

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à Engenheira Alexandra Costa, minha orientadora científica deste trabalho, pela ajuda prestada, pelos seus ensinamentos, sua disponibilidade, orientação e dedicação que mostrou ao longo de todo este trabalho, principalmente na última fase do trabalho.

Ao Engenheiro Manuel Gamboa, por todo o seu apoio desde o primeiro momento que entrei no ISEL, conselhos e ajuda inicial para o desenvolvimento deste trabalho. O meu muito Obrigado por ter acreditado em mim.

A todas as empresas que gentilmente disponibilizaram os elementos para a concretização do trabalho orçamental, nomeadamente:

Ao Jorge Leite da JG Domótica, por se ter disponibilizado a fornecer todos os orçamentos necessários para a elaboração deste trabalho.

Ao Paulo Rodrigues da LogicHome, por ter enviado detalhadamente os orçamentos, que ajudaram a obter resultados a nível de investimento inicial e retorno desse mesmo investimento.

Um Obrigado a todos os colegas que conheci no ISEL, em especial ao Ricardo Costa, por todo o apoio incondicional, pelo convívio e ajuda que me proporcionaram ao longo deste tempo todo, sem vocês este trabalho não teria seguido em frente. Quero agradecer também à Nicole de Almeida e a Sandra Couto, por todo o apoio que me deram desde o primeiro dia que entrei no ISEL.

Um grande Obrigado aos meus colegas da *Worten Dolce Vita Tejo*, Nádía Nico, Ana Centeio, Paulo Meruje, Rui Vieira, Rute Santos e Bruna Varão por me terem dado apoio quando estava mais em baixo e terem acreditado sempre em mim. Muito Obrigado!

Um especial Obrigado, à Felismina Barbosa, ao Pedro José, ao Diogo Esteves e à Susana Costa por todo o apoio que dão e me deram em mais um dos momentos mais difíceis da minha vida. A vocês devo o dom do significado Amizade, Obrigado por tudo e por continuarem ao meu lado!

Ao Hugo Farias, pelo apoio, por acreditar em mim e no meu trabalho, por me mostrar constantemente todo o orgulho que sente em mim e naquilo que eu faço. Obrigado por todas as palavras certas naqueles momentos cruciais. Obrigado pela Tua dedicação!

Quero deixar um obrigado também à Benedita Rocha e Melo pela sua ajuda em algumas traduções.

Agradeço aos meus Pais, Américo Rodrigues e Maria Helena Rodrigues, pela ajuda e incentivo que me deram ao longo da minha vida, muito daquilo que sou hoje é a vocês que devo. Obrigado Pai e Mãe! E à minha irmã Sara Rodrigues, que apesar das nossas diferenças, sempre me ajudou e apoiou quando precisei. Obrigado!

Por fim agradeço a todos aqueles que passaram pela minha vida até hoje, cada um de vocês ajudou de alguma forma, por isso Obrigado!

Resumo

A presente dissertação tem por finalidade compreender as vantagens da aplicação da domótica no comportamento energético de uma fração habitacional, e possível efeito na classificação energética do Sistema de Certificação Energética (SCE), tendo assentado na realização de simulações dinâmicas cuja modelação foi feita no *software DesignBuilder*, associado ao *software EnergyPlus*, na parte respeitante aos cálculos.

Como forma de melhorar a qualidade de vida, reduzir o trabalho doméstico, aumentar o bem-estar e a segurança, foi criada a domótica que é responsável pela automação predial. O conceito de automação implica a integração da iluminação, eletrodomésticos, ar-condicionado, controlo de acessos, alarmes, sensores e sistemas de dados, voz e imagem de um edifício ou de uma fração autónoma, fazendo com que todos os seus componentes possam realizar ações em conjunto a fim de facilitar a vida dos seus utilizadores.

A preocupação com a segurança, a gestão e o controlo, a redução de custos e o bem-estar trouxe os sistemas de automação para a sociedade. Esses sistemas dividem-se em dois grandes grupos: os subsistemas de supervisão e controlo das utilidades, que realizam o controlo das instalações elétricas, de arrefecimento e aquecimento, de instalações hidráulicas (águas sanitárias), de gás e o controle de elevadores; e os subsistemas de segurança, de proteção contra incêndio, contra intrusão e a monitorização visual centralizada (câmaras de vídeo-vigilância).

Na construção de um edifício existe a preocupação cada vez maior na garantia do conforto aliado ao menor consumo de energia possível, isto é, a temperatura e a iluminação adequada para a realização de diferentes tarefas a efetuar, sem que implique um maior consumo. A regulação da temperatura interior da habitação, o controlo de luzes através de sensores e abertura de fecho dos dispositivos de sombreamento (persianas), através de domótica, permitirá o maior proveito da iluminação natural e a temperatura aos utilizadores da fracção em cada instante.

Com tudo o que a domótica permite é necessário saber quais as vantagens e desvantagens na sua implementação. Com esta finalidade, realizou-se a

análise baseada no RCCTE, de três apartamentos de um edifício, com a mesma tipologia mas com distintas orientações de envidraçados. Os apartamentos escolhidos no último piso do edifício. Posteriormente, optou-se por uma das fracções para o aprofundamento da análise e avaliação de implementação de sistemas domóticos de controlo de abertura/e fecho de dispositivos de oclusão de vãos para controlo dos ganhos solares e abertura e fecho dos vãos envidraçados para controlar as cargas térmicas por ventilação.

Neste intuito, desenvolveu-se um modelo 3D com recurso ao *software DesignBuilder, Energy Plus*, em diferentes zonas climáticas, em regime dinâmico, por forma a contabilizar a diferença entre os fatores que não são quantificados através da análise feita pelo RCCTE.

Após uma análise com as permissas incluídas no RCCTE (ventilação e factor solar), é imposto no *DesignBuilder* alguns aspetos da domótica, como a abertura/fecho de persianas/janelas obtendo-se para cada situação as perdas e ganhos através de cada elemento (envidraçados, necessidades de aquecimento e arrefecimento).

Foi ainda elaborado um pequeno estudo da viabilidade económica da implementação de um sistema domótico.

Palavras – chave: domótica, RCCTE, conforto térmico, *DesignBuilder, EnergyPlus*, consumo energético, necessidades de aquecimento, necessidades de arrefecimento.

Abstract

The intention of this thesis is to understand the advantages that the application on energy behaviour of a fraction, and possible effect on energy classification of Energy Certification System (SCE), seated in the realization of dynamic simulations whose styling was made in the *software DesingBuilder*, associated with the *EnergyPlus software*, in the part relating to calculations.

As a way to improve the quality of life, reduce domestic work and increase well-fare and security, domotics was created and is responsible for building automation. This concept of automation includes the integration of lighting, home appliances, air-conditioning, access control, alarm, data sensors and systems, voice and image of a building making possible for all of its components to perform joint actions with the purpose of facilitating the life of its users.

The safety, management and control, cost reductions and well-fare concerns bring automation systems into society. These systems can be divided in two great groups, the utility supervision and control subsystems, which control the electrical, warming and cooling, hydraulic (sanitation waters) , gas and elevator facilities and the security subsystems, that is, fire and intruder protection and central visual monitoring (security cameras).

In the construction of a building there is a growing concern in ensuring the comfort coupled with the lowest possible power consumption, ie, temperature and adequate lighting for different tasks to perform, without implying a higher consumption. The temperature inside the home, control lights through sensors and locking aperture of shading devices (blinds), using automation, will allow the most of natural lighting and temperature to the fraction of users in each moment.

With all that allows home automation is necessary to know the advantages and disadvantages in its implementation. For this purpose, the analysis was carried out based on RCCTE, three flats of a building, with the same type but with different orientations of glazing. The apartments chosen rooftop of the building. Subsequently, we chose one of the fractions for further analysis and evaluation of implementation of home automation systems control the opening /

closing device and occlusion of spans for control of solar gains and opening and closing of glazing to control loads thermal by ventilation.

To this end, we developed a 3D model using the software DesignBuilder, Energy Plus, in different climatic zones in dynamic regime in order to account for the difference between the factors that are not quantified by analysis by RCCTE.

After an analysis with the assumptions included in RCCTE (ventilation and solar factor), is imposed on the DesignBuilder some aspects of home automation, such as opening / closing of blinds / windows yielding for each situation the losses and gains through each element (glazing, needs for heating and cooling).

It was also designed a small study of the economic viability of implementing an automation system.

Key-words: domotics, RCBTB, thermal comfort, *DesignBuilder*, *EnergyPlus*, energy consumption, warming needs, cooling needs.

Índice

1.	Introdução.....	1
1.1.	Enquadramento	1
1.2.	Objetivos.....	4
1.3.	Estrutura da dissertação.....	5
2.	Regulamentação térmica de edifícios em Portugal	7
2.1.	Enquadramento geral	7
2.2.	DL 80/2006 – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios.....	9
3.	Domótica	11
3.1	Introdução à domótica.....	11
3.1.1	Características de um sistema domótico:.....	14
3.1.2	Principais funcionalidades e aplicações da domótica:.....	18
3.2	Tecnologias domóticas.....	22
3.2.1	Introdução.....	22
3.2.2	Sistemas de automação – protocolo <i>X-10</i>	23
3.2.3	Sistema de automação - protocolo <i>EIB/KNX</i>	26
3.3	Sistemas domóticos que participam no conforto e temperatura interior da habitação.....	28
3.3.1	Introdução.....	28
3.3.2	Sistema de automação – <i>Domus</i>	28
3.3.3	Sistema de automação - <i>LogicHome</i>	33
4.	Caraterização do caso de estudo.....	35
4.1	Generalidades	35
4.2	Descrição das soluções construtivas consideradas na envolvente	39
5.	Simulação de acordo com as premissas do RCCTE e validação e verificação através da simulação dinâmica – <i>DesignBuilder (DB)</i>	43
5.1	Breve apresentação do modelo de cálculo dinâmico <i>EnergyPlus</i> e do seu interface gráfico <i>DesignBuilder</i>	43
5.2	Verificação de acordo com o RCCTE e aplicação do DB.....	44
5.3	Análise de resultados	49
6.	Aplicação dos sistemas de controlo automático à simulação dinâmica..	55
6.1	Metodologia.....	55

6.2	Análise de resultados	58
7.	Avaliação da relação custo/benefício	73
8.	Conclusões.....	75
9.	Limitações e propostas de trabalhos futuros	77
10.	Referências bibliográficas.....	79
	Anexo I – Desenhos – Plantas Alçados e Cortes	I
	Anexo II – Caracterização dos elementos construtivos.....	I
	Anexo III – Resultados obtidos da análise dos apartamentos de acordo com o RCCTE	I
	Anexo IV – Folha de cálculo do Solterm.....	I
	Anexo V – Tabelas e Gráficos das simulações efetuadas no DB.....	I
	Anexo VI – Orçamento	I

Índice de Figuras:

Figura 1 - Edifícios inteligentes	11
Figura 2 - Sistemas e serviços oferecidos num edifício inteligente	13
Figura 3 - Arquitetura centralizada	14
Figura 4 - Arquitetura descentralizada.....	15
Figura 5 – Controlador.....	16
Figura 6 – Atuadores.....	17
Figura 7 – Sensor de presença de pessoas.....	17
Figura 8 - Esquema exemplificativo de um sistema de domótica.....	18
Figura 9 - Controlo de iluminação	19
Figura 10 - Controlo de iluminação em função da luz natural	19
Figura 11 - Controlo de climatização	20
Figura 12 - Controlo de Persianas.....	21
Figura 13 - Rede de dispositivos X - 10.....	25
Figura 14 - Painel LCD distribuído pela JG Domótica	29
Figura 15 - Módulo de Sensor	29
Figura 16 - Controlador de caldeira	30
Figura 17 - Quadro de automação	30
Figura 18 - U.P.S.....	31
Figura 19 - Sirene.....	31
Figura 20 - Exemplo de controlo de aquecimento	32
Figura 21 - Controlo de estores.....	33
Figura 22 - Apartamento T4D.....	36
Figura 23 - Apartamento T4E	36
Figura 24 - Apartamento T4A	37
Figura 25 - Modelo 3D do apartamento T4D	45
Figura 26 - Modelo 3D do piso em estudo.....	45
Figura 27 - Modelo 3D do piso em estudo com sombras virado a Este	46
Figura 28 - Modelo 3D final	46
Figura 29 - Modelo 3D final com sombras.....	47
Figura 30 - Esquema do 1º caso de estudo de inverno.....	55
Figura 31 - Esquema do 2º caso de estudo de inverno.....	55

Figura 32 - Esquema do 3º caso de estudo de inverno.....	56
Figura 33 - Esquema do 4º caso de estudo de inverno.....	56
Figura 34 - Esquema do 1º caso de estudo de verão.....	56
Figura 35 - Esquema do 2º caso de estudo de verão.....	57
Figura 36 - Esquema do 3º caso de estudo de verão.....	57
Figura 37 - Esquema do 4º caso de estudo de verão.....	57
Figura 38 - Esquema do 5º caso de estudo de verão.....	57
Figura 39 - Planta do piso 4 (piso em estudo).....	I
Figura 40 - Alçado Norte e Corte AA' com identificação do piso em estudo	III
Figura 41 - Alçado Sul.....	III
Figura 42 - Alçado Nascente e Corte CC' com identificação do piso em estudo	IV
Figura 43 - Alçado Poente.....	IV
Figura 44 - Pormenor construtivo das paredes exteriores.....	I
Figura 45 - Pormenor construtivo das paredes interiores.....	II
Figura 46 - Pormenor construtivo da cobertura	III
Figura 47 - Pormenor construtivo da Caixa-de-Estore	V
Figura 48 - Pormenor construtivo do vidro	VI
Figura 49 - Pormenor construtivo do pavimento.....	X
Figura 50 - Dados extraídos da 2ª simulação DB – (inverno) - Tarouca - T4D – (4º caso)	VI
Figura 51 - Dados extraídos da 2ª simulação DB - (verão) - Tarouca - T4D – (4º Caso).....	XI

Índice de Gráficos:

Gráfico 1 - Valores das necessidades nominais de aquecimento – Nic	50
Gráfico 2 - Valores das necessidades nominais de arrefecimento - Nvc	51
Gráfico 3 - Valores das necessidades nominais de arrefecimento - Nvc (27°C)	52
Gráfico 4 - Análise comparativa de todos os casos da 2ª simulação para a estação de aquecimento (inverno) – Apartamento T4D	60
Gráfico 5 - Análise comparativa de todos os casos em Tarouca - ganhos solares e envidraçados - 2ªsimulação	62
Gráfico 6 - Análise comparativa de todos os casos da 2ª simulação (inverno) - Tarouca – Nic	63
Gráfico 7 - Análise das diferentes temperaturas para o 3º e 4º caso da 2ª simulação da estação de arrefecimento (verão)	64
Gráfico 8 - Análise comparativa de todos os casos na 2ªsimulação (verão) - ganhos solares e envidraçados	67
Gráfico 9 - Análise comparativa de todos os casos na 2ª simulação (verão) - Nvc	67
Gráfico 10 - Análise de todos os apartamento em Tarouca (verão) - 2ª simulação	70
Gráfico 11 - Análise de todos os apartamento em Tarouca (verão) - Nvc - 2º simulação	71
Gráfico 12 - Análise dos ganhos solares e envidraçados - 2ª simulação (inverno) - Campo Maior.....	I
Gráfico 13 - Análise das necessidades de aquecimento - 2ª simulação (inverno) - Campo Maior.....	I
Gráfico 14 - Análise das necessidades de aquecimento - 2ªsimulação (inverno) - Manteigas.....	II
Gráfico 15 - Análise dos ganhos solares e envidraçados da 2ª simulação (inverno) - Manteigas.....	II
Gráfico 16 - Análise dos ganhos solares e envidraçados da 2ª simulação (inverno) - Mirandela	III

Gráfico 17 - Análise das necessidades de aquecimento - 2ª simulação (inverno) - Mirandela	III
Gráfico 18 - Análise das necessidades de aquecimento - 2ª simulação (inverno) - Portimão	IV
Gráfico 19 - Análise dos ganhos solares e envidraçados da 2ª simulação (inverno) - Portimão	IV
Gráfico 20 - Análise dos ganhos solares e envidraçados da 2ª simulação (inverno) - Tarouca	V
Gráfico 21 - Análise das necessidades de aquecimento - 2ª simulação (inverno) - Tarouca	V
Gráfico 22 - Análise das necessidades de arrefecimento 2º simulação (verão) - Campo Maior	VII
Gráfico 23 - Análise dos ganhos solares e envidraçados 2º simulação (verão) - Campo Maior	VII
Gráfico 24 - Análise dos ganhos solares e envidraçados 2ª simulação (verão) - Manteigas	VIII
Gráfico 25 - Análise das necessidades de arrefecimento 2ª simulação (verão) - Manteigas	VIII
Gráfico 26 - Análise dos ganhos solares e envidraçados 2º simulação (verão) - Mirandela	VIII
Gráfico 27 - Análise das necessidades de arrefecimento 2ª simulação (verão) - Mirandela	IX
Gráfico 28 - Análise dos ganhos solares e envidraçados da 2ª simulação (verão) - Portimão	IX
Gráfico 29 - Análise das necessidades de arrefecimento 2ª simulação (verão) - Portimão	X
Gráfico 30 - Análise dos ganhos solares e envidraçados da 2ª simulação (verão) - Tarouca	X
Gráfico 31 - Análise das necessidades de arrefecimento 2ª simulação (verão) - Tarouca	X

Índice de Tabelas:

Tabela 1 - Recetores do protocolo X – 10.....	24
Tabela 2 - Atuadores do protocolo X – 10.....	24
Tabela 3 - Caraterísticas das frações habitacionais em estudo	37
Tabela 4 - Dados climáticos do RCCTE de cada localidade	38
Tabela 5 - Coeficientes de transmissão térmica da envolvente exterior	40
Tabela 6 - Pontes térmicas lineares da envolvente exterior	41
Tabela 7 - Coeficientes de Transmissão Térmica da Envolvente Interior.....	41
Tabela 8 - Áreas das frações habitacionais.....	48
Tabela 9 - Dados climáticos	48
Tabela 10 - Valores das necessidades de aquecimento e arrefecimento obtidos pelo DB e RCCTE para cada uma das localidades	49
Tabela 11 - Ganhos pelas arrecadações.....	52
Tabela 12 - Valores das necessidades de arrefecimento Nvc - 27°C temperatura de referência	53
Tabela 13 - Quadro resumo da 2ªsimulação para a estação de aquecimento (inverno) –T4D – Todas as localidades.....	59
Tabela 14 - Análise comparativa de todos os casos da 2º simulação (inverno) para Tarouca.....	61
Tabela 15 - Análise comparativa de todos os casos da 2º simulação (inverno) em Tarouca (Nic).....	62
Tabela 16 - Quadro resumo da 2º simulação para a estação de arrefecimento (verão).....	65
Tabela 17 - Quadro resumo da 2ªsimulação para a estação de arrefecimento (verão) - Nvc.....	66
Tabela 18 - Classe energética do apartamento T4D - 2ª simulação	68
Tabela 19 - Análise comparativa de todos os casos da 2ª simulação para a estação de arrefecimento (verão) para todos apartamentos - Tarouca.....	69
Tabela 20 - Análise de todos apartamento em Tarouca 2º simulação (verão) - Nvc.....	70
Tabela 21 - Caraterização das áreas dos apartamentos em estudo	II
Tabela 22 - Caraterização das áreas dos apartamentos em estudo	II

Tabela 23 - Coeficiente de Transmissão Térmica das Paredes Exteriores	II
Tabela 24 - Coeficiente de Transmissão Térmica das Paredes Interiores	III
Tabela 25 - Coeficiente de Transmissão Térmica da Cobertura	IV
Tabela 26 - coeficiente de transmissão térmica dos pilares e vigas.....	V
Tabela 27 - Coeficiente de transmissão térmica do pavimento	X
Tabela 28 - Resultados obtidos da análise do RCCTE feita aos apartamentos ..	I
Tabela 29 - Cálculo do GD de Tarouca.....	I

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Depois da primeira crise internacional do petróleo, em 1973, existiu uma preocupação com a utilização racional de energia nos edifícios. O aumento significativo do custo da energia em grande parte devido à verificação de que as fontes petrolíferas não são ilimitadas e que o seu uso tem grande impacto ambiental, tiveram como consequência iniciativas várias e medidas com a finalidade de estimular a eficiência energética. Desde então, muitos países passaram a adotar medidas legais e regulamentações com o objetivo de estabelecer níveis mínimos de desempenho para os edifícios, que têm sido alterados ao longo dos anos pelos patamares comportamentais cada vez mais exigentes [1].

A assinatura, por parte da União Europeia, do Protocolo de Quioto, obrigou os países membros a definirem medidas de ação que incentivassem a utilização racional dos recursos energéticos de forma a reduzir a emissão dos gases com efeito de estufa, nomeadamente, o dióxido de carbono, para a atmosfera. O setor residencial e terciário, composto maioritariamente por edifícios, por ser o responsável por mais de 40% do consumo de energia final da energia da União Europeia (EU). Em Portugal, os edifícios são responsáveis por cerca de 29% do consumo total final de energia do nosso país e apresenta um consumo de energia elétrica nos setores doméstico e de serviços correspondente a 29,3% desse consumo [27], dos quais 50% pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética. Assim dentro deste contexto surge a Diretiva Europeia sobre o Desempenho Energético dos Edifícios [13], que estabelece uma série de requisitos com o objetivo de promover a melhoria do desempenho energético e dessa forma responder aos compromissos assumidos no Protocolo de Quioto [3]. As principais exigências da Diretiva Europeia sobre o Desempenho Energético refere-se à adoção de uma metodologia integrada de cálculo do desempenho energético dos edifícios, estabelecendo requisitos mínimos em novos edifícios e em edifícios existentes sujeitos a grandes obras de renovação, e à obrigatoriedade de implementação da certificação energética.

A Diretiva Europeia sobre o Desempenho Energético [13] refere que todos os países membros deveriam implementar os requisitos mínimos de desempenho energético e a certificação energética, nas suas regulamentações nacionais, até Janeiro de 2006. Desta forma, em Portugal, tanto o RCCTE [9] quanto o RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios) [11], foram revistos e deram origem ao DL 79/2006 (RSECE) [11] e ao DL 80/2006 (RCCTE) [12].

A aplicação das exigências estabelecidas pela Directiva Europeia sobre o Desempenho Energético teve inúmeras consequências, nomeadamente a melhoria do comportamento térmico e energético dos edifícios.

Os benefícios de se aumentar o isolamento são evidentes ao minimizar as trocas de calor com o exterior, e consequentemente reduzir as necessidades de aquecimento/arrefecimento, promovendo-se igualmente desta forma a poupança energética [17].

A eficiência energética nos edifícios é um tema com crescente importância em todo o mundo, e em particular na Europa. Os edifícios denominados por edifícios passivos podem assumir um papel relevante na importância da estratégia energética, devido ao enorme potencial que apresentam na redução dos consumos energéticos, e simultaneamente condições de conforto dos seus utilizadores [15].

A utilização de energia em edifícios em Portugal tem vindo a crescer de forma significativa ao longo das últimas duas décadas. A utilização de energia para a climatização tem desempenhado um papel importante, nesta tendência, temendo-se que o aumento possa continuar se não forem tomadas medidas eficazes de controlo. Um dos mecanismos com maior potencial de contribuição para a limitação de tendência em Portugal, é o novo mecanismo de certificação energética de edifícios e os seus regulamentos [15]. O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) instituído pelo Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril [10], tem por finalidade assegurar as condições de eficiência energética, a utilização de sistemas de energias renováveis, e ainda, a qualidade do ar interior nos edifícios. Para esse efeito, no âmbito do sistema é verificado o cumprimento dos requisitos regulamentares aplicáveis e o certificado de desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios. Se aplicável, são identificadas as medidas

corretivas ou de melhoria de desempenho dos edifícios e respetivos sistemas energéticos.

O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) [11] define um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação dotados de sistemas de climatização, os quais, para além dos aspetos da qualidade da envolvente e da limitação dos consumos energéticos, abrangem também a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios, obrigando igualmente à realização de auditorias periódicas aos edifícios de serviços. Neste regulamento, a qualidade do ar interior surge também como requisito que abrange as taxas de renovação do ar interior nos espaços e a concentração máxima dos principais poluentes.

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [12], estabelece requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos serviços sem sistema de climatização, nomeadamente ao nível das características da envolvente (paredes, envidraçados, pavimentos e coberturas), limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos. Este regulamento impõe limites aos consumos energéticos da habitação para a climatização e produção de águas quentes, num claro incentivo à utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacto em termos de consumo de energia primária. A nova legislação determina também a obrigatoriedade da instalação de coletores solares e valoriza a utilização de outras fontes de energia renovável na determinação do desempenho energético do edifício [15].

No âmbito de melhorar a eficiência energética das habitações, o conforto habitacional e a ajuda nas tarefas diárias, surge a domótica, também conhecida como responsável pelo projeto de edifícios inteligentes. Faz parte de uma área que interessa cada vez mais a clientes particulares, deixando de ser exclusivo a empresas, visando melhorar a qualidade de vida, reduzir o trabalho doméstico, aumentar o bem-estar e a segurança. É um segmento da tecnologia que vem crescendo exponencialmente, oferecendo soluções que proporcionam maior conforto, segurança e controlo nos consumos energéticos. Com esta nova tecnologia, torna-se possível a supervisão, o controlo e o monitoramento de equipamentos instalados na fração como o ar-condicionado, os sistemas de

iluminação, as câmaras de vídeo-vigilância e as janelas e os dispositivos de sombreamento, sendo adaptável a muitas necessidades [5].

Como forma de avaliar o impacto do comportamento energético com a implementação da domótica nas necessidades de aquecimento e arrefecimento, bem como nos ganhos solares, realizou-se um estudo para três frações habitacionais diferentes, tendo em conta as conjugações com diversos parâmetros: orientação solar, características construtivas e localização.

1.2. Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo a quantificação de vantagens da implementação da domótica no comportamento energético de um edifício em que se aplica o RCCTE [12] a três fracções autónomas, sendo posteriormente escolhida uma das fracções para o estudo mais aprofundado.

A primeira análise foi feita com base na aplicação do RCCTE [12], e foi aplicada aos três apartamentos, para que os mesmos cumprissem o Regulamento, para tal foram levantadas todas as características construtivas.

Por forma a avaliar o comportamento energético da fracção habitacional com a implementação da domótica, utilizou-se o *software DesignBuilder* e introduziram-se as premissas do RCCTE, de forma a obter-se os resultados necessários para a comparação entre as duas análises, uma com a imposição do RCCTE e outra com a implementação da domótica.

A primeira análise realizada com o *DesignBuilder* foi aplicada aos três apartamentos em estudo, para que se pudesse comparar os valores obtidos através do Regulamento com os valores obtidos através do *software* de cálculo dinâmico *DesignBuilder*, por forma a determinar as diferenças entre o cálculo estático e o cálculo dinâmico.

Em seguida escolheu-se um dos apartamento de acordo com a orientação dos envidraçados, e implementou-se um sistema de domótica. Essa implementação foi realizada através da abertura e fecho dos dispositivos de sombreamentos e abertura e fecho das janelas. Para cada um dos parâmetros foram definidos diferentes casos de estudo, uns com a imposição de horário e outros com a imposição de temperatura exterior. Realizada a simulação compararam-se os valores com os resultados obtidos da análise do RCCTE.

Por fim, fez-se uma pequena análise da relação custo/benefício da implementação de um sistema de domótica ao apartamento estudado. Esta análise serviu para verificar a vantagem da implementação de um sistema de domótica numa habitação. Para tal utilizou-se o método do *pay-back*¹ simples.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação está dividida em dez capítulos, onde:

No *Capítulo 1 – Introdução* - é feita a introdução ao trabalho elaborado, e são descritos os objetivos do mesmo;

No *Capítulo 2 – Regulamentação térmica dos edifícios em Portugal* – apresenta-se de forma sistemática a evolução da regulamentação térmica em Portugal.

É descrita a evolução do RCCTE e do seu atual enquadramento na regulamentação relativa ao setor energético;

No *Capítulo 3 – Domótica* - é feita uma breve explicação do que é a domótica, onde se aplica e quais os sistemas utilizados para a sua implementação;

No *Capítulo 4 – Caracterização do caso de estudo* - procede-se à caracterização dos casos de estudo, soluções construtivas e aplicação do RCCTE;

No *Capítulo 5 – Simulação de acordo com o RCCTE e validação e verificação através da simulação dinâmica* - apresenta-se a metodologia aplicada, a aplicação do RCCTE e do DB, e faz-se uma breve explicação do programa de cálculo dinâmico, *DesignBuilder*.

É feito o cálculo dos consumos energéticos e a análise dos resultados;

No *Capítulo 6 – Aplicação dos sistemas de controlo automático à simulação dinâmica* - neste capítulo é aplicada a Domótica a cada caso de estudo, fazendo-se o cálculo dos consumos a partir da simulação dinâmica. Análisa-se os resultados;

No *Capítulo 7 – Avaliação da relação custo/benefício* – é apresentada uma análise que relaciona o custo do investimento necessário à implementação das soluções de domótica estudadas e a relação do benefício da sua aplicação;

¹ *pay-back*: é o tempo decorrido entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se igual ao valor desse investimento.

No *Capítulo 8 – Conclusões* - são apresentadas as conclusões retiradas da elaboração do trabalho;

No *Capítulo 9 – Limitações e propostas de trabalhos futuros*;

No *Capítulo 10 – Referências bibliográficas*.

2. Regulamentação térmica de edifícios em Portugal

2.1. Enquadramento geral

A primeira regulamentação portuguesa no âmbito da térmica dos edifícios surgiu com o Regulamento das Características do Comportamento Térmico (RCCTE) a 6 de Fevereiro de 1990, com o Decreto-Lei 40/90 [9].

Foi com DL 40/90 que se introduziu pela primeira vez em Portugal um instrumento legal que impunha requisitos térmicos. A 4 de Abril de 2006, entra em vigor o Decreto-Lei 80/2006 [12], novo RCCTE, que em conjunto com o Decreto-Lei 78/2006 de 4 de Abril e com o Decreto-Lei 79/2006 de 4 de Abril vêm dar cumprimento à Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho sobre o desempenho energético dos edifícios [13], de 16 de Dezembro de 2002, que viria a entrar em vigor a 4 de Janeiro de 2003.

O RCCTE foi estabelecido, de forma a melhorar a qualidade da envolvente das construções em Portugal e a reduzir os consumos energéticos dos meios de promoção artificial de condições ambientais no interior de edifícios, valorizando a implementação de sistemas de coletores solares e de outras fontes de energia renováveis, impondo exigências e limites para as necessidades de aquecimento no inverno e de arrefecimento no verão. Estas exigências estavam dependentes das zonas climáticas que foram definidas por concelho. O país foi dividido em três zonas climáticas de inverno (I_1 , I_2 , I_3) e seis de verão (V_1N ; V_1S ; V_2N ; V_2S ; V_3N e V_3S), com temperaturas de referências de 20°C no inverno e 25°C no verão e cada localidade com valores graus-dia (GD) diferentes e específicos de concelho para concelho, uma vez que tem em conta a altitude e a distância do local à costa litoral.

Depois da entrada em vigor do primeiro RCCTE, surgiram novas regulamentações sobre sistemas de climatização, tendo sido publicado em 1992 o DL 173/92, Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RQSCE) [14]. No entanto este Regulamento viria a ser suspenso por incompatibilidade com o direito comunitário.

Em 7 de Maio de 1998, surgiu o DL 118/98 – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), que engloba os sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC). Este Regulamento

veio impor limites na potência instalada bem como restrições na instalação e utilização dos equipamentos e sistemas.

Numa tentativa de integrar ações ao nível comunitário, no que diz respeito ao desempenho energético em edifícios, a Diretiva Europeia (2002/91/CE) [13], teve em conta as condições climáticas externas e locais.

A Diretiva apresenta os seguintes objectivos principais:

- ✓ A criação de uma metodologia comum de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios;
- ✓ A aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios novos e dos edifícios já existentes, quando são alvo de grandes obras de renovação;
- ✓ Certificação energética para os edifícios e já existentes e, nos edifícios públicos, a afixação de certificados;
- ✓ Inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado;
- ✓ A avaliação da instalação de aquecimento quando a caldeira apresenta idade superior a 15 anos.

Consequentemente, em 2006, surgiu em Portugal, o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) e ainda um conjunto de incentivos no âmbito de programas nacionais e/ou com participação comunitária com o intuito de apoiar o desenvolvimento dos domínios da eficiência energética e energias renováveis. Criou-se o programa da “Energia Inteligente – Europa”, como resultado da decisão do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu. A Diretiva 2003/1230/CE, com o subdomínio dedicado ao setor dos edifícios, no que respeita à melhoria da eficiência energética e à utilização racional da energia, nos setores dos edifícios e da indústria. Este programa contribuiu para acelerar a realização dos objetivos no domínio da energia sustentável, apoiando a melhoria da eficiência energética, a adoção de fontes de energia novas e renováveis e uma ampla penetração no mercado dessas fontes de energia. A diversificação da energia e dos combustíveis, o aumento da quota de energias renováveis, que de acordo com o que a União Europeia se propôs atingir, foi de passar a quota das fontes de energia renováveis no consumo interno bruto para 12% até 2010, e a redução do consumo final de energia.

2.2. DL 80/2006 – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

O Decreto – Lei 80/2006, de 4 de Abril, que aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [12] que substituiu o DL 40/90 [9], indica as regras a observar no projeto de todos os edifícios, novos e existentes, de habitação e serviços sem sistema de climatização centralizados para que:

- ✓ As necessidades energéticas de um edifício possam vir a ser satisfeitas sem gasto excessivo de energia, sendo estimadas *a priori*, considerando as necessidades de energia para aquecimento (N_{ic}) e para arrefecimento (N_{vc}) do espaço, a necessidade de energia para a produção das águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades de energia primária, para equipamentos e iluminação;

- ✓ Seja obrigatório a instalação de painéis solares para a produção de água quente sanitária, contribuindo para a diminuição da emissão de GEE e da dependência energética do nosso país, e simultaneamente a obtenção de melhores condições de conforto a custos mais baixos;

- ✓ A minimização de situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais e dos elementos da envolvente do edifício, que tem potencial influência negativa na durabilidade dos elementos de construção e a na qualidade do ar interior.

