

Estudo Exploratório sobre a Utilização do RCCTE na Avaliação do Desempenho Passivo de Edifícios Residenciais

Helder Filipe Duarte Ferreira

Relatório da Dissertação do MIEM

Orientadores na FEUP: Professor Eduardo de Oliveira Fernandes, Prof. Vítor Leal,
Prof. Manuel Dias de Castro



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

Fevereiro de 2008

RESUMO

A presente Dissertação desenvolveu-se no âmbito da disciplina de Tese de Investigação do 5º ano da opção de Energia Térmica do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da FEUP. Teve como principal objectivo obter uma primeira avaliação da relação entre o desempenho térmico de edifícios aferido através do RCCTE e o desempenho aferido por simulação detalhada, quer em regime climatizado quer em regime de flutuação livre de temperaturas.

Para atingir este objectivo foi estudada uma série de casos de estudo, com vista a compilar vários resultados e obter as relações pretendidas. Para cada caso de estudo começou-se por aplicar o RCCTE, com os objectivos de verificar se o edifício estava de acordo com os requisitos mínimos de qualidade térmica e de calcular os principais índices térmicos, como as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, a produção de águas quentes sanitárias, assim como as necessidades globais de energia primária.

De seguida analisaram-se os edifícios com o software de simulação dinâmica ESP-r. Em primeiro lugar efectuou-se uma análise dos edifícios em regime climatizado (entre 20 e 25°C), para avaliar as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento. Logo após efectuou-se uma análise em regime de flutuação livre de temperaturas, de modo a avaliar o desempenho do edifício na ausência de climatização mecânica. Neste caso considerou-se fundamental incluir no modelo de simulação a possibilidade de incremento de ventilação para arrefecimento, pelo que se implementou uma rede de escoamento dinâmica de ar. Aplicou-se então a norma ASHRAE 55-2004, do modelo do conforto adaptativo, de forma a determinar o número de horas da estação de aquecimento em que a temperatura interior era superior ao limite mínimo de temperaturas definido na norma, e o número de horas da estação de arrefecimento em que a temperatura interior era inferior ao limite máximo de temperaturas definido na norma.

Verificou-se que, quer as necessidades de aquecimento quer as necessidades de arrefecimento, determinadas por intermédio do RCCTE (cálculo simplificado) e do ESP-r (cálculo detalhado), apresentaram uma clara correlação que merece ser explorada. Uma análise detalhada dos resultados mostrou que será necessário analisar mais casos de estudo para estabelecer uma correlação mais sólida para os resultados das necessidades de aquecimento, assim como para os resultados das necessidades de arrefecimento, determinadas por intermédio do RCCTE e do ESP-r.

Para a relação entre o desempenho aferido através do RCCTE e o desempenho por simulação detalhada em regime de flutuação livre de temperaturas (ESP-r), durante a estação de aquecimento e durante a estação de arrefecimento, verificou-se existir também uma correlação evidente sobretudo para a estação de Inverno. No Verão verificou-se uma maior dispersão relativamente à recta de regressão linear.

An exploratory study about the use of RCCTE for evaluating the passive behavior of residential buildings

ABSTRACT

This thesis was developed in the framework of the course of research Thesis Investigation of the 5th year of the Integrated Master's degree in Mechanical Engineering at FEUP, variant of Thermal Energy. The main objective was the evaluation of the relationship between the performances assessed through the RCCTE and through the detailed simulation (ESP-r), both in a conditioned and in a free float regime.

In the present report some case studies were defined, with the purpose of compiling several results to obtain the intended relationships. Each case study was started by applying the RCCTE. The first objective was the verification of the building agreement with minimum thermal quality requirements and also the calculation of the main thermal indices, as the annual nominal needs of useful energy for heating and cooling, the production of domestic hot water, and the global needs of primary energy.

