ref}} + Q_{ve,i_{ref}} + Q_{gu,i_{ref}})}{A_p} \quad [kWh (m^2 / . ano)] \quad (Eq. 5)$$

Em que:

- N_i – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência [$kWh/(m^2 .ano)$];
- $Q_{tr,i_{ref}}$ – Transferência de calor por transmissão através da envolvente do edifício de referência na estação de aquecimento [kWh/ano];
- $Q_{ve,i_{ref}}$ – Transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento [kWh/ano];
- $Q_{gu,i_{ref}}$ – Ganhos térmicos úteis de referência na estação de aquecimento [kWh/ano];
- A_p – Área interior útil de pavimento [m^2].

Adotando os valores de referência, e tendo em conta que alguns dos quais representam os requisitos mínimos os requisitos mínimos, o N_i , traduz o valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para o aquecimento.

3.2.4. NECESSIDADES DE ENERGIA PARA ARREFECIMENTO

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) representam a quantidade de energia necessária para manter a habitação a 25 °C durante as 24 horas de cada dia da estação de arrefecimento. Estas necessidades são determinadas em função do fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento e dos ganhos térmicos brutos nesta mesma estação. A fórmula de cálculo destas necessidades está traduzida na Equação 6.

$$N_{vc} = \frac{(1-\eta_v) \cdot Q_{g,v}}{A_p} \quad [kWh (m^2 / . ano)] \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que:

- N_{vc} – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/(m² .ano)];
- η_v – Fator de utilização de ganhos térmicos na estação de arrefecimento;
- $Q_{g,v}$ – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento [kWh/ano];
- A_p – Área interior útil de pavimento [m²]

À semelhança das necessidades de energia útil para aquecimento, as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento de referência (N_v), são determinadas usando o mesmo processo de cálculo apresentado para o N_{vc} , no qual, devem ser adotados os valores e as considerações de referência, Equação 7.

$$N_v = \frac{(1-\eta_{v,ref}) \cdot Q_{g,v,ref}}{A_p} \quad [kWh (m^2 / . ano)] \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que:

- N_v – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de referência [kWh/(m² .ano)];
- $\eta_{v,ref}$ – Fator de utilização de ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento;
- $Q_{g,v,ref}$ – Ganhos térmicos brutos de referência na estação de arrefecimento [kWh/ano];
- A_p – Área interior útil de pavimento [m²].

Adotando os valores de referência, e tendo em conta que alguns dos quais representam os requisitos mínimos, o N_v , traduz o valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para o aquecimento.

3.2.5. NECESSIDADES DE ENERGIA PARA PREPARAÇÃO DE AQS

De forma a calcular as necessidades de energia para a preparação de AQS é necessário, primeiramente, quantificar aquele que seria o consumo médio diário de referência (M_{AQS}) para a habitação em questão. Este valor é calculado usando a Equação 8

$$M_{AQS} = 40 * n_{oc} * f_{eh} \quad [\text{Litros}] \quad (\text{Eq. 8})$$

Em que:

- n_{oc} – Número de ocupantes convencionais do edifício em função da tipologia;
- f_{eh} – Fator de eficiência hídrica, aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica, de acordo com um sistema de certificação de eficiência hídrica da responsabilidade de uma entidade independente reconhecida pelo sector das instalações prediais.

Na Equação 8 é assumido um valor de consumo de AQS de 40 litros, por ocupante. Por sua vez, o número de ocupantes é determinado em função da tipologia da fração, correspondendo a cada tipologia o número de ocupantes presente no Quadro 3.

Quadro 3 – Número de ocupantes correspondentes a cada tipologia.

Tipologia	n_{oc}
T0	2
T1	2
T2	3
T3	4
T4	5
T5	6
T6	7
T7	8
T8	8
T9	9
T_y	y

Obtido o valor M_{AQS} é possível calcular as necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS (Q_a), dado em função do M_{AQS} , do aumento de temperatura em relação à temperatura da água da rede e do número de dias de consumo de AQS num ano, conforme a Equação 9.

$$Q_a = \frac{M_{AQS} * 4,187 * \Delta T * n_d}{3600} \quad [\text{KWh/ ano}] \quad (\text{Eq. 9})$$

Em que:

- Q_a – Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS [kWh/ano];
- M_{AQS} – Consumo médio diário de referência [litros];
- ΔT – Aumento de temperatura necessário para a preparação das AQS, assumindo o valor de fixo de 35 [°C];
- n_d – Número anual de dias de consumo de AQS, assumindo o valor fixo de 365 [dias/ano].

O cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS de referência (Q_{aref}) é efetuado usando a Equação 9, existindo uma única divergência, pois o valor do fator de eficiência hídrica dos chuveiros ou sistemas de duche (f_{eh}) deve ser considerado igual a 1.

3.2.6. VENTILAÇÃO MECÂNICA

Nos casos em que os edifícios de habitação estejam dotados de sistemas mecânicos de ventilação com funcionamento contínuo ou cujo funcionamento não seja dependente da ação do utilizador, deve ser calculado o consumo de energia elétrica do funcionamento do ventilador (W_{vm}), conforme a Equação 10.

$$W_{vm} = \frac{V_f}{3600} * \frac{\Delta P_{tot}}{\eta_{tot}} * \frac{H_f}{1000} \quad [\text{KWh/ ano}] \quad (\text{Eq. 10})$$

Em que:

- W_{vm} – Consumo de energia elétrica do funcionamento do ventilador [kWh/ano];
- V_f – Caudal de ar médio diário escoado através do ventilador [m³/h];
- ΔP_{tot} – Diferença de pressão total no ventilador [Pa];
- η_{tot} – Eficiência da unidade de ventilação baseada na pressão total;
- H_f – Número de horas anuais de funcionamento do ventilador [h/ano].

No caso de não existir informação relativa ao horário de funcionamento dos sistemas mecânicos de ventilação, devem ser consideradas 8760 h.

No caso do edifício de referência deve-se admitir que a ventilação do mesmo é feita exclusivamente por processos naturais, não sendo considerados, portanto, consumos de energia associados à ventilação mecânica.

3.2.7. SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

Relativamente aos contributos de energia provenientes de sistemas que recorram a fontes de energia renovável, deve ser contabilizada apenas a energia destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício (E_{ren}), para avaliação do DEE e verificação de cumprimentos de requisitos.

A metodologia de cálculo do E_{ren} varia em função do tipo de sistema de produção e da fonte de energia que o alimenta, destacando-se neste ponto a utilização da aplicação SCE.ER da DGEG, que permite realizar o cálculo da produção de energia para alguns destes sistemas nomeadamente, sistemas solares térmicos e sistemas solares fotovoltaicos.

No caso do edifício de referência considera-se que não são aplicados este tipo de sistemas.

3.3. VISUAL BASIC

O Visual Basic (VB) é uma linguagem de programação criada pela Microsoft em 1990, baseada na BASIC. Esta linguagem foi inicialmente criada com o objetivo de facilitar desenvolvimento de softwares, apresentando uma forma de código bastante simplista de forma que esta fosse facilmente interpretada pelo seu utilizador. Inclui também recursos que permitem que o código seja criado automaticamente à medida que o utilizador adiciona objetos visuais ao software em desenvolvimento e recursos de autocorreção que permitem ao utilizador identificar e corrigir eventuais erros à medida que o programa vai sendo criado [29].

O VB acabou por ser adaptado de forma a poder ser incorporado nos programas Microsoft Office, nascendo assim o Visual Basic for Applications (VBA), cuja página inicial se apresenta na Fig. 8. O VBA veio substituir e estender as capacidades das linguagens de programação de macros existentes, podendo ser usado para controlar praticamente na totalidade a aplicação sobre a qual está a ser utilizado, sendo que apenas pode executar código dentro da mesma [30].

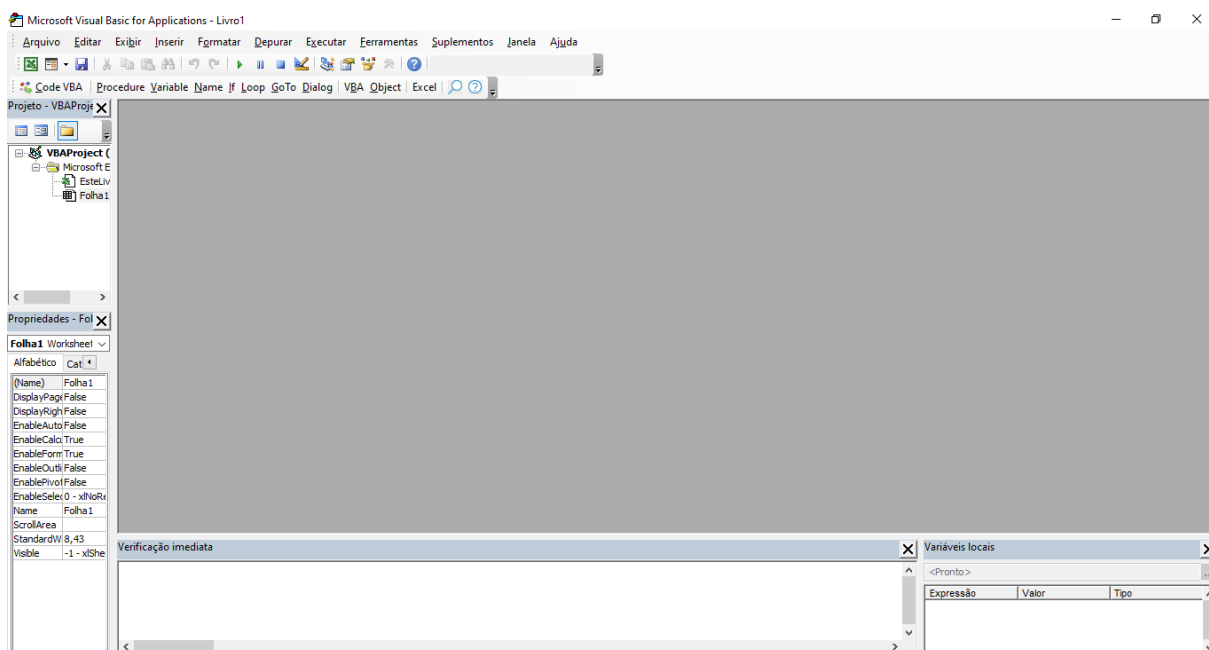


Fig. 8 – Página inicial do VBA aplicado ao Excel.

Um dos grandes usos do VBA é a automatização de tarefas repetitivas, como por exemplo iterações. Esta funcionalidade tornou-se bastante útil no processo desenvolvimento desta ferramenta, pois permite, fixando um determinado valor, otimizar um outro que está direta ou indiretamente dependente do valor fixado.

3.4. DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA APLICANDO O VBA

3.4.1. PARÂMETROS A OTIMIZAR

Como já referido, o principal objetivo desta ferramenta é otimizar algumas das variáveis que influenciam o R_{NT} de maneira a que este valor seja igual ao valor máximo atualmente exigido, que corresponde a 0,5, teto máximo da classe energética A. Ainda assim, e de maneira a poder dar alguma margem de manobra ao utilizador, a ferramenta foi desenvolvida apontando para um valor de R_{NT} de 0,45, valor este que pode ser alterado na própria ferramenta consoante as necessidades do utilizador. No caso do R_{NT} de 0,45, foi dada esta margem de manobra de 0,05, em relação ao teto máximo da classe energética A, de forma a permitir que o utilizador possa optar por uma maior variedade de soluções, podendo alterar ligeiramente os valores sugeridos pela ferramenta, sem que seja ultrapassado o teto máximo da classe energética A.