Assim o RCCTE assenta, no pressuposto de que uma parte significativa dos edifícios terão meios de promoção das condições ambientais de comportamento térmico nos espaços interiores, quer no inverno quer no verão, e impõe limites aos consumos que decorrem da sua potencial existência e uso. Os consumos padrão, no subsector residencial, uma vez que a existência de equipamentos ou mesmo de sistemas instalados, não significa o seu uso permanente, tendo em conta o tradicional no conforto doméstico que o clima naturalmente favorece. Neste contexto o Regulamento fixa as condições ambientais de referência para o cálculo dos consumos energéticos nominais segundo padrões típicos admitidos como os médios prováveis, quer em termos de temperatura ambiente, quer em termos de ventilação para renovação do ar e garantia de uma qualidade do ar interior aceitável, alargando desta forma, as

suas exigências ao definir objetivos de previsão de taxas de renovação do ar adequadas que os projetistas devem obrigatoriamente satisfazer.

3. Domótica

3.1 Introdução à domótica

A domótica, também conhecida com as denominações de “*smart building*” e “*intelligente building*”, surge no início da década de 80, nos Estados Unidos da América. Um edifício inteligente difere de um edifício tradicional por dois motivos: um primeiro porque utiliza dispositivos que desempenham funções extras que contribuem para a gestão do edifício, substituindo ou complementando os tradicionalmente utilizados; e um segundo porque utiliza conceitos modernos de arquitetura e de construção, que possibilitam o uso mais eficiente de fontes naturais de energia, reduzindo o consumo dos equipamentos de iluminação, de ventilação, de aquecimento e de arrefecimento, e conseqüentemente o consumo de energia, [3]. Estes conceitos expostos encontram-se sintetizados na figura 1.



Figura 1 - Edifícios inteligentes

Fonte: Barros, 2010

O termo domótica resulta da junção da palavra do latim “*domus*”, que em latim significa casa e da palavra robótica, com origem no checo “*robot*”, que significa controlo automatizado de algo. Este termo designa a utilização da eletrónica e da informática para melhorar a funcionalidade e o conforto de uma casa ou de um edifício. É uma tecnologia, que ainda não está completamente consolidada, mas que será seguramente uma referência obrigatória no que respeita à construção de novos edifícios. As designadas “casas inteligentes”, resultam, da contribuição de áreas que em geral não se encontram no projeto e na construção de habitações, como a mecânica e a eletrónica em colaboração com os profissionais de construção civil e arquitetura. É um novo domínio que

visa a automação da habitação, através do seu controlo e monitorização, na qual são interligados os diversos sistemas de apoio à sua exploração.

Com o desenvolvimento da domótica existem circuitos prontos a ser implementados que controlam, averiguam e comparam as mais variadas funções, todos com o objetivo de automatizar o ambiente doméstico. A interligação dos diversos circuitos, sensores ou automatismos, em geral centralizados, têm por missão controlar todos os circuitos implementados nas “casas inteligentes” [6].

Os sistemas domóticos oferecem vantagens, através, do aumento do nível de conforto e de segurança, da automatização de tarefas e da poupança de energia. A poupança de energia, pode ter vários aspetos, tais como, implementação de políticas de programação horária, em que determinados equipamentos entram em funcionamento quando a energia é mais barata, como as máquinas de lavar roupa e loiça; o funcionamento presencial, desligar as luzes e o ar condicionado quando as divisões estão vazias e controlar os gastos de água; utilização da energia solar e eólica [8]. No entanto os sistemas domóticos oferecem como desvantagens um custo de investimento elevado, a necessidade de recorrer a técnicos especializados, e no caso de se optar por uma tecnologia proprietária, isto é uma tecnologia patenteada por uma empresa, poderá ficar dependente de um fabricante, impossibilitando recorrer a outros técnicos para manutenção do equipamento ou para resolução de uma avaria do equipamento. [6].

As necessidades do homem estão ligadas ao ambiente em que ele vive. A habitação de cada pessoa deve adaptar-se às suas necessidades, o que requer uma evolução continua ao longo tempo. A domótica pretende satisfazer essas necessidades oferecendo uma melhor qualidade de vida em necessidades como:

- ✓ Manter a temperatura ambiente agradável em todas as estações do ano, requerendo equipamentos de climatização reguláveis, com menor consumo de energia;
- ✓ Dispor de iluminação suficiente em todas as divisões da casa, para um maior conforto visual;
- ✓ Gerir os recursos necessários como o consumo da energia e da água.

O sistema domótico é um sistema composto por diversos elementos distribuídos pelo edifício ou pela habitação, de forma integrada, no qual existe um único componente, que se encarrega de monitorizar toda a rede domótica, [6]. Um exemplo desse sistema é mostrado na figura 2.

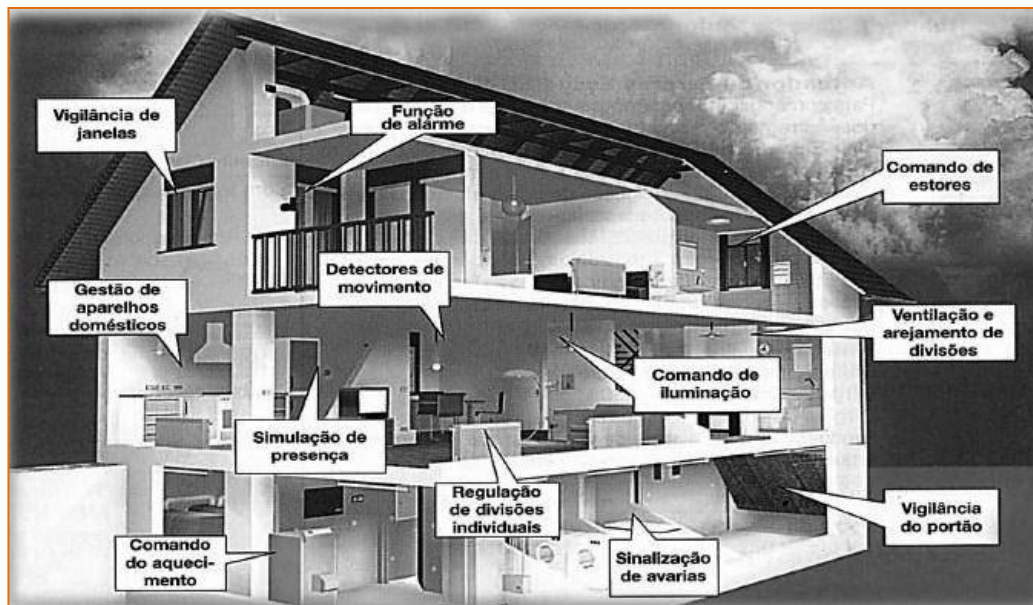


Figura 2 - Sistemas e serviços oferecidos num edifício inteligente

Fonte: <http://images.google.com>

A utilização do sistema pode ser feita de acordo com as necessidades dos utentes. Os sistemas de automação residencial devem possuir capacidade de “inteligência” distribuída e a interação com os diversos subsistemas (eletrodomésticos, ar condicionado, iluminação, águas sanitárias, painéis solares, sensores de presença, dispositivos de sombreamento, janelas e portas). A integração de todos os dispositivos e seu controlo deve ser integrado num único controlador, possibilitando ao utilizador gerir, programar, alterar e controlar os dispositivos sempre que necessite, de uma forma simples e eficaz.

Nos sistemas passivos (solares ou de segurança), o sistema reage só quando lhe é transmitida uma ordem, dada diretamente pelo utilizador ou por um comando. Nos sistemas mais avançados, não só interpreta ordens, como reage à informação que é transmitida pelos sensores, como detetar que uma janela está aberta e avisa o utilizador, ou que a temperatura está a diminuir e liga o aquecimento. Antes da aquisição de qualquer sistema devem ser ponderadas as funções que se pretendem realizar e em função das necessidades verificar a possibilidade de execução.

A automação de um espaço visa sobretudo o nosso conforto, sendo por isso as duas funções mais importantes: o controlo e a regulação da temperatura e o controlo e a regulação da iluminação. No entanto o conforto na utilização de um espaço está associado à dependência de equipamentos e do seu controlo por parte dos utilizadores.

3.1.1 Características de um sistema domótico:

A arquitetura de um sistema domótico verifica e expõe o modo como os componentes de uma rede domótica se interligam. A arquitetura de um sistema domótico pode ser subdividida em arquitetura centralizada, conforme é exemplificado na figura 3 ou descentralizada, como exemplifica a figura 4. A arquitetura centralizada é caracterizada por existir um elemento central, onde é transmitida toda a informação em relação ao que se passa na rede. Tem como vantagem de ser económica, de retirar a capacidade de processamento dos diversos dispositivos e de centralizar somente num único dispositivo a capacidade de decisão. Por outro lado a arquitetura descentralizada é caracterizada por não possuir nenhum dispositivo central, sendo mais flexível e com menor probabilidade de ocorrência de falhas na rede domótica e no caso de acontecerem deteta e impede o funcionamento do elemento com falhas não interferindo com os restantes, [6].

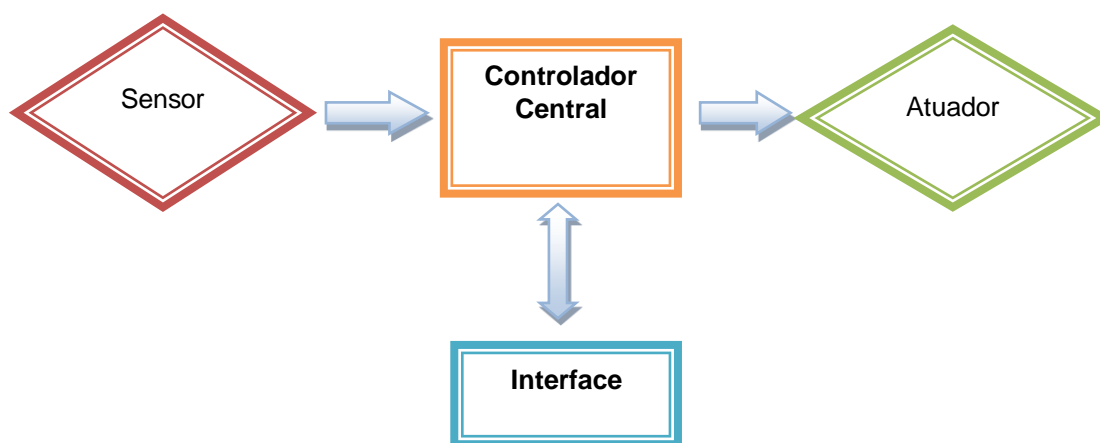


Figura 3 - Arquitetura centralizada

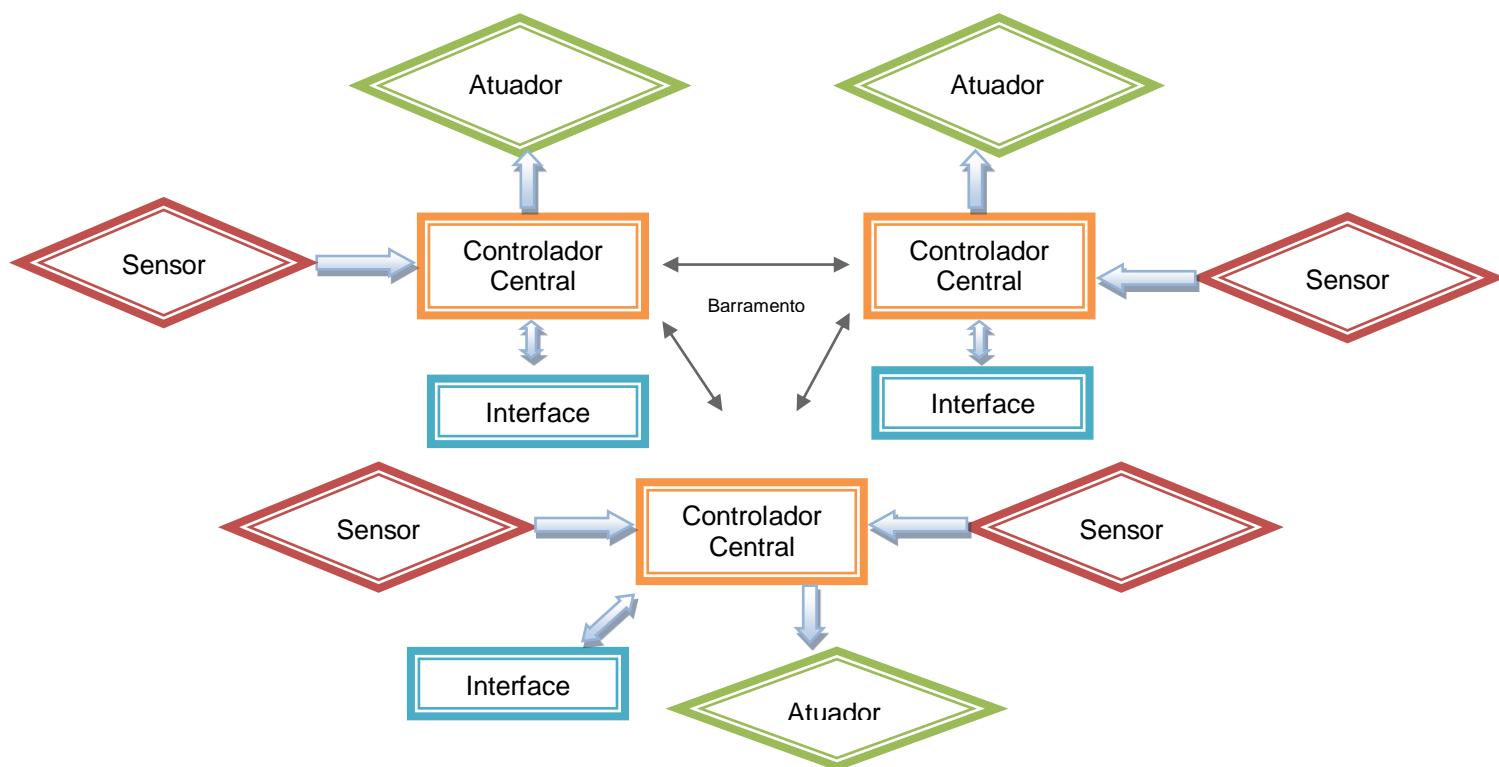


Figura 4 - Arquitetura descentralizada

O meio de transmissão é o suporte físico onde ocorre o fluxo de informação dos diversos dispositivos de uma rede domótica, a qual suporta vários meios de comunicação, interligados por *Gateways* (dispositivo intermediário geralmente destinado a interligar redes, como por exemplo *routers*²). A transmissão de dados pode ser feita de acordo com os seguintes meios de comunicação:

✓ Cablagem metálica: normalmente utilizada nas redes telefónicas, nas distribuições de áudio-vídeo, som de alta-fidelidade e dados. As vantagens deste meio são a fiabilidade e a boa velocidade de transmissão e as desvantagens devem-se ao grande investimento necessário para a sua aplicação;

✓ Rede eléctrica: utiliza a rede já instalada na habitação, que através dos sinais modulados a altas frequências, não interfere com a restante instalação. Tem como vantagem o baixo custo de implementação e como desvantagem a baixa velocidade de transmissão;

² Router, é um equipamento usado para partilhar a sua ligação à internet por vários equipamentos.

✓ Fibra ótica: a transmissão dos dados é feita através de sinais luminosos. As vantagens são a diminuição de perda de dados e de repetidores e não tem interferências na transmissão dos dados;

✓ Infravermelhos: são utilizados equipamentos de áudio e vídeo, devido a possuir uma enorme imunidade de interferência eletromagnética;

✓ Radiofrequência: utilizada para controlos remotos que necessitam de percorrer grandes distâncias, apresentando como desvantagens a velocidade de transmissão ser muito baixa, e a susceptibilidade a interferências eletromagnéticas, [6].

O sistema domótico é composto pelos seguintes elementos:

✓ Controladores: atuam sobre o sistema, quer de forma automática, quer por decisão tomada por uma central domótica previamente programada, quer por computadores, teclados, ecrãs táteis, interruptores, comandos à distância por infravermelhos, por radiofrequência, telefone, SMS ou mesmo internet. Gerem e recebem a informação dos sensores transmitindo-a aos atuadores. Emitem ordens que necessitam de um meio de transmissão. Este sistema funciona da seguinte forma: sistema de controlo (Entrada – Decisão – Saída), ou seja, primeiro recebe a informação, depois analisa e decide e por fim atua. Na figura 5 é indicado um exemplo de um controlador;



Figura 5 – Controlador

Fonte: domotica.areasdeservico.com

✓ Meio de transmissão: fibra ótica, Bus dedicado³, rede elétrica, linha telefónica;

✓ Atuadores: recebem as ordens e transformam-nas em sinais de aviso, de regulação ou de comutação. Os atuadores exercem ações sobre os elementos da casa. Na figura 6 são indicados alguns exemplos de atuadores;

³ Bus dedicado: meio de transmissão primário, responsável pelo estabelecimento entre a interacção de vários elementos.

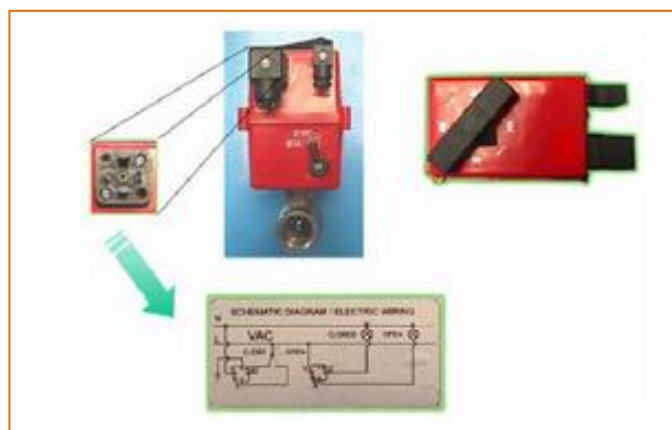


Figura 6 – Atuadores

Fonte: pt.scribd.com

✓ Sensores: fazem a aquisição de dados e têm como principal função o entendimento do sistema. Estes dados podem ser ordens diretas aos atuadores ou podem ir previamente para uma central domótica, que em função da programação que previamente lhe foi introduzida dará uma ordem final ao atuador correspondente. São exemplos de sensores, os detetores de fuga de gás e ou de incêndio, de concentração de monóxido de carbono, de presença de pessoas, de iluminação, [24]. Na figura 7 apresenta-se um exemplo de um sensor.



Figura 7 – Sensor de presença de pessoas

Fonte: domotica.aredecervico.com

3.1.2 Principais funcionalidades e aplicações da domótica:

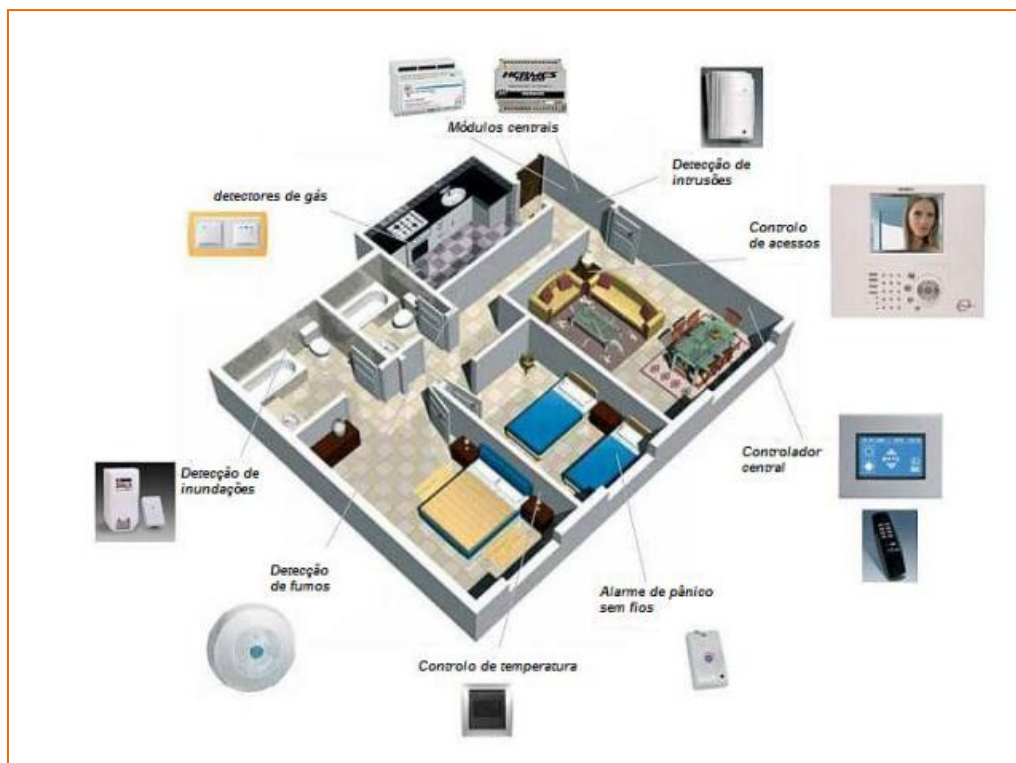


Figura 8 - Esquema exemplificativo de um sistema de domótica

Fonte: Pereira et al, 2011 [22]

Como referido anteriormente, as funções domóticas permitem-nos satisfazer um número considerável de necessidades. Podem-se definir em três grandes classes de funções segundo o tipo de “serviço” a que se destinam, dividindo-se em subfunções elementares:

Função de gestão: tem como objetivo automatizar um certo número de ações sistemáticas, que se relacionam principalmente com o conforto. As automatizações realizam-se segundo uma programação, um controle dos consumos e uma manutenção.

As subfunções elementares desta função são:

✓ **Iluminação** – controlo e regulação. Em espaços de passagem, em edifícios de habitação ou de serviços, a iluminação pode ser acionada por detetores de movimento, regulando-se a luminosidade mínima e o tempo de funcionamento após a deteção. O fluxo luminoso dos aparelhos de iluminação comandados pelos detetores pode alternar em dia e noite, para que durante o

período noturno o fluxo luminoso seja mínimo, suficiente para a circulação. As figuras 9 e 10 apresentam exemplos de controlo de iluminação [24].



Figura 9 - Controlo de iluminação

Fonte: Nunes at all



Figura 10 - Controlo de iluminação em função da luz natural

Fonte: Nunes at all

✓ Aquecimento/Arrefecimento – energia, controlo e regulação. Com a integração do sistema de domótica, é permitido gerir-se o funcionamento do sistema de climatização. Quando o sistema deteta a abertura de uma janela, desliga imediatamente o aquecimento nessa divisão, permitindo a redução do consumo de energia. O sistema de domótica não atua apenas em função da temperatura interior e da temperatura pretendida, mas tendo em conta também o valor da temperatura exterior.

Em edifícios de habitação, os sistemas de aquecimento central utilizam radiadores dispersos no edifício, ou através de pisos radiantes (onde é colocada uma serpentina sob o revestimento do pavimento, percorrida por água a uma temperatura ligeiramente inferior à temperatura ambiente).

Os sistemas de arrefecimento utilizados usualmente são os de ar condicionado que também servem para o aquecimento. O controlo de temperatura é efetuado automaticamente a partir de medições dispersas pelo edifício, ou de acordo com as instruções fornecidas pelo utilizador através de termostatos, teclas, telemóveis ou consolas com *software* de supervisão. Os programas automáticos são escolhidos e alterados pelo utilizador, sendo normalmente constituídos por ciclos de funcionamento horário, diário/semanal, tendo em conta a temperatura interior e a temperatura exterior, [24]. A figura 11 exemplifica como atua o sistema de controlo de climatização.

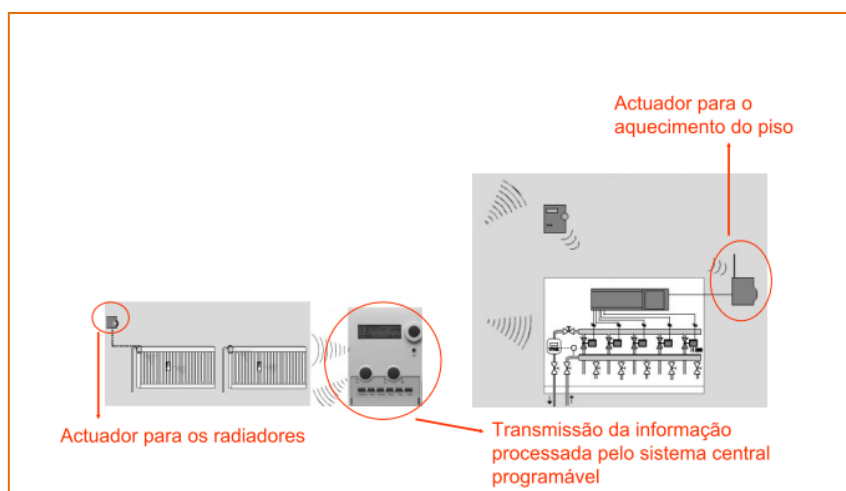


Figura 11 - Controlo de climatização

Fonte: Nunes at all

✓ Janelas e dispositivos de sombreamentos: o controlo da abertura e fecho de dispositivos de sombreamento é uma funcionalidade característica dos sistemas domóticos. Esta deve ser acompanhado pelo controlo da posição respetiva, sendo regulado por fatores como o ciclo diário/semanal, a iluminação, comandos gerais locais, remotos e à distância e simulações de presença. Por exemplo, no caso de um sensor de temperatura detetar um valor que esteja acima de um valor pré-estabelecido, o sistema atuará sobre os dispositivos de sombreamento, fazendo com que estes se fechem, atuando também sobre o ar condicionado de modo a ter-se uma temperatura ambiente de acordo com a temperatura escolhida, [3]. A figura 12 indica o sistema de controlo de persianas.

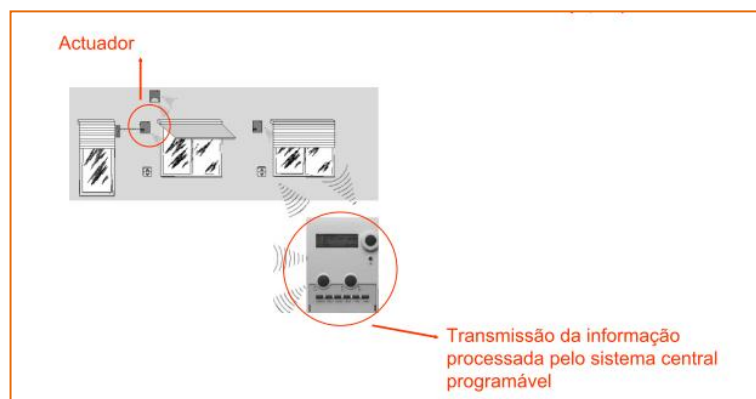


Figura 12 - Controlo de Persianas

Fonte: Nunes et al

Função de controlo: permitem dar ao utilizador informações sobre o estado de funcionamento dos equipamentos e das instalações que os integram e a criação de um registo dos diversos parâmetros e eventualmente fornecerem comandos corretivos. A sua actuação é sobre os dispositivos de regulação das instalações, com a finalidade de que as tarefas programadas sejam respeitadas. As suas subfunções elementares são:

✓ **Segurança:** o sistema de domótica pode atuar a diversos níveis de segurança, auxiliado por sensores que permitem detetar fugas de gás, e no caso de existir uma fuga, envia um alarme e em certos casos o sistema possibilita o corte do funcionamento do gás, permitindo atuar sobre os equipamentos elétricos, desligando todos os equipamentos não imprescindíveis [6].

✓ **Gestão técnica:** permitem garantir a eficiente monitorização do estado de funcionamento e anomalias de todos os aparelhos de proteção elétrica. É necessário projetar e equipar os quadros elétricos de dispositivos necessários para que o sistema de domótica conheça o estado de funcionamento dos diversos aparelhos de proteção, e em caso de disparo, avaria ou intervenção, possa atuar de acordo com os procedimentos estabelecidos, [22].

✓ **Software de supervisão:** permitem alterar parâmetros de conforto e segurança, consulta de eventos, análise de gráficos de tendência. O utilizador pode local e remotamente, consultar os registos dos alarmes técnicos ou de segurança, visualizar imagens captadas no edifício, ou visualizar a evolução das temperaturas no interior e exterior, [24].

Função de comunicação: o serviço de comunicação aplica-se à interatividade de equipamento – utilizador, tanto aos equipamentos por meio de cabos como por outros sistemas de comunicação [5]. Esta função tem como subfunções elementares:

✓ **Comunicação e controlo:** com a ajuda das funções de controlo e de gestão, possibilita a interligação dos vários dispositivos entre si e com o operador do sistema, permitindo ao utilizador receber sinais dos sistemas através de áudio, de textos, de dados e de imagens e de acordo com a programação de cada um e o controlo efetuado. A comunicação pode ser realizada através da utilização de cabos de comunicação convencional ou utilizando comandos à distância, recorrendo a dispositivos infravermelhos, ultra-sons ou rádio frequência, [4].

3.2 Tecnologias domóticas

3.2.1 Introdução

Hoje em dia, existe uma grande diversidade de sistemas domóticos, tornando-se o mercado altamente competitivo. Atualmente existem um grande número de soluções comerciais baseadas em vários protocolos criados para sistemas de automação de edifícios. Um protocolo é a especificação de um conjunto de regras que diversos equipamentos respeitam para trocar informações. Usam-se como linguagem de comunicação entre os módulos processadores responsáveis pelo controlo de atuadores e monitorização de sensores.

Das principais tecnologias domóticas existentes no mercado podem-se referir os sistemas inicialmente desenvolvidos nos Estados Unidos, como o *X-10*, o *Consumer Electronics Bus (CEBus)*, o *LonWorks*, e o *Smart House* (casa inteligente) que foram criados na segunda metade dos anos oitenta. Na Europa, os sistemas inicialmente desenvolvidos foram o *European Installation Bus (EIB)*, o *European Home Systems (EHS)* que são protocolos criados com base nos requisitos e restrições que a automação doméstica exige, e o *BatiBUS* que é um protocolo promovido por um grupo de empresas em França, em 1998. Todos estes protocolos de comunicação são geridos normalmente

por instituições ou associações, criadas especificamente para o efeito, como é o caso da EIBA, que trata de tudo o que diz respeito ao protocolo *EIB*, [4].

Em Portugal, as tecnologias domóticas mais conhecidas e utilizadas são os sistemas de automação *X - 10* e o sistema *EIB/KNX*, que serão aprofundados nesta dissertação.

3.2.2 Sistemas de automação – protocolo X-10

O protocolo *X - 10* é atualmente uma tecnologia comercial bastante divulgada, que apresenta baixos custos e grande facilidade de instalação. Desenvolvido em 1976 pela empresa escocesa *Pico Eletronics Ltda*. O seu primeiro produto *X - 10* vendido ao público foi em 1978, tendo a partir dessa data, fazer parte de muitas habitações.

Trata-se do padrão internacional de comunicação de rede elétrica mais antigo e usado nas aplicações domóticas, com o objetivo de transmitir dados por linhas de baixa tensão (110 – 220 volts). A vantagem da utilização deste protocolo, deve-se à utilização da rede elétrica o que implica não ser necessário a colocação de novas instalações em caso aquisição deste sistema, [6]. Foi desenhado de forma a poder ser instalado em edifícios de pequenas dimensões, como frações ou edifícios de habitação (condomínios), para aplicações autónomas não integradas, e com uma arquitetura descentralizada, [4]. A sua finalidade é monitorizar e controlar os sistemas de iluminação, de ventilação, de ar condicionado, através de dispositivos que comunicam pela internet ou via *SMS*, com integração com sistemas de *wireless*; de exercer e controlar sistemas de segurança e de prevenção de acidentes (deteção de fumos, incêndios e inundações), [4].

Atualmente o protocolo suporta a comunicação via Radiofrequência (RF), em que os módulos que já não utilizam a rede elétrica, comunicam entre si utilizando ondas de rádio. No entanto, nem todos os atuadores recebem comandos de RF, para tal existem dispositivos que recebem comando de RF e em seguida, transmitem para a rede elétrica, servindo de ponte entre o controlo remoto e os atuadores sem recetor RF.

Os dispositivos que integram este protocolo de comunicação dividem-se em duas categorias: atuadores e recetores. Os recetores, indicados na tabela

1, subdividem-se em módulos de lâmpadas e módulos de aplicativos. Os primeiros têm como função ligar ou desligar e efetuar a diminuição ou aumento do nível de intensidade de luminosa das lâmpadas incandescentes; os segundos são utilizados para ligar ou desligar qualquer aplicativo que se encontre conectado a ele. Os atuadores, referidos na tabela 2, são dispositivos que permitem controlar os equipamentos que se encontram conectados aos recetores instalados, que na sua maioria apresentam interruptores para o envio de comandos aos dispositivos, podendo ser feito de forma manual, automática e programada, uma vez introduzido no sistema de cronómetros e sensores.

Recetor	Aplicação
<u>Módulo lâmpada</u>	Ligar, desligar e regular a intensidade luminoso das lâmpadas
<u>Módulo equipamento</u>	Ligar, desligar qualquer equipamento
<u>Tomada de corrente elétrica</u>	Controlar (ligar, desligar) equipamentos conectados
<u>Módulo universal</u>	Controlar (abrir, fechar) sistemas de baixa voltagem, controladores de cortinas, portas automáticas e persianas
<u>Sonorizador</u>	Produzir avisos sonoros
<u>Sirene</u>	Alarme para sistemas de segurança

Tabela 1 - Recetores do protocolo X – 10

Atuador	Aplicação
<u>Interruptor</u>	Ligar, desligar e dimensionar o brilho das lâmpadas
<u>Controlador</u>	Ligar, desligar e dimensionar o brilho das lâmpadas
<u>Temporizador</u>	Programação de eventos (ligar, desligar e dimensionar)
<u>Resposta telefónica</u>	Recebe comandos através de tons telefónicos e envia-os como comandos X – 10 aos equipamentos
<u>Computador</u>	Programação de eventos através de sinais recebidos e enviados através de uma placa de comunicação

Tabela 2 - Atuadores do protocolo X – 10

Uma rede de dispositivos X – 10 é composta por atuadores que estão normalmente ligados ao servidor da aplicação (computador por exemplo) e este envia as ordens aos recetores utilizando a rede elétrica existente. Por sua vez, acionam o comando que receberam dos atuadores, tipo: on, off, abrir, fechar equipamentos, [4]. A figura 13 exemplifica uma rede de dispositivos X – 10.

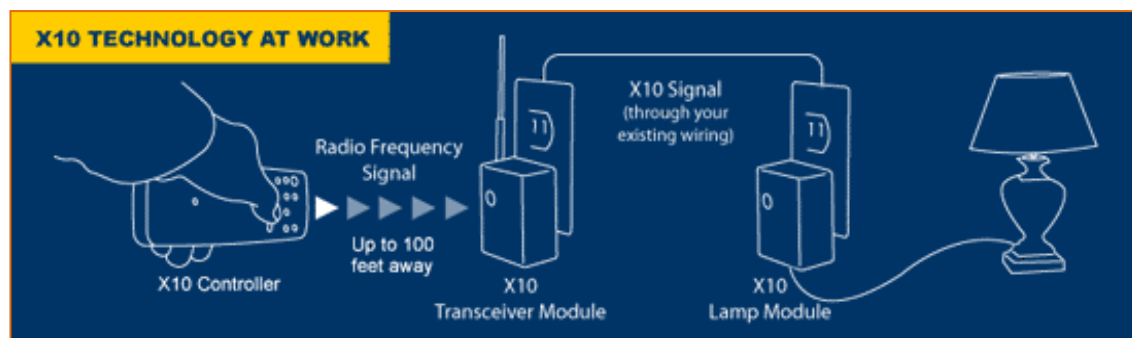


Figura 13 - Rede de dispositivos X - 10

Fonte: <http://www.prof2000.pt/users/lpa>

O protocolo X – 10 implementa um sistema simples de endereçamento constituído por duas partes: código de casa (*house code*) que é composto por letras de A a P de unidade (*unit code*) correspondente a uma zona de um determinado circuito de comando e tem também 16 posições de 1 a 16, podendo o sistema ter até 256 dispositivos, [4].