In the following phase the building was analyzed with the dynamic simulation software ESP-r. First an analysis of the building in a conditioned regime was done to evaluate the energy needs for heating and cooling. Then, an analysis in a free float regime was done to evaluate the building performance in the absence of mechanical climatization. The norm ASHRAE 55-2004 of the adaptive model of comfort, was applied, in order to determine the number of hours of the heating season in which the operative temperature exceeded the minimum limit of temperature defined in the norm, and the number of hours of the cooling season in which the operative temperature was less than the maximum limit of temperature defined in the norm.

The relationship between the heating and cooling needs assessed through RCCTE and through ESP-r, presented both a clear correlation, both for the heating and for the cooling.

Regarding the relationship between the energy needs in climatized mode and the percentage of time with temperatures within the reference set-points, an inverse linear correlation was found. The quality of the correlation line is good for winter but only reasonable for summer, although the absolute dispersion in this later case is much lower.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Eduardo de Oliveira Fernandes, agradeço a oportunidade e todo o incentivo sempre demonstrado.

Ao Professor Vítor Leal desejo exprimir o meu reconhecimento e gratidão pela orientação, incentivo e disponibilidade sempre demonstrada.

Ao Professor Dias de Castro, agradeço a oportunidade.

Este trabalho decorreu parcialmente no âmbito do Projecto PTDC/ENR/73657/2006 financiado pela FCT.

ÍNDICE

1	Introdução	1
1.1	Contexto energético mundial	1
1.2	Política Europeia e Nacional para a energia.....	1
1.2.1	Eficiência energética	2
1.2.2	Plano de acção para a eficiência energética (2007 - 2012).....	3
1.2.3	Caracterização energética nacional	4
1.2.4	Estratégia nacional para a energia.....	5
1.3	Edifícios passivos e edifícios de balanço energético nulo	6
1.4	Sistema nacional de certificação energética e da qualidade do ar interior nos edifícios ..	6
1.5	Objectivos do trabalho	8
2	Casos de Estudo.....	9
2.1	Habitação unifamiliar	9
2.1.1	Breve apresentação e caracterização	9
2.1.2	Aplicação do RCCTE.....	12
2.1.2.1	Coeficientes de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos	12
2.1.2.2	Caracterização térmica das soluções construtivas	12
2.1.2.3	Taxa de renovação horária nominal	16
2.1.2.4	Necessidades de aquecimento	16
2.1.2.5	Necessidades de arrefecimento	17
2.1.2.6	Águas quentes sanitárias	17
2.1.2.7	Energia primária	17
2.1.3	Modelo de simulação detalhado do edifício em ESP-r	18
2.1.3.1	Condições de fronteira	18
2.1.3.2	Ganhos internos	19
2.1.3.3	Propriedades dos vidros.....	20
2.1.3.4	Leis de controlo do sombreamento	21
2.1.3.5	Controlo de temperatura interior em regime condicionado	21
2.1.3.6	Pontes térmicas lineares	21
2.1.3.7	Clima.....	21
2.1.3.8	Simulação do edifício em regime condicionado	22
2.1.3.9	Simulação do edifício em free float com network flow	23
2.2	Edifício de apartamentos.....	29
2.2.1	Breve apresentação e caracterização	29
2.2.2	Aplicação do RCCTE.....	31
2.2.2.1	Caracterização térmica das soluções construtivas	31
2.2.2.2	Ventilação	32
2.2.2.3	Valores nominais para o edifício	32
2.2.3	Modelo de simulação detalhado do edifício em ESP-r	33
2.2.3.1	Condições de fronteira	33
2.2.3.2	Espaços não úteis	34
2.2.3.3	Obstruções exteriores	35