Inicialmente foram pré-definidos cinco grandes grupos de parâmetros, cuja variação exerce maior influência na classe energética, para serem otimizados, sendo estes, os coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca, os coeficientes de transmissão térmica e fatores solares da envolvente envidraçada, a taxa de renovação horária de ar proporcionada pelo sistema de ventilação mecânica e as eficiências dos sistemas técnicos de climatização e AQS. Devido à grande complexidade que a utilização de todas estas variáveis trariam ao desenvolvimento do programa, devido à dependência e influência que algumas têm sobre outras, o número de parâmetros a variar foi reduzido de forma a tornar o problema mais facilmente resolúvel do ponto de vista matemático. Assim, optou-se por utilizar como parâmetros a variar os coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca exterior nomeadamente, paredes exteriores, coberturas exteriores e pavimentos exteriores, os coeficientes de transmissão térmica e fatores solares da envolvente envidraçada exterior e as eficiências dos sistemas técnicos de climatização e AQS.

Nos próximos pontos será estratificado por fases o processo de desenvolvimento da ferramenta de forma a facilitar a perceção dos procedimentos realizados para a criação da mesma. Em anexo (Anexo A), pode ser encontrado todo o código relativo à criação desta ferramenta.

3.4.2. PRIMEIRA FASE

Depois da análise da metodologia de cálculo do SCE, a primeira fase de desenvolvimento da ferramenta consistiu na criação de um novo livro Excel (Fig. 9), semi-dependente da ferramenta original e disponibilizada pelo Itecons [17]. A necessidade da criação deste novo livro nasceu após se constatar que a ferramenta do Itecons se encontra maioritariamente bloqueada, devido aos direitos de autor que o Itecons detém sobre a ferramenta, tornando impossível a realização desde as tarefas mais simples, como adicionar uma nova folha, até às tarefas mais complexas, como o acesso às ferramentas de desenvolvedor, fulcrais para o desenvolvimento desta ferramenta. Assim, foi criado este novo livro de Excel, semi-dependente da folha do Itecons, pois, apesar de realizar o cálculo de forma completamente autónoma, está dependente da folha do Itecons, onde estão as informações relativas à localização do edifício e certas características do mesmo, assim como todos restantes parâmetros não variados, que são indispensáveis para a realização do processo de cálculo.

O novo livro foi criado de forma bastante semelhante à folha original do Itecons, sendo que toda a

estrutura das folhas de cálculo e consecutivamente o processo de cálculo é baseado na folha original, de forma a que não haja uma discrepância entre a ferramenta criada e a folha sobre a qual se baseia.

Fig. 9 – Estrutura inicial da ferramenta desenvolvida.

3.4.3. SEGUNDA FASE

A segunda fase do processo de desenvolvimento da ferramenta corresponde ao início do processo de otimização das variáveis em análise. Nesta fase surgem as primeiras linhas de código (Fig. 10), cujo objetivo é atribuir, numa fase inicial, os valores de referência das variáveis em análise às células dos valores de cálculo correspondentes à fração real.

```
Sub assumirvaloresref()
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D5") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I5")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D6") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I6")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D7") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I7")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D8") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I8")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D9") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I9")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D10") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I10")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D11") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I11")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D12") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I12")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D13") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I13")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D14") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I14")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D25") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I25")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D47") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I47")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D69") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I69")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D70") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I70")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D71") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I71")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D72") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I72")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D73") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I73")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D74") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I74")
Range("[Testemod1.xlsm]G - N_Global"!F5") = Range("[Testemod1.xlsm]G - N_Global"!O5")
Range("[Testemod1.xlsm]G - N_Global"!F25") = Range("[Testemod1.xlsm]G - N_Global"!O25")
Range("[Testemod1.xlsm]G - N_Global"!F60") = Range("[Testemod1.xlsm]G - N_Global"!O60")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!M69") = 0.88
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!M70") = 0.88
End Sub
```

Fig. 10 – Primeiras linhas de código da ferramenta.

Após este passo é possível realizar a primeira parte do processo de cálculo, chegando a um primeiro valor para o Ntc (Fig. 11), calculado com base na atribuição dos valores de referência aos parâmetros em estudo. Este valor servirá como base de cálculo para todas as outras as restantes fases.

Indicadores energéticos						
Sigla	Descrição	Valor		Referência		Renovável Requisito Ren _{tab} (%)
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	14,06		33,78		0,00
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	13,75		9,13		
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2140		2377		Ntc/Nt
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)		278,65			0,64
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	2064		0		Objetivo
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	1375		0		Classe Energética
Eren,ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)		0,00			
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m ² .ano)	30,53		47,97		-
		Objetivo				
		21,59				

Fig. 11 – Quadro final da primeira fase de cálculo.

No final desta segunda fase é definido que o valor de Ntc deve ser 0,45 vezes o valor de Nt, de forma que o R_{NT} seja igual a 0,45. O valor objetivo é então calculado e os valores dos parâmetros em estudo vão sendo alterados até que esse valor seja atingido.

3.4.4. TERCEIRA FASE

Na terceira fase é dado início ao processo iterativo. Primeiramente é calculada, com base no Ntc obtido na segunda fase, através dos valores de referência, a energia primária para a preparação de AQS.

Fixando este valor, surge o primeiro processo iterativo, que permite calcular o valor da eficiência nominal do sistema de preparação de AQS (Fig. 12). O código atribui um valor inicial de um à eficiência nominal do sistema de preparação de AQS e enquanto o valor das necessidades de energia primária for superior ao valor calculado de energia primária para a preparação de AQS, é sistematicamente acrescentado um total de 0,005, até ser encontrado o primeiro valor das necessidades de energia primária para AQS que iguale o valor calculado, parando assim o processo iterativo.

```

Sub Aqs()
Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC'!F60") = 1
While Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC'!J76") > Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC'!J76")
Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC'!F60") = Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC'!F60") + 0.005
Wend
End Sub

```

Fig. 12 – Cálculo da eficiência nominal do sistema de preparação de AQS.

3.4.5. QUARTA FASE

A quarta fase de desenvolvimento da ferramenta incide sobre as necessidades nominais de energia primária para arrefecimento. Nesta fase, mais uma vez, é calculada, com base no Ntc obtido na segunda fase, através dos valores de referência, a energia primária para arrefecimento. Este valor ao ser fixado dá origem ao segundo processo iterativo (Fig. 13), onde é atribuído um valor inicial de 0 ao Nvc e enquanto o valor das necessidades energia primária for menor ou igual ao valor previamente calculado é sistematicamente acrescenta um total de 0,01 até ser encontrado o primeiro valor que iguale o calculado.

```
Sub Nvc()
Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC'!C25") = 0
While Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC'!J25") <= Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC'!J41")
Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC'!C25") = Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC'!C25") + 0.01
Wend
End Sub
```

Fig. 13 – Cálculo do Nvc.

No fim desta fase é ainda calculado o valor de Nic, assumindo que este tem de ser igual a 55% das necessidades nominais anuais de energia para aquecimento de referência calculadas na segunda fase. A utilização deste valor de 55% baseia-se no facto de que para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento serem anuladas e, por isso, não influenciarem o Ntc estas devem ser inferiores a 60% das necessidades nominais anuais de energia para aquecimento.

3.4.6. QUINTA FASE

O próximo passo consiste em calcular o Htr, migrando até à folha que calcula as necessidades nominais de energia útil para aquecimento. O valor Nic, que foi arbitrado na última fase, é agora fixado permitindo realizar um novo processo iterativo (Fig. 14) que permitirá calcular o Htr. Para isso é preciso primeiro calcular o valor dos ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento, que são retirados fazendo uma relação entre o Nic calculado na segunda fase e o novo Nic calculado na quarta fase.

```
Sub Htr()
Dim Htr As Integer
Htr = 0
Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC'!B3") = Htr
While Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC'!B52") <= Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC'!C5") - 1
Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC'!B3") = Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC'!B3") + 1
Wend
While Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC'!B52") <= Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC'!C5") - 0.1
Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC'!B3") = Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC'!B3") + 0.1
Wend
While Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC'!B52") <= Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC'!C5")
Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC'!B3") = Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC'!B3") + 0.01
Wend
End Sub
```

Fig. 14 – Cálculo do Htr.

Na Fig. 14 é apresentado o código do processo iterativo usado para o cálculo do Htr, que é ligeiramente mais elaborado que os já apresentados de forma a aumentar a precisão do valor do Htr. De forma sucinta foi criada uma nova variável de nome Htr à qual é atribuído o valor 0. No primeiro ciclo, enquanto o Nic for menor ou igual que o valor fixado menos 1 é somado ao valor de Htr uma unidade até que o valor de Nic iguale a condição referida. Após este primeiro passo, realiza-se um novo ciclo onde,

enquanto o Nic for menor ou igual que o valor fixado menos 0,1 é somado ao valor de Htr uma décima de unidade até que o valor de Nic iguale a condição referida. Por fim, realiza-se um novo ciclo onde, enquanto o Nic for menor ou igual que o valor fixado é somado ao valor de Htr uma centésima de unidade, de forma a obter a máxima precisão possível, até que o valor de Nic seja igual ao valor fixado.

3.4.7. SEXTA FASE

Após ser calculado o Htr existem condições para determinar os ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento. Mais uma vez recorreu-se a um processo iterativo (Fig. 15) fixando o valor de Nvc calculado na quarta fase.

```
Sub Qgv()
    Dim Qgv As Integer
    Qgv = 0
    Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC'!B31") = Qgv
    While Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC'!B47") <= Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC'!C25") - 2
        Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC'!B31") = Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC'!B31") + 100
    Wend
    While Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC'!B47") <= Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC'!C25") - 1
        Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC'!B31") = Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC'!B31") + 10
    Wend
    While Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC'!B47") <= Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC'!C25") - 0.1
        Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC'!B31") = Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC'!B31") + 1
    Wend
    While Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC'!B47") <= Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC'!C25")
        Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC'!B31") = Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC'!B31") + 0.1
    Wend
End Sub
```

Fig. 15 – Cálculo do Qg,v.

O código do processo iterativo usado para o cálculo do Qg,v é bastante semelhante ao último apresentado de forma a aumentar a precisão. De forma sucinta foi criada uma nova varável de nome Qgv à qual é atribuído o valor 0. No primeiro ciclo, enquanto o Nvc for menor ou igual que o valor fixado menos 2 é somado ao valor de Qg,v cem unidades, devido à grandeza do parâmetro, até que o valor de Nvc iguale a condição referida. Após este primeiro passo, realiza-se um novo ciclo onde, enquanto o Nvc for menor ou igual que o valor fixado menos 1 é somado ao valor de Qg,v dez unidades, pois já estamos mais perto do valor real, até que o valor de Nvc iguale a condição referida. Por fim, realiza-se um novo ciclo onde, enquanto o Nvc for menor ou igual que o valor fixado é somado ao valor de Qg,v uma décima de unidade até que o valor de Nvc seja igual ao valor fixado.

3.4.8. SÉTIMA FASE

Com o valor dos Qg,v é possível, utilizando a folha dos ganhos térmicos úteis na estação de arrefecimento, calcular os valores de U correspondentes aos elementos da envolvente opaca e os fatores solares com proteções permanentes da envolvente envidraçada, utilizando a relação entre os ganhos solares brutos da envolvente opaca e envidraçada para o novo valor dos ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento e o valor dos ganhos solares brutos da envolvente opaca e envidraçada para os ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento calculado com base nos valores de referência (Fig. 16 e Fig. 17). Nesta fase é importante referir que os restantes parâmetros não são considerados pois mantêm-se constantes.