As vantagens que este protocolo apresenta, em relação aos restantes, são:

- ✓ Utilização da rede elétrica tradicional como meio de comunicação entre os diversos dispositivos, não necessitando de uma rede de tubagem adicional;
- ✓ Não necessita de uma unidade central, permitindo que os módulos comuniquem diretamente entre si;
- ✓ De fácil instalação e utilização;
- ✓ Os equipamentos são de baixo custo;
- ✓ Não necessitam de técnicos especializados para fazer a sua instalação.

No entanto, o protocolo apresenta como desvantagens:

- ✓ Os sinais do protocolo X – 10 podem ser degradados ou alterados por equipamentos de corrente elétrica, nomeadamente alguns tipos de fontes de alimentação;
- ✓ Não detetam nem aceitam colisões, ou seja, se dois comandos X – 10 forem enviados ao mesmo tempo, existe a possibilidade que não cheguem ao destino;
- ✓ Operam apenas em funções simples, do género, liga/desliga e o controlo de intensidade luminosa.

3.2.3 Sistema de automação - protocolo EIB/KNX

O protocolo *European Installation Bus (EIB)*, existe há mais de 10 anos pela *European Installation Bus Association (EIBA)*, sediada em Bruxelas e da qual são membros efetivos 98 empresas internacionais. A sua projeção permitiu um controlo distribuído para a gestão e a monitorização de edifícios de grande envergadura, tais como, escritórios, escolas, hospitais e fábricas. O seu principal objetivo foi de criar uma norma europeia que permitisse a comunicação entre vários dispositivos de uma instalação.

O protocolo *EIB* é usualmente implementado como um sistema descentralizado, que interliga todos os componentes sem recorrer à utilização de uma unidade central de processamento. Os seus componentes dividem-se em 3 classes: os alimentadores, os sensores e os atuadores e a comunicação entre os atuadores e os sensores que é feita directamente.

As suas aplicações são ao nível do controlo de luzes, dos dispositivos de sombreamento e dos sistemas de ventilação e incluem também o controlo total de ambientes, de salas de áudio, de acesso de controlo a distância por rede e internet e inteligência artificial que atuam de acordo com as condições ambientes exteriores, como o vento e a chuva, [4].

Em 1999, foi criada a *KONNEX (KNX)*, com o objetivo de obter um *standard* Europeu para a automação de edifícios e melhorar a prestação de serviços dos vários meios físicos; introduzindo novos modos de funcionamento como a filosofia *Plug&Play*⁴ aos vários dispositivos numa casa, juntando as empresas fornecedoras de serviços como as de telecomunicações e as de eletricidade para um controlo da habitação à distância. A *KONNEX* juntou os sistemas *EIB*, *BatiBUS* e *EHS*, criando dessa forma uma única norma europeia capaz de oferecer qualidade e que permitiu competir com outros sistemas como o *LonWorks* ou o *CEBus*, [23]. Hoje em dia, esta norma é compatível com a *EIB* e foi baseada na comunicação desta e contempla os modos de configuração do *BatiBUS* e *EHS*, juntando o melhor das três tecnologias, [4].

Os modos de configuração do *KNX* são, [23]:

✓ *S – mode* ou *System – mode*: é a configuração proveniente do *EIB*. Os dispositivos são instalados e configurados por profissionais através da

⁴ Plug&Play: Tecnologia ligar e usar.

ferramenta ETS. É o mais utilizado do *KNX* sendo o mais flexível permitindo maiores níveis de funcionalidade e de adaptação às particularidades de cada habitação;

✓ *E – mode* ou *Easy – mode*: é a configuração fácil do sistema. O dispositivos vêm pré-programados de fábrica para a realização de uma certa função, sendo configurados no local da instalação utilizando um controlador ou através de micro-interruptores presentes nos dispositivos, com alguma semelhança face ao que é feito na tecnologia *X–10*;

✓ *A–mode* ou *Automatic–mode*: é o modo *Plug&Play* do *KNX*. Este modo visa a simplicidade de instalação por parte de um utilizador comum e não necessita de qualquer configuração. Foi pensado para a instalação de eletrodomésticos e equipamentos de entretenimento (vídeo-jogos e multimédia).

Com este protocolo a configuração dos sistemas domóticos não se torna simples. A configuração do *s–mode* baseia-se na configuração existente e alguns dispositivos suportam a configuração do *e–mode*. Comparando o *KNX* com o *X–10*, o primeiro é mais robusto e implementa um protocolo real de comunicação, com re-transmissões, não estando imune a problemas de comunicação sobre rede elétrica, originando a ocorrência de falhas e apresenta o problema de ruído que o *X–10* mostra.

A implementação do sistema *KNX* tem de ser feita por um técnico especializado, sendo necessário recorrer à ferramenta ETS, aumentando os custos finais de instalação. Outra questão é o fato das novas configurações não serem simples, por exemplo se um utilizador quiser alterar uma preferência ou definição num dispositivo ou no sistema terá que carregar toda a configuração e o respetivo código dos dispositivos em questão para os mesmos, sendo necessário que alguns dispositivos domóticos parem de funcionar durante o tempo da configuração da instalação. No caso da introdução de um novo dispositivo no sistema também origina-se o mesmo problema, uma vez que toda a configuração terá de ser carregada para o novo dispositivo e para os que com ele interatuam, [23].

3.3 Sistemas domóticos que participam no conforto e temperatura interior da habitação

3.3.1 Introdução

Quando se pensa em conforto dentro de uma habitação pensa-se obrigatoriamente em climatização. A integração tecnológica de um sistema de domótica permite o funcionamento do sistema de climatização, tendo em conta as informações relativas aos restantes sistemas. A regulação do sistema de climatização depende do tipo de climatização escolhido. Para o caso em estudo o controlo de janelas e o controlo e regulação de persianas são fatores importantes.

No controlo de janelas, quando o sistema de domótica deteta a abertura de uma janela, desliga imediatamente o aquecimento nessa divisão, permitindo assim a redução do consumo de energia que de outra forma seria desperdiçada. O controlo da abertura e fecho de persianas é uma funcionalidade típica dos sistemas de domótica, sendo o seu funcionamento parte integrante de todo o sistema. Este controlo deve ser acompanhado pelo efetivo controlo da posição respetiva, sendo regulado pelos seguintes fatores: ciclo diário/semanal, intensidade luminosa máxima e constante, comandos gerais locais e remotos, comandos à distância e simulação de presença.

Feita uma pesquisa a várias empresas distribuidoras de sistemas de domótica, escolheram-se as duas empresas (empresa A e B), que gentilmente forneceram orçamentos que permitiu ter uma noção do investimento inicial necessário para a implementação de um sistema de domótica na fração em estudo.

3.3.2 Sistema de automação – Domus

O sistema de automação Domus é o sistema distribuído pela empresa A e composto por componentes qualificados para construir os sistemas domóticos básicos que convertem a habitação numa casa inteligente. A sua instalação é feita em paralelo com a instalação elétrica da habitação, sendo fácil optar-se por um funcionamento manual ou automático, ou seja, no caso manual, quando a domótica está desligada, todos os dispositivos elétricos (luzes, estores,

aquecimento/arrefecimento) ficam a funcionar de modo tradicional. O sistema é constituído por vários componentes, sendo eles:

✓ Painel LCD: é o componente que funciona como o “cérebro” de todo o sistema e proporciona uma interação simples e agradável com o utilizador, fazendo também o controlo das várias entradas e saídas de comunicação, que com apenas um toque do dedo possibilita o controlo de uma série de funções, navegando por menus e submenus que permitem a ativação/desativação momentânea ou programada dos dispositivos conforme indicado na figura 14;



Figura 14 - Painel LCD distribuído pela JG Domótica

Fonte: www.jgdomotica.com

✓ Módulos sensores: são componentes instalados por toda a habitação. Recebem e emitem informações ao painel central que gere a ativação ou desativação dos sistemas automatizados. Cada um dos módulos de sensores inclui um detetor de movimentos, um sensor de iluminação, um sensor de temperatura, um recetor e um emissor de infravermelhos. A figura 15 apresenta um exemplo de um sensor;



Figura 15 - Módulo de Sensor

Fonte: www.jgdomotica.com

✓ Controlo de caldeira: é um elemento eletrónico, conforme indicado na figura 16, que regula o desempenho da caldeira de acordo com as necessidades de aquecimento da habitação;

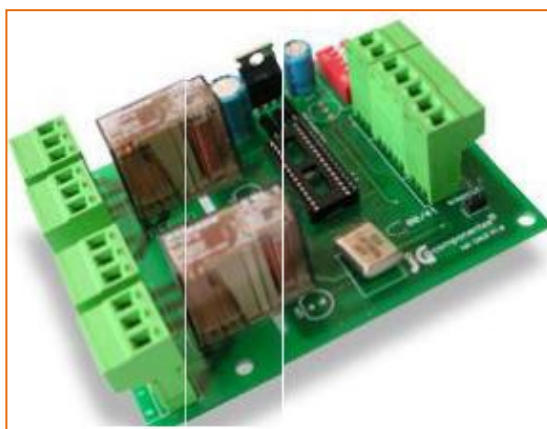


Figura 16 - Controlador de caldeira

Fonte: www.jgdomotica.com

✓ Material de Quadro elétrico: é no quadro de automação que são efetuadas a maioria das ligações de todos os periféricos do sistema, para que todos os dispositivos que não liguem aos módulos de sensores sejam ligados no quadro, figura 17;



Figura 17 - Quadro de automação

Fonte: www.jgdomotica.com

✓ U.P.S: é um dos elementos do sistema Domus. Trata-se de uma fonte de alimentação ininterrupta (UPS), figura 18, para a manutenção do sistema em caso de ocorrência de falha de energia por tempo predefinido;



Figura 18 - U.P.S.

Fonte: www.jgdomotica.com

- ✓ Telecomandos: todas as funções do sistema podem ser controladas por um comando de infravermelhos, para que exista um maior conforto;
- ✓ Marcador telefónico: é o módulo utilizado para efetuar uma ou várias chamadas pré-gravadas, em caso de alarme ou emergência;
- ✓ Sirene: é ativada em caso de deteção de presença ou movimento, deteção de gases, de fumo ou de fogo, figura 19.



Figura 19 - Sirene

Fonte: www.jgdomotica.com

O sistema Domus é composto por dois tipos de sistemas, o sistema básico que controla na sua configuração básica dos sistemas domóticos: climatização, iluminação e alarme e os sistemas opcionais, que permitem a versatilidade de crescer e adaptar o sistema Domus à habitação consoante as necessidades domóticas, sendo eles o controlo de persianas, detetores de incêndio, de inundação e de fuga de gás. Para o caso em estudo interessa perceber como funciona controlo de persianas e o controlo de climatização.

O controlo da climatização proporciona ao utilizador um ambiente agradável e ao mesmo tempo permite uma redução do custo de energia. Cada módulo de gestão, por divisão, possui no módulo de sensor, um sensor térmico que permite uma gestão local da temperatura, podendo a mesma estar em modo manual, automático ou programa. Em modo manual, os dispositivos de climatização (radiadores e ar condicionado) são ligados ou desligados, sem

existir interação com a temperatura medida. Em modo automático é o utilizador que define uma temperatura pretendida e o sistema ativa/desativa os dispositivos de acordo com a temperatura medida na divisão.

No modo programa existem dois tipos de programa: um para dias-de-semana, outro para fins-de-semana, podendo ser a programação em cada um deles individual ou global. Cada programa define a temperatura para as 24 horas do dia, permitindo ao utilizador definir o intervalo de tempo e a temperatura pretendida. Os métodos de controlo da temperatura são independentes do tipo de dispositivo utilizado para a climatização (radiadores a água ou elétricos, piso radiante, ar condicionado, ventiloconvectores), possibilitando a interação de controlo de temperatura com as persianas, por exemplo, no caso de uma subida repentina de temperatura devido ao bater do sol, as persianas fecham, acontecendo o mesmo numa situação inversas.

A figura 20 exemplifica o modo como se pode definir o controlo de aquecimento.

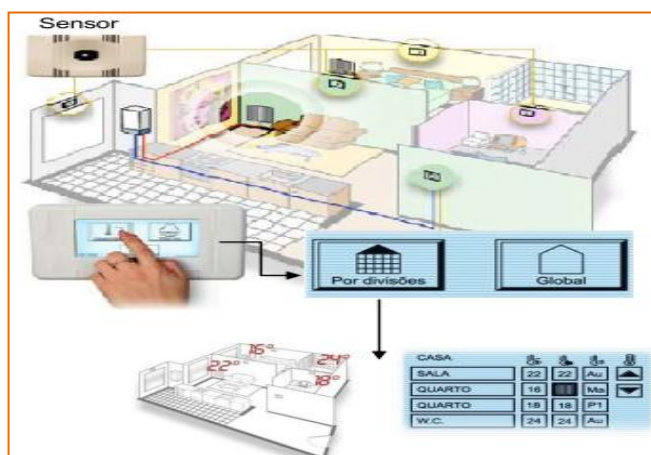


Figura 20 - Exemplo de controlo de aquecimento

Fonte: adaptado de www.jogdomotica.com

No caso do controlo de persianas, o sistema Domus controla todo o tipo de persianas monitorizadas, podendo ser controladas manualmente ou automaticamente. Cada persiana de uma divisão pode ser controlada localmente pelas teclas de parede convencionais ou por telecomandos de domótica; ou através dos meios disponíveis no sistema (unidade central, telemóvel, internet). Permite a definição de programas horários, sendo possível definir: a hora/minuto, o nível de intensidade luminosa exterior e a posição desejada para a persiana; uma ação nas persianas quando se liga ou desliga o

alarme. Podem ser alimentados por uma U.P.S.⁵ em caso de falha de corrente e interagirem com o controlo de iluminação automática, ou seja, quando é detetada a presença na divisão os estores abrem para deixar a luz exterior permitindo o apagar da luz artificial.

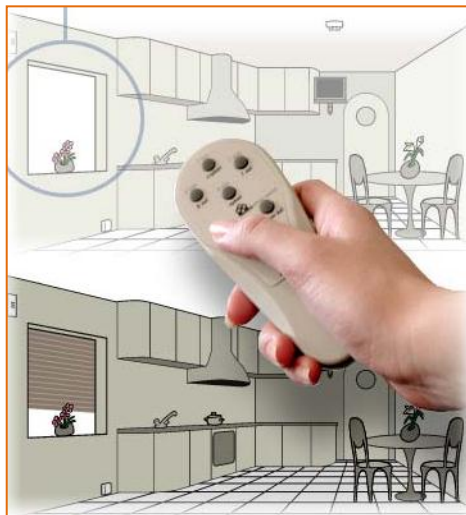


Figura 21 - Controlo de estores

Fonte: www.jgdomotica.com

3.3.3 Sistema de automação - LogicHome

O sistema de automação LogicHome é distribuído pela empresa B. É constituído por uma rede (ou um conjunto de redes interligadas) de controlo, composta por módulos inteligentes que interagem e comunicam entre si através de um protocolo de mensagens orientado para as funções de domótica. Este protocolo permite que as redes que suportam o sistema de automação possam utilizar os mais variados meios de comunicação, potenciando o recurso a redes comutadas, como a rede CAN – *Controller Area Network*⁶, e a redes sem-fios.

Os módulos comunicam e partilham informação por meio do Bus de comunicações CAN, que liga todo o edifício e todas as frações de forma independente. A vantagem deste sistema é a modularidade que permite a

⁵ U.P.S.: é um sistema de alimentação secundário de energia eléctrica que entra em acção, alimentando os dispositivos a ele ligado, quando há interrupção no fornecimento de energia primária.

⁶ *Controller Area Network*: são redes que abrangem um espaço geográfico de uma *personal area network*. Baseiam-se no conceito de uso de mensagens geradas por *broadcast* contendo um dispositivo central controlador de mensagens.

integração na rede de novos módulos de controlo de forma aberta, como por exemplo luzes exteriores de jardim ou rega automática.

O sistema LogicHome é constituído por diversos componentes, sendo eles: o controlo de presença, o controlo de intensidade luminosa, o controlo global de persianas, o controlo de alarmes técnicos e de intrusão. Os cenários domóticos, passam por um conjunto de condições temporais (horários, calendários, temporizações e periodicidade) e condições de eventos (presença de pessoas, variações de temperatura ou luminosidade, abertura de portas, janelas e persianas) que permitem o comando e controlo distribuídos, funcionalmente integrados, de um ou mais dispositivos e equipamentos, numa divisão, fração habitacional ou edifício inteiro.

Dos diversos componentes, que o sistema LogicHome apresenta, os mais importantes para o caso em estudo são: o controlo global e variável de persianas e a climatização.

O controlo global de persianas permite o controlo do fecho e a abertura total da globalidade das persianas ou cortina elétricas, quer em caso de ausência, quer para cenários de simulação de presença. Quando o controlo é feito individualmente, este permite a subida e a descida de forma total ou gradual, podendo-se criar cenários de controlo de luminosidade em cada divisão, dependente da intensidade luminosa e/ou da hora do dia, bem como da temperatura que se pretende ter no interior da divisão, gerindo eficazmente as condições de iluminação natural e artificial das divisões da casa e a temperatura de conforto pretendida. Este controlo de persianas é feito a partir do quadro de domótica instalada e pode ser feito através de um comando local com uma botoneira dupla (subida/descida), através da interface gráfica (ecrã táctil) ou remotamente (internet), quer para a subida ou descida completa quer para indicação da percentagem de abertura pretendida para a persiana, através da atuação remota usando o telefone ou em função de cenários programados de data-hora associados a variáveis ambientais (intensidade luminosa e temperatura exterior).

No que respeita à climatização, o controlo ambiental é completo para o ar condicionado. O sistema possui um comando de temperatura que permite integrar a função termostática com todas as funções disponíveis para otimizar a climatização.

4. Caracterização do caso de estudo

4.1 Generalidades

No âmbito da realização deste trabalho final de mestrado, cujo objetivo é perceber quais as vantagens da aplicação da domótica no comportamento energético de uma fração habitacional, decidiu-se efetuar o estudo num edifício novo. O edifício em estudo é composto por cinco pisos, onde quatro deles (de 1 a 4) se destinam exclusivamente para habitação. Nos pisos 1 a 3, existem seis frações autónomas por piso, que apresentam as seguintes tipologias: três frações de tipologia T2 e três frações de tipologia T3. O último piso (piso em estudo), apresenta cinco frações autónomas, sendo uma de tipologia T2 e quatro frações de tipologia T4. Neste piso apenas foram estudadas três frações autónomas todas de tipologia T4, que se encontram nas figuras 22, 23 e 24 e em maior pormenor no Anexo I. Na tabela 3, encontram-se as áreas das respetivas frações, bem como a orientação dos envidraçados e a sua percentagem em relação à área do total do pavimento e à área de fachadas envidraçadas. As restantes descrições da área de cada divisão de cada apartamento encontram-se também no Anexo I.

Escolheu-se o último piso, para efetuar o estudo, uma vez que se encontram, por cima deste uma área destinada a arrecadações e terraços que se quis ter em conta no estudo efetuado. Em relação às frações escolhidas, pretendeu-se estudar frações com a mesma tipologia e com diferentes orientações de envidraçados e com áreas de pavimento idênticas.

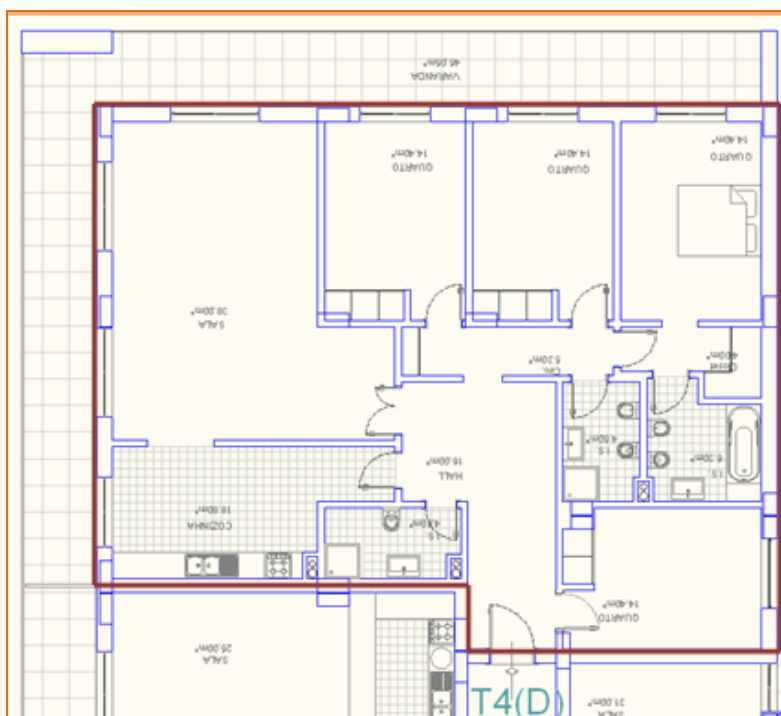


Figura 22 - Apartamento T4D

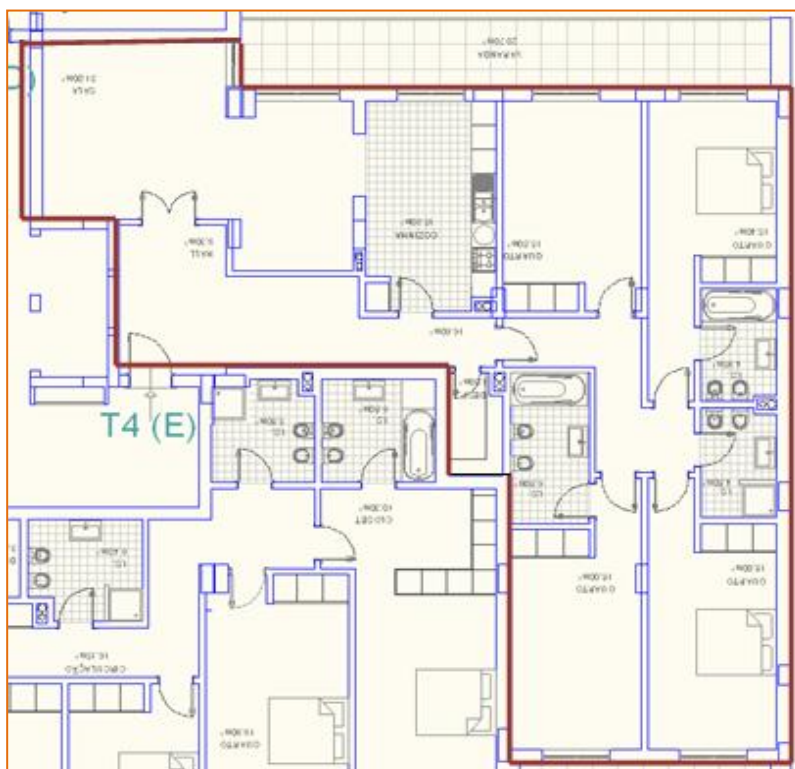


Figura 23 - Apartamento T4E

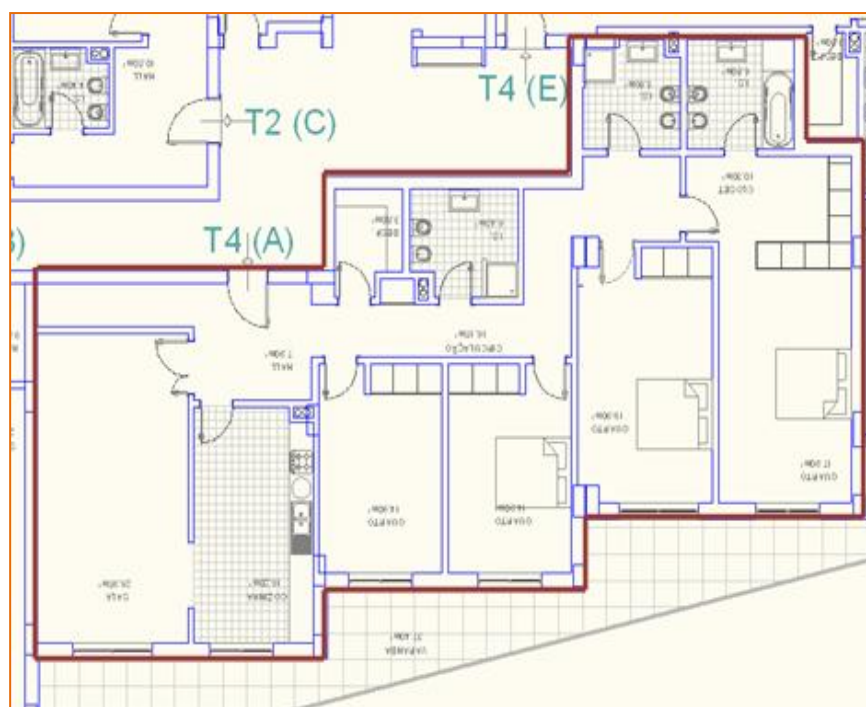


Figura 24 - Apartamento T4A

Apartamento	Área (m ²)	%de envidraçados em relação à Apartamento	Orientação	% de envidraçados em relação à Aenvidraçados
T4D	155,4	18%	Norte	8%
			Sul	33%
			Oeste	38%
T4E	159,3	13%	Oeste	41%
			Este	41%
T4A	167,9	12%	Este	37%

Tabela 3 - Características das frações habitacionais em estudo

Como referido anteriormente, o estudo do edifício foi realizado através de duas análises, uma primeira onde foi aplicado o RCCTE e outra onde se aplicou o *software DesignBuilder*. Cada uma das análises foi estudada em cinco localidades diferentes para que se pudessem avaliar a influência do verão e do inverno no comportamento energético das frações habitacionais em estudo. Desta forma, escolheram-se as seguintes localidades de acordo com o seguinte critério, valor de Graus-Dia (baixo ou elevado) em comparação com localidades com as mesmas características de inverno e verão:

✓ Portimão (I₁V₁) apresenta um verão e um inverno ameno, uma duração da estação de aquecimento baixa e um GD (Graus-Dia) baixo;

- ✓ Campo Maior (I_1V_3) tem um verão rigoroso e um inverno ameno, uma duração da estação de aquecimento alta e um GD baixo;
- ✓ Manteigas (I_3V_1) apresenta um verão ameno e um inverno rigoroso, uma duração de estação de aquecimento alta em simultâneo com um GD alto;
- ✓ Mirandela (I_3V_3) apresenta em simultâneo um inverno e verão rigoroso, uma duração da estação de aquecimento mais alta e um GD baixo;
- ✓ Tarouca (I_3V_3) apresenta em simultâneo um inverno muito rigoroso e um verão muito quente. Apresenta as mesmas características que Mirandela, mas estudou-se esta localidade por ser uma das mais frias e apresentar o GD mais elevado.

Para a escolha destas localidades utilizou-se também a relação GD/duração da estação de aquecimento, sendo que quanto maior for o valor desta relação mais agressivo é o seu inverno e o contrário significa um verão mais agressivo.

Na tabela 4, apresentam-se as localizações escolhidas e os dados climáticos relativos a cada localidade.

Dados Climáticos/ Localidade	Zona Climática	Altitude (m)	GD (°C.dias)	Valor médio da temperatura do ar na estação de arrefecimento Θ_{atm} (°C)	Duração da Estação de Aquecimento (M)
<u>Portimão</u>	I_1V_1	35	940	21	5,3 (curta)
<u>Campo Maior</u>	I_1V_3	291	1330	23	6,3 (média)
<u>Manteigas</u>	I_3V_1	770	3000	19	8,0 (longa)
<u>Mirandela</u>	I_3V_3	220	2260	22	7,3 (longa)
<u>Tarouca</u>	I_3V_3N	919	2670	22	6,3 (média)

Tabela 4 - Dados climáticos do RCCTE de cada localidade

Para todas as localizações foram consideradas as mesmas soluções construtivas, definidas em 4.2. Os casos em estudo foram analisados tendo por base uma folha de cálculo, que foi construída para a aplicação da metodologia de avaliação do desempenho energético definido no RCCTE. Utilizou-se repetidamente a folha de cálculo, por substituição dos parâmetros associados a cada caso de estudo, tendo sido gravados os resultados mais importantes para a análise em questão: N_i , N_{ic} , N_v e N_{vc} . No Anexo III encontra-se a tabela

resumo dos dados obtidos de cada fração em estudo para cada uma das cinco localidades escolhidas.

4.2 Descrição das soluções construtivas consideradas na envolvente

As soluções construtivas adotadas seguem a mesma linha utilizada na construção tradicional moderna que passam pela aplicação de soluções tradicionais de construção em estrutura reticulada de betão armado com paredes de alvenaria de tijolo, soluções tipificadas para paredes exteriores, coberturas em terraço, pontes térmicas planas e envidraçados.

Em seguida descrevem-se e caracterizam-se as soluções construtivas do vários elementos, incluindo as suas características térmicas. Todas as dimensões dos elementos estruturais usadas em cálculo numérico foram retiradas da planta do edifício sendo adotadas as mesmas soluções construtivas para as três frações em estudo.

Para a análise pretendida foi realizada a caracterização do construído, a descrição geométrica e o detalhe dos pormenores construtivos para cada fração, a fim de se caracterizar os elementos da envolvente para o cálculo dos coeficientes de transmissão térmica (U), executado da seguinte forma:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}}$$

Equação 1

Onde:

U – Coeficiente de transmissão térmica da zona corrente do elemento construtivo;

R_{si} e R_{se} – Resistências térmica superficiais interiores e exteriores;

R_j – Resistência térmica da camada j.

A caracterização de cada elemento, bem como o pormenor construtivo e o cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U), encontram-se no Anexo II. Realizada a recolha de dados, pretende-se determinar o desempenho energético do edifício, contabilizando-se o consumo total para as condições interiores de referência impostas pelo RCCTE. É procurando respostas de onde, como e porquê se consome energia, que se pode avaliar o desempenho energético de um edifício e proporem-se as melhorias necessárias. A

metodologia adotada para estas respostas determina-se através da aplicação da metodologia simplificada usada no atual RCCTE, através da quantificação das necessidades energéticas nominais de aquecimento (N_c) e de arrefecimento (N_{vc}). Procurou-se perceber para cada localidade qual o consumo energético em cada estação.

→ **Envolvente Exterior**

Na tabela 5 apresentam-se o resumo dos coeficientes de transmissão térmica (U) e as espessuras dos elementos construtivos da envolvente vertical opaca.

Elemento Construtivo	Espessura (m)	U W/(m ² .°C)
<u>Paredes Exteriores</u>	0,37	0,42
<u>Paredes Interiores em contato com zonas não aquecidas</u>	0,18	0,73
<u>Cobertura</u>	0,37	0,59
<u>Ponte térmica plana - pilar</u>	0,36	0,48
<u>Ponte térmica plana – caixa de estore</u>	0,28	0,75

Tabela 5 - Coeficientes de transmissão térmica da envolvente exterior

Envidraçados:

Para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U) dos vãos, podiam-se ter considerado os valores convencionais que se encontram no ITE50 [24], mas visto que o U dos envidraçados engloba o conjunto vidro + caixilho (janela), e uma vez que tínhamos todos os dados necessários para a realização deste cálculo, foi realizado o cálculo do U do envidraçado para cada uma das janelas, utilizando o U do vidro e o U do caixilho facultado pelo fornecedor. O cálculo do U do envidraçado, bem como o pormenor construtivo do caixilho e do vidro encontram-se descritos no Anexo II.

Pontes térmicas lineares:

No caso em estudo e de acordo com o RCCTE [12], verificaram-se a existências das pontes térmicas lineares que se encontram na tabela 6. A descrição de cada uma das pontes térmicas encontram-se no Anexo II.

Ponte térmica linear	ψ W/(m.°C)
Ligação fachada com cobertura inclinada ou terraço	0,55
Ligação de fachada com varanda	0,45
Ligação entre duras paredes verticais	0,25
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril	0,20

Tabela 6 - Pontes térmicas lineares da envolvente exterior

→ **Envolvente interior**

Paredes – Espaços não-úteis (Habitação – Escadas, circulação comum e caixa de elevador)

Para o cálculo das perdas térmicas das frações em estudo, para a zona comum foi necessário ter em consideração o valor do coeficiente ξ .

Conforme a Tabela IV.1 do RCCTE, como o valor $\frac{\sum A_i}{\sum A_u}$ (circulação comum) encontra-se entre 0 e 1, conforme mostra a equação 8, o coeficiente $\xi = 0,6$, que é inferior a 0,7, valor mínimo regulamentar de referência para envolventes interiores com características interiores.

$$\frac{\sum A_i}{\sum A_u} = \frac{11,55}{30,57} \cong 0,38$$

Equação 2

A tabela 7 apresenta os coeficientes de transmissão térmica do pavimento e da porta. No Anexo II, encontram-se solução construtiva de cada elemento, bem como a sua caracterização.

Elemento Construtivo	Espessura (m)	U W/(m ² .°C)
Pavimento	0,37	0,39
Porta	0,04	2,6

Tabela 7 - Coeficientes de Transmissão Térmica da Envolvente Interior

5. Simulação de acordo com as premissas do RCCTE e validação e verificação através da simulação dinâmica – *DesignBuilder* (DB)

5.1 Breve apresentação do modelo de cálculo dinâmico *EnergyPlus* e do seu interface gráfico *DesignBuilder*

No âmbito do RSECE [11], só é permitido utilizar programas de cálculo acreditados, como é o caso o *EnergyPlus*. O *EnergyPlus* é um *software* de simulação de energia em edifícios que permite desenvolver estudos de eficiência energética existentes ou em fase de projeto. Com a utilização do *EnergyPlus* pretende-se que o programa gere um modelo baseado na informação da envolvente do edifício, nas funcionalidades interiores da habitação, nas taxas de utilização dos sistemas de climatização e nos dados climáticos originando dessa forma simulações horárias de modo a estimar a temperatura interior bem como os consumos energéticos dos sistemas de climatização e iluminação. Além das simulações horárias o programa possibilita a obtenção de simulações em intervalos de tempo inferiores à hora, permitindo ao utilizador obter resultados do comportamento térmico do edifício ao longo do dia e ao longo dos meses da estação de aquecimento ou arrefecimento.