2.2.3.4	Ganhos internos	36
2.2.3.5	Propriedades dos vidros	37
2.2.3.6	Leis de controlo de sombreamento	37
2.2.3.7	Controlo de temperatura interior em regime condicionado	38
2.2.3.8	Pontes térmicas lineares	38
2.2.3.9	Clima.....	38
2.2.3.10	Simulação do edifício em regime condicionado	39
2.2.3.11	Simulação do edifício em free float com network flow.....	42
2.2.4	Comparação de resultados de ambos os métodos	50
2.2.4.1	Análise dos resultados do RCCTE	50
2.2.4.2	Análise dos resultados do ESP-r	52
2.3	Moradia geminada	55
2.3.1	Breve apresentação e caracterização	55
2.3.2	Aplicação do RCCTE	56
2.3.2.1	Caracterização térmica das soluções construtivas	56
2.3.2.2	Taxa de renovação horária nominal	58
2.3.2.3	Necessidades de aquecimento.....	59
2.3.2.4	Necessidades de arrefecimento	59
2.3.2.5	Águas quentes sanitárias	59
2.3.2.6	Energia primária.....	60
2.3.3	Modelo de simulação detalhado do edifício em ESP-r.....	61
2.3.3.1	Condições de fronteira.....	61
2.3.3.2	Ganhos internos	62
2.3.3.3	Propriedades dos vidros	63
2.3.3.4	Leis de controlo de sombreamento	63
2.3.3.5	Controlo de temperatura interior em regime condicionado	63
2.3.3.6	Pontes térmicas lineares	63
2.3.3.7	Clima.....	63
2.3.3.8	Simulação do edifício em regime condicionado	64
2.3.3.9	Simulação do edifício em free float com network flow.....	65
2.4	Variante eficiente da moradia geminada.....	71
2.4.1	Breve apresentação e caracterização	71
2.4.2	Aplicação do RCCTE	71
2.4.2.1	Caracterização térmica das soluções construtivas	71
2.4.2.2	Taxa de renovação horária nominal	73
2.4.2.3	Necessidades de aquecimento.....	73
2.4.2.4	Necessidades de arrefecimento	73
2.4.2.5	Águas quentes sanitárias	74
2.4.2.6	Energia primária.....	74
2.4.3	Modelo de simulação detalhado do edifício em ESP-r.....	75
2.4.3.1	Propriedades dos vidros	75
2.4.3.2	Leis de controlo de sombreamento	77
2.4.3.3	Controlo de temperatura interior em regime condicionado	77
2.4.3.4	Pontes térmicas lineares	77
2.4.3.5	Clima.....	77
2.4.3.6	Simulação do edifício em regime condicionado	78
2.4.3.7	Simulação do edifício em free float com network flow.....	79

3	Análise de resultados.....	83
3.1	Estação de aquecimento em regime condicionado.....	83
3.1.1	Testes de hipóteses à relação linear.....	83
3.1.2	Potenciais diferenças dos resultados de ambos os métodos	85
3.2	Estação de arrefecimento em regime condicionado	85
3.2.1	Testes de hipóteses à relação linear.....	86
3.2.2	Potenciais diferenças dos resultados de ambos os métodos	86
3.3	Estação de aquecimento em regime de free float para o ESP-r	87
3.3.1	Testes de hipóteses à relação linear.....	88
3.4	Estação de aquecimento em regime de free float para o RCCTE	88
3.4.1	Testes de hipóteses à relação linear.....	89
3.5	Estação de arrefecimento em regime de free float para o ESP-r	89
3.5.1	Testes de hipóteses à relação linear.....	90
3.6	Estação de arrefecimento em regime de free float para o RCCTE.....	90
3.6.1	Testes de hipóteses à relação linear.....	91
4	Conclusões e possibilidades de trabalho futuro.....	93
5	Referências e Bibliografia.....	95
	ANEXO A: Modelo térmico do software ESP-r	97
	ANEXO B: Network flow no software ESP-r	101
	ANEXO C: Norma ASHRAE 55-2004.....	103
	ANEXO D: Perfis de iluminação, equipamentos e ocupação	105
	ANEXO E: Regressão linear simples	109