Envolvente Exterior Opaca									
PAREDE EXTERIOR	Orientação	Coefficiente de absorção α	Área A_{op}	U	R_{se}	Área efectiva $A_e = \alpha \cdot U \cdot A_{op}$	Factor de Obstrução $F_s = F_{h,v} \cdot F_{o,v} \cdot F_f$	Intensidade da Radiação I_{sol}	$I_{sol} \cdot F_s \cdot A_e$
			m ²	W/m ² ·°C	(m ² ·°C)/W	m ²		kWh/m ² ·ano	kWh/ano
PDE3	Oeste	0,4	13,28	0,33	0,04	0,069086	1	490	33,8519737
PTPPDE3	Oeste	0,4	0,51	0,33		0,002653	1	490	1,30003815
PTPPDE4	Oeste	0,4	2,15	0,33		0,011185	1	490	5,48055296
PDE4	Sul	0,4	9,01	0,33		0,046872	1	425	19,9206525
PTPPDE5	Sul	0,4	0,72	0,33		0,003746	1	425	1,59188344
PDE3	Oeste	0,4	7,33	0,33		0,038132	1	490	18,684862
PTPPDE3	Oeste	0,4	1,39	0,33		0,007231	1	490	3,54324122
PTPPDE5	Oeste	0,4	1,69	0,33		0,008792	1	490	4,30796954
PDE4	Sul	0,4	10,76	0,33		0,055976	1	425	23,7898137
PTPPDE5	Sul	0,4	0,8	0,33		0,004162	1	425	1,76875938

Fig. 16 – Cálculo dos valores do U da envolvente opaca exterior.

Ganho Solares													
VÃOS ENVIDRAÇADOS													
Designação do Envidraçado	Orientação	Área	Tipo de Vidro	Fracção Envidraçada F_g	Factor Sel. angular $F_{w,v}$	Fracção Tempo Prot. Móveis activas $F_{m,v}$	FS Global Prot. Moveis e Perm. g_{tot}	FS Global Prot. Perm. $g_{tot,p}$	FS de Verão $g_v = F_{m,v} \cdot g_{tot} + (1 - F_{m,v}) \cdot g_{tot,p}$	Área Efectiva	Factor de Obstrução $F_{s,v} = F_{h,v} \cdot F_{o,v} \cdot F_{f,v}$	Intensidade da Radiação I_{sol}	$I_{sol} \cdot F_{s,v} \cdot A_s$
		m ²								$A_{s,v} = A_w \cdot F_g \cdot g_v$			
1 (VE3)	Oeste	6,3744	Duplo	0,7	0,85	0,6	0,02	0,463661955	0,19746478	0,88110365	0,56983092	490	246,02
2 (VE3)	Oeste	8,1423	Duplo	0,7	0,85	0,6	0,02	0,463661955	0,19746478	1,12547225	0,50548336	490	278,76
3 (VE4)	Oeste	3,486	Duplo	0,7	0,85	0,6	0,02	0,463661955	0,19746478	0,48185356	0,82453376	490	194,68
4 (VE4)	Oeste	2,5647	Duplo	0,7	0,85	0,6	0,02	0,463661955	0,19746478	0,35450655	0,82171416	490	142,74
5 (VE4)	Oeste	8,2419	Duplo	0,7	0,85	0,6	0,02	0,463661955	0,19746478	1,13923949	0,82001333	490	457,75
6 (VE4)	Oeste	3,8844	Duplo	0,7	0,85	0,6	0,02	0,463661955	0,19746478	0,53692254	0,77449147	490	203,76
-	-	-	-	-	-	-	-	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	-	-	#VALOR!
-	-	-	-	-	-	-	-	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	-	-	#VALOR!
-	-	-	-	-	-	-	-	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	-	-	#VALOR!
-	-	-	-	-	-	-	-	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	-	-	#VALOR!
-	-	-	-	-	-	-	-	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	-	-	#VALOR!
-	-	-	-	-	-	-	-	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	-	-	#VALOR!
-	-	-	-	-	-	-	-	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	-	-	#VALOR!
-	-	-	-	-	-	-	-	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	-	-	#VALOR!
-	-	-	-	-	-	-	-	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	-	-	#VALOR!
-	-	-	-	-	-	-	-	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	-	-	#VALOR!
Total													1523,72

Fig. 17 – Cálculo dos fatores solares com proteções permanentes da envolvente envidraçada.

No fim deste passo são ainda calculados os fatores solares de inverno da envolvente envidraçada usando a relação entre as áreas efetivas coletoras a sul para o novo valor dos ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento e as áreas efetivas coletoras a sul para o valor dos ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento calculado usando os valores de referência, assim como, os valores do U relativos aos pavimentos exteriores e aos vãos envidraçados. Estes parâmetros são calculados de maneira independente dos restantes pois não tem influência nos ganhos térmicos úteis e por isso, são calculados tendo por base os valores utilizados para a primeira fase de cálculo onde são usados os valores de referência (Fig. 18).

Ganho Solares								
Designação do envidraçado	Orientação	Factor Solar Inverno g_i	Área A_w m^2	Factor de Obstrução $F_{s,i}=F_{h,i}\cdot F_o$ $,i\cdot F_{f,i}$	Fracção Envidraçada F_g	Área efectiva colectora $A_{s,i}=A_w\cdot F_{s,i}\cdot F_g\cdot g_i$ m^2	Factor de Orientação X	Área Efectiva colectora a Sul $X\cdot A_{s,i}$ m^2
1 (VE3)	Oeste	0,430078	6,3744	0,651936	0,7	1,251094	0,56	0,70061286
2 (VE3)	Oeste	0,430078	8,1423	0,562021	0,7	1,377671	0,56	0,77149574
3 (VE4)	Oeste	0,430078	3,486	0,872919	0,7	0,916108	0,56	0,51302052
4 (VE4)	Oeste	0,430078	2,5647	0,849408	0,7	0,655841	0,56	0,36727076
5 (VE4)	Oeste	0,430078	8,2419	0,841571	0,7	2,088159	0,56	1,16936894
6 (VE4)	Oeste	0,430078	3,8844	0,782492	0,7	0,91506	0,56	0,5124334

Fig. 18 – Cálculo dos fatores solares de inverno da envolvente envidraçada.

3.4.9. OITAVA FASE

Depois de já terem sido calculados os valores dos coeficientes de transmissão térmica (U), os fatores solares com proteções permanentes da envolvente envidraçada e os fatores solares de inverno da envolvente envidraçada, é repetido o processo de cálculo utilizando o livro criado para obter os novos valores de N_{ic} (Fig. 19) e N_{vc} (Fig. 20) baseados nos valores obtidos pelo processo de cálculo anterior.

E.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO		
Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento Q_{tr}	4294,94	kWh/ano
	+	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento Q_{re}	2347,73	kWh/ano
	-	
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento Q_{gu}	3922,04	kWh/ano
(folha de cálculo 1.4)	=	
Necessidades Anuais na estação de aquecimento	2720,62	kWh/ano
	÷	
Área útil de pavimento A_p	136,71	m ²
	=	
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_{ic}	19,90	kWh/m ² .ano

Fig. 19 – Cálculo do N_{ic} final.

F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO		
	(1- η_v)	0,37
	x	
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$	3532,82	kWh/ano
	÷	
Área útil de pavimento A_p	136,71	m ²
	=	
Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento N_{vc}	9,56	kWh/m ² .ano

Fig. 20 – Cálculo do N_{vc} final.

Com os valores finais do Nic e do Nvc é feito um ajuste à eficiência do sistema de arrefecimento de forma a que as necessidades de energia primária igualem o valor calculado na quarta fase. Este ajuste é feito recorrendo a um novo processo iterativo (Fig. 21). Este ajuste não é necessário ser realizado relativamente à eficiência do sistema de preparação de AQS pois as necessidades de energia mantêm-se inalteradas.

Inicialmente é atribuído o valor um à eficiência do sistema referido e enquanto o valor das necessidades nominais de energia primária para arrefecimento for superior ou igual ao valor fixado mais 1 é adicionado ao valor da eficiência 1 centésima. Depois, enquanto o valor das necessidades nominais de energia primária para arrefecimento for superior ou igual ao valor fixado, é acrescentada meia milésima ao valor da eficiência até o valor das necessidades de energia igualarem o valor fixado.

```
Sub EFARREFECIMENTO()
Range("'[Testemod1.xlsm]G - CALCF'!F25") = 1
While Range("'[Testemod1.xlsm]G - CALCF'!J25") >= Range("'[Testemod1.xlsm]G - CALCF'!J41") + 1
Range("'[Testemod1.xlsm]G - CALCF'!F25") = Range("'[Testemod1.xlsm]G - CALCF'!F25") + 0.01
Wend
While Range("'[Testemod1.xlsm]G - CALCF'!J25") >= Range("'[Testemod1.xlsm]G - CALCF'!J41")
Range("'[Testemod1.xlsm]G - CALCF'!F25") = Range("'[Testemod1.xlsm]G - CALCF'!F25") + 0.0005
Wend
Range("'[Testemod1.xlsm]G - CALCF'!F25").Value = WorksheetFunction.RoundUp(Range("'[Testemod1.xlsm]G - CALCF'!F25"), 1)
End Sub
```

Fig. 21 – Cálculo final da eficiência do sistema de arrefecimento.

De forma a resumir todo este processo de cálculo no fim da ferramenta é exibida uma folha (Fig. 22) onde são apresentados todos os valores calculados e sugeridos pela ferramenta de forma a cumprir o objetivo pré-definido, ou seja, um valor de R_{NT} igual a 0,45.

Valores sugeridos		
Envolvente opaca	U	
Paredes Exteriores		
Coberturas exteriores		
Pavimentos Exteriores		
Envolvente Envidraçada	U	g,vi
1 (VE3)		
2 (VE3)		
3 (VE4)		
4 (VE4)		
5 (VE4)		
6 (VE4)		
Eficiências dos Equipamento		
Aquecimento		
Arrefecimento		
AQS		

Fig. 22 – Folha de sugestão de valores finais.

4

APLICAÇÃO DA FERRAMENTA AO CASO DE ESTUDO

4.1. O CASO DE ESTUDO

O caso de estudo utilizado para a aplicação da ferramenta corresponde a uma fração de um edifício localizado na Alameda dos Jardins da Arrábida, união de freguesias de Santa Marinha e São Pedro da Afurada, Vila Nova de Gaia (Fig. 23).

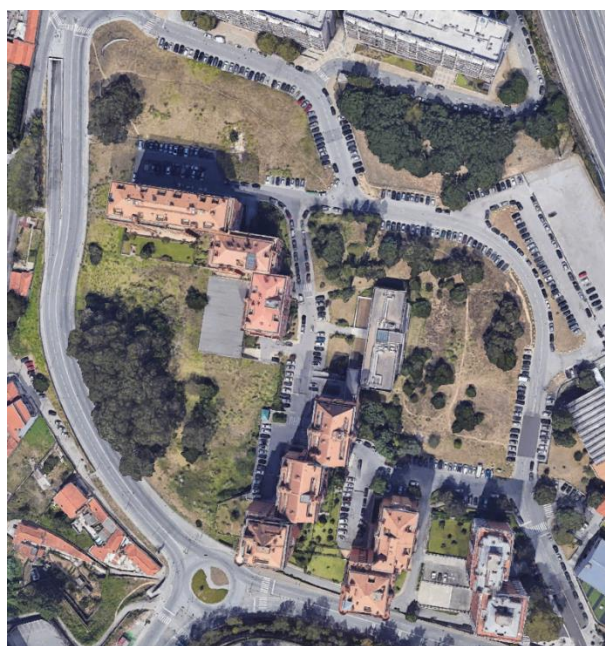


Fig. 23 – Vista aérea da Alameda dos Jardins da Arrábida. [31]

O edifício situa-se na periferia da malha urbana de Vila Nova de Gaia com uma cota de implantação de, aproximadamente, 62 metros. Este é constituído por 10 pisos elevados destinados a habitação, ocupados por frações autónomas nomeadamente, oito frações de tipologia T2, onze frações de tipologia T3 e nove frações de tipologia T4, e por 3 pisos de estacionamento, tratando-se de uma construção nova ainda em fase de projeto (Fig. 24).