O *DesignBuilder* (DB) é o primeiro interface gráfico para o programa de simulação térmica dinâmica, o *EnergyPlus*, e como tal é uma ferramenta cada vez mais comum entre projetistas e peritos qualificados. Este programa permite construir o modelo do edifício, caracterizá-lo a si e aos seus sistemas energéticos e realizar simulações para a determinação dos consumos energéticos e das potências de climatização, bem como testar estratégias de otimização energética. Com a utilização do DB, é possível:

- ✓ Gerar simulações para o modelo utilizando informação climática horária para verificar como o edifício se irá comportar durante a operação;
- ✓ Verificar efeitos das alternativas do projeto no desempenho do edifício, permitindo a avaliação de parâmetros como: o consumo anual de energia, as horas de aquecimento e a emissão de CO₂.

A introdução de dados do edifício em geral ou de uma zona é feita através de cinco separadores:

✓ “*Activity*” – este separador permite a introdução de dados referentes ao tipo de atividade realizada em determinada zona. Por exemplo: o horário e a densidade de ocupação, a densidade de iluminação, o consumo de água quente sanitária, a quantidade de ar novo insuflado, etc.;

✓ “*Construction*” – neste separador, o programa permite a introdução de dados referentes ao tipo de construção e material;

✓ “*Openings*” – com este separador permite-se introduzir dados referentes a aberturas no edifício. Por exemplo: janelas, estores, porta, tipo de vidro, etc.;

✓ “*Lighting*” – os dados referentes à iluminação, são introduzidos neste separador. Por exemplo: tipo de iluminação, horário, etc.;

✓ “*HVAC*” – por fim os dados referentes aos equipamentos de climatização, aquecimento de AQS e ventilação natural, são introduzidos neste separador. Por exemplo: energia auxiliar utilizada nos equipamentos de AVAC, tipo de energia utilizada em cada caso, etc.

5.2 Verificação de acordo com o RCCTE e aplicação do DB

Neste subcapítulo apresenta-se a análise realizada com recurso ao *software DesignBuilder (DB)*, mas impondo as premissas do RCCTE definidas no capítulo anterior. Esta primeira análise tem como objetivo a determinação dos valores de N_{ic} e N_{vc} para cada uma das três frações habitacionais em estudo, para conseguir a validação de acordo com a regulamentação imposta. Para cada uma das três frações realizou-se a simulação para as cinco localidades em estudo.

Inicialmente construiu-se o modelo 3D das frações autónomas em estudo, ao qual, através do DB, atribuíram-se as características definidas no capítulo 4. Na figura 25 mostra-se como se começou a desenhar a primeira fração e o resultado final da mesma. Na figura 26 mostra-se como ficou o piso todo desenhado com o corredor e as frações que não foram estudados, que se encontram identificados de forma diferente, com cor de tijolo. Esta cor indica que as frações foram definidos como ligações entre zonas adiabáticas. Na figura 27 observa-se o modelo 3D do piso inteiro com sombras segundo diferentes orientações. As sombras indicadas nas figuras representam as

sombras às 7h30 do dia 30 de Junho, com visualização a 27° com o plano da Terra.

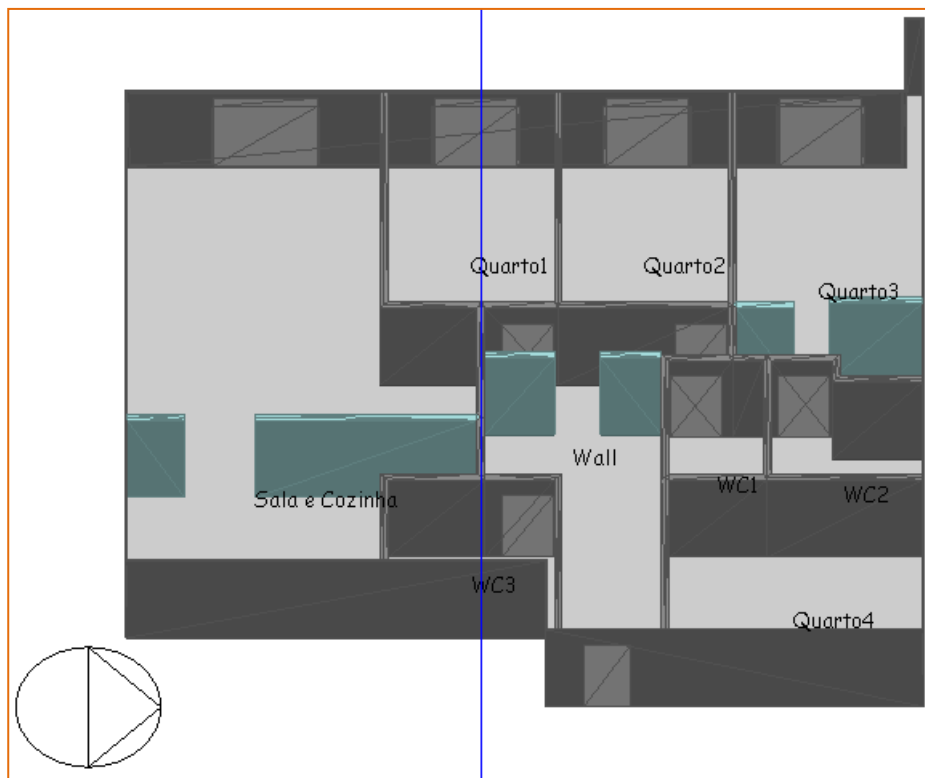


Figura 25 - Modelo 3D do apartamento T4D

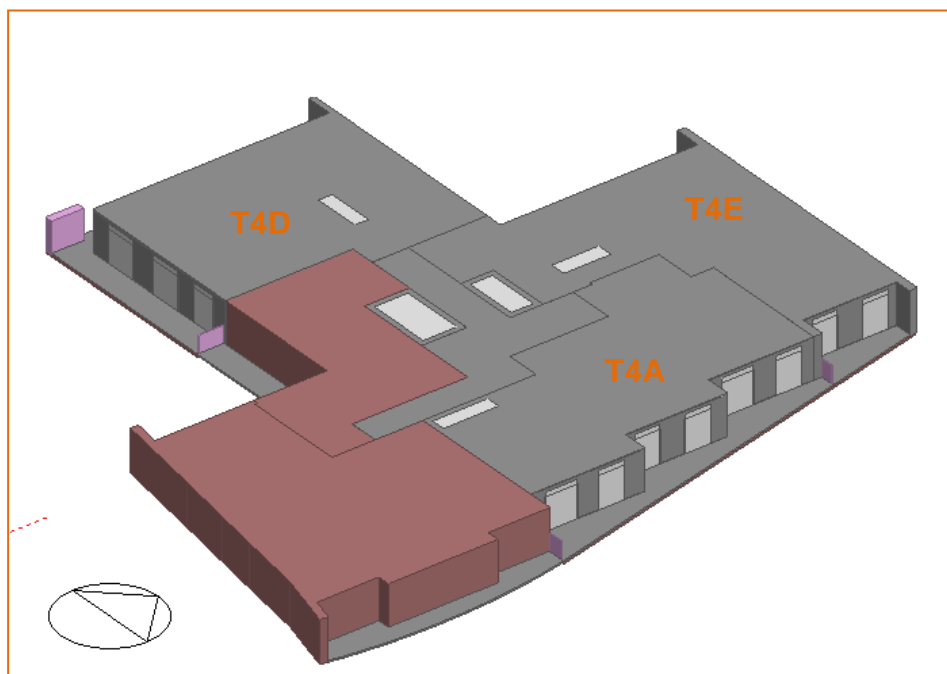


Figura 26 - Modelo 3D do piso em estudo

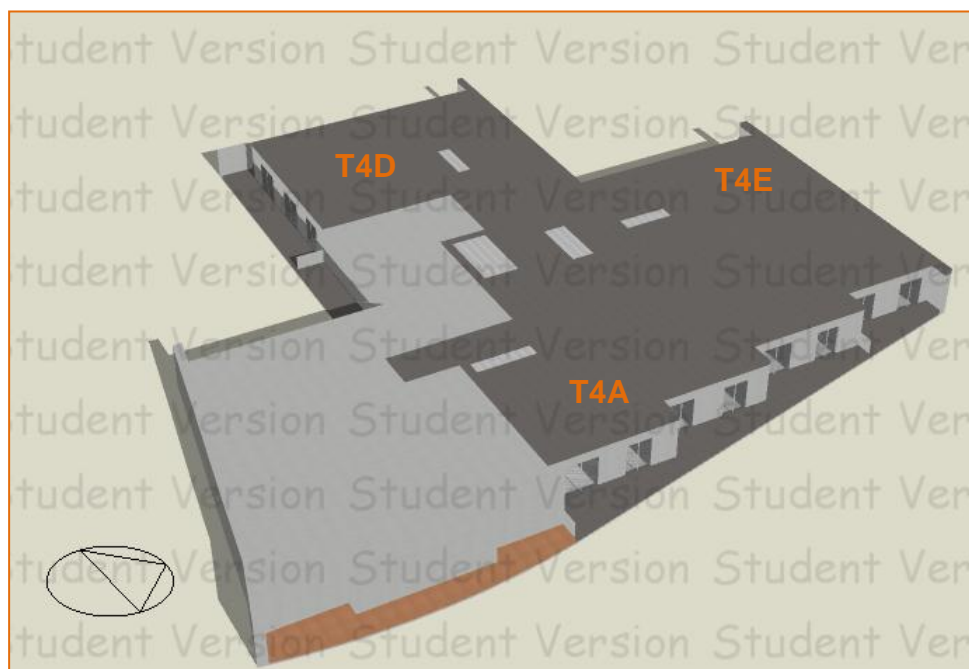


Figura 27 - Modelo 3D do piso em estudo com sombras virado a Este

Nas figuras 29 e 30, indica-se o modelo todo finalizado já com as arrecadações e os terraços desenhados. As sombras indicadas na figura 30 representam as sombras às 7h30 do dia 30 de Junho, com visualização a 27° com o plano da Terra.

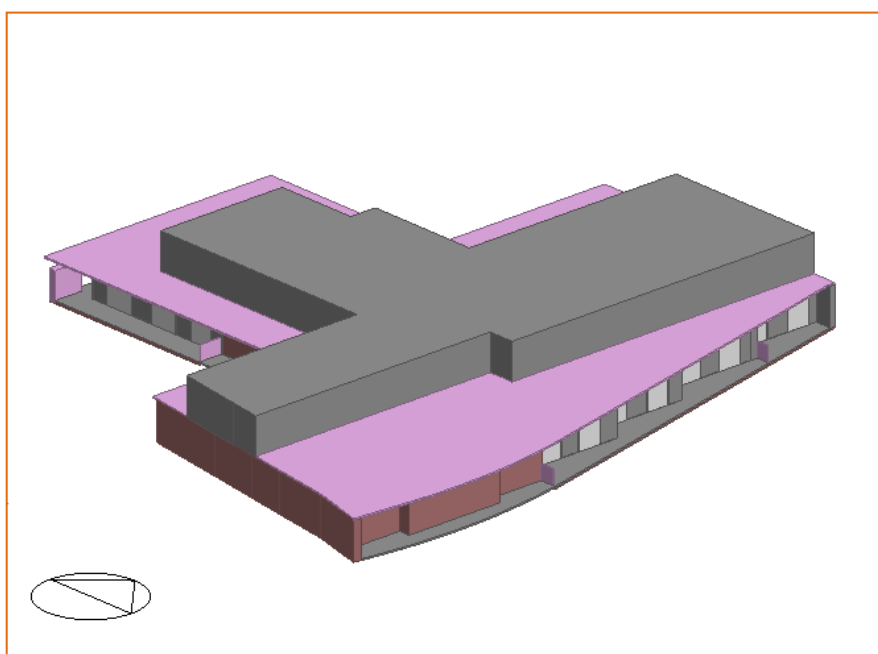


Figura 28 - Modelo 3D final

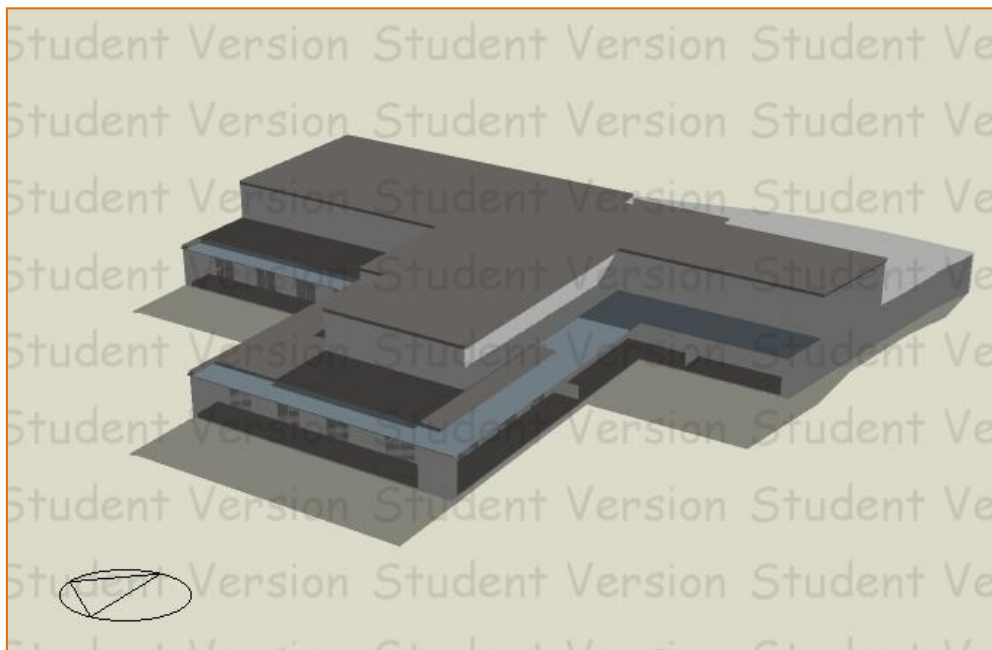


Figura 29 - Modelo 3D final com sombras

Uma vez que a análise às frações em estudo foram realizadas tanto para o inverno como para o verão, para cada uma das estações introduziram-se as características impostas pelo RCCTE.

Ao introduzirem-se todos os parâmetros, verificou-se no primeiro cálculo que os resultados que se obtinham pelo *DesignBuilder* eram diferentes dos resultados obtidos pela análise efetuada de acordo com o descrito no Anexo V do RCCTE [12]. Dessa forma, alteraram-se os dados na análise realizada inicialmente que não estariam de acordo com o que se obtinha através do DB e uma vez que estes são os resultados que prevalecem, alteraram-se os mesmos na análise simplificada do RCCTE.

Um dos factores alterados foi a área que o *DesignBuilder* apresenta de cada uma das frações. Mediram-se as áreas no DB, que se encontram descritas na tabela 8, e alteraram-se os valores nas folhas de cálculo utilizadas. Outro dado foi os valores dos Graus-Dias (GD) de cada uma das localidades, isto porque o ano climático utilizado pelo *EnergyPlus*, é o ano climático disponibilizado pelo programa de cálculo do INETI, actualmente LNEG, Solterm⁷, que não é o mesmo utilizado pelo RCCTE. Efetuou-se o cálculo do

⁷ Solterm: é um programa de análise de desempenho de sistemas de simulação numérica de balanços energéticos ao longo de um ano de referência, e especialmente concebido para as condições climáticas e técnicas de Portugal.

novo GD, que se encontra descrito no Anexo IV, de onde se obtiveram os resultados descritos na tabela 9. Calculou-se ainda a temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento e uma vez que diferia dos considerados pelo RCCTE, procedeu-se também à alteração dos mesmos nas folhas de cálculo utilizadas na análise simplificado do RCCTE.

Apartamentos	Áreas (m ²)
T4D	180,2
T4E	196,1
T4A	173,0

Tabela 8 - Áreas das frações habitacionais

Localidade	Solterm			RCCTE		
	GD	Duração da estação de aquecimento	Temperatura média da estação de arrefecimento	GD	Duração da estação de aquecimento	Temperatura média da estação de arrefecimento
<u>Portimão</u>	1294	5,7	22	940	5,3	21
<u>Campo Maior</u>	1687	6,0	22	1330	6,3	23
<u>Manteigas</u>	3143	8,7	18	3000	8,0	19
<u>Mirandela</u>	2248	6,7	21	2260	7,3	22
<u>Tarouca</u>	2317	7,3	20	2670	6,3	22

Tabela 9 - Dados climáticos

Realizou-se a simulação para estação de aquecimento (inverno), considerando-se os meses de duração da estação de aquecimento para cada uma das localidades e impondo as persianas abertas, considerando que o g_v do vidro é igual g_v inverno, durante o dia (das 8h-18h) e fechados durante a noite (das 18h-8h). Para a estação de arrefecimento (verão), consideraram-se os meses compreendidos entre Junho e Setembro e impondo as persianas fechadas 70% durante o dia (das 8h-18h) e totalmente fechadas durante a noite (das 18h-8h). Obtiveram-se os valores apresentados na tabela 10, que indicam os valores da energia útil que é necessária fornecer às frações autónomas em estudo para manter no seu interior a temperatura de referência de 20° C na estação de aquecimento, N_{ic} e a temperatura de 25° C na estação de arrefecimento, N_{vc} . Nesta mesma tabela apresentam-se os resultados obtidos pelo DB quando impostas as premissas do RCCTE.

5.3 Análise de resultados

Realizada a simulação de acordo com o método simplificado descrito no Anexo V do RCCTE [12] e a simulação em regime dinâmico no DB, procede-se à análise dos resultados obtidos em cada simulação. Esse estudo de resultados é efetuado sobre o valor das necessidades nominais, uma vez que é o único valor obtido pelo RCCTE que permite comparar com os resultados obtidos através do DB.

Localidade	Apartamento	Nic (DB) kWh/(m ² .ano)	Nic (RCCTE) kWh/(m ² .ano)	Nvc (DB) kWh/(m ² .ano)	Nvc (RCCTE) kWh/(m ² .ano)
T4A	Portimão	17,89	21,39	19,40	8,42
	Campo Maior	30,02	30,73	21,31	10,67
	Manteigas	70,02	73,03	5,69	3,01
	Mirandela	50,94	49,41	13,42	6,32
	Tarouca	48,76	48,95	10,23	5,12
T4D	Portimão	18,30	21,04	18,28	7,58
	Campo Maior	30,13	29,97	20,56	9,98
	Manteigas	72,23	77,99	5,25	2,51
	Mirandela	52,30	50,73	13,14	5,56
	Tarouca	50,26	49,92	9,37	4,45
T4E	Portimão	22,12	20,90	18,39	7,82
	Campo Maior	35,23	31,62	20,49	9,91
	Manteigas	77,82	74,00	5,46	2,68
	Mirandela	57,07	50,20	13,16	5,73
	Tarouca	55,00	49,83	9,99	4,66

Tabela 10 - Valores das necessidades de aquecimento e arrefecimento obtidos pelo DB e RCCTE para cada uma das localidades

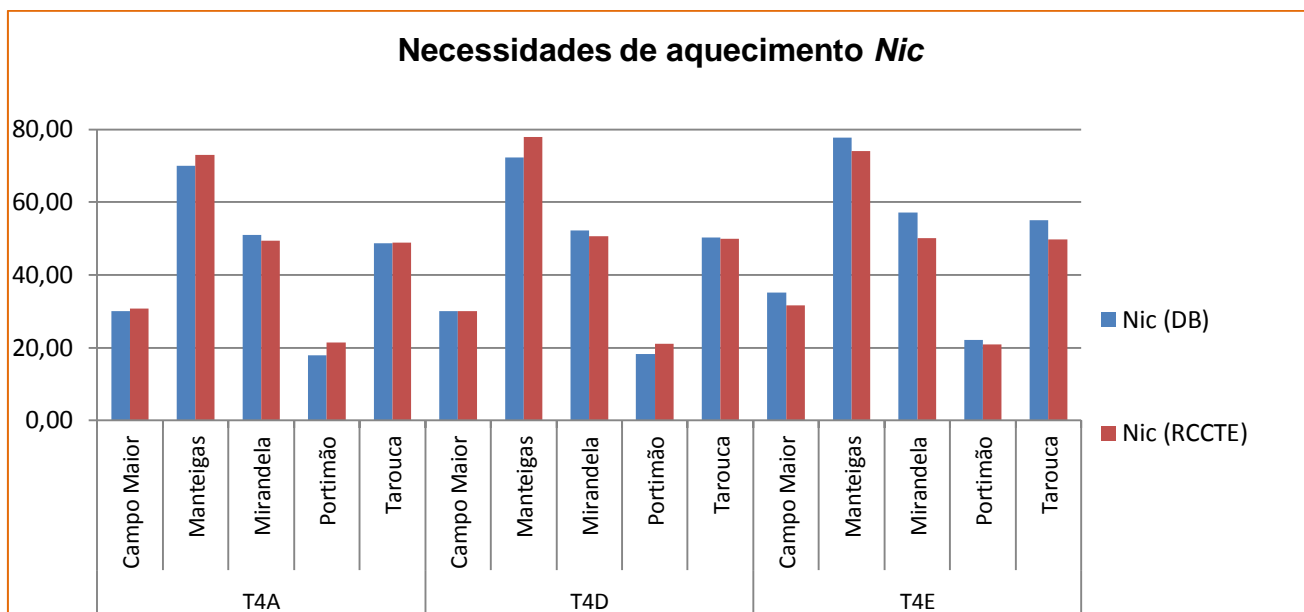


Gráfico 1 - Valores das necessidades nominais de aquecimento – Nic

De acordo com a tabela 10 e o gráfico 1, observam-se que a diferenças entre os valores obtidos, para a estação de aquecimento (inverno) num caso e no outro são mínimos, podendo verificar-se que as localidades que se situam na zona climática I₁ são aquelas que necessitam de menores necessidades energéticas para o aquecimento, contrariamente às localidades que se situam na zona climática I₃, onde essas necessidades aumentam. Ao efetuar-se uma análise mais detalhada de cada localidade é possível verificar que para Campo Maior o apartamento T4E apresenta valores de N_{ic} maiores na simulação com o DB do que com o método simplificado do RCCTE, o que não se verifica no apartamento T4A. No caso de Manteigas e Portimão a situação já é diferente, os apartamentos T4D e T4A apresentam valores de N_{ic} (DB) abaixo dos valores obtidos pelo RCCTE e o contrário acontece em relação ao apartamento T4E. Em Tarouca verifica-se uma situação diferente das anteriores, o apartamento T4A é o único que apresenta valores de N_{ic} (DB) abaixo dos valores do RCCTE. Por fim Mirandela apresenta em todos os apartamentos valores de N_{ic} (DB) superiores aos obtidos pelo RCCTE.

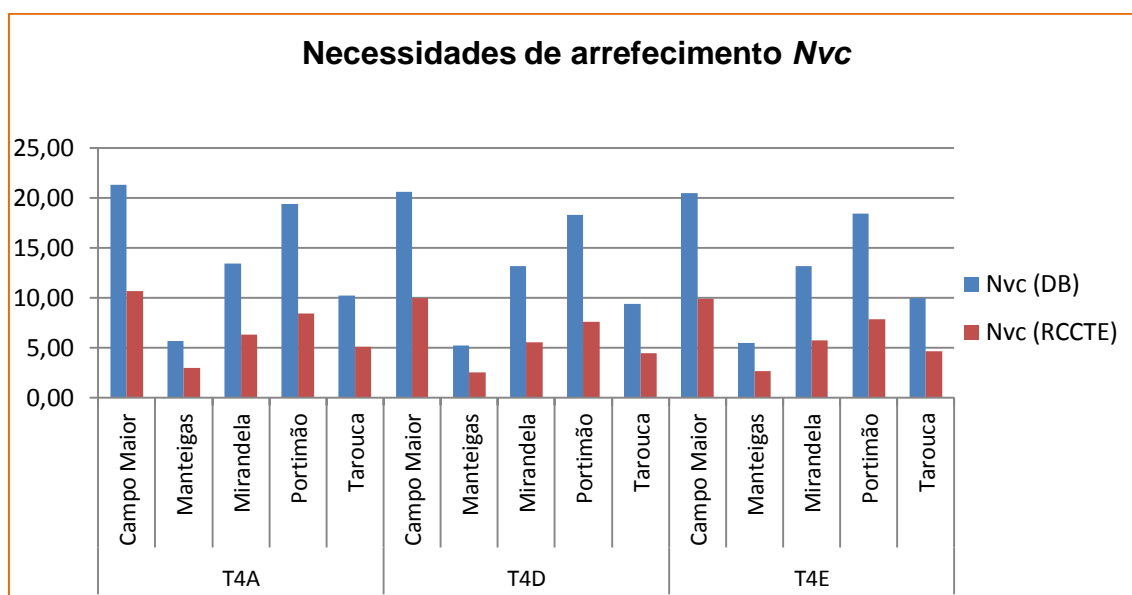


Gráfico 2 - Valores das necessidades nominais de arrefecimento - Nvc

Observando-se a tabela 10 e o gráfico 2 verificam-se que as diferenças de valores obtidos, para a estação de arrefecimento (verão), entre o DB e o RCCTE são bastante acentuadas. Essa diferença é bastante notória em todas as localidades, com exceção de Manteigas, onde existe uma diferença mas não tão acentuada. Esta diferença deve-se ao fato da parametrização do *software DesignBuilder* não ser feita de igual forma do RCCTE.

Os apartamentos em estudo apresentam no piso de cima uma cobertura que ocupa todo o piso, tendo terraços e arrecadações. O RCCTE não contabiliza essas arrecadações que apresentam ganhos elevados como é possível verificar na tabela 11, o que ajuda na diferença acentuada de valores. Além disso o ano climático utilizado pelo *EnergyPlus* não é o mesmo utilizado pelo RCCTE, conforme referido anteriormente. Além disso existe ainda o fato de no RCCTE as renovações de ar apenas serem contabilizadas durante a noite. No caso do DB, o *EnergyPlus*, contabiliza as perdas durante a noite e os ganhos durante o dia, ou seja, o RCCTE apresenta uma temperatura média (dia/noite) de 4 meses que não é a mesma que o DB apresenta, uma vez que o mesmo faz cálculos horários sobre o que ganha durante o dia e perde de noite, fazendo com que essa temperatura média de 4 meses não funcione no cálculo da estação de arrefecimento.

Localidade	Apartamento	Ganhos pelas arrecadações (kWh)
Portimão	T4D	631
	T4E	1038
	T4A	738
Campo Maior	T4D	645
	T4E	1057
	T4A	755
Manteigas	T4D	497
	T4E	805
	T4A	568
Mirandela	T4D	530
	T4E	732
	T4A	488
Tarouca	T4D	504
	T4E	825
	T4A	581

Tabela 11 - Ganhos pelas arrecadações

De forma a aproximar os resultados entre RCCTE e DB, procedeu-se a uma nova simulação de DB, mas na qual se impõe uma temperatura de referência de 27°C, em prol dos 25°C de referência indicados no RCCTE [12].

Os resultados obtidos apresentam-se na tabela 12 e no gráfico 3.

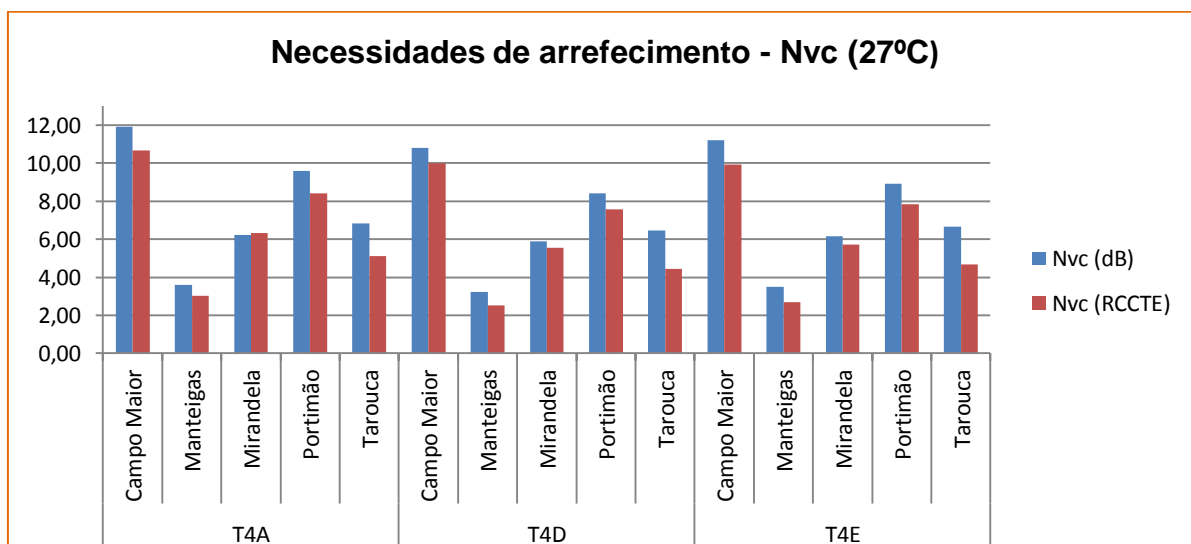


Gráfico 3 - Valores das necessidades nominais de arrefecimento - Nvc (27°C)

Localidade	Apartamento	Nvc (DB) kWh/(m ² .ano)	Nvc (RCCTE) kWh/(m ² .ano)
<u>T4D</u>	Portimão	8,42	7,58
	Campo Maior	10,81	9,98
	Manteigas	3,24	2,51
	Mirandela	5,88	5,56
	Tarouca	6,47	4,45
<u>T4E</u>	Portimão	8,90	7,82
	Campo Maior	11,19	9,91
	Manteigas	3,49	2,68
	Mirandela	6,14	5,73
	Tarouca	6,67	4,66
<u>T4A</u>	Portimão	9,58	8,42
	Campo Maior	11,89	10,67
	Manteigas	3,59	3,01
	Mirandela	6,23	6,32
	Tarouca	6,82	5,12

Tabela 12 - Valores das necessidades de arrefecimento Nvc - 27°C temperatura de referência

Com o aumento da temperatura de referência, obtêm-se resultados completamente diferentes dos obtidos com uma temperatura de 25°C, permitindo desta forma aproximar os resultados da análise efetuada através do DB dos resultados obtidos através do método simplificado do RCCTE. Com isto verifica-se que é insuficiente uma temperatura de referência de 25°C, uma vez que com esta temperatura os valores das necessidades de arrefecimento acentuam-se muito, e o DB no seu cálculo contabiliza todas as trocas de calor por condução, convecção, trocas cruzadas, a massa de todos os elementos, inércia e todos os elementos em redor do apartamento, como é o caso das arrecadações que não são contabilizadas pelo RCCTE, conforme mostrado anteriormente.

6. Aplicação dos sistemas de controlo automático à simulação dinâmica

6.1 Metodologia

Neste capítulo pretendeu-se aplicar um sistema simples de domótica a uma das frações habitacionais em estudo. Como já referido anteriormente a domótica permite gerir vários sistemas. Para o caso em estudo escolheu-se apenas gerir a abertura/fecho das janelas e persianas. Optou-se por estes dois parâmetros para o estudo, uma vez que são aqueles mais simples de gerir e que trarão à partida algum conforto ambiental e um consumo energético mais baixo e também porque são dois parâmetros que o *DesignBuilder* permite colocar imposições através de diversos fatores, tais como: ciclo horário, temperaturas e algumas conjugações entre estes dois fatores. Com esta simulação pretendeu-se determinar como variam as perdas/ganhos e os consumos energéticos em função da localidade onde a fração habitacional se encontra, como tal fez-se a análise para apenas um apartamento, T4D. Fez-se também uma breve análise para a localidade de Tarouca, mas tendo em conta a orientação dos envidraçados, para isso estudou-se os três apartamentos nesta localidade.

Os parâmetros impostos no *software* foram diferentes tanto para inverno como para o verão. Para cada uma das estações estudaram-se diferentes casos. No caso do inverno, estudaram-se quatro casos diferentes de abertura/fecho de persianas, sendo que não foram feitas imposições quanto à abertura das janelas, tendo permanecido fechadas em todos os casos:

✓ 1º Caso: impõem-se os estores e as janelas fecharem durante o dia e a noite. Realizou-se este caso para que se pudesse ter uma situação de referência, e a partir deste impor abertura e fecho das persianas;

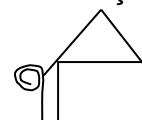


Figura 30 - Esquema do 1º caso de estudo de inverno

✓ 2º Caso: as persianas permanecem durante 24h (dia e noite) abertas. Realizou-se este caso, para que em conjunto com o 1º caso, se decide-se como iriam funcionar o 3º e 4º caso;



Figura 31 - Esquema do 2º caso de estudo de inverno

✓ 3º Caso: impõem-se as persianas abrirem gradualmente ao longo do dia, atingindo uma altura do dia em que estas estão totalmente abertas e depois começam a fechar gradualmente até estarem totalmente fechados no período da noite. As persianas foram definidas da seguinte forma: totalmente fechadas das 17h-7h, 80% fechadas das 7h-8h e das 16h-17h, 50% fechadas das 8h-10h e das 10h-16h estão totalmente abertas.

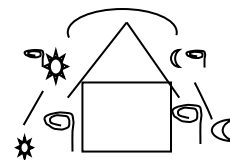


Figura 32 - Esquema do 3º caso de estudo de inverno

✓ 4º Caso, analisaram-se as horas onde existiam ganhos solares e impôs-se a abertura das persianas nesse horário, que é diferente para cada mês da estação de aquecimento. Feita a análise em cada mês definiu-se o seguinte horário de abertura, onde existiam ganhos relevantes, daí apresentarem-se intervalos pequenos:

- ✓ Outubro: aberto das 10h-17h;
- ✓ Novembro: aberto das 10h-16h;
- ✓ Dezembro: aberto das 11h-15h;
- ✓ Janeiro: aberto das 11h-16h;
- ✓ Fevereiro: aberto das 11h-17h;
- ✓ Março: aberto das 10h-17h;
- ✓ Abril: aberto das 9h-18h;
- ✓ Maio: aberto das 8h-19h.