LISTA DE SÍMBOLOS

a_1	Coeficiente de características térmicas de ensaio do colector solar	$\{W/m^2/K\}$
a_2	Coeficiente de características térmicas de ensaio do colector solar	$\{W/m^2/K^2\}$
A_i	Área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil	$\{m^2\}$
A_u	Área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior	$\{m^2\}$
A_{env}	Área de envidraçado	$\{m^2\}$
A_{pav}	Área útil de pavimento	$\{m^2\}$
B_i	Comprimento do desenvolvimento linear	$\{m\}$
F_f	Factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao vão envidraçado;	$\{-\}$
F_g	Fracção envidraçada	$\{-\}$
F_h	Factor de sombreamento do horizonte,	$\{-\}$
F_o	Factor de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao vão envidraçado	$\{-\}$
F_s	Factor de obstrução	$\{-\}$
F_w	Factor de correcção da selectividade angular do tipo de envidraçado	$\{-\}$
$g_{\perp}$	Factor solar do vão envidraçado, admitindo existência de cortinas interiores muito transparentes;	$\{-\}$
$g_{\perp}'$	Factor solar do vão envidraçado com protecção solar activada a 100% e vidro incolor corrente;	$\{-\}$
$g_{\perp V}$	Factor solar do vidro sem qualquer dispositivo de protecção solar.	$\{-\}$
N_a	Necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias máximas	$\{kWh/m^2.ano\}$
N_{ac}	Necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias	$\{kWh/m^2.ano\}$
N_i	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento máximas	$\{kWh/m^2.ano\}$
N_{ic}	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento	$\{kWh/m^2.ano\}$
N_v	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento máximas	$\{kWh/m^2.ano\}$
N_{vc}	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento	$\{kWh/m^2.ano\}$
N_t	Necessidades globais de energia primária máximas	$\{kgep/m^2.ano\}$
N_{tc}	Necessidades globais de energia primária	$\{kgep/m^2.ano\}$

R_{ph}	Taxa de renovação horária nominal	$\{h^{-1}\}$
$T_{m\acute{a}x}$	Temperatura máxima de conforto	$\{^{\circ}C\}$
$T_{m\acute{e}d, ext}$	Temperatura média mensal do ar exterior	$\{^{\circ}C\}$
T_{min}	Temperatura mínima de conforto	$\{^{\circ}C\}$
U	Coeficiente de transmissão térmica	$\{W/(m^2.^{\circ}C)\}$
X_j	Factor de orientação;	$\{-\}$
τ	Coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos	$\{-\}$
ψ	Coeficiente de transmissão térmica linear	$\{W/m.^{\circ}C\}$
η	Eficiência óptica	$\{-\}$

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto energético mundial

A necessidade crescente de recursos energéticos para as economias em forte expansão, como a China e a Índia, o desenvolvimento dos países extremamente carenciados e com captações energéticas mínimas da África, Ásia e Américas Central e do Sul, a inexistência credível, no curto prazo, de alternativas aos combustíveis fósseis e, por outro lado, a pressão sobre o meio ambiente que decorre da utilização desses mesmos combustíveis são desafios globais muito sérios para hoje e para as próximas décadas.

A recente publicação da Agência Internacional de Energia (AIE, 2007) em Novembro de 2007, sobre o Panorama Mundial da Energia, prevê um rápido crescimento do consumo de energia e das emissões de carbono, devido ao crescimento acelerado das economias emergentes (China e Índia). De acordo com a AIE, os combustíveis fósseis com elevadas emissões de carbono continuarão a dominar, se não forem tomadas medidas que permitam direccionar o mundo para uma economia com especial atenção para um sistema de baixa emissão de carbono.

O documento refere, ainda, que a China está prestes a ultrapassar os EUA e a tornar-se o maior consumidor mundial de recursos energéticos e o maior emissor de carbono. A Índia, por sua vez, deve ultrapassar os níveis do Japão e da Rússia nas duas próximas décadas. Na ausência de políticas efectivas, as importações de petróleo e gás, além do uso de carvão e as emissões de gases de efeito estufa, devem alcançar níveis muito mais altos do que os previstos até 2030.

A AIE apresentou assim um cenário de políticas alternativas que conduzem a um sistema energético mais seguro, competitivo e sustentável. Este cenário encoraja os governos a apostarem na eficiência energética, pois esta será a forma mais rápida e barata, no curto prazo, de conter o consumo energético e o aumento das emissões de carbono.