Fig. 24 – Alçado poente do edifício.

Já a fração em estudo é constituída por dois pisos (Fig. 25 e Fig. 26) onde estão incluídos uma sala, uma cozinha, quatro instalações sanitárias, um quarto, duas suítes e duas áreas de circulação e escadas entre pisos, totalizando uma área útil de pavimento de 136,71 m². Para efeitos de aplicação da ferramenta é necessário ainda referir que a fração tem uma fachada volta a oeste e outra a sul, contando com seis vãos envidraçados, todos voltados a oeste, e por se situar no último piso é ainda necessário considerar a cobertura exterior e os pavimentos exteriores. A fração estará ainda equipada com um sistema de ventilação mecânico responsável pela exaustão. Para efeitos de climatização será ainda considerado um sistema técnico responsável pela mesma nas estações de aquecimento e arrefecimento, existindo ainda outro sistema técnico responsável pela preparação das AQS.

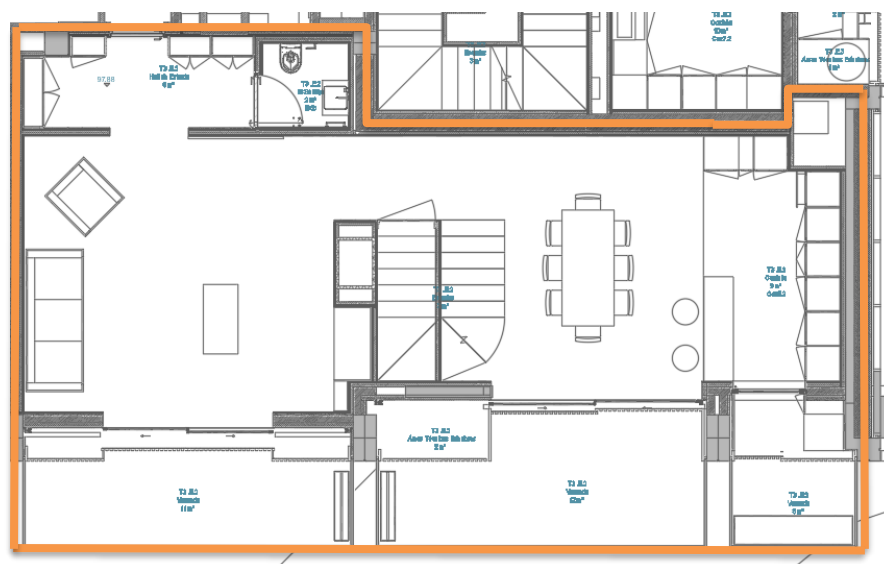


Fig. 25 – Planta do piso 1 do caso de estudo.

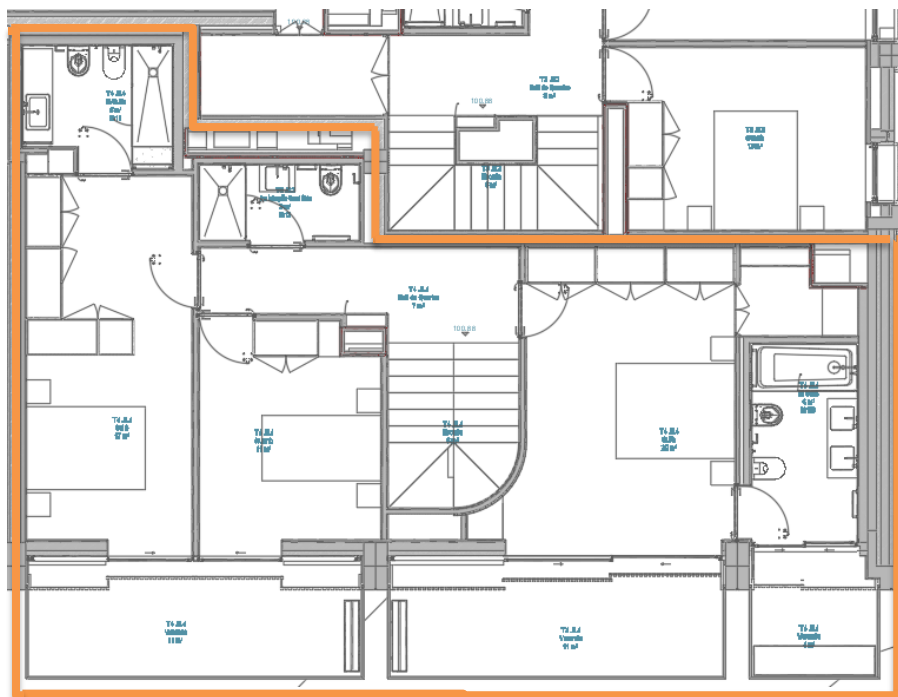


Fig. 26 – Planta do piso 2 do caso de estudo.

4.2. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA

Sendo agora conhecido o caso de estudo e as suas características, estão reunidas as condições para fazer a aplicação da ferramenta desenvolvida de maneira a realizar a otimização dos parâmetros em estudo, para este caso em específico. Em anexo, (Anexo B), estão as principais folhas da ferramenta com a informação de cálculo relativa a este caso de estudo.

4.2.1. PRIMEIRA FASE

À semelhança da estrutura que foi apresentada no capítulo anterior, a aplicação da ferramenta irá ser dividida por fases correspondentes às fases de desenvolvimento da mesma de maneira a facilitar a perceção do funcionamento desta.

A primeira fase de aplicação da ferramenta consiste no preenchimento de todos os dados relativos às características do edifício e da fração (Fig. 27) assim como de todos os parâmetros que não foram incluídos no desenvolvimento da ferramenta (Fig. 28).

Características do Imóvel			
Localização geográfica do edifício			
Altitude (m)	62	Altitude normalmente entre 0 e 261 m	
Distância à costa	Inferior a 5km	Edifício situado	na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural
Características do Edifício			
Tipo de utilização	Habitação	Nº total de pisos que constitui o edifício	11
Possui elevador?	☒	Possui ponto de carregamento para veículo elétrico?	☐
Características da Fração			
Área útil de pavimento (m²)	136,71	Pé-direito médio ponderado (m)	2,82
Tipologia	T3	Tipologia fiscal	T3
Nº de pisos da fração	2	Situação da fração face a outras frações	Último piso
Descrição sucinta			Caract. restantes
Fração autónoma de tipologia T3, localizada no décimo e décimo primeiro piso de um edifício residencial multifamiliar, situado na periferia da malha urbana de Vila Nova de Gaia com uma cota de implantação de, aproximadamente, 62 metros. O edifício é definido por 10 pisos elevados destinados à habitação, ocupados por frações autónomas (8 T2) + (11 T3) + (9 T4) e por 3 pisos de estacionamento. A habitação é constituída por uma sala, uma cozinha, quatro instalações sanitárias, 1 quarto, 2 suítes e duas áreas de circulação e escadas entre pisos. O imóvel conta com 3 frações vizinhas, com o corredor de circulação comum, lavandaria e cozinhas. Para climatização durante as estações de aquecimento e arrefecimento, prevê-se a instalação de um sistema multi-split, sendo a produção de águas quentes sanitárias (AQS) assegurada por uma bomba de calor ar-água monobloco. A inércia térmica da habitação, de acordo com metodologia preconizada no despacho nº 6476-H/2021 é média.			1023

Fig. 27 – Preenchimento das informações relativas às características do edifício e da fração.

Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	Qual a solução corrente adjacente associada?	Área (m²)	Área envidraçada (m²)	b _{ext}	U Solução (W/m²·°C)	Área Efectiva (m²)	U _{Ref} (W/m²·°C)	U _{Máx} (W/m²·°C)
PDI4	P11 - Courette 02		3,50		0,50	0,58	3,50	0,80	2,00
PDI2	P11 - Courette 03		2,99		0,50	0,72	2,99	0,80	2,00
PDI2	Courette 04		9,70		0,50	0,72	9,70	0,80	2,00
PDI2	Courette 05		7,46		0,50	0,72	7,46	0,80	2,00
PDI4	Corredor de Piso		5,11		0,30	0,58	5,11	0,80	2,00
PDI2	P11 - Espaço de ar		7,28		0,40	0,72	7,28	0,80	2,00
VCI1	Corredor de Piso		2,33		0,30	2,40	2,33	0,80	-
PDI8	Lavandaria (Deste)		1,56		0,40	0,32	1,56	0,80	2,00

Designação do Tipo de Solução	b _{ext}	Área por b _{ext} (m²)	U Solução (W/m²·°C)	U _{Ref} (W/m²·°C)	U _{Máx} (W/m²·°C)
PDI2	0,50	20,14	0,72	0,80	2,00
PDI2	0,40	7,28	0,72	0,80	2,00
PDI4	0,50	3,50	0,58	0,80	2,00
PDI4	0,30	5,11	0,58	0,80	2,00
PDI8	0,40	1,56	0,32	0,80	2,00
VCI1	0,30	2,33	2,40	0,80	-

Fig. 28 – Exemplo do preenchimento dos dados relativos às paredes interiores, parâmetro não envolvidos na ferramenta desenvolvida.

4.2.2. SEGUNDA FASE

A segunda fase, conforme já foi referido, consiste em atribuir os valores de referência das variáveis em análise às células dos valores de cálculo correspondentes à fração real. Nas seguintes figuras pode-se ver esse processo, sendo que, a Fig. 29 corresponde às paredes exteriores, a Fig. 30 aos pavimentos em contacto com o exterior, a Fig. 31 às coberturas exteriores, a Fig. 32 aos coeficientes de transmissão dos vãos envidraçados exteriores, a Fig. 33 aos fatores solares dos vãos envidraçados, a Fig. 34 à eficiência do sistema para aquecimento, a Fig. 35 à eficiência do sistema para arrefecimento e a Fig. 36 à eficiência do sistema de preparação de AQS.

Paredes exteriores	Área	U	U*A
PDE3	13,28	0,50	6,64
PTPPDE3	0,51	0,50	0,26
PTPPDE4	2,15	0,50	1,08
PDE4	9,01	0,50	4,51
PTPPDE5	0,72	0,50	0,36
PDE3	7,33	0,50	3,67
PTPPDE3	1,39	0,50	0,70
PTPPDE5	1,69	0,50	0,85
PDE4	10,76	0,50	5,38
PTPPDE5	0,80	0,50	0,40

Fig. 29 – Atribuição dos valores de referência às paredes exteriores.

Pavimentos em contato com o exterior	Área	U	U*A
PTPPVE1	1,5	0,40	0,60

Fig. 30 – Atribuição dos valores de referência aos pavimentos em contacto com o exterior.

Coberturas em contato com o exterior	Área	U	U*A
CBE1	74,30	0,40	29,72

Fig. 31 – Atribuição dos valores de referência às coberturas em contacto com o exterior.

Vão envidraçados exteriores	Área	U	U*A
1 (VE3)	6,37	2,80	17,85
2 (VE3)	8,14	2,8	22,80
3 (VE4)	3,49	2,8	9,76
4 (VE4)	2,56	2,8	7,18
5 (VE4)	8,24	2,8	23,08
6 (VE4)	3,88	2,8	10,88

Fig. 32 – Atribuição dos valores de referência aos coeficientes de transmissão dos vãos envidraçados.