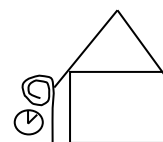


Figura 33 -
Esquema do 4º
caso de
estudo de
inverno

No verão foram estudados cinco casos diferentes para a abertura/fecho das persianas e janelas, sendo eles:

✓ 1º Caso: impõem-se as persianas e as janelas fechadas durante 24h (dia e noite). Realizou-se este caso como situação de referência para se verificar como o apartamento funciona, e a partir deste impôs-se abertura e fecho das persianas e janelas;

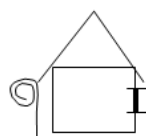


Figura 34 - Esquema do 1º caso de estudo de verão

✓ 2º Caso: as persianas permanecem totalmente abertas durante o dia e fechadas totalmente durante a noite. As janelas permanecem sempre fechadas. Realizou-se este caso, para que em conjunto com o 1º caso, se decide-se como iriam funcionar o 3º, 4º e 5º caso;

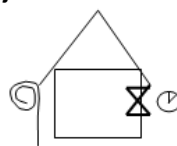


Figura 35 - Esquema do 2º caso de estudo de verão

✓ 3º Caso: impõem-se as persianas a fecharem quando a temperatura exterior excede os 16,5º C e as janelas permanecem fechadas durante todo o dia.

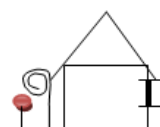


Figura 36 - Esquema do 3º caso de estudo de verão

✓ 4º Caso: As persianas permanecem a fechar quando a temperatura excede os 16,5º C e as janelas abrem das 16h-19h. definiu-se este horário das janelas, uma vez que é normalmente aquela período horário em que já existe uma temperatura exterior na estação de arrefecimento que possa trazer algum arrefecimento para o interior da habitação;

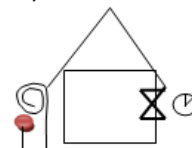


Figura 37 - Esquema do 4º caso de estudo de verão

✓ 5º Caso: impõem-se as persianas e a janelas a abrirem apenas das 16h-19h. realizou-se este caso para estudar quais os ganhos e os consumos que teríamos se impuséssemos o sistema domótico desta forma, sendo que o hábito comum no verão é as pessoas deixarem tudo fechado durante o dia e ao final da tarde quando chegam abrem as persianas e as janelas para a habitação refrescar.

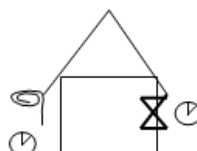


Figura 38 - Esquema do 5º caso de estudo de verão

Para todos os casos de estudo, inverno e verão, consideraram-se as mesmas situações para os dias de semana e ao fim-de-semana, não tendo sido imposto qualquer diferença entre os mesmos.

6.2 Análise de resultados

Efetuada as análises com os diferentes casos de estudo para o inverno e para o verão, com recurso ao *software DesignBuilder*, fez-se uma análise comparativa de resultados obtidos entre os diferentes casos de estudo e por fim uma referência em relação aos resultados obtidos da 1ª simulação (premissas do RCCTE).

Nesta análise, compararam-se não só as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento (*Heat Generation e Chiller*), como também dos ganhos pelos envidraçados (*Glazing*), que de acordo com o manual do DB corresponde ao fluxo de calor que passa para a zona interior através do vidro e vice-versa, e os ganhos solares (*Solar Gains Exterior Windows*), que corresponde à transmissão da radiação solar que passa pelas janelas exteriores, de forma a perceber um pouco mais quais seriam as vantagens do sistema de domótico aplicado, visto serem insuficientes as conclusões apenas pelos resultados obtidos das necessidades de aquecimento e de arrefecimento.

Da análise realizada para a estação de aquecimento (**inverno**), não foi possível retirar conclusões acerca do sistema domótico imposto. Isto porque o DB não permite simular com imposição de dados que permita perceber como a domótica atua nesta estação, ou seja, o programa apenas permite impor abertura ou fecho de persianas quando é excedida uma determinada temperatura e não o contrário que para este caso em estudo seria o que interessaria. O *software* permite apenas simular quando é excedida a temperatura e o sistema de domótica vai para além disso. Portanto a única análise possível foi perceber como o sistema de domótica funciona com os quatro casos definidos anteriormente. O resumo da análise efectuada encontra-se na tabela 13 e no gráfico 4. Os restantes gráficos da análise individual da localidade encontram-se no Anexo V.

Localidade	Casos de Estudo	Ganhos pelos Envidraçados (Glazing) (kWh)	Ganhos Solares (Solar Gains) (kWh)	Nic (Heat Generation (Electricity)) (kWh)	Nic (Heat Generation (Electricity)) kWh/(m².ano)
<u>Portimão</u>	1º Caso	-736	354	5677	31,51
	2º Caso	887	2864	3392	18,82
	3º Caso	598	2160	3806	21,12
	4º Caso	645	2244	3885	21,56
<u>Campo Maior</u>	1º Caso	-954	375	8419	46,72
	2º Caso	839	3080	5545	30,77
	3º Caso	553	2389	6087	33,78
	4º Caso	561	2411	6170	34,24
<u>Manteigas</u>	1º Caso	-1837	480	17517	97,21
	2º Caso	507	3901	13136	72,90
	3º Caso	36	2894	14134	78,44
	4º Caso	247	3198	13921	77,26
<u>Mirandela</u>	1º Caso	-1361	363	12713	70,55
	2º Caso	393	2985	9547	52,98
	3º Caso	108	2300	10218	56,70
	4º Caso	166	2383	10188	56,54
<u>Tarouca</u>	1º Caso	-1412	436	12532	69,55
	2º Caso	649	3541	9183	50,96
	3º Caso	249	2628	9880	54,83
	4º Caso	426	2906	9830	54,55

Tabela 13 - Quadro resumo da 2ª simulação para a estação de aquecimento (inverno) – T4D – Todas as localidades

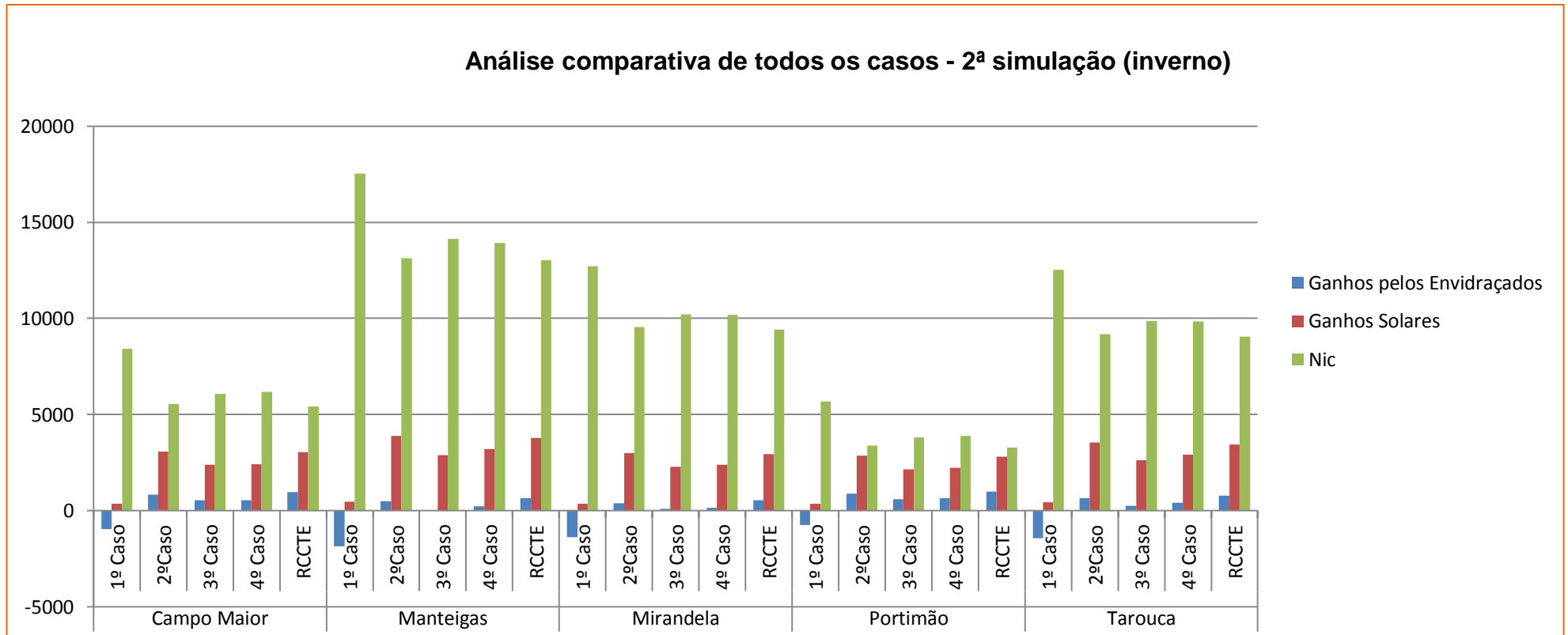
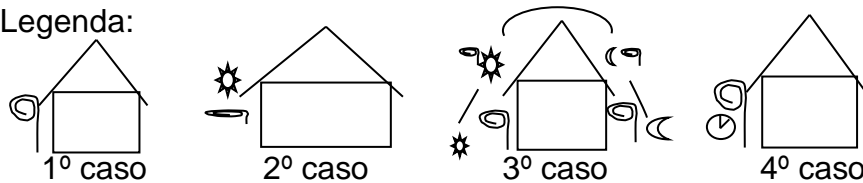


Gráfico 4 - Análise comparativa de todos os casos da 2ª simulação para a estação de aquecimento (inverno) – Apartamento T4D

Legenda:



Da análise do gráfico 4 e da tabela 13, verificou-se que os valores obtidos nos quatro casos de estudo são sempre maiores que os valores obtidos da 1ª simulação com a imposição das permissas do RCCTE, verificando-se que o 2º caso de estudo se aproxima muito dos valores obtidos do RCCTE. No entanto verificou-se ainda que os ganhos obtidos pelos envidraçados e os ganhos solares são sempre inferiores aos que se obtém pelo RCCTE, quando comparados ao 3º e 4º caso da 2ª simulação, permitindo perceber assim que nesta situação e uma vez que o software não nos permite simular de outra forma, os resultados obtidos pelo RCCTE na 1ª simulação são sempre melhores que qualquer caso de estudo do sistema de domótica.

Por forma a perceber como se comportam os restantes apartamentos, fez-se um estudo dos três apartamentos para a localidade de Tarouca. Os resultados obtidos encontram-se na tabela 14 e 15 e no gráfico 5 e 6.

Apartamento	Caso de Estudo	Ganhos pelos Envidraçados (Glazing) (kWh)	Ganhos Solares (Solar Gains) (kWh)
T4D	1º caso	-1412	436
	2º caso	649	3541
	3º caso	249	2628
	4º caso	426	2906
	RCCTE	787	3442
T4E	1º caso	-1176	252
	2º caso	12	2044
	3º caso	-427	1205
	4º caso	-190	1543
	RCCTE	97	1953
T4A	1º caso	-1065	312
	2º caso	438	2555
	3º caso	-283	1327
	4º caso	-157	1541
	RCCTE	574	2535

Tabela 14 - Análise comparativa de todos os casos da 2ª simulação (inverno) para Tarouca

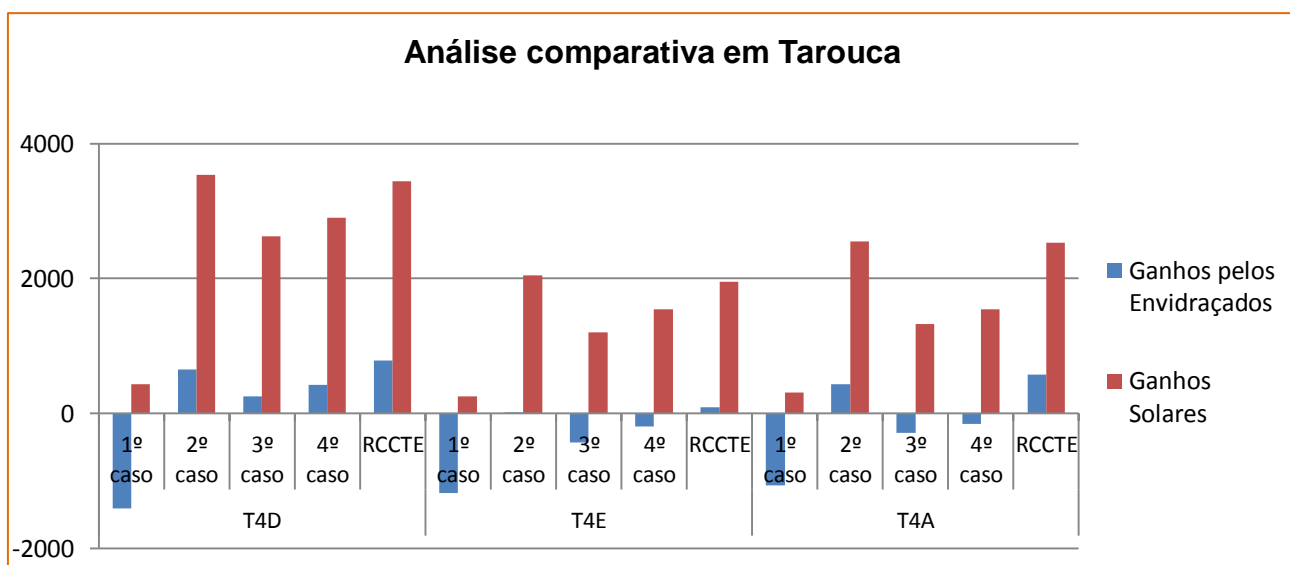


Gráfico 5 - Análise comparativa de todos os casos em Tarouca - ganhos solares e envidraçados - 2ªsimulação

Apartamento	Caso de Estudo	Nic kWh/(m².ano)
T4D	1º caso	69,55
	2º caso	50,96
	3º caso	54,83
	4º caso	54,55
	RCCTE	50,26
T4E	1º caso	65,40
	2º caso	55,44
	3º caso	59,05
	4º caso	58,20
	RCCTE	55,00
T4A	1º caso	63,04
	2º caso	49,41
	3º caso	55,97
	4º caso	56,31
	RCCTE	48,76

Tabela 15 - Análise comparativa de todos os casos da 2ª simulação (inverno) em Tarouca (Nic)

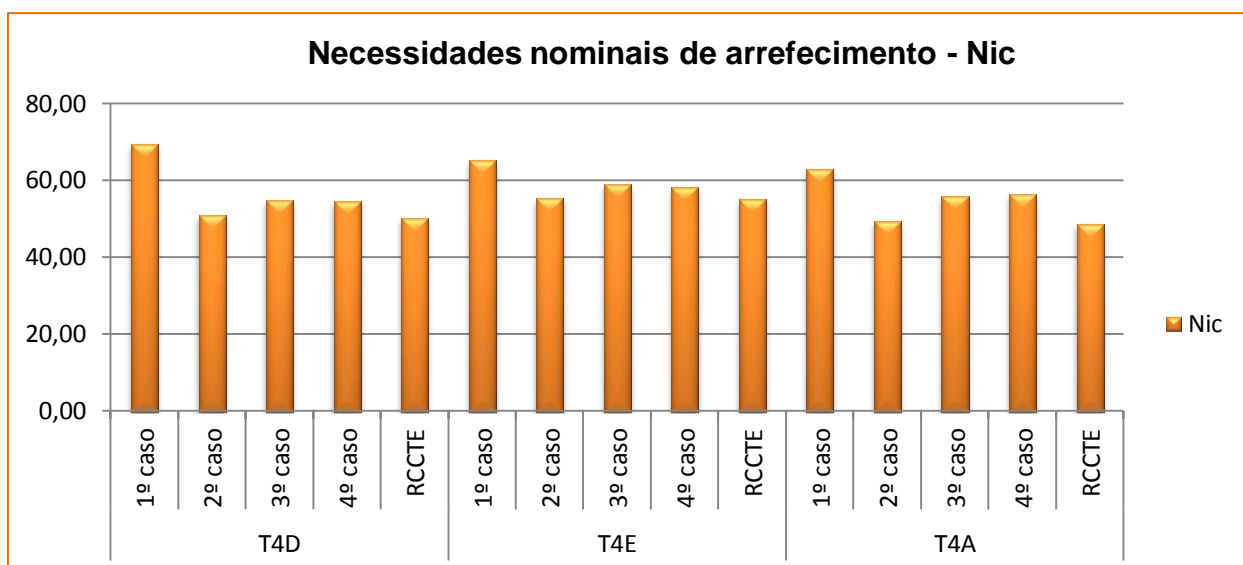


Gráfico 6 - Análise comparativa de todos os casos da 2ª simulação (inverno) - Tarouca - Nic

Da análise das duas tabelas 14 e 15 e dos dois gráficos 5 e 6, verificou-se uma vez mais que os resultados obtidos pela 1ª simulação com as premissas do RCCTE impostas são os melhores, notando-se grande proximidade de valores com o 2º caso de estudo. Verificou-se que o apartamento que apresenta sempre mais ganhos pelos envidraçados e ganhos solares é o apartamento T4D, que tem envidraçados orientados a Norte, Sul e Este.

Da análise efetuada para a estação de arrefecimento (**verão**), verificou-se resultados diferentes, uma vez que o DB permitiu colocar as imposições necessárias para estudar o sistema de domótica implementado. Os casos em estudo são os indicados anteriormente, sendo que a temperatura de referência para o exterior, para abertura e fecho das persianas é de 16,5°C, visto ser a temperatura que permite que o sistema de domótica obtenha menores necessidades de arrefecimento, conforme se verifica no gráfico 7, onde foram analisados os resultados obtidos para o 3º e 4º caso para as temperaturas de 16,5°C, 18°C, 20°C e 22°C.

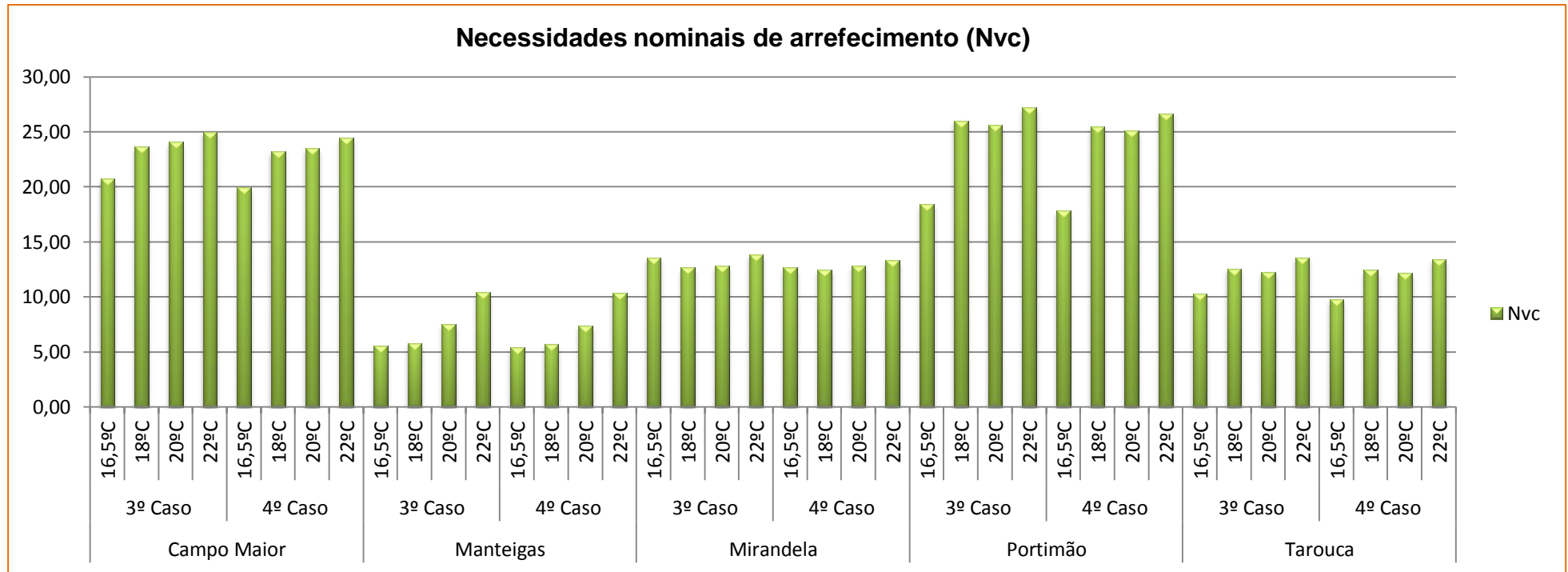
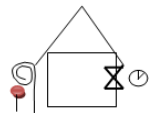
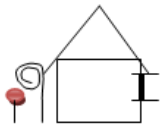


Gráfico 7 - Análise das diferentes temperaturas para o 3º e 4º caso da 2ª simulação da estação de arrefecimento (verão)

Legenda:



3º caso

4º caso

Na tabela 16 e 17, apresentam-se os resultados obtidos para cada caso estudo nas cinco localidades. Nos gráficos 8 e 9, comparam-se os valores de cada caso em cada localidade. Esta comparação foi feita para o 3º, 4º e 5º caso, uma vez que são os que interessa analisar, como já foi justificado anteriormente. No Anexo V apresentam-se os gráficos para cada uma das localidades com a análise individual dos mesmo.

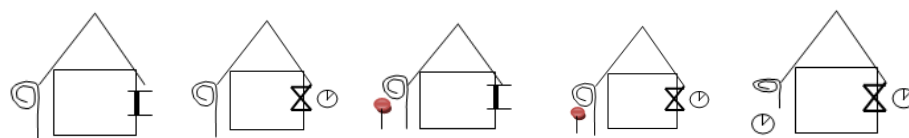
Localidade	Casos de Estudo	Ganhos pelos envidraçados (Glazing) (kWh)	Ganhos Solares (Solar Gains) (kWh)
<u>Portimão</u>	1º Caso	123	330
	2º Caso	1729	2231
	3º Caso	97	355
	4º Caso	101	355
	5º Caso	620	988
<u>Campo Maior</u>	1º Caso	189	351
	2º Caso	1890	2378
	3º Caso	145	375
	4º Caso	151	375
	5º Caso	702	1054
<u>Manteigas</u>	1º Caso	-40	316
	2º Caso	1568	2290
	3º Caso	61	548
	4º Caso	58	548
	5º Caso	109	530
<u>Mirandela</u>	1º Caso	97	338
	2º Caso	1734	2292
	3º Caso	102	444
	4º Caso	108	444
	5º Caso	640	1049
<u>Tarouca</u>	1º Caso	35	322
	2º Caso	1615	2204
	3º Caso	60	432
	4º Caso	62	432
	5º Caso	522	946

Tabela 16 - Quadro resumo da 2ª simulação para a estação de arrefecimento (verão)

Localidade	Casos de Estudo	Nvc kWh/(m ² .ano)
<u>Portimão</u>	1º Caso	25,65
	2º Caso	37,05
	3º Caso	18,45
	4º Caso	17,84
	5º Caso	22,23
	RCCTE	18,28
<u>Campo Maior</u>	1º Caso	23,39
	2º Caso	40,02
	3º Caso	20,77
	4º Caso	20,01
	5º Caso	24,54
	RCCTE	20,56
<u>Manteigas</u>	1º Caso	5,26
	2º Caso	18,74
	3º Caso	5,55
	4º Caso	5,40
	5º Caso	6,39
	RCCTE	5,25
<u>Mirandela</u>	1º Caso	12,16
	2º Caso	30,21
	3º Caso	13,58
	4º Caso	12,71
	5º Caso	16,85
	RCCTE	13,14
<u>Tarouca</u>	1º Caso	11,90
	2º Caso	26,26
	3º Caso	10,32
	4º Caso	9,78
	5º Caso	13,57
	RCCTE	9,87

Tabela 17 - Quadro resumo da 2ªsimulação para a estação de arrefecimento (verão) - Nvc

Legenda:



1º caso

2º caso

3º caso

4º caso

5º caso

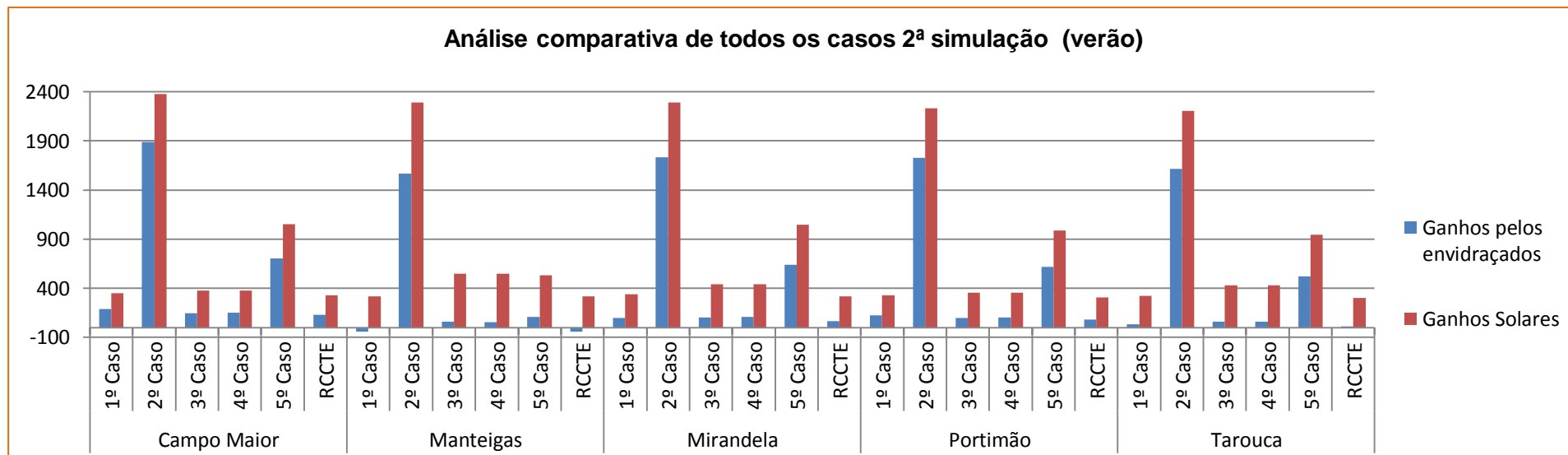


Gráfico 8 - Análise comparativa de todos os casos na 2ªsimulação (verão) - ganhos solares e envidraçados

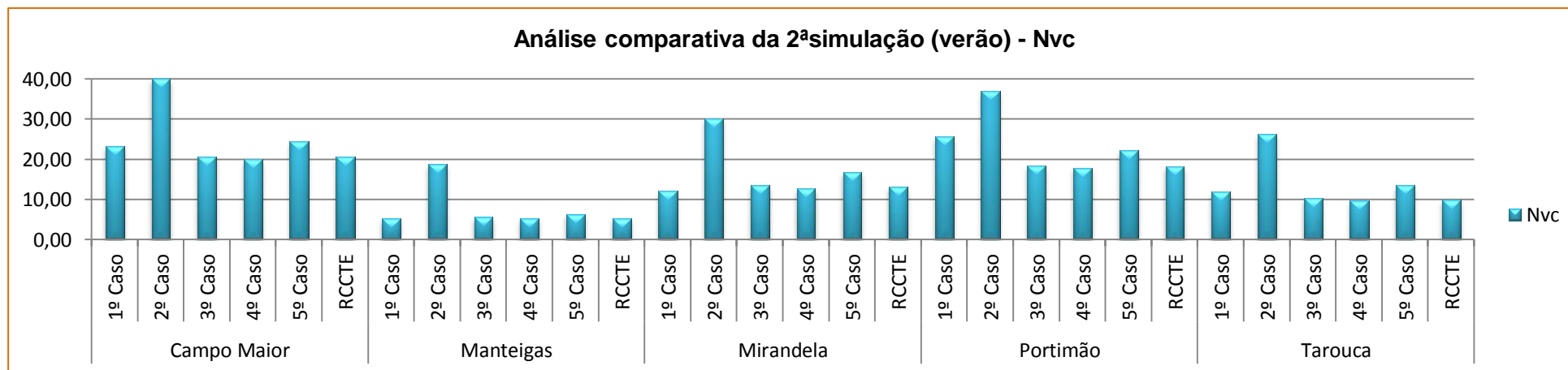


Gráfico 9 - Análise comparativa de todos os casos na 2ª simulação (verão) - Nvc

Da análise dos gráficos 8 e 9 e das tabelas 16 e 17, verificou-se que o 4º caso de estudo é o que traz mais benefícios, mesmo quando comparado com os resultados obtidos pelo RCCTE. É visível também que o 5º caso de estudo, apresenta maiores ganhos solares e ganhos pelos envidraçados, quando comparados com os restantes casos, com menor diferença em Manteigas.

No entanto fazendo uma análise detalhada, outras questões foram verificadas. No que respeita à eficiência energética do apartamento verificou-se que o sistema de domótica implementado e estudado não melhorou a classe de eficiência energética, conforme indicado na tabela 18, onde se comparou a eficiência energética dos resultados obtidos da 1ª simulação DB com premissas de RCCTE, que considera que durante o dia as persianas estão 70% fechadas e durante a noite totalmente fechadas, com o 2º caso de estudo da 2ª simulação onde se impôs a questão das pessoas saírem de casa ou não e estarem com as persianas totalmente abertas durante o dia.

Localidade	Nic (dB) kWh/ (m ² .ano)	Nvc (dB) kWh/ (m ² .ano)	Nic (2º caso) kWh/ (m ² .ano)	Nvc (2º caso) kWh /(m ² .ano)	Ni	Nv	Nac	Ntc/Nt (dB)	Classe	Ntc/Nt (2º caso)	Classe
Portimão	18,30	18,28	18,82	37,05	55,60	22,00	32,81	0,24	A+	0,36	A
Campo Maior	30,13	20,56	30,77	40,08	71,14	32,00	32,81	0,31	A	0,44	A
Manteigas	72,23	5,25	72,90	18,74	128,66	16,00	32,81	0,45	A	0,45	A
Mirandela	52,30	13,14	52,98	30,21	93,31	26,00	32,81	0,40	A	0,50	A
Tarouca	56,26	9,37	50,96	26,06	96,02	16,00	32,81	0,40	A	0,47	A

Tabela 18 - Classe energética do apartamento T4D - 2ª simulação

Com o 2º caso verificou-se ainda que não existe poupança de energia, nem diminuição das necessidades de arrefecimento, se considerarmos que as pessoas, saindo ou não de casa, deixam as persianas totalmente abertas durante o dia, não sendo portanto um caso viável, até porque a habitação não arrefecia, sendo esse o objetivo. Quando se impõe a abertura e fecho das persianas a partir de uma certa temperatura, verificou-se que a única temperatura a partir da qual teria-se melhores resultados seria 16,5°C, conforme análise do gráfico 7. Com esta temperatura e analisando o 4º caso detalhadamente, comparando-o com os restantes casos, obtemos menores necessidades de arrefecimento. Assim o sistema de domótica funciona, mas se a casa ficar totalmente vazia, uma vez que para uma temperatura de 16,5°C

temos menores necessidades de arrefecimento, mas não seria uma situação totalmente viável, uma vez que com as persianas maioritariamente do tempo permaneceriam fechadas e no caso de existirem pessoas em casa, não tirariam o máximo proveito da luz natural.

Na tabela 19 e 20 e no gráfico 10 e 11 apresenta-se a análise que se efetuou para todos os casos em todos os apartamentos, mas apenas para a localidade de Tarouca, por forma a verificar como se comportam os apartamentos, quando implementado o sistema de domótica em estudo.

Apartamento	Casos de Estudo	Ganhos pelos envidraçados (Glazing) (kWh)	Ganhos Solares (Solar Gains) (kWh)
T4D	1º Caso	35	322
	2º Caso	1615	2204
	3º Caso	60	431
	4º Caso	62	432
	5º Caso	207	545
	RCCTE	14	304
T4E	1º Caso	36	252
	2º Caso	1330	1801
	3º Caso	190	500
	4º Caso	192	501
	5º Caso	197	457
	RCCTE	28	244
T4A	1º Caso	39	271
	2º Caso	1502	2095
	3º Caso	553	964
	4º Caso	555	965
	5º Caso	67	315
	RCCTE	73	302

Tabela 19 - Análise comparativa de todos os casos da 2ª simulação para a estação de arrefecimento (verão) para todos apartamentos - Tarouca

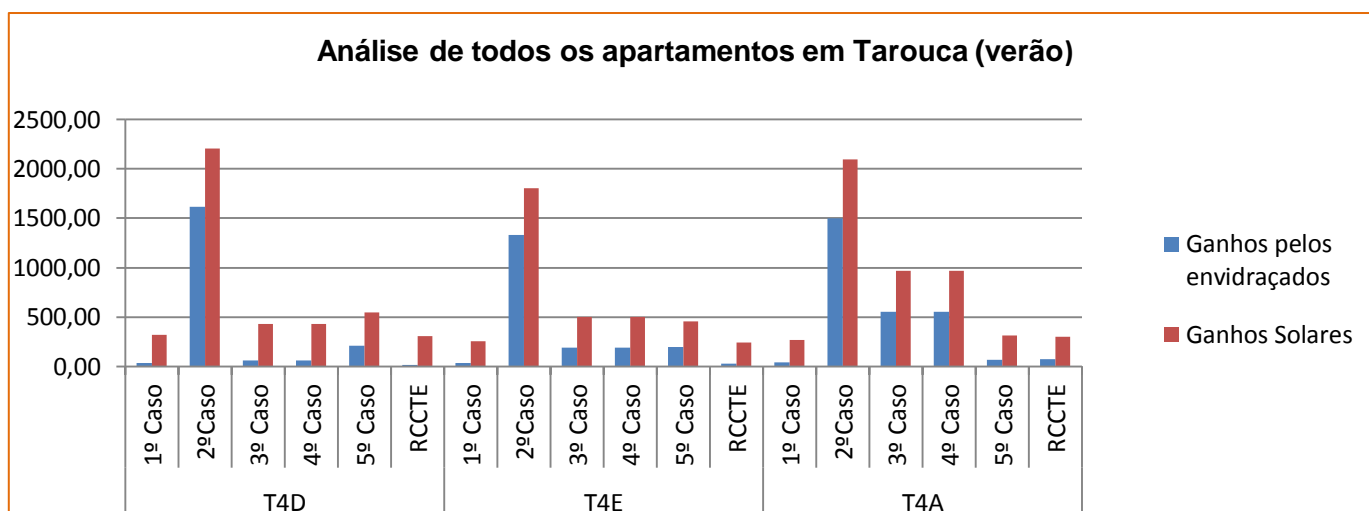


Gráfico 10 - Análise de todos os apartamento em Tarouca (verão) - 2ª simulação

Apartamento	Casos de Estudo	Nvc kWh/(m ² .ano)
T4D	1º Caso	11,90
	2º Caso	26,26
	3º Caso	10,32
	4º Caso	9,78
	5º Caso	13,64
	RCCTE	9,87
T4E	1º Caso	12,18
	2º Caso	22,25
	3º Caso	11,08
	4º Caso	10,57
	5º Caso	13,68
	RCCTE	9,99
T4A	1º Caso	10,55
	2º Caso	22,66
	3º Caso	14,40
	4º Caso	13,93
	5º Caso	10,84
	RCCTE	10,23

Tabela 20 - Análise de todos apartamento em Tarouca 2º simulação (verão) - Nvc

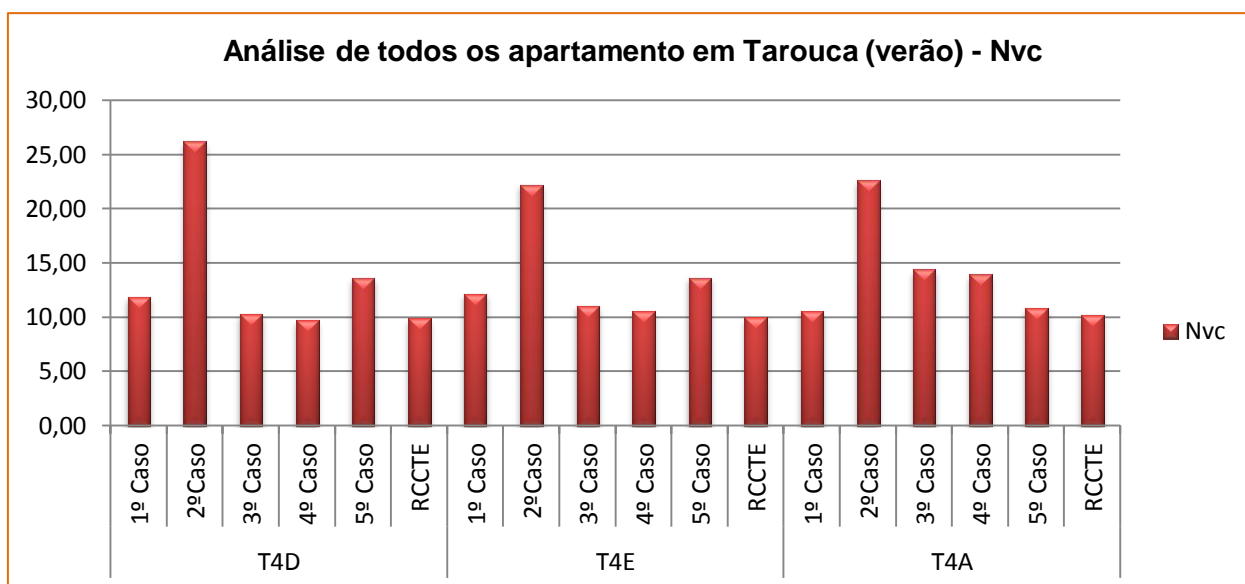


Gráfico 11 - Análise de todos os apartamento em Tarouca (verão) - Nvc - 2º simulação

Da análise efetuada, verificou-se que os resultados obtidos para os casos estudados já diferiam de apartamento para apartamento. Conforme verificado anteriormente com o 4º caso de estudo. No apartamento T4D é possível obter menores necessidades de arrefecimento quando comparadas com os restantes casos de estudo e até mesmo com os resultados do RCCTE, mas o mesmo não se verifica para o apartamento T4E e T4A.