1.2 Política Europeia e Nacional para a energia

Grande parte da energia utilizada na União Europeia (UE), provém dos combustíveis fósseis, cujas reservas são finitas, e são uma das principais causas do aquecimento global do planeta. Em Março de 2007, os dirigentes europeus reconheceram que tinha chegado o momento de pôr em prática uma política integrada em matéria de energia e de ambiente, dotada de objectivos claros e datas precisas para reduzir a utilização de combustíveis fósseis, poupar energia e desenvolver energias alternativas.

Cerca de 80 % da energia que a UE consome provém de combustíveis fósseis, como o petróleo, o carvão e o gás natural. Uma parte significativa e crescente desta energia é importada de países que não pertencem à UE, tornando-a vulnerável a reduções no aprovisionamento ou a aumentos de preços (UE, 2007).

Até 2030, a dependência das importações de petróleo e de gás, poderá ascender respectivamente a 93 e 84 %, se não houver uma reformulação do consumo de energia e diversificação das fontes de energia. Para reduzir o impacto das alterações climáticas, esta diversificação é indispensável (UE, 2007).

O plano adoptado pela UE implica:

- Reduzir o consumo energético em 20 % em relação às projecções para 2020;
- Aumentar em 20 % até 2020 a percentagem de energias renováveis no consumo energético total;
- Aumentar para pelo menos 10 % até 2020 a percentagem dos biocombustíveis no consumo total de gasolina e de gasóleo, desde que estejam comercialmente disponíveis os biocombustíveis sustentáveis de segunda geração, obtidos a partir de culturas não alimentares;
- Reduzir as emissões de gás com efeito de estufa em pelo menos 20 % até 2020;
- Reforçar o mercado interno da energia para que beneficie realmente todos os cidadãos e empresas;
- Melhorar a integração da sua política energética nas outras políticas comunitárias, como a política agrícola e a política comercial;
- Reforçar a cooperação internacional.

A política europeia da energia aborda vários vectores, que visam uma economia de baixo consumo de energia, mais segura, mais competitiva e sustentável. No presente trabalho serão abordadas principalmente as mediadas de eficiência energética nos edifícios, uma vez que são as mais relevantes no enquadramento deste trabalho.

1.2.1 Eficiência energética

Reduzir o consumo de energia e prevenir o esbanjamento energético são um dos grandes objectivos da UE. Ao proporcionar a melhoria da eficiência energética, é possível contribuir de forma decisiva para a competitividade, a segurança do abastecimento e o respeito dos compromissos assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto sobre as alterações climáticas.

Existem grandes potenciais de redução, em especial nos sectores que consomem muita energia, como o da construção, das indústrias transformadoras, da conversão da energia, dos transportes e dos edifícios.

No final de 2006, a UE comprometeu-se a economizar 20 % do consumo anual de energia primária, até 2020. Para alcançar este objectivo, mobiliza os cidadãos, os decisores públicos e os intervenientes no mercado, e fixa, designadamente normas mínimas de rendimento energético e regras de etiquetagem, aplicáveis aos produtos, aos serviços e às infra-estruturas (incluindo os edifícios) (UE, 2007).

1.2.2 Plano de acção para a eficiência energética (2007 - 2012)

O plano de acção para a eficiência energética foi apresentado no início de 2007 e tem como objectivo controlar e atenuar o crescimento da procura de energia, incidindo no consumo e no abastecimento, a fim de se obter até 2020 uma poupança de 20% no que respeita ao consumo anual de energia primária (comparativamente às previsões de consumo de energia para 2020). Este objectivo corresponde a uma poupança de cerca de 1,5% por ano até 2020 (UE, 2007).

A obtenção de poupanças de energia significativas e duradouras implica, por um lado, o desenvolvimento de técnicas, produtos e serviços eficientes do ponto de vista energético e, por outro, uma alteração dos padrões comportamentais, com vista a um menor consumo de energia sem perda de qualidade de vida. O plano expõe uma série de medidas a curto e médio prazo destinadas a concretizar esse objectivo.

O plano de acção abrange um período de 6 anos (de 1 de Janeiro de 2007 a 31 de Dezembro de 2012), que a Comissão considera suficiente para permitir a adopção e a transposição da maioria das medidas propostas. Em 2009, proceder-se-á a uma avaliação intercalar.