Designação	U _{wdn} (W/m ² .K)	g _{vi}	g _{tot}	FS Global	Classe da C	Tipo de Vid	Fracção E	U _{Ref} (W/m ² .K)
VE3	2,80	0,88	0,02	0,88	4	Duplo	0,70	2,80
VE4	2,80	0,88	0,02	0,88	4	Duplo	0,70	2,80

Fig. 33 – Atribuição dos valores de referência aos fatores solares dos vãos envidraçados.

Eficiência Nominal η_i	Factor de Conversão F_{pui}	Necessidades de Energia Final $f_3 \cdot \delta \cdot N_{ic} / \eta_i \cdot A_p$	Emissões de CO2 (t/m2.ano)	Necessidades de Energia Primária $f_3 \cdot \delta \cdot N_{ic} \cdot F_{pui} / \eta_i$
	kWh _{EP} /kWh	kWh/ano		kWh _{EP} /m².ano
3,40	2,50	0,00	0,00	0,00
		0,00	0,00	#VALOR!
		0,00	0,00	#VALOR!
		0,00	0,00	#VALOR!
		0,00	0,00	#VALOR!
		0,00	0,00	#VALOR!
		0,00	0,00	#VALOR!
		0,00	0,00	#VALOR!
		0,00	0,00	#VALOR!
0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
1,00	2,50	0,00	0,00	0,00
	TOTAL	0.00	0.00	0.00

Fig. 34 – Atribuição do valor de referência à eficiência do sistema de aquecimento.

Eficiência Nominal η_v	Factor de Conversão F_{pui}	Necessidades de Energia Final $f_3 \cdot \delta \cdot N_{vc} / \eta_v \cdot A_p$	Emissões de CO2 (t.m2/ano)	Necessidades de Energia Primária $f_3 \cdot \delta \cdot N_{vc} \cdot F_{pui} / \eta_v$
	kWh _{EP} /kWh	kWh/ano		kWh _{EP} /m².ano
3,00	2,50	344,22	0,00	11,46
				#VALOR!
				#VALOR!
				#VALOR!
				#VALOR!
				#VALOR!
				#VALOR!
				#VALOR!
0,00	0,00	1032,66	0,00	#DIV/0!
0,00	0,00		0,00	#DIV/0!
0,00	0,00		0,00	#DIV/0!
0,00	0,00		0,00	#DIV/0!
3,00	2,50	0,00	0,00	0,00
	TOTAL	1376,87	0,00	11,46

Fig. 35 – Atribuição do valor de referência à eficiência do sistema de arrefecimento.

[illegible]

Fig. 36 – Atribuição do valor de referência à eficiência do sistema de preparação de AQS.

No capítulo 3, Fig.11, é possível ver qual o valor N_{tc} calculado através dos valores de referência para todos os parâmetros acima referidos. Como foi explicado nesse mesmo ponto, este primeiro processo de cálculo servirá como base de cálculo para todas as outras as restantes fases.

É ainda definido que o valor de N_{tc} deva ser 0,45 vezes o valor de N_t de forma que o R_{NT} seja igual a 0,45. Surge assim o valor objetivo a partir do qual os parâmetros em estudo vão ser variados até que esse valor seja atingido, que para este caso de estudo é igual a 21,59, sendo este o ponto de partida para o restante processo de cálculo.

4.2.3. TERCEIRA FASE

Com já referido no ponto 3.4.3 depois de calculada energia primária para a preparação de AQS, com base no Ntc obtido na segunda fase, através dos valores de referência. É possível agora calcular o valor que será sugerido pela ferramenta para eficiência nominal do sistema de preparação de AQS, aplicado ao caso de estudo (Fig. 37).

Necessidades de Energia Útil $\dot{Q}_U/A_0$	f_a	δ	Eficiência Nominal η_{ln}	Factor de Conversão F_{Fus}	Necessidades de Energia Final $\dot{Q}_{UF}/A_0$ kWh/ano	Emissões de CO2 (t/ano)	Necessidades de Energia primária $f_s \cdot \dot{Q}_U/A_0 \cdot F_{Fus}/\eta_{ln}$ kWh _{uf} /m².ano
kWh/m².ano				kWh _{uf} /kWh			
15,65	1,00	1	4,32	2,50	764,13	0,00	9,06
			0,00		0,00	2139,56	0,00
	0,00		0,00		0,00	0,00	
	0,00		0,00		0,00	0,00	
	0,00		0,00		0,00	0,00	
	0,00		0,00		0,00	0,00	
	0,00		0,00		0,00	0,00	
0,00	0,00	0	0,95	2,50	0,00	0,00	0,00
				TOTAL	2903,68	0,00	9,06

Fig. 37 – Cálculo do valor sugerido para a eficiência do sistema de preparação de AQS.

4.2.4. QUARTA FASE

Nesta fase, como referido no ponto 3.4.4., é calculada, com base no N_{tc} obtido na segunda fase, através dos valores de referência, a energia primária para arrefecimento obtendo assim, o valor de N_{vc} para dar seguimento ao processo de cálculo dos restantes parâmetros, que será igual a 8,92 kWh/m².ano.

No fim desta fase é ainda calculado o valor de N_{ic} , assumindo que este tem de ser igual a 55% das necessidades nominais anuais de energia para aquecimento de referência calculadas na segunda fase, que será igual a 18,58 kWh/m².ano.

4.2.5. QUINTA FASE

Conforme referido no ponto 3.4.5. o próximo passo consiste em calcular o H_{tr} (Fig. 40), sendo que, para isso é preciso primeiramente calcular o valor dos ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento (Fig. 41).

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO		
E.1 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR		
Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr}	164,35	W/°C

Fig. 38 – Cálculo do H_{tr} necessário para atingir o R_{NT} pretendido.

E.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS		
Inércia do edifício	Média	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	5708,53	kWh/ano
	÷	
Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar $Q_{tr,i} + Q_{ve,i}$	7076,28	kWh/ano
	=	
parâmetro ψ_i	0,81	
parâmetro a_i	2,60	W/°C
Factor de utilização dos ganhos η_i	0,79	
	x	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	5708,53	kWh/ano
	=	
Ganhos totais úteis $Q_{gu,i}$	4536,26	kWh/ano

Fig. 39 – Cálculo do $Q_{g,i}$ necessário para atingir o R_{NT} pretendido.

4.2.6. SEXTA FASE

Após ser calculado o H_{tr} são determinados os ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento (Fig. 42), fixando o valor de N_{vc} calculado na quarta fase.

F.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS		
Inércia do edifício	Média	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	3532,80	kWh/ano
	÷	
Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar $Q_{tr,v}+Q_{ve,v}$	2952,58	kWh/ano
	=	
parâmetro γ_v	1,20	
parâmetro av	2,60	W/°C
Factor de utilização dos ganhos η_v	0,65	

Fig. 40 – Cálculo do $Q_{g,v}$ necessário para atingir o R_{NT} pretendido.

4.2.7. SÉTIMA FASE

Com o valor dos $Q_{g,v}$ são agora calculados os valores de U correspondentes aos elementos da envolvente opaca e os fatores solares com proteções permanentes da envolvente envidraçada (Fig. 43 e Fig. 44). São ainda calculados os fatores solares de inverno da envolvente envidraçada (Fig. 45) e os U 's relativos aos pavimentos exteriores (Fig. 46) e aos vãos envidraçados (Fig.47).

PAREDE EXTERIOR	Orientação	Coeficiente de absorção α	Área A_{op}	U
			m ²	W/m ² .°C
PDE3	Oeste	0,4	13,28	0,33
PTPPDE3	Oeste	0,4	0,51	0,33
PTPPDE4	Oeste	0,4	2,15	0,33
PDE4	Sul	0,4	9,01	0,33
PTPPDE5	Sul	0,4	0,72	0,33
PDE3	Oeste	0,4	7,33	0,33
PTPPDE3	Oeste	0,4	1,39	0,33
PTPPDE5	Oeste	0,4	1,69	0,33
PDE4	Sul	0,4	10,76	0,33
PTPPDE5	Sul	0,4	0,8	0,33

Fig. 41 – Cálculo dos U 's das paredes exteriores necessários para atingir o R_{NT} pretendido.

Designação do Envidraçado	Orientação	Área	Tipo de Vidro	Fracção Envidraçada F_g	Factor Sel. angular $F_{w,v}$	Fracção Tempo Prot. Móveis activas $F_{m,v}$	FS Global Prot. Moveis e Perm. g_{tot}	FS Global Prot Perm. $g_{tot,p}$
		m ²						
1 (VE3)	Oeste	6,3744	Duplo	0,7	0,85	0,6	0,02	0,463661955
2 (VE3)	Oeste	8,1423	Duplo	0,7	0,85	0,6	0,02	0,463661955
3 (VE4)	Oeste	3,486	Duplo	0,7	0,85	0,6	0,02	0,463661955
4 (VE4)	Oeste	2,5647	Duplo	0,7	0,85	0,6	0,02	0,463661955
5 (VE4)	Oeste	8,2419	Duplo	0,7	0,85	0,6	0,02	0,463661955
6 (VE4)	Oeste	3,8844	Duplo	0,7	0,85	0,6	0,02	0,463661955

Fig. 42 - Cálculo fatores solares globais necessários para atingir o R_{NT} pretendido.

Designação do envidraçado	Orientação	Factor Solar Inverno g_i
1 (VE3)	Oeste	0,430078
2 (VE3)	Oeste	0,430078
3 (VE4)	Oeste	0,430078
4 (VE4)	Oeste	0,430078
5 (VE4)	Oeste	0,430078
6 (VE4)	Oeste	0,430078

Fig. 43 - Cálculo fatores solares de inverno necessários para atingir o R_{NT} pretendido.

Pavimentos em contato com o exterior	Área	U	U*A
PTPPVE1	1,5	0,34	0,50

Fig. 44 - Cálculo do U do pavimento exterior necessário para atingir o R_{NT} pretendido.

Vão envidraçados exteriores	Área	U	U*A
1 (VE3)	6,37	2,36	15,02
2 (VE3)	8,14	2,36	19,19
3 (VE4)	3,49	2,36	8,21
4 (VE4)	2,56	2,36	6,04
5 (VE4)	8,24	2,36	19,42
6 (VE4)	3,88	2,36	9,15

Fig. 45 - Cálculo dos U's dos vãos envidraçados necessários para atingir o R_{NT} pretendido.

4.2.8. OITAVA FASE

Depois de já terem sido calculados os valores correspondentes aos valores de U, aos fatores solares com proteções permanentes da envolvente envidraçada e aos fatores solares de inverno da envolvente envidraçada, é o novo processo de cálculo para obter os novos valores de N_{ic} (Fig. 48) e N_{vc} (Fig. 49).

E.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO		
Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i}$	4294,94	kWh/ano
	+	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i}$	2347,73	kWh/ano
	-	
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i}$	3922,04	kWh/ano
(folha de cálculo 1.4)	=	
Necessidades Anuais na estação de aquecimento	2720,62	kWh/ano
	÷	
Área útil de pavimento A_p	136,71	m ²
	=	
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_{ic}	19,90	kWh/m ² .ano

Fig. 46 – Valor final de N_{ic} calculado pela ferramenta.

F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO		
	(1- η_v)	0,37
	x	
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$	3532,82	kWh/ano
	÷	
Área útil de pavimento A_p	136,71	m ²
	=	
Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento N_{vc}	9,56	kWh/m ² .ano

Fig. 47 – Valor final de N_{vc} calculado pela ferramenta.

É, depois, feito um ajuste à eficiência relativa ao sistema de arrefecimento de forma que as necessidades de energia primária igualem o valor calculado na quarta fase, obtendo-se assim um valor de 3,30 para a eficiência do sistema de arrefecimento.