No apartamento T4A apresentam-se valores de necessidades de arrefecimento para o 4º caso menores que os restantes casos de estudo, mas para o apartamento T4E essas necessidades já são menores apenas para o 5º caso.

Em relação aos ganhos solares e pelos envidraçados, verificou-se que para o apartamento T4D temos menores ganhos pelos envidraçados para o 3º e 4º caso comparando com os restantes o que é viável para o verão. No apartamento T4E, os ganhos solares são menores no 5º caso, mas em relação aos ganhos pelos envidraçados estes apenas são menores para o 4º caso.

Por fim para no apartamento T4A, o 5º caso é o único que apresentou valores menores tanto para o ganhos solares, como para os ganhos pelos envidraçados.

7. Avaliação da relação custo/benefício

Neste capítulo pretendeu-se avaliar o custo da implementação de um sistema de domótica numa habitação. Para tal solicitou-se ajuda da empresa B que forneceu gentilmente um orçamento detalhado com o investimento necessário. O orçamento encontra-se detalhado no Anexo VI.

Nesta avaliação pretendeu-se perceber se os benefícios obtidos com a implementação do sistema de domótica na fracção estudada supera os custos associados ao seu investimento, tendo em conta também o custo da energia e o período de retorno do investimento. De acordo com o Anexo XIII do RSECE, o método de cálculo do período de retorno para medidas de eficiência energética é calculado através do parâmetro “período de retorno simples”, definido da seguinte forma [11]:

$$PRS = \frac{C_a}{P_1},$$

Equação 3

em que:

C_a – custo adicional de investimento, calculado pela diferença entre o custo inicial da solução base, isto é, sem alternativa de maior eficiência energética, e o da solução mais eficiente, estimada aquando a construção do sistema, com base na melhor informação técnica e orçamental ao dispor do projetista;

P_1 – poupança anual resultante da aplicação da alternativa mais eficiente, estimada com base em simulações anuais, detalhadas ou simplificadas do funcionamento do edifício e seus sistemas energéticos, conforme aplicável em função da tipologia e área útil do edifício.

No estudo realizado considerou-se que o somatório dos benefícios é dado pela poupança energética (kWh/ano) ao fim de 8 anos. Esta delimitação temporal foi determinada considerando o período de retorno simples, implementado pelo RSECE [11], no Plano de Racionalização Energética (PRE).

De acordo com o orçamento em anexo, o custo do investimento inicial é de 3.797.51€. Tomando o custo da energia elétrica de 0,17€/kWh e com valores de consumos de energia de:

RCCTE = 1779 kWh/ano

DB = 1763 kWh/ano, tem-se uma poupança de consumos de energia de:

$$\text{Poupança} = 1779 - 1763 = 16 \text{ kWh/ano.}$$

$$\text{Posto isto o PRS} = \frac{3797,51}{(0,17 \times 16 \times 8)} = 175 \text{ anos.}$$

Calculado o período de retorno simples, percebeu-se que face ao estudo realizado, não é viável a solução da domótica definida.

No entanto é necessário ter em conta que o estudo em questão apresentou muitas limitações. Pode-se concluir que face ao valor do investimento inicial, uma pessoa que consiga impor as medida estipuladas no RCCTE, persianas fechadas a 70% durante o dia e totalmente fechadas durante a noite, terá efetivamente algum conforto em casa, sem necessitar do investimento de um sistema de domótica.

8. Conclusões

Na concepção do modelo 3D do piso em estudo, no *software DesignBuilder*, aproximou-se ao máximo o modelo à realidade, o que se tornou bastante difícil, devido às opções que o *software* disponibiliza. Verificou-se que essa aproximação é mais difícil utilizando o DB, do que quando utilizamos o RCCTE, nomeadamente, na introdução das pontes térmicas, na definição exata de todos os elementos geométricos do modelos e algumas características construtivas. Outra dificuldade, que levou a alteração de parâmetros, foi devido ao ano climático que o software utiliza, base de dados Solterm, que levou ao novo calculo dos valores do GD's e das temperaturas médias de referência.

Da análise efectuada para a estação de aquecimento (inverno), com implementação do sistema de domótica, não foi possível retirar uma conclusão fidedigna, visto que o software, não permitiu implementar um sistema de domótica com as premissas que beneficiariam o comportamento da fração em estudo durante toda a estação, como o controlo de temperatura mínima para o qual as persianas abrem/fecham, abertura/fecho de janelas, radiação solar mínima incidente entre outro parâmetros, que podem ser definidos com a domótica. Desta forma, os resultados obtidos desta simulação indicam que a melhor hipótese é a do RCCTE, uma vez que a introdução de um equipamento de domótica, não trará benefícios em relação à diminuição das necessidades de aquecimento. A implementação de um sistema de domótica, apenas permitirá ter um equipamento que controla todos os periféricos da habitação, persianas, janelas, sistema de climatização, não necessitando de recorrer ao controlo humano, que é sempre de menor eficiência.

Da análise referente à estação de arrefecimento (verão), quando impostas as premissas do RCCTE, verificou-se que a temperatura de referência de 25°C que o RCCTE indica, não é o suficiente para aproximar os resultados obtidos do DB.

Na simulação efectuada com a implementação do sistema de domótica, conclui-se que o sistema apenas trará benefícios para consumos energéticos para uma temperatura de mínima de 16,5°C, que é uma temperatura muito baixa para esta estação. Sendo que as premissas impostas pelo RCCTE trarão

efectivamente maiores benefícios que a implementação da domótica na fração, não só porque a diferença de resultados é mínima, mas também face ao valor do investimento inicial. Assim a domótica, apenas permitirá uma maior eficiência face ao controlo que o ser humano pode fazer, pois o que o RCCTE indica é 70% das persianas fechadas durante o dia no verão e a domótica permitirá fazer esse controlo de outra forma permitindo uma temperatura interior da habitação de maior conforto, mas sem trazer benefícios à eficiência energética da habitação.

Em relação ao cálculo do período de retorno simples, verificou-se que devido á diferença dos consumos ser muito pequena e perante o valor do investimento inicial necessário, que a implementação de um sistema de domótica é desvantajoso. Além de que é sempre necessário ter em conta que a implementação da domótica trará despesas de manutenção acrescidas e o custo da energia por kWh tem tendência a aumentar ao longo do tempo.

Em conclusão, para o caso estudado, o equipamento de domótica apenas irá permitir uma maior eficiência face ao controlo humano, não trazendo menores consumos e uma melhoria da eficiência energética da habitação.

9. Limitações e propostas de trabalhos futuros

A realização deste trabalho permitiu detetar várias limitações. No que se refere ao programa utilizado para a realização das análises dinâmicas, o *DesignBuilder*, apresentou limitações ao nível da definição e introdução dos dados necessários para se poder fazer uma comparação de resultados mais fiável e permitir atingir os objectivos da dissertação. Outra limitação do trabalho deve-se ao fato do *software*, DB, não permitir a introdução de dados para o inverno que permitam realizar um estudo viável para esta estação, impossibilitando a análise do comportamento do sistema de domótica.

Assim as, as propostas de melhoria para trabalhos futuros, são as seguintes:

- ✓ Realização de um estudo de um sistema de domótica em relação à incidência solar, verificando desta forma qual o comportamento final em relação aos ganhos solares e necessidades de energia útil, uma vez que o estudo realizado apenas incidiu na variação da temperatura exterior;

- ✓ Efetuar um estudo em que o sistema de domótica não imponha apenas e só a abertura/fecho de persianas e janelas, mas tendo em conta também a iluminação natural e artificial que também contribui para um conforto da habitação. Adicionar também a ocupação dos utilizadores consoante as horas do dia que seria necessário ter o aquecimento ou arrefecimento ligado, de forma a estimar o mais aproximadamente possível as necessidades reais de energias útil.;

- ✓ Definição de períodos, horários e de ocupação, diferentes para durante a semana e fim-de-semana, uma vez que os horários das pessoas são diferentes, durante o período de trabalho e o período de descanso.

10. Referências bibliográficas

1. Angel, Patricia Marta, (1993) – FRAIGI, Liliana Beatriz. Introducción a la domótica. Espanha.
2. ASHRAE, (2004), *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Ansi/ASHRAE standard 6.2.1 – 2004, American Society of heating, refrigeration and air-conditioning Engineers*. Atlant. USA.
3. Barros, Hugo, (2009) – Estudo e Avaliação das componentes térmicas na utilização de energia em Edifícios. Madeira. Universidade da Madeira.
4. Barros, Auriza, (2010) – Edifícios Inteligente e a Domótica – Proposta de um projeto de automação residencial utilizando o protocolo X-10. Cabo Verde. Universidade Jean Piaget de Cabo Verde.
5. Brugnera, Mauro, (2007) – Sistema de controlo de temperatura para ambientes residenciais. Novo Hamburgo. Centro Universitário Feevale.
6. Cardoso, David Luís, (2009) – Domótica Inteligente – Um Contributo Prático. Vila Real. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
7. Chavtal, Karin, (2007) – Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e potencial de sobreaquecimento no Verão. Porto. FEUP.
8. Silva, Francisco; Branco, Domingos – Trabalho de Tecnologia da Edificação – Domótica.
9. Decreto – Lei 40/90 de 4 de Fevereiro – *Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE)*. In *Diário da República*, I Série, n.31, 6 de Fevereiro de 1990. Lisboa.

10. Decreto-Lei 78/2006 de 4 de Abril – *Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro*. In *Diário da República*, I Série – A, n.º 67 de 4 de Abril de 2006. Lisboa.
11. Decreto – Lei 79/2006 de 4 de Abril – *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)*. In *Diário da República*, I Série – A, n.º 67 de 4 de Abril de 2006. Lisboa.
12. Decreto – Lei 80/2006 de 4 de Abril – *Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE)*. In *Diário da República*, I Série – A, n.º 67, 4 de Abril de 2006. Lisboa.
13. Diretiva 2002/91/CE do *Parlamento Europeu e do Conselho*, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios.
14. Decreto – Lei n.º 173/92, de 8 de Agosto de 1992 – *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RQESE)*. In *Diário da República*, I Série – A, n.º 182, 8 de Agosto de 1992. Lisboa.
15. Ferreira, Hélder, (2008) – Estudo exploratório sobre a utilização do RCCTE na Avaliação de Desempenho Passivo de Edifícios Residenciais. Porto. FEUP.
16. Garrido, João, (2008) – Sistemas Energéticos para o sector Edifícios em Portugal: Sustentabilidade e Potencial de Inovação. Monte da Caparica. FCT-UNL.
17. Gonçalves, Bernardo, (2010) – Simulação Dinâmica do comportamento térmico do *Sheraton Lisboa Hotel & SPA*. Lisboa. IST.
18. Jardim, Fátima, (2009) – Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação. Minho. Universidade do Minho.

19. Maia de Brito, Raquel, (2010) – Avaliação de Custos Associados à Melhoria da Classe Energética de Moradias. Lisboa. IST.
20. Messias, Alan, (2007) – Edifícios “Inteligentes”. A domótica aplicada à realidade Brasileira. Ouro Preto, Brasil. Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP.
21. Moret Rodrigues, A; Cunha da Piedade, A; Marta Braga, A, (2009) – Térmica dos Edifícios. Edições Orion. Amadora. Portugal.
22. Morais, Luís Filipe Vaz, (2009) – Consumos Energéticos no sector residencial: um caso de estudo – Vila Real. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
23. Nunes, João, (2009) – Configuração de sistemas domóticos. Lisboa. IST.
24. Oliveira, Paulo, (2010). Módulo de Domótica. Lisboa
25. Pereira, Ricardo; Bento, Rui; Ferreira, João, (2011) – Domótica e edifícios inteligentes, num contexto de Propriedade Industrial. Instituto Nacional da Propriedade Industrial
26. Santos, Carlos Pina e Matias, Luís, (2006), ITE50 – Coeficiente de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. S.1. LNEC.
27. Santos, Sara Diana, (2010) – Análise do uso da energia na FCT-UNL (edifícios II, VII, VIII, IX e X) e estudo dos comportamentos relativos ao uso da energia. FTC-UNL. Lisboa.
28. Soares, Bruno, (2009) – O impacto da reformulação do RCCTE nas operações das grandes empresas de construção portuguesas. Monte da Caparica. FCT – UNL.

29. Teza, Vanderlei Rabelo, (2002) – Alguns Aspectos Sobre a Automação Residencial – Domótica. Florianópolis. Universidade Federal De Santa Catarina Programa de Pós-graduação em ciência da computação.

Sites:

- JG Domótica, [online], www.jgdomotica.pt.
- Logic Home, [online] www.logichome.pt
- www.matercaima.pt
- <http://www.din.uem.br/ia/controler/domotica.html>)
- <http://www.electronica-pt.com/index.php/content/view/67/43/>)
- <http://www.sapagroup.com/pt/Company-sites/Sapa-Building-System-Portugal/Produtos/Janelas-de-Correr/Wideslide-150/>
- <http://www.fichet-pointfort.com.pt/rewrite/article/508/produtos/porta-blindada-apartamento/porta-fichet-g375.htm?idRubrique=294>
- www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2009.../domotica/domotica.doc
- www.rederia.pt
- www.aplicengenharia.com.br/links/produtos_servicos/projeto_integracao_automacao_residencial_predial.html
- <http://nexus.eng.br/auto.html>
- http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency/l27046_pt.htm
- http://europa.eu/legislation_summaries/other/l27042_pt.htm
- <http://pt.wikipedia.org/wiki/Dom%C3%B3tica>
- <http://pt.scribd.com/doc/39244263/Sebenta-Domotica-Free>
- <http://www.domosolar.net/domotica/domosolar-domotica-e-energias-renovaveis/>

- <http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/conhecer/equipamentos-eficientes/domotica>
- http://www.domusconnect.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=15&Itemid=20
- http://www.ecocasa.pt/construcao_content.php?id=23
- http://www.eficiencia-energetica.com/html/eee/eee_estrategias.htm
- http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=pt&type doc=Directive&an doc=2002&nu doc=91
- http://www.apcmc.pt/newsletter/newsletter_n231/imagens/dossier_Eficiencia_Energetica.pdf
- http://users.isr.ist.utl.pt/~pjcro/cadeiras/api0304/pdfs/SEM_K.pdf
- <http://www.certificacaoenergetica.com/certificacaoenergetica/sce/>
- <http://www.cctv-euro.com/glossario/o-que-e-um-router/-/gateway.html>
- <http://www.prof2000.pt/users/lpa>
- <http://www.al.urcamp.tche.br/infocamp/edicoes/ago05/Fibra%20optica.pdf>
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Fonte_de_alimenta%C3%A7%C3%A3o_ininterrupta
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Controller_Area_Network
- <http://www.lneg.pt/iedt/projectos/370/>

Anexo I – Desenhos – Plantas Alçados e Cortes

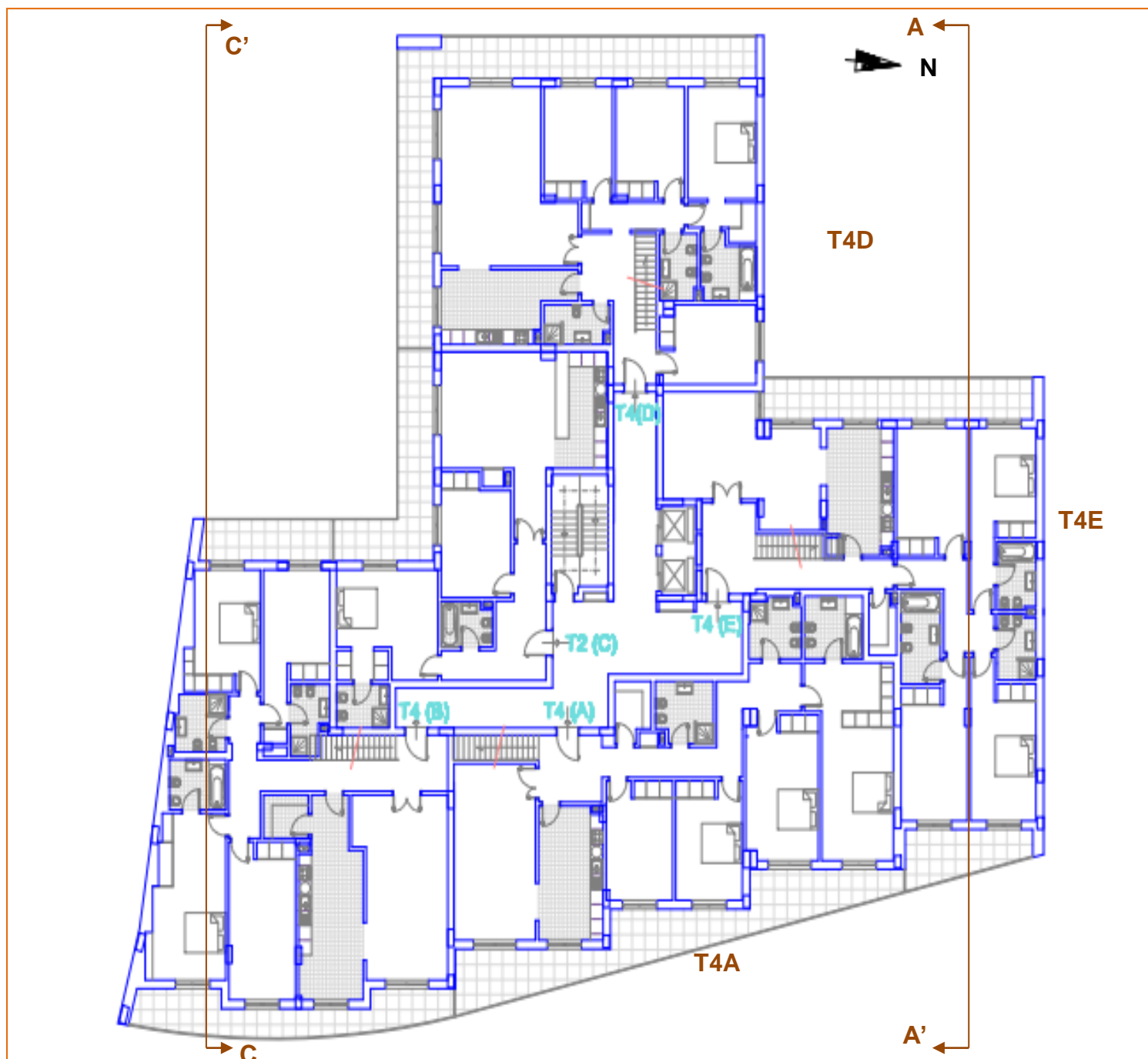


Figura 39 - Planta do piso 4 (piso em estudo)

Tipologia T4 - A		Tipologia T4 -D		Tipologia T4 -E	
Descrição	Área (m ²)	Descrição	Área (m ²)	Descrição	Área (m ²)
Hall	7,90	Hall	16,00	Hall	9,30
Sala	26,95	Sala	38,00	Sala	31,00
Cozinha	16,20	Cozinha	18,80	Cozinha	15,90
Despensa	3,80	Circulação	5,30	Despensa	3,00
Circulação	16,15	I.S.	4,80	Circulação	16,60
I.S.	6,40	I.S.	4,60	I.S.	6,80
I.S.	5,80	I.S.	6,30	I.S.	4,80
I.S.	6,80	Quarto	14,40	I.S.	4,95
Quarto	14,90	Closet	4,00	Quarto	18,00
Quarto	14,90	Quarto	14,40	Quarto	18,00
Quarto	19,90	Quarto	14,40	Quarto	15,40
Quarto	17,90	Quarto	14,40	Quarto	15,50
Closet	10,30	Varanda	45,05	Varanda	31,35
Varanda	37,40	Terraço	76,40	Terraço	77,25
Terraço	83,00	Arrumos	14,10	Arrumos	20,30
Arrumos	23,60	Total Área Útil	155,40	Total Área Útil	159,25
Total Área Útil	167,90	Total Bruta Privativa	178,92	Total Bruta Privativa	194,78
Total Bruta Privativa	201,85				

Tabela 21 - Caracterização das áreas dos apartamentos em estudo



Figura 40 - Alçado Norte e Corte AA' com identificação do piso em estudo



Figura 41 - Alçado Sul

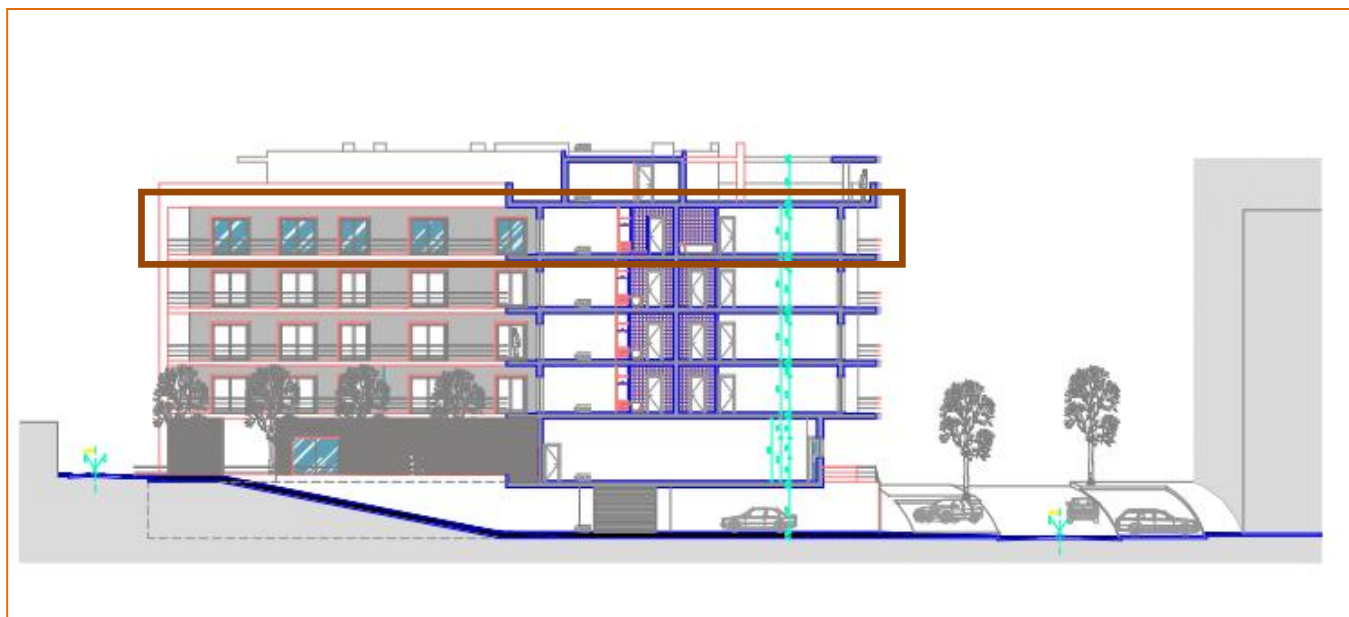


Figura 42 - Alçado Nascente e Corte CC' com identificação do piso em estudo



Figura 43 - Alçado Poente

Anexo II – Caracterização dos elementos construtivos

→ Envolvente exterior

Paredes exteriores

As fachadas do edifício são compostas por paredes duplas de alvenaria de tijolo, com uma espessura total de 37 cm. As paredes são constituídas por uma camada de reboco de regularização com 2 cm de espessura, um pano exterior de alvenaria de tijolo cerâmico furado de 30 x 20 x 15 cm, isolamento térmico com poliestireno extrudido (XPS), tipo “*Wallmate*” com espessura de 5 cm, uma caixa-de-ar de 2,5 cm, um pano interior de alvenaria de tijolo cerâmico furado de 30 x 20 x 11 cm e um reboco interior de regularização com 1,5 cm de espessura, figura 44.

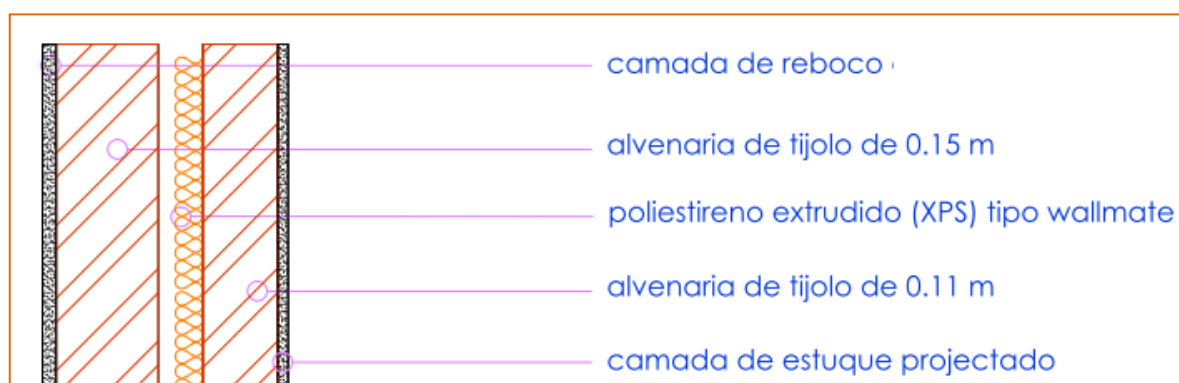


Figura 44 - Pormenor construtivo das paredes exteriores

Este tipo de solução foi escolhido, para reduzir as perdas térmicas para o exterior, uma vez que as paredes exteriores representam a maior parte da envolvente em contato com o exterior. O cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U) das paredes exteriores é apresentado na tabela 23 e os valores das resistências térmicas e da condutibilidade dos materiais apresentados, são conforme o recomendado no RCCTE [12] e no ITE 50 [24].

Coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores				
		Espessura e (m)	Condutibilidade λ (W/(m.°C))	Resist. R_t (m ² .°C/W)
Rse				0,04
1	Reboco	0,02	1,3	0,02
2	Tijolo 15	0,15		0,39
3	Isolamento XPS	0,05	0,037	1,35
4	Caixa-de-ar	0,025		0,18
5	Tijolo 11	0,11		0,27
6	Reboco	0,015	1,3	0,01
Rsi				0,13
Espessura Total		0,37		
Coeficiente de transmissão térmica U (W/m².°C)				0,42

Tabela 23 - Coeficiente de Transmissão Térmica das Paredes Exteriores

Paredes interiores

Para os elementos divisórios interiores, foram adotadas paredes simples com 18 cm. Estas são constituídas por uma camada de reboco de regularização com 2 cm de espessura, um pano de tijolo cerâmico furado de 30 x 20 x 11 cm, isolamento térmico com poliestireno extrudido (XPS) tipo “Wallmate” com espessura de 3 cm e por fim uma camada de reboco com 2 cm de espessura. O cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U) das paredes interiores é representado na tabela 24 e os valores das resistências térmica e da condutibilidade dos materiais apresentados, são conforme o recomendado no RCCTE [12] e no ITE 50 [24].

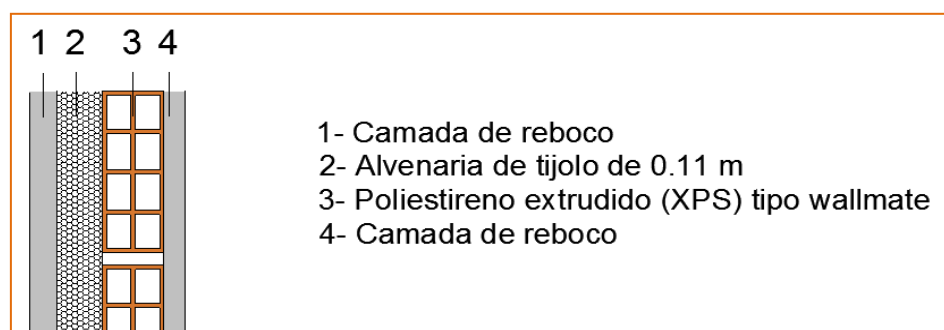


Figura 45 - Pormenor construtivo das paredes interiores

Coeficiente de transmissão térmica dos elementos interiores em zona corrente				
		Espessura e (m)	Condutibilidade λ (W/(m.°C))	Resist. R_t (m ² .°C/W)
Rse				0,13
1	Reboco	0,02	1,3	0,02
2	Tijolo 11	0,11		0,27
3	Isolamento XPS	0,03	0,037	0,81
4	Reboco	0,02	1,3	0,02
Rsi				0,13
Espessura Total		0,18		
Coeficiente de transmissão térmica U (W/m².°C)				0,73

Tabela 24 - Coeficiente de Transmissão Térmica das Paredes Interiores

Cobertura

A cobertura em terraço definida no projeto em estudo é constituída por uma camada de reboco com 1,5 cm de espessura, um sistema de impermeabilização com 0,5 cm de espessura, um isolamento térmico em poliestireno extrudado (XPS) tipo “Wallmate” com 4 cm de espessura, uma camada de forma de 10 cm de espessura, uma laje em betão armado com 20 cm de espessura e por fim uma proteção de cobertura com 0,6 cm de espessura. O cálculo do coeficiente de transmissão térmica para a cobertura é apresentado na tabela 25 e teve por base a informação contida no ITE 50 [24].

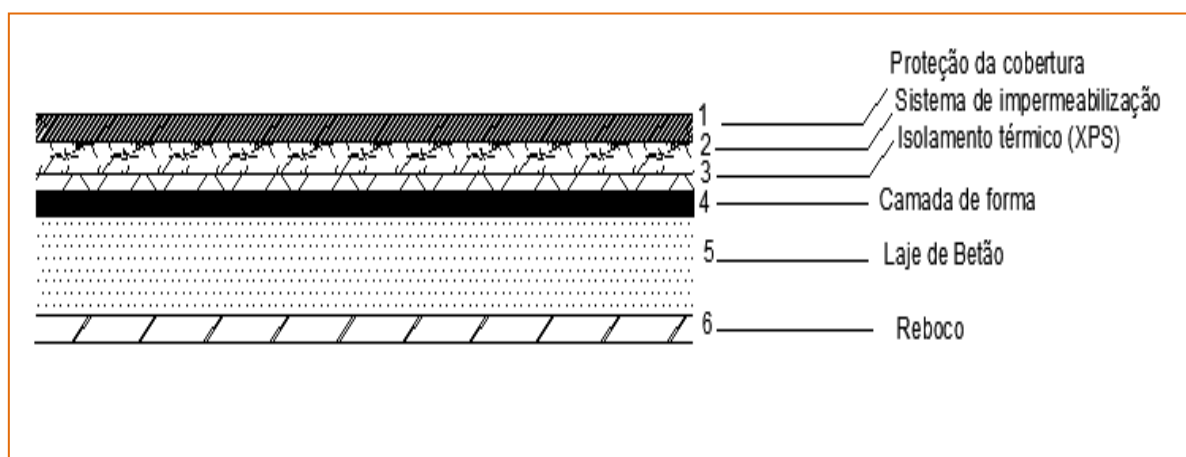


Figura 46 - Pormenor construtivo da cobertura

Coeficiente de transmissão da cobertura (verão e inverno)					
		Espessura e (m)	Condutibilidade λ (W/(m.°C))	Resist. R_t inverno (m ² .°C/W)	Resist. R_t verão (m ² .°C/W)
Rsi				0,10	0,17
1	Proteção da cobertura	0,006	1,300	0,01	0,01
2	Sistema de impermeabilização	0,005	0,230	0,02	0,02
3	Isolante térmico XPS	0,040	0,036	1,11	1,11
4	Camada de forma	0,100	0,700	0,14	0,14
5	Betão	0,200	2,000	0,10	0,10
6	Reboco	0,015	0,037	0,16	0,16
Rse				0,04	0,04
Espessura Total		0,366			
Coeficiente de transmissão térmica U (W/m².°C)				0,59	0,57

Tabela 25 - Coeficiente de Transmissão Térmica da Cobertura

Pontes térmicas planas

As pontes térmicas planas correspondem às heterogeneidades inseridas em zona corrente da envolvente, como é o caso dos pilares, das vigas e da caixa-de-estore. As vigas e os pilares apresentam a mesma solução construtiva, sendo ambas isoladas pelo interior, para reduzir as perdas térmicas pela envolvente exterior. A solução construtiva adotada é composta por uma camada de estuque com 1,5 cm de espessura, um pilar em betão armado com 25 cm de secção, isolamento térmico CELENIT com 7,5 cm e por fim uma camada de reboco de 2 cm de espessura. Na tabela 26, apresenta-se o cálculo do coeficiente transmissão térmica, com a necessária correção para a garantia da satisfação dos requisitos mínimos de qualidade térmica do RCCTE [12], e tendo em atenção as exigências imposta pela arquitetura. As dimensões apresentadas na tabela foram retiradas em planta, e a R_t do isolamento foi retirado da seguinte fonte www.matercaima.pt.