Potencial de poupança de energia

A Comissão Europeia considera que as poupanças de energia mais significativas ocorrerão nos seguintes sectores: edifícios residenciais e para uso comercial (terciário), com um potencial de redução avaliado em, respectivamente, 27% e 30%, indústrias transformadoras, com hipóteses de poupanças da ordem dos 25%, e o sector dos transportes, com uma previsão de redução do consumo de 26% (UE, 2007).

Estas reduções sectoriais no consumo de energia correspondem a economias globais estimadas em 390 milhões de toneladas de equivalente petróleo (Mtep) anuais, ou seja, 100 mil milhões de euros por ano até 2020, permitindo ainda diminuir as emissões de CO₂ em 780 milhões de toneladas por ano.

A concretização do objectivo de 20% de poupança permitirá reduzir o impacto das alterações climáticas e a dependência da UE no que respeita às importações de combustíveis fósseis. O plano de acção contribuirá igualmente para o reforço da competitividade industrial, o desenvolvimento das exportações de novas tecnologias e terá repercussões positivas sobre o emprego. Além disso, as poupanças obtidas compensarão os investimentos efectuados nas tecnologias inovadoras.

Desempenho energético dos edifícios

De acordo com a directiva EPBD (Communities, 2007) os Estados-Membros devem aplicar requisitos mínimos no desempenho energético relativamente aos novos edifícios e aos edifícios existentes, velar pela certificação do desempenho energético dos edifícios e impor uma inspecção regular das caldeiras e das instalações de ar condicionado nos edifícios.

A directiva abrange quatro elementos principais:

- Uma metodologia de cálculo comum do desempenho energético integrado dos edifícios.
- Os requisitos mínimos relativos ao desempenho energético dos novos edifícios e dos edifícios existentes quando são objecto de grandes obras de reabilitação.

- Os sistemas de certificação para os edifícios novos e existentes e, nos edifícios públicos, a afixação de certificados e outras informações relevantes. As certificações devem datar de menos de cinco anos.
- A inspecção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios, bem como a avaliação da instalação de aquecimento quando as caldeiras tenham mais de 15 anos.

A metodologia de cálculo deve, além disso, integrar todos os elementos que determinam a eficiência energética e não apenas a qualidade do isolamento do edifício. Esta abordagem integrada deve ter em conta elementos como as instalações de aquecimento e de arrefecimento, as instalações de iluminação, a localização e a orientação do edifício, a recuperação do calor, etc.

1.2.3 Caracterização energética nacional

Portugal é um país com escassa incorporação de recursos energéticos próprios, nomeadamente, aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas da maioria dos países desenvolvidos (como o petróleo, o carvão e o gás).

Tal situação de escassez conduz a uma elevada dependência energética do exterior, 87,2% em 2005 (DGGE, 2006), sendo totalmente dependente das importações de fontes primárias de origem fóssil, e com uma contribuição das energias hídrica (fortemente dependente das condições climáticas), eólica, solar e geotérmica, biogás e de lenhas e resíduos, que importa aumentar.

Portugal está assim perante uma reduzida diversificação da oferta energética primária, aliada à escassez de recursos próprios, que conduz a uma maior vulnerabilidade do sistema energético às flutuações dos preços internacionais, nomeadamente do preço do petróleo, exigindo esforços no sentido de aumentar a diversificação.

Em 2005 o peso do consumo dos principais sectores de actividade económica relativamente ao consumo final de energia foi de 28,4% na Indústria, 35,4% nos Transportes, 16,5% no Doméstico, 13,0% nos Serviços e 6,7% nos outros sectores (onde se inclui a Agricultura, Pescas, Construção e Obras Públicas). Constata-se assim uma forte incidência dos sectores de Transportes e Edifícios e Indústria no consumo de energia final.