Como já referido no ponto 3.4.9. no fim é apresentada uma folha (Fig. 51) onde estão todos os valores calculados e consecutivamente sugeridos pela ferramenta de forma a cumprir o objetivo pré-definido, ou seja, um valor de R_{NT} igual a 0,45.

Valores sugeridos		
Envolvente opaca	U	
Paredes Exteriores	0,33	
Coberturas exteriores	0,20	
Pavimentos Exteriores	0,34	
Envolvente Envidraçada	U	g,vi
1 (VE3)	2,36	0,51
2 (VE3)	2,36	0,51
3 (VE4)	2,36	0,51
4 (VE4)	2,36	0,51
5 (VE4)	2,36	0,51
6 (VE4)	2,36	0,51
Eficiências dos Equipamento		
Aquecimento	3,40	
Arrefecimento	3,30	
AQS	4,32	

Fig. 48 – Valores finais sugeridos pela ferramenta para este caso de estudo.

4.3. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

De forma a facilitar a interpretação dos resultados foi feita uma análise comparativa através da Fig. 52, onde, se podem ver lado a lado os valores usados na parte inicial do cálculo, valores de referência, e os valores finais que são sugeridos pela ferramenta ao utilizador e a sua consequente variação em termos percentuais.

Valores sugeridos			Valores iniciais			Vairação	%
Envolvente opaca	U		Envolvente opaca	U			
Paredes Exteriores	0,33		Paredes Exteriores	0,50		-34,972082	
Coberturas exteriores	0,20		Coberturas exteriores	0,40		-51,225000	
Pavimentos Exteriores	0,34		Pavimentos Exteriores	0,40		-15,845081	
Envolvente Envidraçada	U	g ,vi	Envolvente Envidraçada	U	g ,vi	U	g ,vi
1 (VE3)	2,36	0,51	1 (VE3)	2,80	0,88	-15,845081	-41,855150
2 (VE3)	2,36	0,51	2 (VE3)	2,80	0,88	-15,845081	-41,855150
3 (VE4)	2,36	0,51	3 (VE4)	2,80	0,88	-15,845081	-41,855150
4 (VE4)	2,36	0,51	4 (VE4)	2,80	0,88	-15,845081	-41,855150
5 (VE4)	2,36	0,51	5 (VE4)	2,80	0,88	-15,845081	-41,855150
6 (VE4)	2,36	0,51	6 (VE4)	2,80	0,88	-15,845081	-41,855150
Eficiências dos Equipamento			Eficiências dos Equipamento				
Aquecimento	3,40		Aquecimento	3,40		0,000000	
Arrefecimento	3,30		Arrefecimento	3,00		10,000000	
AQS	4,32		AQS	2,80		54,285714	

Fig. 49 – Análise comparativa dos resultados obtidos.

Antes de avançar para a análise dos resultados obtidos é importante ainda salientar que estes resultados correspondem apenas ao caso de estudo em análise, sendo necessário referir que, para outros casos os resultados podem ser diferentes e consequentemente levar a interpretações e conclusões diversas.

Na figura acima é possível observar a redução e o aumento que houve relativamente aos parâmetros em estudo, o que torna possível chegar a algumas conclusões relativas à influência que cada um dos parâmetros tem sobre a classe energética final da fração.

Analisando mais a fundo os resultados expressos na Fig. 52, é possível observar que houve uma variação que significa uma redução de cerca de 35% a nível do coeficiente de transmissão térmica (U) das paredes exteriores, já a nível das coberturas exteriores essa mesma variação resultou numa redução de cerca de 51% do U, quanto aos pavimentos exteriores foi o parâmetro da envolvente opaca onde se registou uma redução mesmo significativa, cerca de 16%.

Passando agora para a envolvente envidraçada, onde foram analisados dois parâmetros, coeficiente de transmissão térmica (U) e fator solar do vidro para uma incidência perpendicular, foi possível observar que a nível dos coeficientes de transmissão térmica houve uma redução de cerca de 16%, destacando-se a redução do fator solar do vidro para uma incidência perpendicular, onde esta redução foi mais significativa, cerca de 42%.

Por fim, analisando a variação da eficiência dos equipamentos foi possível observar, como seria de esperar, que houve um aumento das eficiências, nomeadamente a nível do sistema de arrefecimento e do sistema de preparação de AQS, onde maior variação foi mesmo para este último, onde, se verificou um aumento de 54%, sendo que, o aumento relativo ao sistema de arrefecimento ficou apenas pelos 10%. Não foi registada qualquer variação a nível do sistema de aquecimento pois, como o valor das necessidades de energia útil para aquecimento foram forçadas a ser inferiores a 60% das necessidades de energia útil para aquecimento de referência, este valor acaba por ser anulado, devido a esta condição, não exercendo qualquer influência sobre o valor final das necessidades nominais anuais globais de energia primária e consequentemente, não exercendo também qualquer influência sobre o valor final da classe energética.

Como seria de esperar, pelos resultados obtidos, de maneira a baixar o valor do R_{NT} inicial de 0,64 para o valor fixado de 0,45 teria de haver mudanças significativas nos parâmetros analisados. A diminuição global dos valores dos coeficientes de transmissão térmica de todos os parâmetros analisados seria expectável pois essa redução resulta num valor H_{tr} mais baixo, resultando numa diminuição dos ganhos térmicos brutos tanto na estação de aquecimento como na de arrefecimento. Consequente, existe uma redução das necessidades nominais anuais de energia útil na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento que, quanto menores forem, menor será o valor de N_{tc} , impactando diretamente na classe energética da fração. Era também expectável a diminuição do fator solar do vidro pois este, à semelhança dos coeficientes de transmissão, também tem um impacto direto nos ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento e na estação de aquecimento e consequentemente nas necessidades nominais anuais de energia útil na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento.

Por fim, é possível ainda afirmar, que o aumento das eficiências dos sistemas técnicos era expectável pois, quanto mais eficientes forem estes equipamentos menores serão as necessidades de energia primária necessária ao seu funcionamento. Esta redução das necessidades de energia resulta também numa diminuição das necessidades nominais anuais globais de energia primária, melhorando a eficiência energética da fração e consequentemente a sua classe energética.

5

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1. CONCLUSÕES

Neste ponto, serão apresentadas as conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento desta dissertação. Para efeitos práticos as conclusões serão divididas por quatro grandes grupos, onde serão apresentadas conclusões relativas às diversas ferramentas de cálculo analisadas, à metodologia de cálculo do SCE, ao processo de desenvolvimento da ferramenta e ao caso de estudo analisado.

Relativamente às ferramentas de cálculo analisadas:

- Tendo em conta que todas as ferramentas de cálculo analisadas têm por base de funcionamento a mesma metodologia de cálculo, foi possível concluir que, para o estudo de uma determinada fração, todas as ferramentas de cálculo conduziram a uma classe energética única;
- As ferramentas do Itecons e Dentherm permitem com base na classe energética calculada, a introdução de medidas de melhoria dentro do mesmo processo de forma que seja possível estudar possíveis soluções para melhorar o desempenho do edifício;
- O facto das ferramentas PTnZEB e Dentherm permitirem a atribuição de valores aos parâmetros por meio de bases de dados pré-existentes pode prevenir eventuais erros nos dados introduzidos. Já a ferramenta do Itecons permite maior controlo dos dados introduzidos, pois este tem de ser atribuídos manualmente pelo utilizador;
- A ferramenta PTnZEB possui, em relação às outras, um ponto bastante positivo pois permite ao utilizador a análise simultânea de diversas soluções;
- Quanto à ferramenta CYPETHERM SCE-HAB, apesar de ainda não ser muito usada, é uma ferramenta bastante apelativa do ponto de vista visual, pois permite ao utilizador trabalhar sobre um modelo tridimensional do edifício facilitando a perceção do utilizador dos valores que está a atribuir e a que elementos o está a fazer. Esta ferramenta permite também ao utilizador trabalhar com valores existentes em bases de dados, assim como, inserir ou alterar esses valores manualmente. Um dos pontos fortes desta ferramenta é também a sua maior desvantagem pois, para ser aplicada, necessita de um modelo tridimensional do edifício pré-existente.

Relativamente à metodologia de cálculo do SCE:

- Os coeficientes de transmissão térmica da envolvente exterior, apesar de terem pouca influência na classe energética do edifício, sendo pouco eficientes podem aumentar as necessidades de energia para manter o conforto térmico interior.
- O facto da parcela referente a energias renováveis não ser limitada pode não ser, propriamente, benéfica pois, incentiva o consumo de matérias como a água ou as biomassas que apesar de não

serem tão poluentes como recursos fósseis são também de exploração limitada.

Relativamente ao processo de desenvolvimento da ferramenta:

- A utilização do VBA como linguagem de código usada para o desenvolvimento da ferramenta, tornou esta tarefa mais acessível pois, esta linguagem apresenta uma forma bastante trivial, tornando-a facilmente legível a quem tenha conhecimentos básicos de programação.
- A grande dificuldade no desenvolvimento da ferramenta deveu-se ao facto de a ferramenta que serviu como base do trabalho se encontrar, na sua grande maioria bloqueada, permitindo apenas a introdução de valores em células destinadas para esse mesmo efeito. Isto tornou o processo de desenvolvimento muito complexo pois surgiu a necessidade da criação de um novo livro de Excel que permitisse importar os valores da folha original de forma que esse fossem livremente alterados.

Relativamente ao caso de estudo analisado, salientando que estas conclusões serão únicas para este caso de estudo:

- É notório, pelos resultados apresentados na Fig. 52, que os parâmetros que exercem maior influência sobre a classe energética da fração são as eficiências dos sistemas de arrefecimento e de preparação de AQS e o fator solar do vidro. Isto é demonstrado pela grande variação que estes parâmetros sofrem após a aplicação da ferramenta, cerca de 42% relativamente ao fator solar do vidro, 54% no sistema de preparação de AQS e 10% no sistema de arrefecimento;
- Apesar da grande variação sofrida pelo coeficiente de transmissão da cobertura exterior, este parâmetro não é tão influente como os restantes já referidos sendo que, a variação apresentada de 51% surge devido à elevada área apresentada por este elemento da envolvente opaca;
- Como já referido os coeficientes de transmissão térmica da envolvente exterior têm pouca influência na classe energética do edifício o que justifica a baixa variação registada nos pavimentos exterior, cerca de 16%. À semelhança do que já foi referenciado para as coberturas exteriores, a variação relativa às paredes exteriores é pouco mais elevada sendo que isto se deve à elevada área que este elemento da envolvente opaca apresenta.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A nível dos desenvolvimentos futuros considera-se que seriam interessante aprofundar e continuar a desenvolver os potenciais desta ferramenta e por isso propõem-se:

- O aumento das capacidades desta ferramenta pois, devido ao limite de tempo, não foi possível durante o desenvolvimento desta dissertação estudar outros parâmetros como a ventilação e a envolvente interior e a influência que estes têm sobre a classe energética de um edifício e consequentemente inseri-los como parâmetros variáveis pela ferramenta desenvolvida;
- Seria interessante aprofundar as capacidades desta ferramenta de forma a torná-la mais generalizada e aplicável a todo o tipo de edifícios, podendo incluir eventualmente edifícios de comércio e serviços;
- Com a constante evolução da legislação e aumento da preocupação relativamente à eficiência energética dos edifícios será necessário o acompanhamento desta mesma evolução de forma que possam ser introduzidas na ferramenta eventuais alterações que surjam, derivado a este aumento da preocupação da humanidade em geral na influência que os edifícios têm sobre questões como as alterações climáticas;