Coeficiente de transmissão dos pilares da envolvente exterior				
		Espessura e (m)	Condutibilidade λ (W/(m.°C))	Resist. R_t (m ² .°C/W)
Rse				0,04
1	Estuque	0,015	0,43	0,03
2	Betão	0,25	2	0,13
3	CELENIT	0,075		1,75
4	Reboco	0,02	1,3	0,02
Rsi				0,13
Espessura Total		0,36		
Coeficiente de transmissão térmica U (W/m².°C)				0,48

Tabela 26 - coeficiente de transmissão térmica dos pilares e vigas

As caixas-de-estore admitidas no projeto em estudo foram as caixas-de-estore da empresa Barreirinhas – Artefactos em cimento, Lda., do modelo STORMAX – EVO, figura 47. A STORMAX – EVO é uma caixa de estore composta por uma estrutura de poliuretano revestida por uma camada de argamassa, com uma tampa inovadora que soluciona de forma simples e eficaz o problema da entrada de ar pela caixa de estore. As características térmicas das caixas foram fornecidas pelo próprio fabricante, podendo ser consultadas no site da empresa e através da ficha técnica que se encontra no Anexo III. O coeficiente de transmissão térmica da caixa-de-estore é de 0,75 W/m².°C.

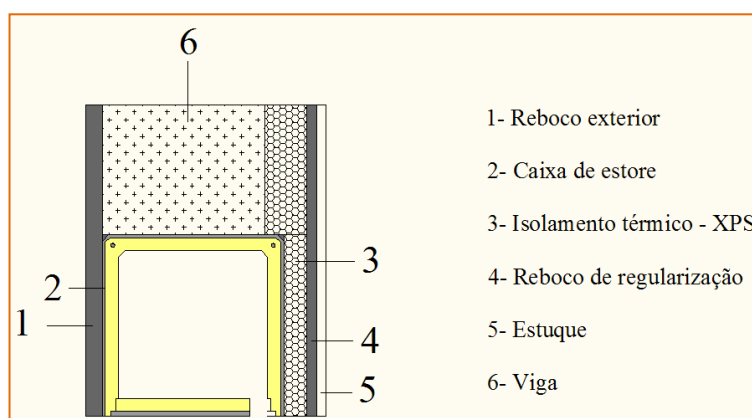


Figura 47 - Pormenor construtivo da Caixa-de-Estore

Envidraçados

Caixilharia

Para as frações em estudo a caixilharia admitida é fabricada pela empresa SAPA Portugal, correspondendo à Série “Wideslide 150”. Trata-se de um sistema de correr elevável com rotura de ponte térmica e indicada para vãos de grande e média dimensão. É uma marca de caixilharia certificada, cumprindo todos os requisitos estipulados por Lei. Este sistema apresenta um grande efeito visual, oferecendo um elevado desempenho térmico, acústico e mecânico e assegurando uma grande luminosidade natural. Outra característica deste tipo de caixilho é o de ter uma ferragem especial, isto é, ao elevar as folhas na operação de abertura, confere um deslizar suave e controlado. Ao ser fechado permite obter uma selagem, obtendo-se um excelente desempenho de resistência à permeabilidade ao ar e de estanquidade à água. O coeficiente de transmissão térmica da caixilharia é de $3,9 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, valor fornecido pelo próprio fabricante.

Vidro

O vidro adotado é um vidro duplo com caixa-de-ar, para reduzir as perdas térmica para o exterior. O modelo de vidro admitido é o SGG CLIMAPLUS N, fabricado pela empresa SAINT-GOBAIN GLASS. Apresenta na sua composição duas lâminas, SGG Planilux e SGG Planitherm Futur N, ambas com 6 mm de espessura e uma caixa-de-ar de 12 mm de argon, figura 38. Todas as propriedades do vidro foram fornecidas pela SAINT-GOBAIN GLASS. Este vidro apresenta um $U_{env} = 1,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e um $g_{\perp V} = 0,61$ e um $g_{\perp}' = 0,21$. São compostos por persianas de régua metálicas de cor média, com dispositivos externos de proteção solar e oclusão noturna, apresentando um $g_{100\%} = 0,07$, como é definido no Quadro V.4 do RCCTE [12].

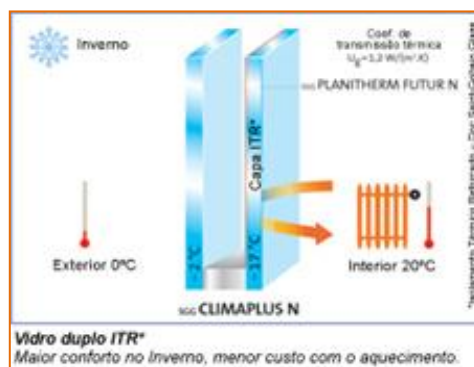


Figura 48 - Pormenor construtivo do vidro

Os vãos envidraçados considerados no estudo apresentam as seguintes áreas $2,00 \times 2,00 \text{ m}^2$, $2,00 \times 1,60 \text{ m}^2$ e $2,00 \times 1,11 \text{ m}^2$. Uma vez que o valor do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados diz respeito ao conjunto vidro + caixilho (janela), realizou-se o cálculo do U com base nas características e propriedades dos mesmos e teve-se em conta uma importante nota que se encontra no ITE50 [24]: U_{wdn} , coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado (inclui a contribuição dos eventuais dispositivos de oclusão noturna), aplicável a locais com ocupação noturna. Se o vão envidraçado não dispõe de dispositivos de oclusão noturna, $U_{\text{wdn}} = U_{\text{w}}$. Como no caso em estudo existem dispositivos de oclusão noturna, o U_{wdn} não será igual ao U_{w} , calculando-se o U_{wd} (coeficiente de transmissão térmica – dia) e o U_{wn} (coeficiente de transmissão térmica – noite) para se obter o U_{wdn} para cada envidraçado, conforme se pode verificar em seguida.

✓ *Janela 2,00 x 1,60*

$$\text{Área} = 3,20 \text{ m}^2$$

$$\text{Área do vidro} = 1,18 \times 2 = 2,36 \text{ m}^2$$

$$\text{Área do caixilho} = 3,20 - 2,36 = 0,84 \text{ m}^2$$

$$U_{\text{wd}} = \frac{(2,36 \times 1,10) + (0,84 \times 3,2)}{2,36 + 0,84} = 1,65 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Equação 4

$$U_{\text{wn}} = \frac{(2,36 \times 1,10) + (0,84 \times 3,2) + (1,4 \times 3,2)}{2,36 + 0,84 + 1,4} = 1,53 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Equação 5

$$U_{\text{wdn}} = \frac{1,65 + 1,53}{2} = 1,60 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Equação 6

✓ *Janela 2,00 x 2,00*

$$\text{Área} = 4,00 \text{ m}^2$$

$$\text{Área do vidro} = 1,54 \times 2 = 3,08 \text{ m}^2$$

$$\text{Área do caixilho} = 4 - 3,08 = 0,92 \text{ m}^2$$

$$U_{\text{wd}} = \frac{(3,08 \times 1,10) + (0,92 \times 3,2)}{3,08 + 0,92} = 1,58 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Equação 7

$$U_{\text{wn}} = \frac{(3,08 \times 1,10) + (0,92 \times 3,2) + (1,4 \times 4)}{3,08 + 0,92 + 4} = 1,49 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Equação 8

$$U_{wdn} = \frac{1,58+1,49}{2} = 1,54 \text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$$

Equação 9

✓ *Janela 2,00 x 1,11*Área = 2,22 m²Área do vidro = 0,73 x 2 = 1,46 m²Área do caixilho = 2,22 - 1,46 = 0,76 m²

$$U_{wd} = \frac{(1,46 \times 1,10) + (0,76 \times 3,2)}{1,46 + 0,76} = 1,82 \text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$$

Equação 10

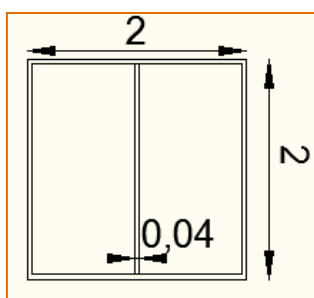
$$U_{wn} = \frac{(1,46 \times 1,10) + (0,76 \times 3,2) + (1,4 \times 2,22)}{1,46 + 0,76 + 2,22} = 1,61 \text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$$

Equação 11

$$U_{wdn} = \frac{1,82+1,61}{2} = 1,72 \text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$$

Equação 12

Os valores do U do caixilho, da caixa-de-ar e do vidro encontram-se indicados nas fichas técnicas nos Anexo III. Outro fator alterado que também altera o cálculo na Envolvente vertical translúcida é o Fg. Efetuou-se um novo cálculo par ao Fg, uma vez que este não é quantificado no DB, como é contabilizado no RCCTE, e visto querermos aproximar o mais possível os dois modelos de análise, fez-se este novo cálculo com base no DB.

✓ *Janela 2,00 x 2,00*

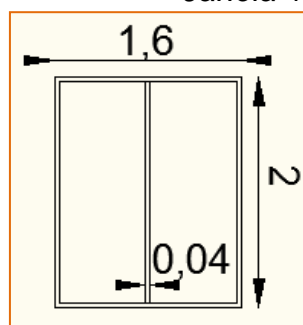
(Meio): 1,92 x 0,04 = 0,077

(Laterais): 2 x 0,04 x 2 = 0,16

(barra cima/baixo): 1,92 x 2 x 0,04 = 0,15

$$F_g = \frac{(2 \times 2) - 0,077 - 0,16 - 0,15}{2 \times 2} = 0,90$$

Equação 13

✓ *Janela 1,60 x 2,00*

(Meio): 1,52 x 0,04 = 0,061

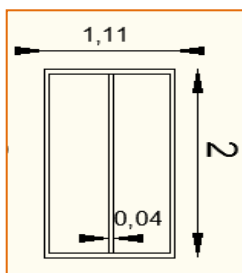
(Laterais): 2 x 0,04 x 2 = 0,16

(barra cima/baixo): 1,52 x 2 x 0,04 = 0,12

$$F_g = \frac{(1,6 \times 2) - 0,061 - 0,16 - 0,12}{1,6 \times 2} = 0,89$$

Equação 14

✓ *Janela 1,11 x 2,00*



(Meio): $1,92 \times 0,04 = 0,077$

(Laterais): $2 \times 0,04 \times 2 = 0,16$

(barra cima/baixo): $1,03 \times 2 \times 0,04 = 0,08$

$$Fg = \frac{(1,11 \times 2) - 0,077 - 0,16 - 0,08}{0,86}$$

Equação 15

Pontes térmicas lineares

No presente caso de estudo, segundo o RCCTE [12], podemos verificar a existência das seguintes pontes térmicas lineares:

✓ Ligação da fachada com cobertura inclinada ou terraço

Segundo a Tabela IV.3 (Cr) do RCCTE [12], uma vez que a parede é dupla com 37 cm de espessura, com o isolamento contínuo pelo exterior, e como a laje tem 37 cm de espessura, têm-se um valor de ψ de 0,55 W/m.°C.

✓ Ligação da fachada com varanda

Segundo a Tabela IV.3 (Er) do RCCTE [12], uma vez que a parede é dupla com 37 cm de espessura, com o isolamento repartido na caixa-de-ar, e com a laje de 20 cm de espessura, têm um valor de ψ de 0,45 W/m.°C.

✓ Ligação entre duas paredes verticais

Segundo a Tabela IV.3 (Fr) do RCCTE [12], uma vez que a parede é dupla com 37 cm de espessura, com o isolamento pelo interior, e com a laje de 37 cm de espessura, têm um valor de ψ de 0,25 W/m.°C.

✓ Ligação fachada/padieira ou peitoril

Segundo a Tabela IV.3 (Hr) do RCCTE [12], uma vez que a parede é dupla com 37 cm de espessura, com o isolamento repartido na caixa-de-ar, e com a laje de 37 cm de espessura, têm um valor de ψ de 0,20 W/m.°C.

→ Envolvente interior

Paredes – Espaços não-úteis (Habitação – Escadas, circulação comum e caixa de elevador)

A solução construtiva admitida para estas paredes é a mesma adotada para as paredes exteriores. Este dado foi obtido pelo levantamento das características das frações em estudo.

Pavimento

Para o pavimento a solução construtiva adotada, é constituída por uma camada de estuque com 2 cm de espessura, uma camada de reboco com 2,5 cm de espessura, uma laje de betão armado com 20 cm de espessura, um isolamento térmico em poliestireno extrudido (XPS) do tipo “FLOORMATE” com 8 cm de espessura, uma camada de betonilha de assentamento com 4 cm de espessura e por fim um soalho flutuante com 0,5 cm de espessura. O cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento apresenta-se na tabela 23.

Coeficiente de transmissão térmica da Laje				
		Espessura e (m)	Condutibilidade λ (W/(m.°C))	Resist. R_t (m ² .°C/W)
Rse				0,04
1	Estuque	0,02	0,43	0,05
2	Reboco	0,025	1,3	0,02
3	Betão	0,2	2	0,10
4	Isolamento XPS	0,08	0,037	2,16
5	Betonilha de assentamento	0,04	0,7	0,06
6	Soalho flutuante	0,005	1,3	0,004
Rsi				0,13
Espessura Total		0,37		
Coeficiente de transmissão térmica U (W/m².°C)				0,39

Tabela 27 - Coeficiente de transmissão térmica do pavimento

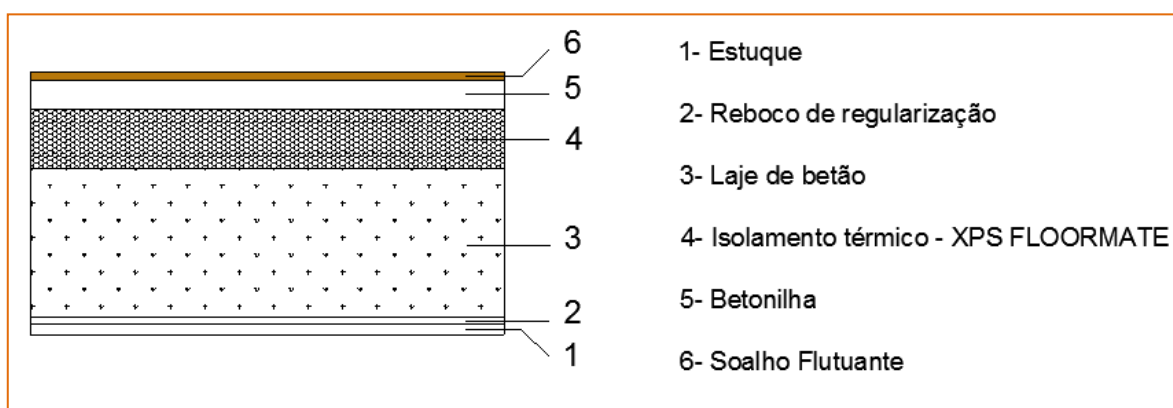


Figura 49 - Pormenor construtivo do pavimento

Porta

A solução admitida para o projeto em estudo, para a porta de entrada da habitação. É uma porta de madeira muito densa, com 4 cm de espessura. O coeficiente de transmissão térmica apresenta o valor de $U = 2,6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Anexo III – Resultados obtidos da análise dos apartamentos de acordo com o RCCTE

Apartamento	Localidade	Nic (kWh/(m ² .ano))	Ni (kWh/(m ² .ano))	Nvc (kWh/(m ² .ano))	Nv (kWh/(m ² .ano))	Ntc (kgep/(m ² .ano))	Nt (kgep/(m ² .ano))
T4D	Campo Maior	29,97	71,14	9,98	32,00	0,97	5,36
	Manteigas	77,99	128,66	2,51	16,00	2,29	5,73
	Mirandela	50,73	93,31	5,56	26,00	1,52	5,50
	Portimão	21,04	55,60	7,58	22,00	0,68	5,13
	Tarouca	49,92	96,02	4,45	16,00	1,49	5,44
T4E	Campo Maior	31,62	71,14	9,91	32,00	1,01	5,00
	Manteigas	74,00	128,66	2,63	16,00	2,17	5,37
	Mirandela	50,20	93,31	5,73	26,00	1,51	5,14
	Portimão	20,90	55,60	7,82	22,00	0,68	4,77
	Tarouca	49,83	96,02	4,66	16,00	1,49	5,08
T4A	Campo Maior	30,73	71,14	10,67	32,00	0,99	5,54
	Manteigas	73,03	128,66	3,01	16,00	2,15	5,82
	Mirandela	49,41	93,31	6,32	26,00	1,49	5,92
	Portimão	21,39	55,60	8,42	22,00	0,70	5,31
	Tarouca	48,95	96,02	5,12	16,00	1,47	5,62

Tabela 28 - Resultados obtidos da análise do RCCTE feita aos apartamentos

Anexo IV – Folha de cálculo do Solterm

Mês	Período	Temperatura média 10 dias
Janeiro	1 a 10	128,08
	11 a 20	111,75
	21 a 31	176,20
Fevereiro	1 a 10	120,38
	11 a 20	110,75
	21 a 28	116,53
Março	1 a 10	114,62
	11 a 20	102,75
	21 a 31	105,19
Abril	1 a 10	99,43
	11 a 20	59,69
	21 a 30	90,18
Mai	1 a 10	56,22
	11 a 20	0,00
	21 a 31	59,48
Junho	1 a 10	0,00
	11 a 20	0,00
	21 a 30	0,00
Julho	1 a 10	0,00
	11 a 20	0,00
	21 a 31	0,00
Agosto	1 a 10	0,00
	11 a 20	0,00
	21 a 31	0,00
Setembro	1 a 10	0,00
	11 a 20	0,00
	21 a 30	0,00
Outubro	1 a 10	0,00
	11 a 20	59,07
	21 a 31	78,29
Novembro	1 a 10	102,85
	11 a 20	105,14
	21 a 30	109,99
Dezembro	1 a 10	105,97
	11 a 20	140,89
	21 a 31	163,58
GD		2317,02

Tabela 29 - Cálculo do GD de Tarouca

Na tabela 29, encontra-se um exemplo de cálculo do valor do GD, através das folhas de cálculo do Solterm. O cálculo apresentado é para a localidade Tarouca. Este cálculo é efetuado através da soma dos decénios com temperaturas inferiores a 15°C durante um período de 10 dias durante a estação de aquecimento, conforme indicado na última coluna da tabela.

Anexo V – Tabelas e Gráficos das simulações efetuadas no DB

Anexo V.1 – Dados da 2ª simulação com as premissas do RCCTE

Estação de Aquecimento

De seguida, apresentam-se os gráficos da análise individual realizada ao apartamento T4D para cada uma das localidades em estudo.

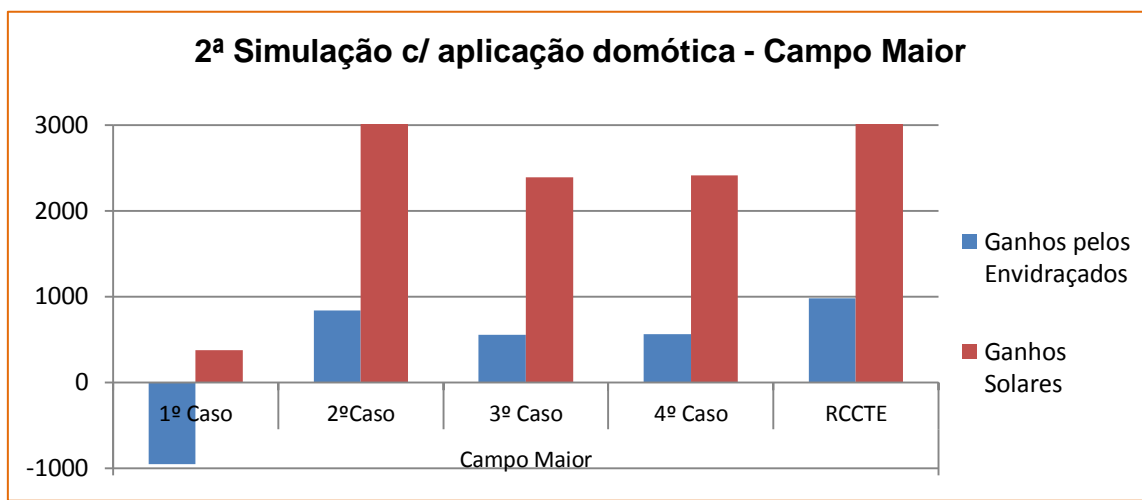


Gráfico 12 - Análise dos ganhos solares e envidraçados - 2ª simulação (inverno) - Campo Maior

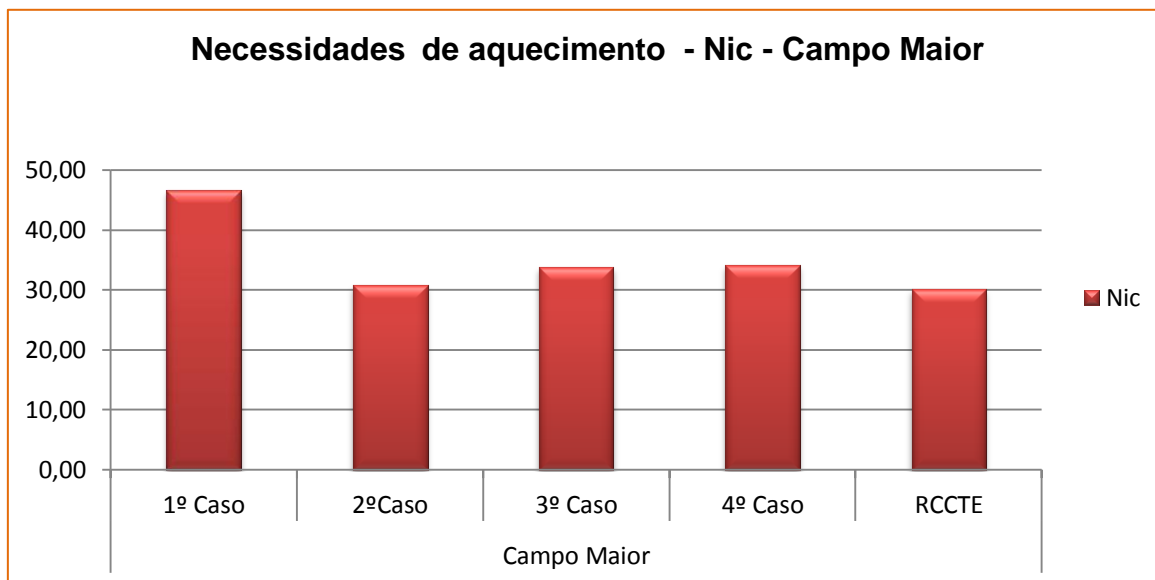


Gráfico 13 - Análise das necessidades de aquecimento - 2ª simulação (inverno) - Campo Maior

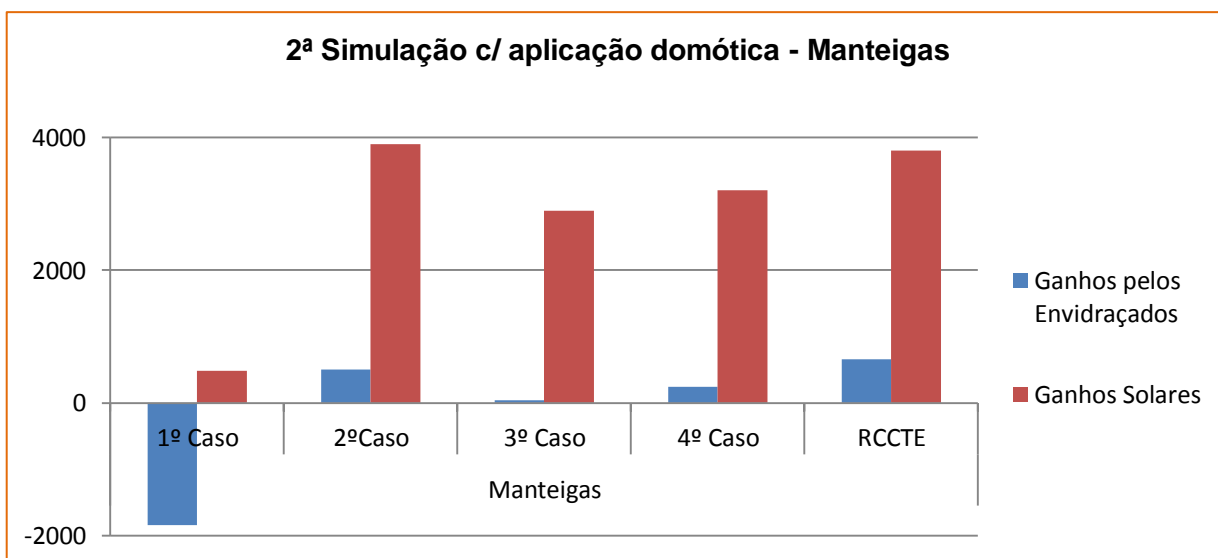


Gráfico 15 - Análise dos ganhos solares e envidraçados da 2ª simulação (inverno) - Manteigas

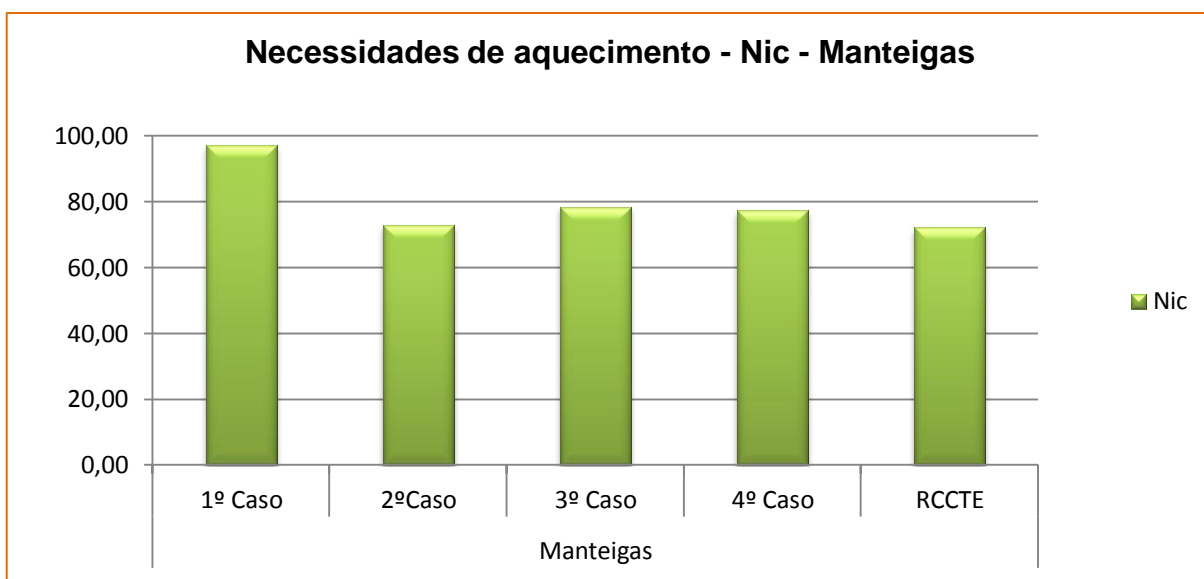


Gráfico 14 - Análise das necessidades de aquecimento - 2ª simulação (inverno) - Manteigas

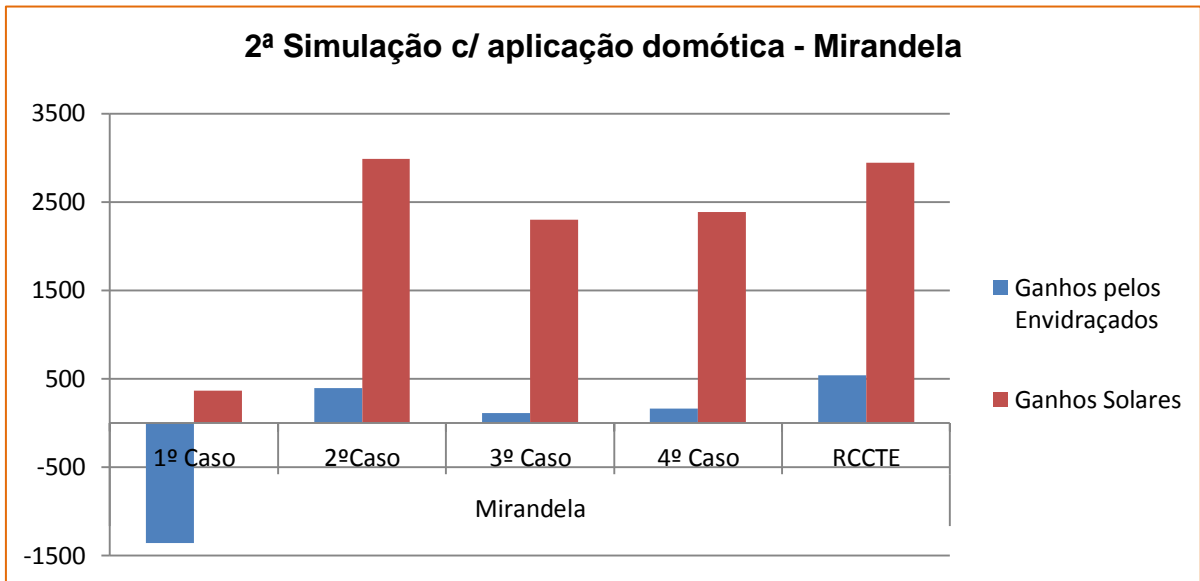


Gráfico 16 - Análise dos ganhos solares e envidraçados da 2ª simulação (inverno) - Mirandela



Gráfico 17 - Análise das necessidades de aquecimento - 2ª simulação (inverno) - Mirandela

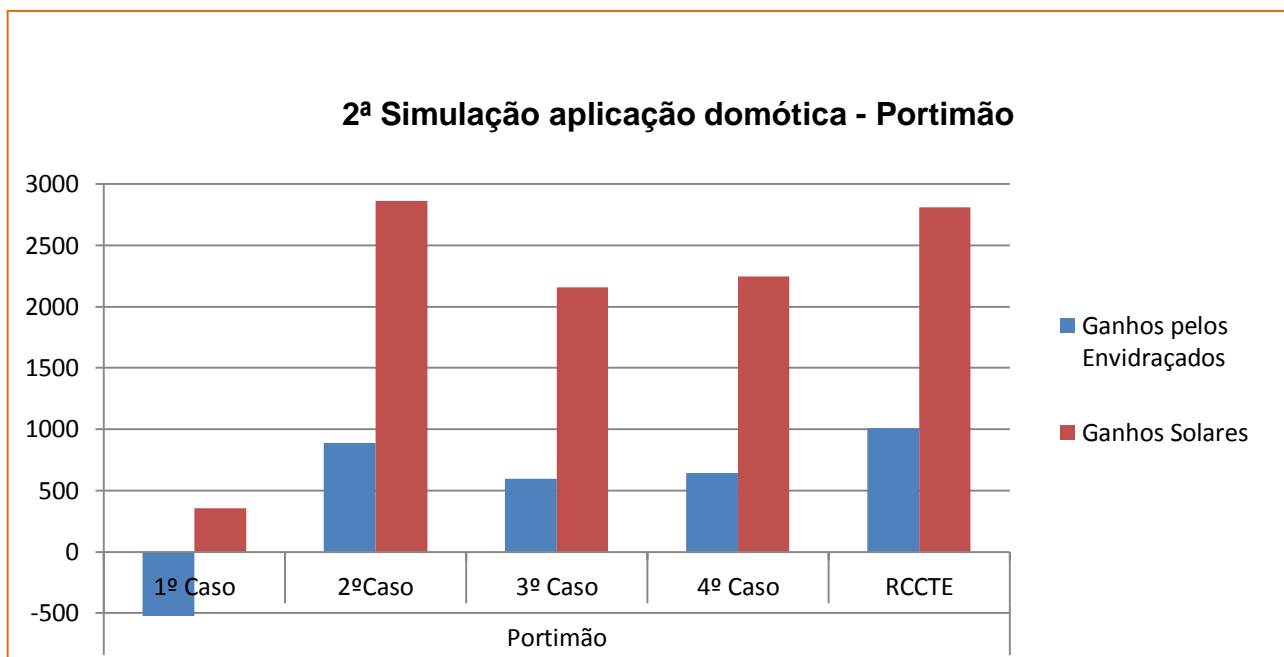


Gráfico 19 - Análise dos ganhos solares e envidraçados da 2ª simulação (inverno) - Portimão

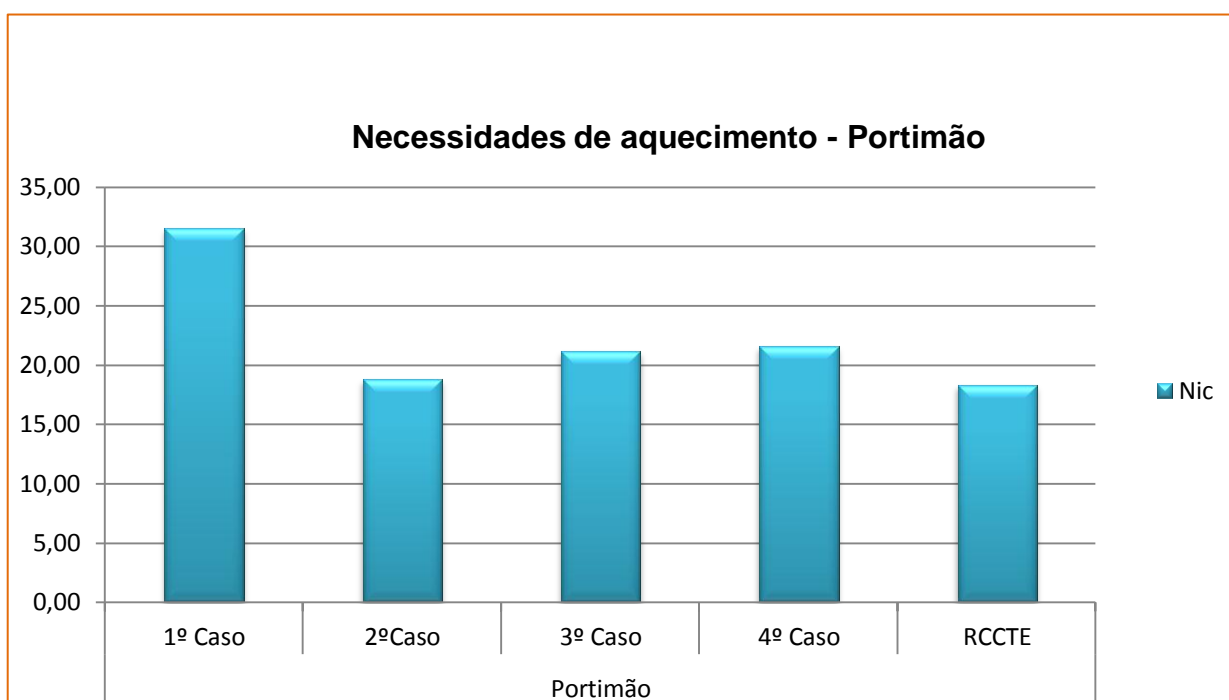


Gráfico 18 - Análise das necessidades de aquecimento - 2ª simulação (inverno) - Portimão