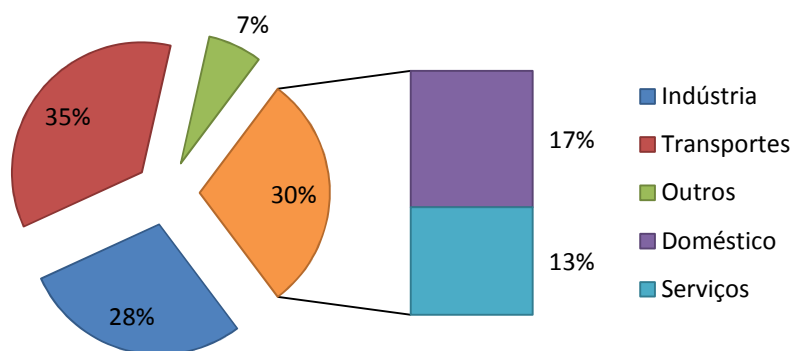


Figura 1: Consumo de energia final por sector

Para o consumo de energia eléctrica o peso dos principais sectores de actividade económica foi de 35 % na Indústria, 1 % nos Transportes, 29 % no Doméstico, 33 % nos

Serviços e 1 % nos outros sectores (DGGE, 2006). Constatase assim um elevado consumo de energia eléctrica no sector dos edifícios, um vector energético particularmente oneroso.

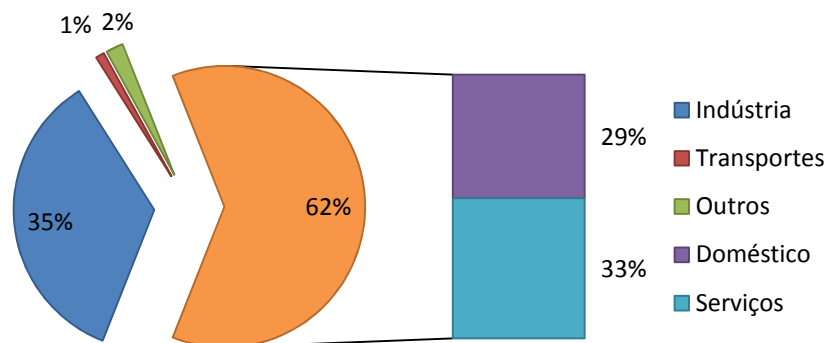


Figura 2: Consumo de energia eléctrica por sector

No sector doméstico, assiste-se a uma evolução crescente do consumo de energia eléctrica por unidade de alojamento (2362 kWh/alojamento em 2004 contra 2252 kWh/alojamento em 2002). O que poderá denotar um maior poder de compra e melhores condições de conforto, ainda que nem sempre nas melhores condições de eficiência. Em relação às formas de energia utilizadas, verifica-se uma estabilização nos consumos dos produtos derivados de petróleo, a favor da electricidade e do gás natural.

1.2.4 Estratégia nacional para a energia

Como apresentado anteriormente o cenário energético nacional actual é caracterizado por uma forte dependência externa, com uma procura energética com taxas de crescimento significativamente superiores às do crescimento do PIB, e com um sistema energético fortemente dependente de fontes primárias de origem fóssil (petróleo, gás natural e carvão).

Visando a redução da forte dependência externa, essencialmente de combustíveis fósseis, no aumento da eficiência energética e na redução das emissões de CO₂, e ainda no aumento da qualidade do serviço e incentivo à concorrência através da adopção de um modelo de organização das empresas com capitais públicos do sector energético, o Governo definiu as grandes linhas estratégicas para o sector da energia, estabelecendo a Estratégia Nacional para a Energia, aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005, de 24 de Outubro, que substitui a anterior Resolução do Conselho de Ministros n.º 63/2003, de 28 de Abril (DGGE, 2006).

A Estratégia define as grandes linhas de orientação política e medidas de maior relevância para a área da energia, tendo como principais objectivos:

- Garantir a segurança do abastecimento de energia, através da diversificação dos recursos primários e dos serviços energéticos e da promoção da eficiência energética;
- Estimular e favorecer a concorrência, de forma a promover a defesa dos consumidores, bem como a competitividade e a eficiência das empresas;
- Garantir a adequação ambiental de todo o processo energético, reduzindo os impactes ambientais às escalas local, regional e global.