- Por fim, seria também interessante o estudo de uma eventual parceria com o Itecons de forma que esta ferramenta fosse incluída na ferramenta original disponibilizada, o que facilitaria todo o processo de desenvolvimento e de cálculo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro. Diário da República n.º 31/1990, Série I de 1990-02-06. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.
- [2] Decreto-lei 118/98, de 7 de Maio. Diário da República n.º 105/1998, Série I-A de 1998-05-07. Ministério do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território. Lisboa.
- [3] Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Jornal Oficial da União Europeia nº L 001 de 04/01/2003.
- [4] Decreto-lei 78/2006, de 4 de Abril. Diário da República n.º 67/2006, Série I-A de 2006-04-04. Ministério da Economia e da Inovação. Lisboa.
- [5] Decreto-lei 79/2006, de 4 de Abril. Diário da República n.º 67/2006, Série I-A de 2006-04-04. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.
- [6] Decreto-lei 80/2006, de 4 de Abril. Diário da República n.º 67/2006, Série I-A de 2006-04-04. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.
- [7] Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Jornal Oficial da União Europeia nº L 153/13 de 18/06/2010
- [8] Decreto-lei 118/2013, de 20 de Agosto. Diário da República n.º 159/2013, Série I de 2013-08-20. Ministério da Economia e do Emprego. Lisboa.
- [9] Diretiva nº 2018/844/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, que altera a Diretiva 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios e a Diretiva 2012/27/UE sobre a eficiência energética. Jornal Oficial da União Europeia nº L 156/75 de 19/06/2018
- [10] Decreto-lei 101-D/2020, de 7 de Dezembro. Diário da República n.º 237/2020, 1º Suplemento, Série I de 2020-12-07. Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa.
- [11] <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2021/07/legislacao-1024x381.png>. 19 de Abril de 2022.
- [12] Despacho 6476-H/2021, de 1 de Julho. Diário da República n.º 126/2021, 2º Suplemento, Série II de 2021-07-01. Direção-Geral de Energia e Geologia. Lisboa.
- [13] Portaria 138-I/2021, de 1 de Julho. Diário da República n.º 126/2021, 2º Suplemento, Série I de 2021-07-01. Ambiente e Ação Climática e Infraestruturas e Habitação. Lisboa.
- [14] <https://www.sce.pt/certificarevalorizar/o-que-e.html> 24 de Maio de 2022.
- [15] <https://www.sce.pt/certificacao-energetica-de-edificios-3/consumidores/> 24 de Maio de 2022.
- [16] <https://www.sce.pt/estatisticas/> 24 de Maio de 2022.
- [17] <https://www.itecons.uc.pt/> 24 de Maio de 2022.
- [18] <https://www.peritosqualificados.pt/pt/> 24 de Maio de 2022.
- [19] <http://www.densare.pt/> 24 de Maio de 2022.
- [20] <http://www.cypetherm.cype.pt/> 24 de Maio de 2022.
- [21] Rodrigues, S. *Análise de metodologias para determinação da classe energética de edifícios de habitação no âmbito do Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE)*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2020.

- [22] Figueiredo, F. *Certificação Energética e Certificação ISO50001*. Relatório de Estágio, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2019.
- [23] Tomé, R. *Robustez da Certificação Energética dos Edifícios de Habitação em Portugal*. Dissertação de Mestrado. Universidade da Madeira, 2021.
- [24] Curado, A. *Conforto Térmico e Eficiência Energética nos Edifícios de Habitação Social*. Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.
- [25] Silva, M. *Edifícios com Necessidades quase Nulas de Energia (NZEB) em Países do Sul da Europa*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2020.
- [26] Almeida, P. *NZEB – Implicações da Portaria N.º 98/2019*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2021.
- [27] Castro, A. *Manual de Seleção Exigencial de Materiais de Isolamento Térmico*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2017.
- [28] Oliveira, A. *Vãos Envidraçados, Desempenho Térmico e Conforto Térmico Humano*. Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2016.
- [29] <https://www.techtarget.com/whatis/definition/Visual-Basic-VB> 8 de Junho de 2022.
- [30] <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/excel/study/excel-vba/> 8 de Junho de 2022.
- [31] <https://earth.google.com/web/search/alameda+dos+jardisn+da+arrabia/@41.14047332,-8.64000256,72.30515583a,526.25559833d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCbAUIJ7IfURAEdezxnFKeERAGZN3Ag4tziDAIVn-xoOU6yDA> 8 de Junho de 2022.

ANEXOS

A. CÓDIGO UTILIZADO NO DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA

```

Sub assumirvaloresref()
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D5") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I5")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D6") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I6")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D7") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I7")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D8") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I8")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D9") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I9")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D10") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I10")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D11") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I11")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D12") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I12")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D13") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I13")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D14") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I14")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D25") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I25")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D47") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I47")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D69") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I69")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D70") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I70")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D71") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I71")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D72") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I72")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D73") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I73")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!D74") = Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!I74")
Range("[Testemod1.xlsm]G - N_Global"!F5") = Range("[Testemod1.xlsm]G - N_Global"!O5")
Range("[Testemod1.xlsm]G - N_Global"!F25") = Range("[Testemod1.xlsm]G - N_Global"!O25")
Range("[Testemod1.xlsm]G - N_Global"!F60") = Range("[Testemod1.xlsm]G - N_Global"!O60")
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!M69") = 0.88
Range("[Testemod1.xlsm]A-Transmissão"!M70") = 0.88
End Sub

Sub Aqs()
Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC"!F60") = 1
While Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC"!J60") > Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC"!J76")
Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC"!F60") = Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC"!F60") + 0.005
Wend
End Sub

Sub Nvc()
Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC"!C25") = 0
While Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC"!J25") <= Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC"!J41")
Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC"!C25") = Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC"!C25") + 0.01
Wend
End Sub

Sub Htr()
Dim Htr As Integer
Htr = 0
Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC"!B3") = Htr
While Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC"!B52") <= Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC"!C5") - 1
Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC"!B3") = Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC"!B3") + 1
Wend
While Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC"!B52") <= Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC"!C5") - 0.1
Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC"!B3") = Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC"!B3") + 0.1
Wend
While Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC"!B52") <= Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC"!C5")
Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC"!B3") = Range("[Testemod1.xlsm]E - CALC"!B3") + 0.01
Wend
End Sub

Sub Qgv()
Dim Qgv As Integer
Qgv = 0
Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC"!B31") = Qgv
While Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC"!B47") <= Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC"!C25") - 2
Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC"!B31") = Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC"!B31") + 100
Wend
While Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC"!B47") <= Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC"!C25") - 1
Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC"!B31") = Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC"!B31") + 10
Wend
While Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC"!B47") <= Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC"!C25") - 0.1
Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC"!B31") = Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC"!B31") + 1
Wend
While Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC"!B47") <= Range("[Testemod1.xlsm]G - CALC"!C25")
Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC"!B31") = Range("[Testemod1.xlsm]F - CALC"!B31") + 0.1
Wend
End Sub

Sub EFARREFECIMENTO()
Range("[Testemod1.xlsm]G - CALCF"!F25") = 1
While Range("[Testemod1.xlsm]G - CALCF"!J25") >= Range("[Testemod1.xlsm]G - CALCF"!J41") + 1
Range("[Testemod1.xlsm]G - CALCF"!F25") = Range("[Testemod1.xlsm]G - CALCF"!F25") + 0.01
Wend
While Range("[Testemod1.xlsm]G - CALCF"!J25") >= Range("[Testemod1.xlsm]G - CALCF"!J41")
Range("[Testemod1.xlsm]G - CALCF"!F25") = Range("[Testemod1.xlsm]G - CALCF"!F25") + 0.0005
Wend
Range("[Testemod1.xlsm]G - CALCF"!F25).Value = WorksheetFunction.RoundUp(Range("[Testemod1.xlsm]G - CALCF"!F25), 1)
End Sub

```

Fig. 50 – Código utilizado no desenvolvimento da ferramenta.

B. FOLHAS DE CÁLCULO DA FERRAMENTA

[illegible]

Coberturas em contato com o exterior	Área	U	U*A	Pavimentos em contato com o exterior	Área	U	U*A
CBE1	74,30	0,40	29,72	CBE1	74,30	0,40	29,72
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
Total	74,30		29,72	Total			29,72
Vão envidraçados exteriores	Área	U	U*A	Vão envidraçados exteriores	Área	U	U*A
1 (VE3)	6,37	2,80	17,85	1 (VE3)	5,33	2,80	14,92669
2 (VE3)	8,14	2,8	22,80	2 (VE3)	6,81	2,80	19,06652
3 (VE4)	3,49	2,8	9,76	3 (VE4)	2,92	2,80	8,163034
4 (VE4)	2,56	2,8	7,18	4 (VE4)	2,14	2,80	6,005661
5 (VE4)	8,24	2,8	23,08	5 (VE4)	6,89	2,80	19,29975
6 (VE4)	3,88	2,8	10,88	6 (VE4)	3,25	2,80	9,095952
				-	-		#VALOR!
				-	-		#VALOR!
				-	-		#VALOR!
				-	-		#VALOR!
				-	-		#VALOR!
				-	-		#VALOR!
				-	-		#VALOR!
				-	-		#VALOR!
				-	-		#VALOR!
				-	-		#VALOR!
				-	-		#VALOR!
				-	-		#VALOR!
				-	-		#VALOR!
				-	-		#VALOR!
Total			91,54	Total			76,5576

Pontes térmicas lineares	Total	25,57	Pontes térmicas lineares	Total	29,92
Hext		171,25	Hext,ref		163,2904
Envolvente Interior					
Hint		16,18	Hint,ref		18,64
Elemento em Contacto com o Solo					
Hecs		0,00	Hecs,ref		0,00
Quadro Síntese					
Valor de cálculo			Valor de referência		
Envolvente Exterior					
Hext		171,25	Hext,ref		163,2904
Envolvente Interior					
Hint		16,18	Hint,ref		18,64
Elemento em Contacto com o Solo					
Hecs		0,00	Hecs,ref		0,00
Estação Aquecimento					
Hext		171,25	Hext,ref		163,2904
Hint		16,18	Hint,ref		18,64
Hecs		0,00	Hecs,ref		0,00
Htr,aque		187,43	Htr,aque,ref		181,93
Estação Arrefecimento					
Hext		171,25	Hext,ref		163,2904
Hint		16,18	Hint,ref		18,64
Hecs		0,00	Hecs,ref		0,00
Htr,arr		187,43	Htr,arr,ref		181,93

Fig. 51 – Cálculos relativos à transmissão (A).

Ganhos Térmicos Brutos		
Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$	2415,90	kWh/ano
	+	
Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$	6000,66	kWh/ano
	=	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	8416,56	kWh/ano
Ganhos Térmicos Brutos de Referência		
Radiação média incidente num envidraçado vertical a Sul G_{sul}	130	kWh/m ² .mês
	x	
	0,146	
	x	
	0,15	
	x	
Área útil de pavimento A_p	136,71	m ²
	x	
Duração da estação de aquecimento M	6,14	meses
	=	
Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$	2388,21	kWh/ano
	+	
Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$	2415,90	kWh/ano
	=	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	4804,11	kWh/ano

Fig. 52 – Ganhos de Inverno (A).

Ganhos térmicos brutos		
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$	1601,15	kWh/ano
	+	
Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$	2970,50	kWh/ano
	=	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	4571,64	kWh/ano
Ganhos térmicos brutos de Referência		
Ganho internos médios q_{int}	4	W/m ²
	x	
Duração da estação de arrefecimento L_v	2928,00	horas
	/	
	1000	
	+	
factor solar de verão de referência $g_{v,REF}$	0,43	m ²
	x	
$A_w/A_{p,REF}$	0,2	
	x	
Radiação solar média de referência $I_{sol,REF}$	490	kWh/m ² .ano
	=	
	53,85	kWh/m ² .ano
	x	
Área útil de Pavimento A_p	136,71	m ²
	=	
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v,REF}$	7362,11	kWh/ano

Fig. 53 – Ganhos de Verão (A).