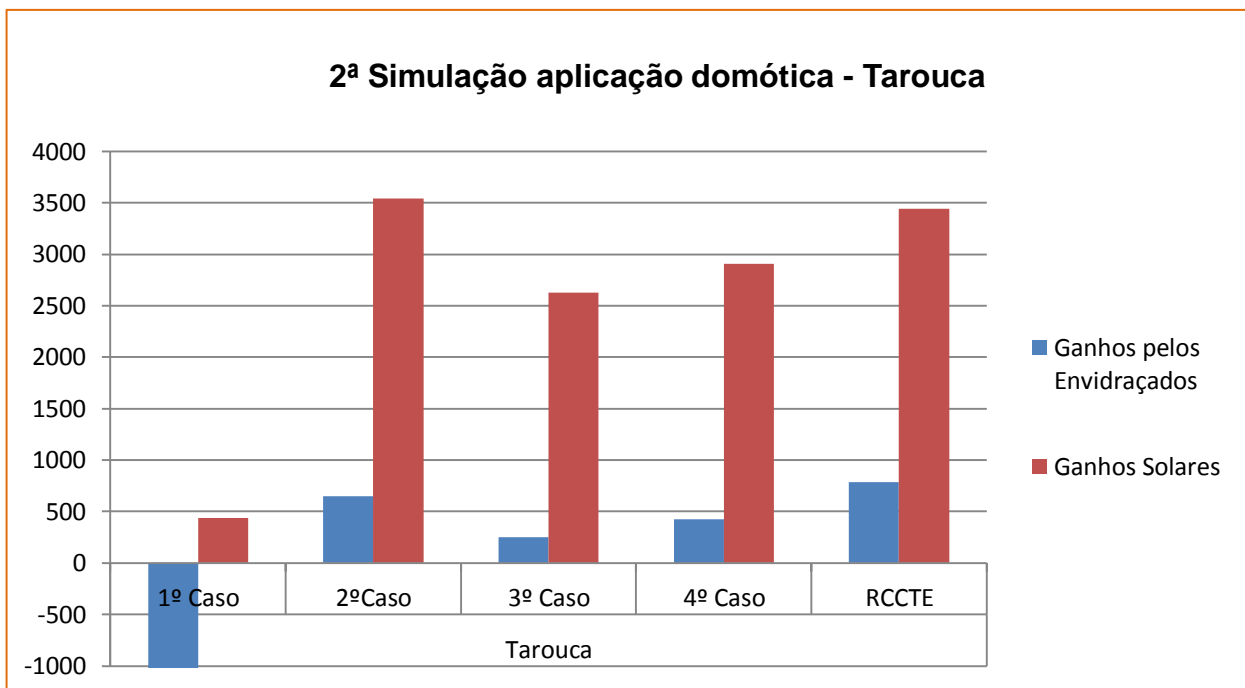


Gráfico 20 - Análise dos ganhos solares e envidraçados da 2ª simulação (inverno) - Tarouca

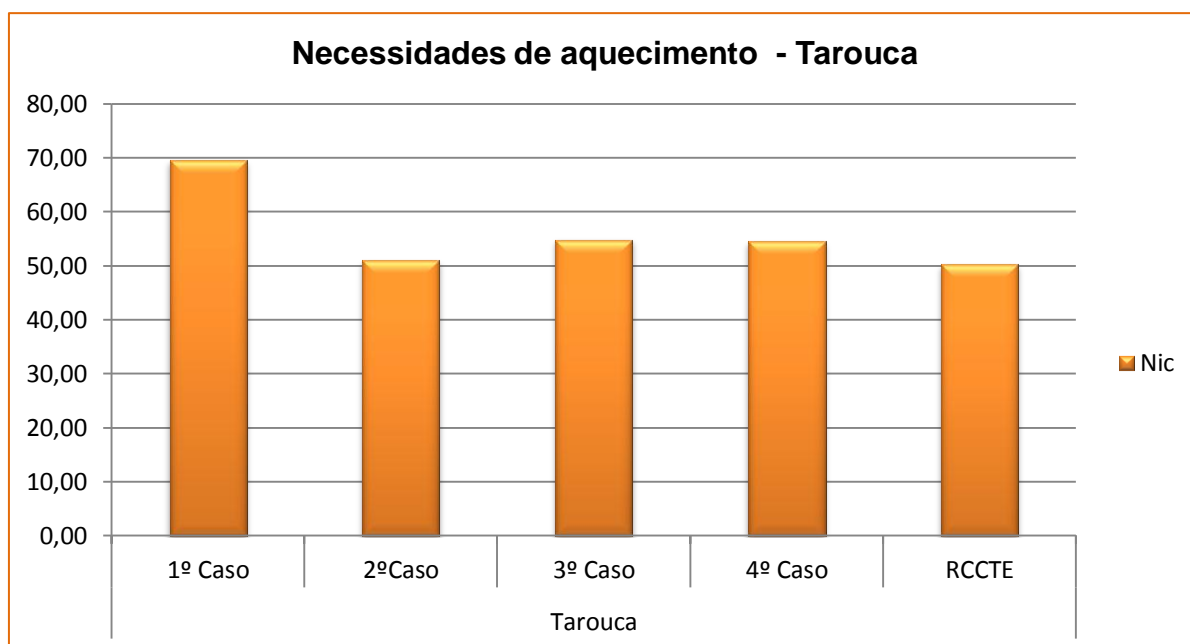


Gráfico 21 - Análise das necessidades de aquecimento - 2ª simulação (inverno) - Tarouca

A figura 50 mostra um exemplo do gráfico extraído diretamente do DesignBuilder. Para cada uma das simulações efetuadas, é possível obter um gráfico deste género.

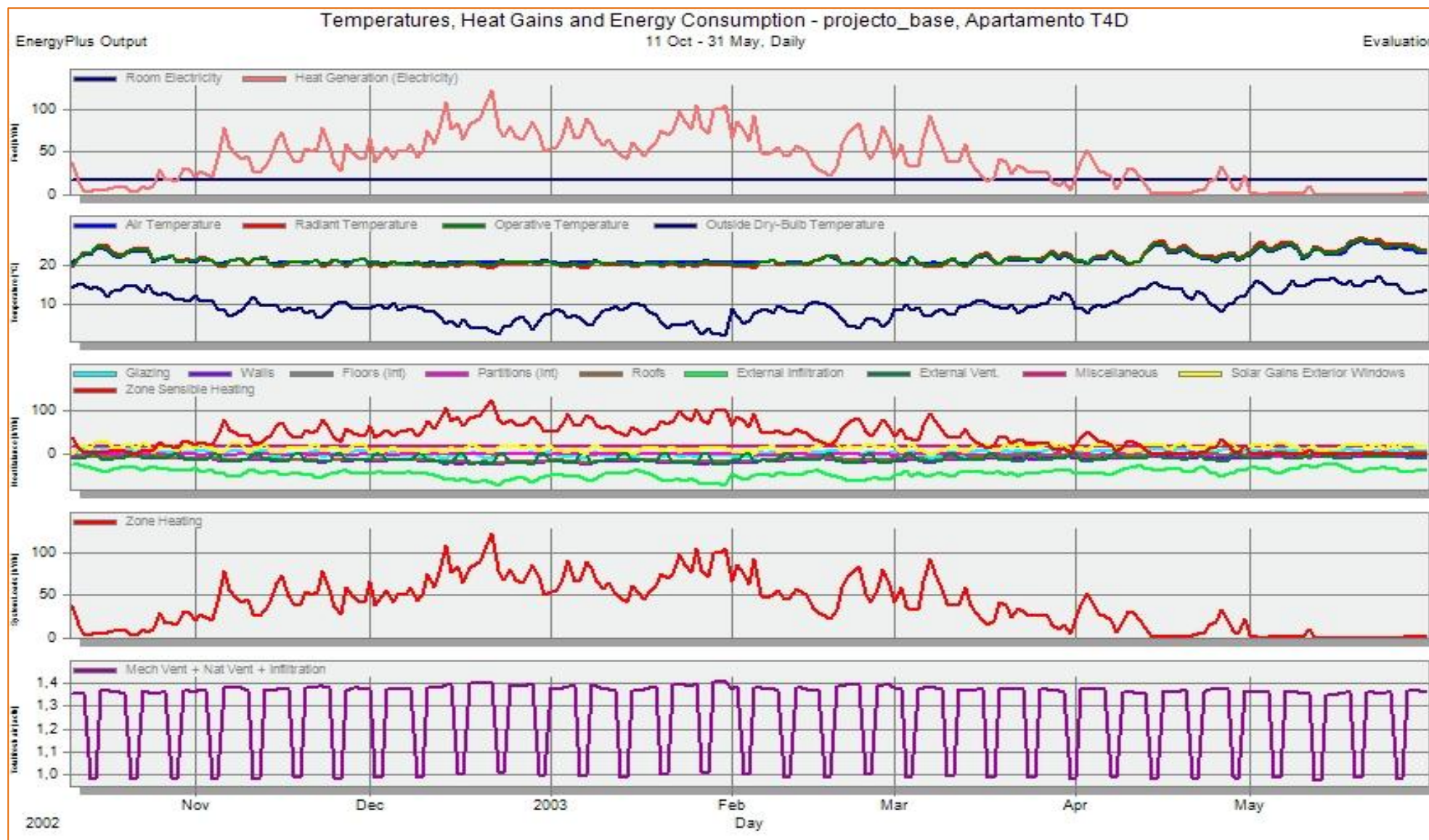


Figura 50 - Dados extraídos da 2ª simulação DB – (inverno) - Tarouca - T4D – (4º caso)

Estação de Arrefecimento

De seguida, apresentam-se os gráficos da análise individual realizada ao apartamento T4D para o 3º, 4º e 5º caso em cada uma das localidades em estudo. A figura 51 mostra um exemplo do gráfico obtido da simulação feita no *DesingBuilder*. Para cada um das simulações efetuadas pode-se extrair um gráfico.

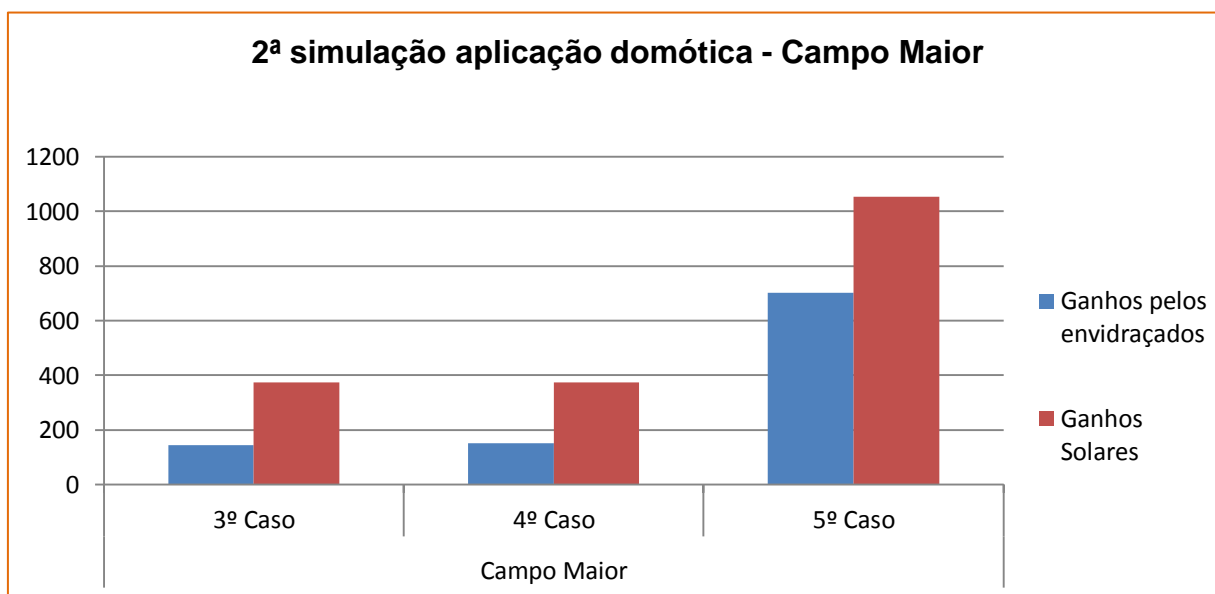


Gráfico 23 - Análise dos ganhos solares e envidraçados 2º simulação (verão) - Campo Maior

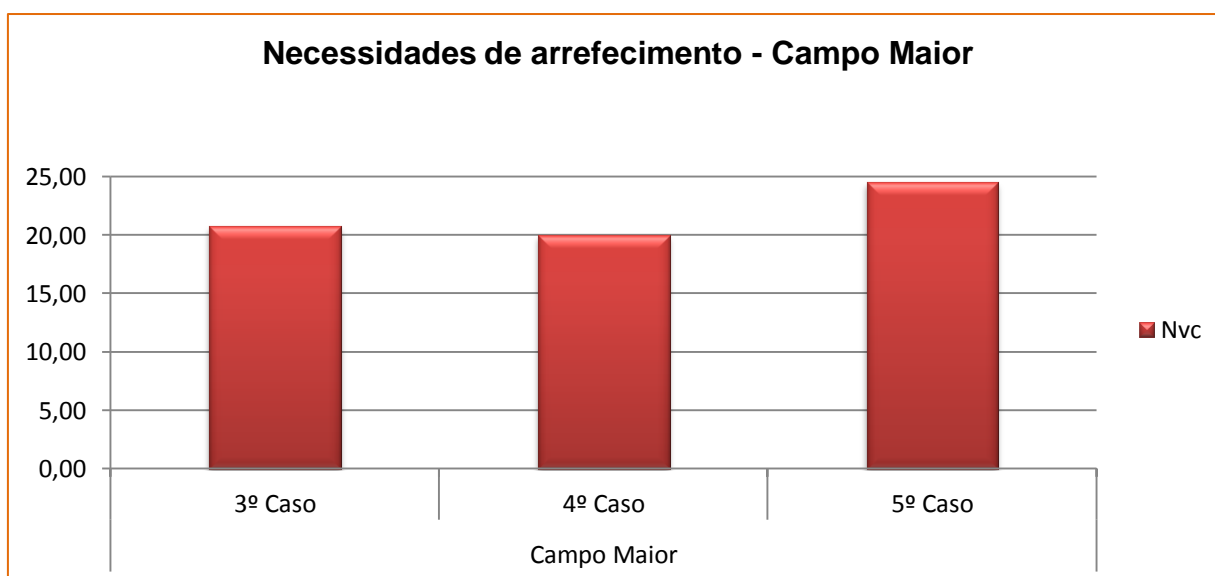


Gráfico 22 - Análise das necessidades de arrefecimento 2º simulação (verão) - Campo Maior

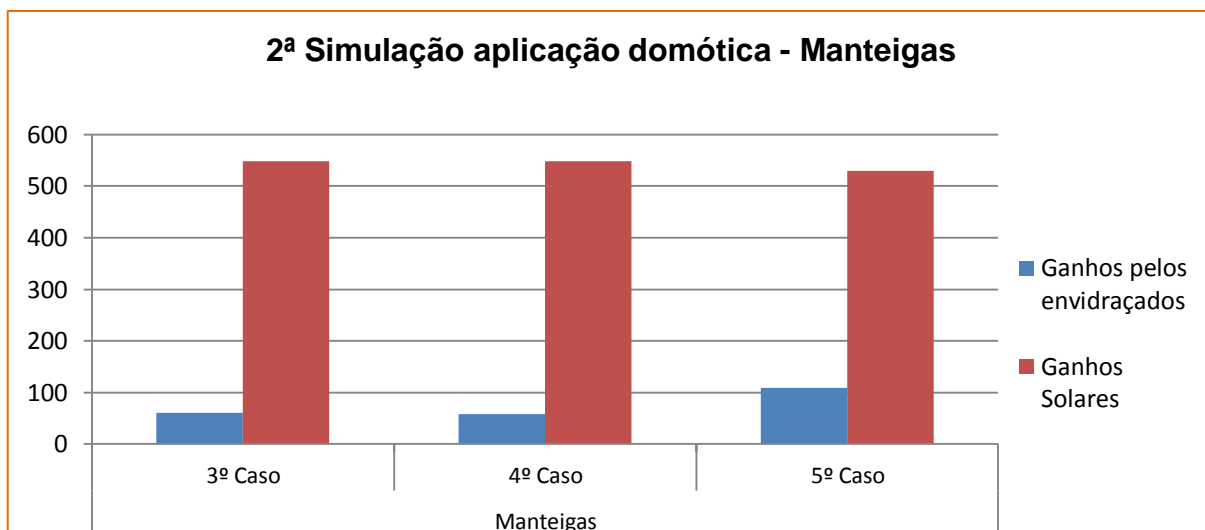


Gráfico 24 - Análise dos ganhos solares e envidraçados 2ª simulação (verão) - Manteigas

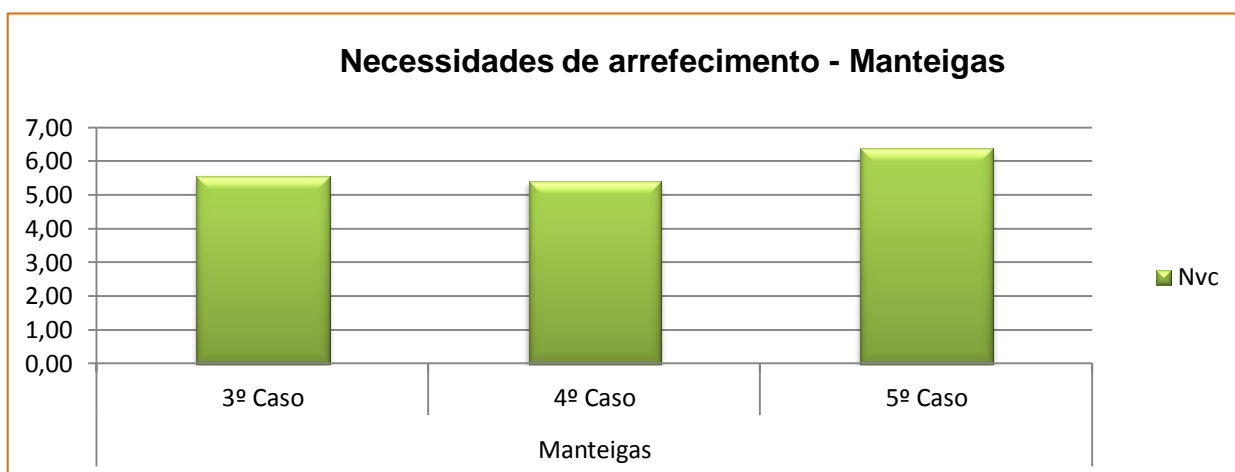


Gráfico 25 - Análise das necessidades de arrefecimento 2ª simulação (verão) - Manteigas

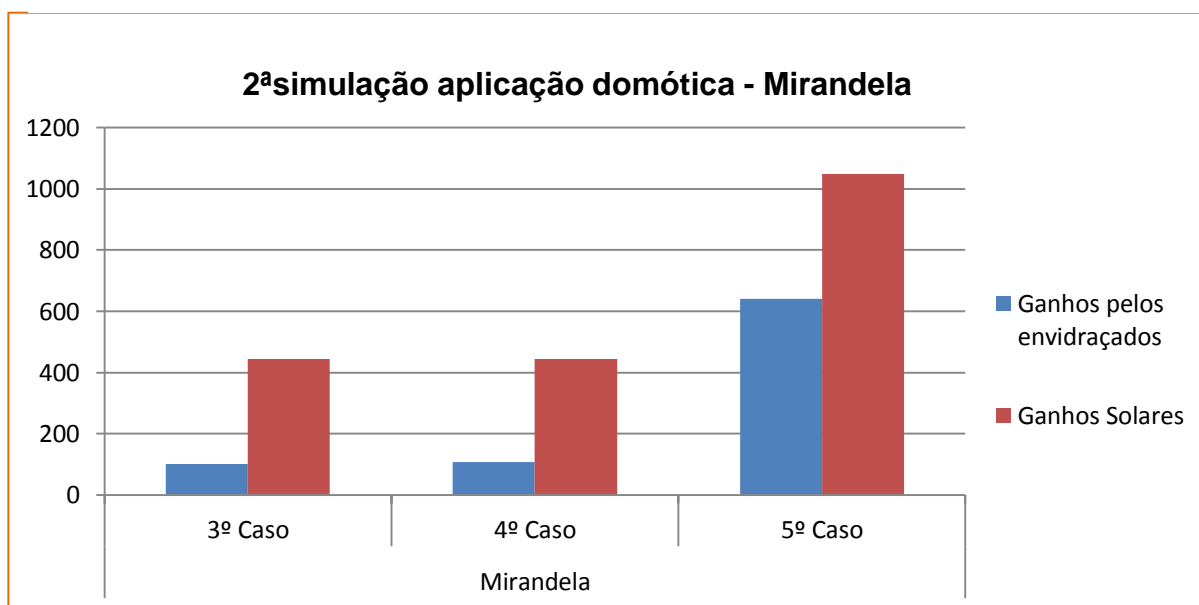


Gráfico 26 - Análise dos ganhos solares e envidraçados 2ª simulação (verão) - Mirandela



Gráfico 27 - Análise das necessidades de arrefecimento 2ª simulação (verão) - Mirandela

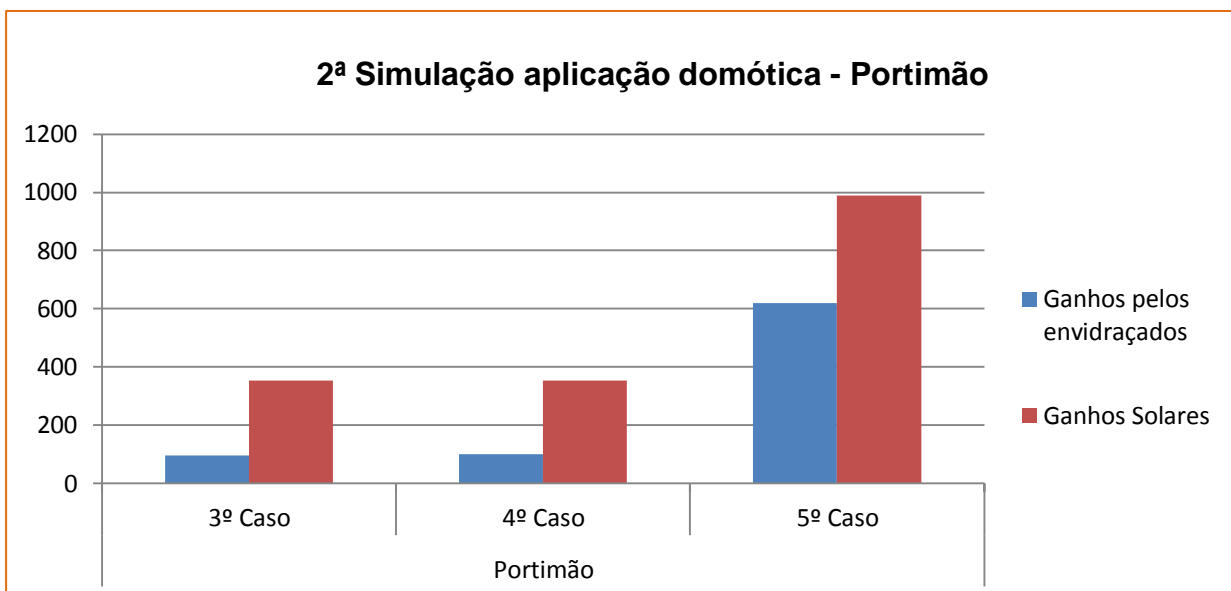


Gráfico 28 - Análise dos ganhos solares e envidraçados da 2ª simulação (verão) - Portimão

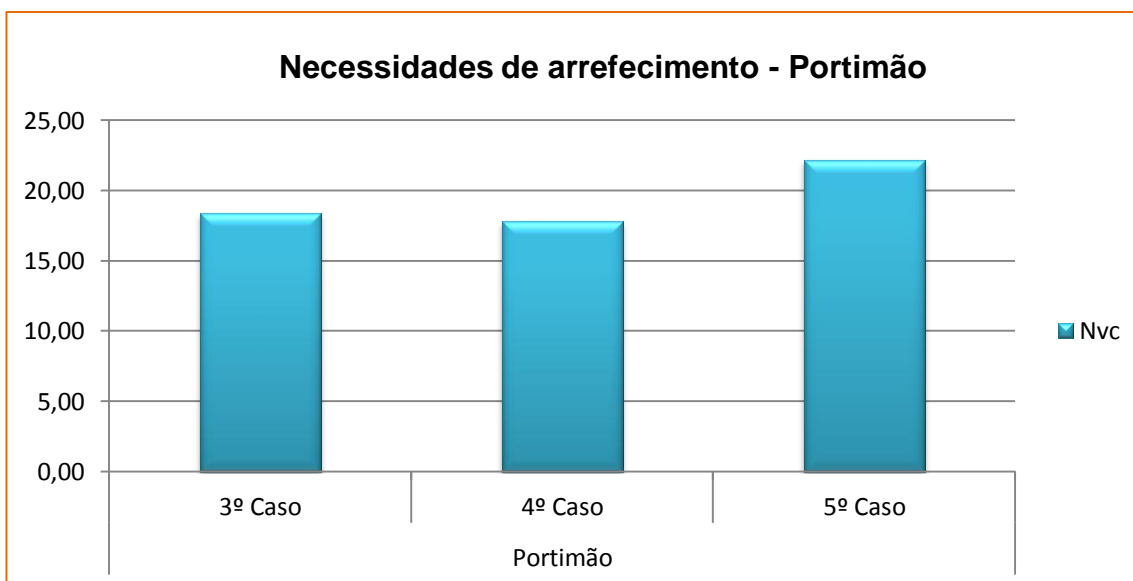


Gráfico 29 - Análise das necessidades de arrefecimento 2ª simulação (verão) - Portimão

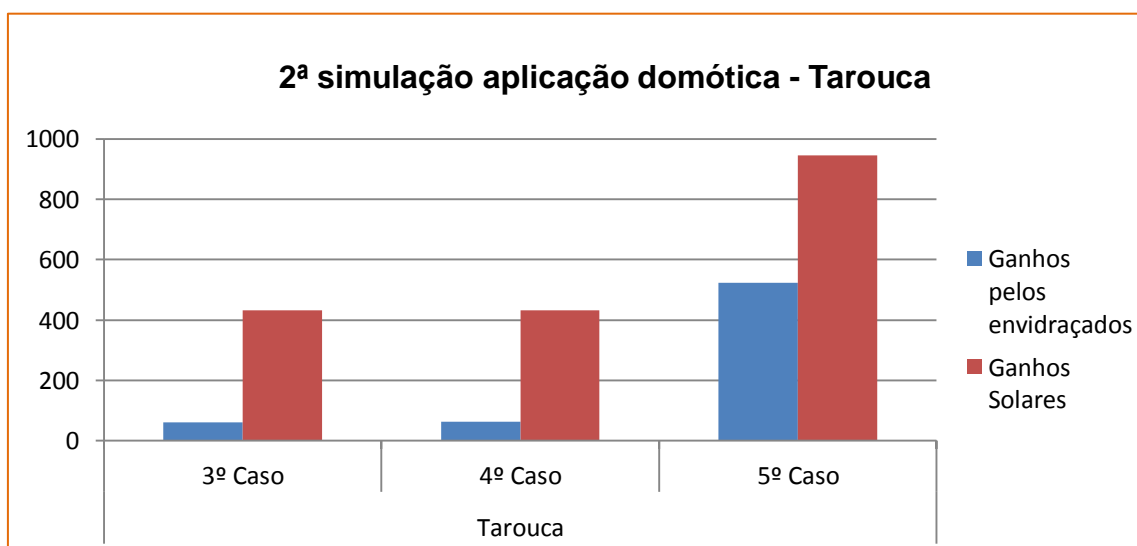


Gráfico 30 - Análise dos ganhos solares e envidraçados da 2ª simulação (verão) - Tarouca

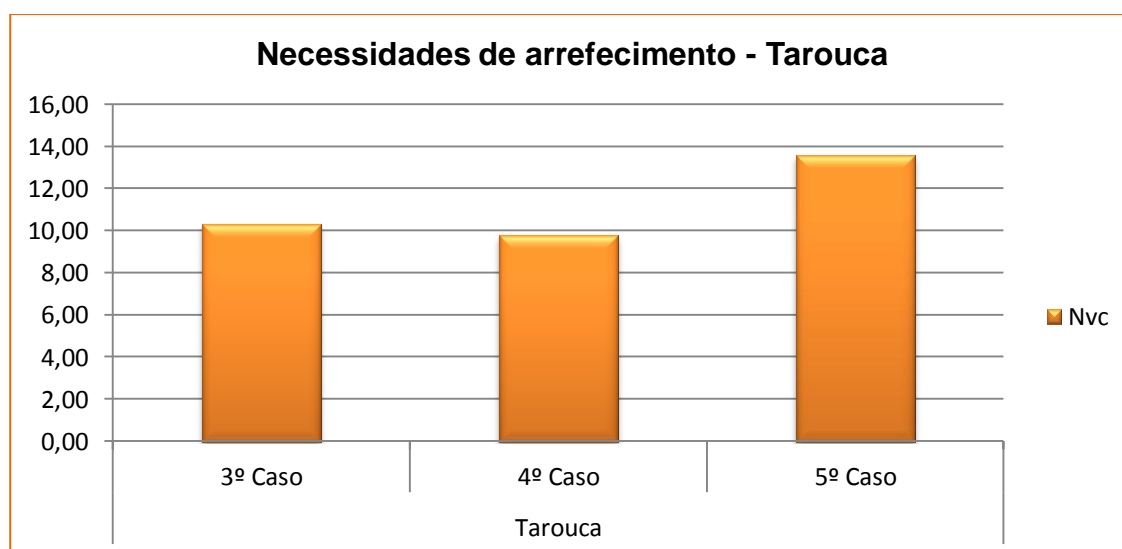


Gráfico 31 - Análise das necessidades de arrefecimento 2ª simulação (verão) - Tarouca

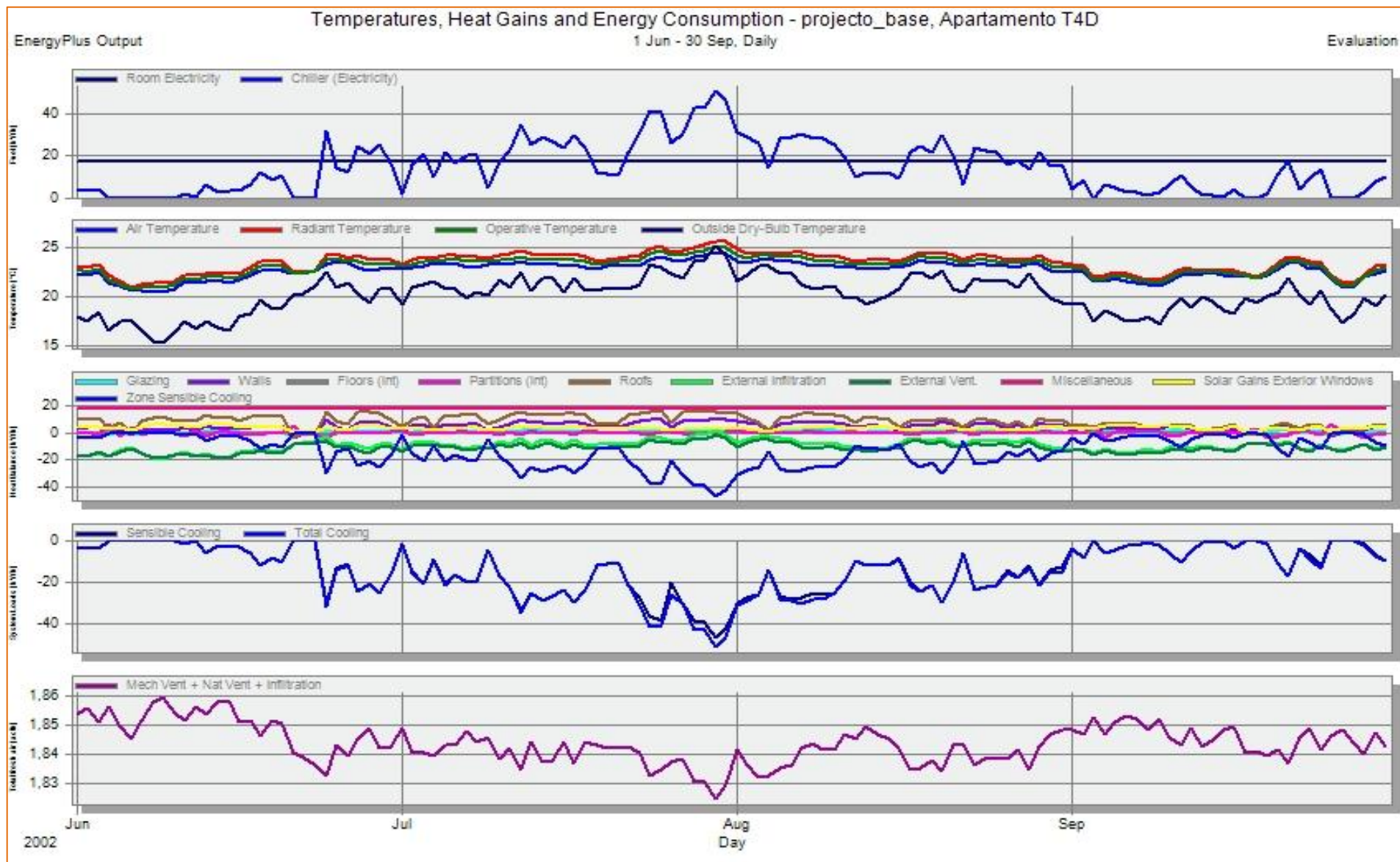


Figura 51 - Dados extraídos da 2ª simulação DB - (verão) - Tarouca - T4D – (4º Caso)

Anexo VI – Orçamento