E.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO		
Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i}$	5392,69	kWh/ano
	+	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i}$	2347,73	kWh/ano
	-	
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i}$	5818,81	kWh/ano
(folha de cálculo 1.4)	=	
Necessidades Anuais na estação de aquecimento	1921,60	kWh/ano
	÷	
Área útil de pavimento A_p	136,71	m ²
	=	
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_{ic}	14,06	kWh/m ² .ano

Fig. 54 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento (A).

F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO		
	(1- η_v)	0,41
	x	
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$	4571,64	kWh/ano
	÷	
Área útil de pavimento A_p	136,71	m ²
	=	
Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento N_{vc}	13,75	kWh/m ² .ano

Fig. 55 – Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (A).

Energia primária para aquecimento	0,00	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento	11,46	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para a preparação de AQS	13,97	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica	5,10	kWh _{EP} /m ² .ano
	-	
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	0,00	kWh _{EP} /m ² .ano
	=	
Necessidades nominais anuais globais de energia primária N_{ic}	30,53	kWh _{EP} /m ² .ano

Fig. 56 – Necessidades nominais anuais globais de energia primária (A).

Indicadores energéticos						
Sigla	Descrição	Valor		Referência	Renovável Requisito Ren _{hab} (%)	
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m2.ano)	14,06		33,78	0,00	
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m2.ano)	13,75		9,13		
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2140		2377	Ntc/Nt	Objetivo
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)		278,65		0,64	0,45
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	2064		0		
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	1375		0		Classe Energética
Eren,ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)		0,00			
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh _{ep} /m2.ano)	30,53		47,97	-	
	Objetivo	21,59				

Fig. 57 – Quadro de avaliação final (A).

Energia primária para aquecimento	0,00	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento	7,43	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para a preparação de AQS	9,06	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica	5,10	kWh _{EP} /m ² .ano
	-	
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	0,00	kWh _{EP} /m ² .ano
	=	
Necessidades nominais anuais globais de energia primária N _{te}	21,59	kWh _{EP} /m ² .ano

Fig. 58 – Necessidades nominais anuais globais de energia primaria (B).

F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO		
(1- η_v)	0,35	
	x	
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento Q _{g,v}	3532,80	kWh/ano
	÷	
Área útil de pavimento A _p	136,71	m ²
	=	
Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento N _{vc}	8,92	kWh/m ² .ano

Fig. 59 – Necessidade nominais de energia útil para arrefecimento (B).

E.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO		
Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i}$	4728,55	kWh/ano
	+	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i}$	2347,73	kWh/ano
	-	
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i}$	4536,26	kWh/ano
(folha de cálculo 1.4)	=	
Necessidades Anuais na estação de aquecimento	2540,01	kWh/ano
	÷	
Área útil de pavimento A_p	136,71	m ²
	=	
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_{ic}	18,58	kWh/m ² .ano

Fig. 60 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento (B).

Ganhos térmicos brutos		
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$	1601,15	kWh/ano
	+	
Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$	1931,65	kWh/ano
	=	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	3532,80	kWh/ano
Ganhos térmicos brutos de Referência		
Ganho internos médios q_{int}	4	W/m ²
	x	
Duração da estação de arrefecimento L_v	2928,00	horas
	/	
	1000	
	+	
factor solar de verão de referência $g_{v,REF}$	0,43	m ²
	x	
$A_w/A_{p,REF}$	0,2	
	x	
Radiação solar média de referência $I_{sol,REF}$	490	kWh/m ² .ano
	=	
	53,85	kWh/m ² .ano
	x	
Área útil de Pavimento A_p	136,71	m ²
	=	
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v,REF}$	7362,11	kWh/ano

Fig. 61 – Ganhos de Verão (B).

Ganhos Térmicos Brutos		
Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$	2415,90	kWh/ano
	+	
Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$	3292,63	kWh/ano
	=	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	5708,53	kWh/ano
Ganhos Térmicos Brutos de Referência		
Radiação média incidente num envidraçado vertical a Sul G_{sul}	130	kWh/m ² .mês
	x	
	0,146	
	x	
	0,15	
	x	
Área útil de pavimento A_p	136,71	m ²
	x	
Duração da estação de aquecimento M	6,14	meses
	=	
Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$	2388,21	kWh/ano
	+	
Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$	2415,90	kWh/ano
	=	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	4804,11	kWh/ano

Fig. 62 – Ganhos de Inverno (B).

Transmissão							
Valor de cálculo				Valor de referência			
Envolvente Exterior							
Paredes exteriores	Área	U	U*A	Paredes exteriores	Área	U _{ref}	U*A
PDE3	13,28	0,33	4,32	correção quando a á	5,35	0,50	2,68
PTPPDE3	0,51	0,33	0,17	PDE3	13,28	0,50	6,64
PTPPDE4	2,15	0,33	0,70	PTPPDE3	0,51	0,50	0,26
PDE4	9,01	0,33	2,93	PTPPDE4	2,15	0,50	1,08
PTPPDE5	0,72	0,33	0,23	PDE4	9,01	0,50	4,51
PDE3	7,33	0,33	2,38	PTPPDE5	0,72	0,50	0,36
PTPPDE3	1,39	0,33	0,45	PDE3	7,33	0,50	3,67
PTPPDE5	1,69	0,33	0,55	PTPPDE3	1,39	0,50	0,70
PDE4	10,76	0,33	3,50	PTPPDE5	1,69	0,50	0,85
PTPPDE5	0,80	0,33	0,26	PDE4	10,76	0,50	5,38
0		#REF!	#REF!	PTPPDE5	0,80	0,50	0,40
0		#REF!	#REF!			-	#VALOR!
0		#REF!	#REF!			-	#VALOR!
0		#REF!	#REF!			-	#VALOR!
0		#REF!	#REF!			-	#VALOR!
0		#REF!	#REF!			-	#VALOR!
0		#REF!	#REF!			-	#VALOR!
0		#REF!	#REF!			-	#VALOR!
0		#REF!	#REF!			-	#VALOR!
Total	47,64	0,33	15,49	Total			26,50

Pavimentos em contato com o exterior	Área	U	U*A	Pavimentos em contato com o exterior	Área	U	U*A
PTPPVE1	1,5	0,34	0,50	PTPPVE1	1,5	0,4	0,6
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
0		#VALOR!	#VALOR!	0			#VALOR!
Total	1,5	0,33662	0,50	Total			0,6
Coberturas em contato com o exterior	Área	U	U*A	Pavimentos em contato com o exterior	Área	U	U*A
CBE1	74,30	0,20	14,50	CBE1	74,30	0,40	29,72
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
0,00		#VALOR!	#VALOR!	0,00			#VALOR!
Total	74.30		14.50	Total			29.72

Vão envidraçados exteriores	Área	U	U*A	Vão envidraçados exteriores	Área	U	U*A
1 (VE3)	6,37	2,36	15,02	1 (VE3)	5,33	2,80	14,92669
2 (VE3)	8,14	2,36	19,19	2 (VE3)	6,81	2,80	19,06652
3 (VE4)	3,49	2,36	8,21	3 (VE4)	2,92	2,80	8,163034
4 (VE4)	2,56	2,36	6,04	4 (VE4)	2,14	2,80	6,005661
5 (VE4)	8,24	2,36	19,42	5 (VE4)	6,89	2,80	19,29975
6 (VE4)	3,88	2,36	9,15	6 (VE4)	3,25	2,80	9,095952
		#VALOR!	#VALOR!		-	-	#VALOR!
		#VALOR!	#VALOR!		-	-	#VALOR!
		#VALOR!	#VALOR!		-	-	#VALOR!
		#VALOR!	#VALOR!		-	-	#VALOR!
		#VALOR!	#VALOR!		-	-	#VALOR!
		#VALOR!	#VALOR!		-	-	#VALOR!
		#VALOR!	#VALOR!		-	-	#VALOR!
		#VALOR!	#VALOR!		-	-	#VALOR!
		#VALOR!	#VALOR!		-	-	#VALOR!
		#VALOR!	#VALOR!		-	-	#VALOR!
		#VALOR!	#VALOR!		-	-	#VALOR!
		#VALOR!	#VALOR!		-	-	#VALOR!
		#VALOR!	#VALOR!		-	-	#VALOR!
		#VALOR!	#VALOR!		-	-	#VALOR!
Total			77,04	Total			76,5576
Pontes térmicas lineares	Total		25,57	Pontes térmicas lineares	Total		29,92
Hext			133,10	Hext,ref			163,2904
Envoltente Interior							
Hint			16,18	Hint,ref			18,64
Elemento em Contacto com o Solo							
Hecs			0,00	Hecs,ref			0,00
Quadro Síntese							
Valor de cálculo				Valor de referência			
Envoltente Exterior							
Hext			133,10	Hext,ref			163,2904
Envoltente Interior							
Hint			16,18	Hint,ref			18,64
Elemento em Contacto com o Solo							
Hecs			0,00	Hecs,ref			0,00
Estação Aquecimento							
Hext			133,10	Hext,ref			163,2904
Hint			16,18	Hint,ref			18,64
Hecs			0,00	Hecs,ref			0,00
Htr,aque			149,28	Htr,aque,ref			181,93
Estação Arrefecimento							
Hext			133,10	Hext,ref			163,2904
Hint			16,18	Hint,ref			18,64
Hecs			0,00	Hecs,ref			0,00
Htr,arr			149,28	Htr,arr,ref			181,93

Fig. 63 – Cálculos relativos à transmissão (B).

E.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO		
Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i}$	4294,94	kWh/ano
	+	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i}$	2347,73	kWh/ano
	-	
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i}$	3922,04	kWh/ano
(folha de cálculo 1.4)	=	
Necessidades Anuais na estação de aquecimento	2720,62	kWh/ano
	÷	
Área útil de pavimento A_p	136,71	m ²
	=	
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_{ic}	19,90	kWh/m ² .ano

Fig. 64 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento finais.

F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO		
	(1- η_v)	0,37
	x	
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$	3532,82	kWh/ano
	÷	
Área útil de pavimento A_p	136,71	m ²
	=	
Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento N_{vc}	9,56	kWh/m ² .ano

Fig. 65 – Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento finais.

Valores sugeridos			Valores iniciais			Vairação	%
Envolvente opaca	U		Envolvente opaca	U			
Paredes Exteriores	0,33		Paredes Exteriores	0,50		-34,972082	
Coberturas exteriores	0,20		Coberturas exteriores	0,40		-51,225000	
Pavimentos Exteriores	0,34		Pavimentos Exteriores	0,40		-15,845081	
Envolvente Envidraçada	U	g ,vi	Envolvente Envidraçada	U	g ,vi	U	g ,vi
1 (VE3)	2,36	0,51	1 (VE3)	2,80	0,88	-15,845081	-41,855150
2 (VE3)	2,36	0,51	2 (VE3)	2,80	0,88	-15,845081	-41,855150
3 (VE4)	2,36	0,51	3 (VE4)	2,80	0,88	-15,845081	-41,855150
4 (VE4)	2,36	0,51	4 (VE4)	2,80	0,88	-15,845081	-41,855150
5 (VE4)	2,36	0,51	5 (VE4)	2,80	0,88	-15,845081	-41,855150
6 (VE4)	2,36	0,51	6 (VE4)	2,80	0,88	-15,845081	-41,855150
Eficiências dos Equipamento			Eficiências dos Equipamento				
Aquecimento	3,40		Aquecimento	3,40		0,000000	
Arrefecimento	3,30		Arrefecimento	3,00		10,000000	
AQS	4,32		AQS	2,80		54,285714	

Fig. 66 – Quadro final comparativo dos valores iniciais e dos valores sugeridos.