1.3 Edifícios passivos e edifícios de balanço energético nulo

A eficiência energética nos edifícios é um tema de importância crescente em todo o mundo, e em particular na Europa. Os edifícios denominados por edifícios passivos podem assumir um papel relevante na importância da estratégia da eficiência energética, devido ao enorme potencial que apresentam na redução dos consumos energéticos, visto que um dos objectivos finais da concepção de edifícios passivos é a obtenção natural das condições de conforto dos seus utilizadores.

Na Europa tem-se observado nos últimos dez anos um interesse crescente nos padrões de construção dos edifícios passivos. Têm sido desenvolvidos alguns projectos na Europa, de referir o projecto Passive-On, que desenvolve actividades de discussão e avaliação de diferentes tipos de estratégias de implementação destes edifícios, mesmo em climas mais desfavoráveis, como no centro da Europa. Para além de uma discussão técnica sobre o desempenho dos edifícios, aborda-se também a melhor forma para promover e incentivar a construção de edifícios passivos (Gonçalves, Brotas, 2007).

Portugal tem uma longa tradição de construção destes edifícios ainda que em pequeno número, verificando-se no entanto neste momento um interesse crescente na construção destes edifícios.



Figura 3: Edifício solar passivo em Portugal (Nascimento, Gonçalves, 2005)

Neste contexto, é importante mencionar o novo consenso de edifícios de balanço energético nulo, que para além de promover a eficiência energética, implicam a integração de tecnologias de fontes renováveis de energia. Assim estes edifícios ao adoptarem medidas de eficiência energética, apresentam baixas necessidades de energia, sendo que estas necessidades são supridas por fontes renováveis de energia, que normalmente estão integradas no edifício.

Em países da Europa como o Reino Unido, tem-se verificado um grande interesse nestes edifícios, tendo inclusive a instituição “Department for Communities and Local Government” disponibilizado uma recente publicação que refere que até 2016 esperam que todos os novos edifícios residenciais sejam edifícios de balanço energético nulo (Communities, 2007).

1.4 Sistema nacional de certificação energética e da qualidade do ar interior nos edifícios

A utilização de energia em edifícios em Portugal tem vindo a crescer de forma significativa ao longo das últimas duas décadas. É reconhecido que a utilização de energia para a climatização tem desempenhado um papel importante neste processo, temendo-se que o

aumento desregrado possa continuar se não forem tomadas, a todos os níveis, medidas eficazes para o controlar. Um dos mecanismos com maior potencial de contribuição para este controlo, em Portugal, é o novo mecanismo de certificação energética de edifícios e os seus regulamentos, descritos de seguida.

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, 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 certificado o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios. Se aplicável, são identificadas as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho dos edifícios e respectivos sistemas energéticos (ADENE, 2007).

O normativo técnico para aplicação do sistema de certificação energética e da qualidade do ar interior consta do Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril, e do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril, diplomas que entraram em vigor em 3 de Julho de 2006, pelo que são, já, do pleno conhecimento dos seus destinatários e aplicáveis à totalidade dos edifícios.

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) veio estabelecer requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos serviços sem sistemas 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 climatização e produção de águas quentes, num claro incentivo à utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacte em termos de consumo de energia primária. A nova legislação determina também a obrigatoriedade da instalação de colectores solares e valoriza a utilização de outras fontes de energia renovável na determinação do desempenho energético do edifício.

Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) veio igualmente definir um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação dotados sistemas de climatização, os quais, para além dos aspectos 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 com requisitos que abrangem as taxas de renovação do ar interior nos espaços e a concentração máxima dos principais poluentes.

1.5 Objectivos do trabalho

O método de quantificação do RCCTE baseia-se no cálculo das necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e água quente sanitária. Sendo este um método que permite a integração prática das diversas componentes do balanço energético, tem também o inconveniente de não tornar imediatamente claro qual o desempenho do edifício no chamando “regime de free float”, ou seja, na ausência de climatização mecânica.

Acresce que o cálculo é efectuado para condições nominais onde se assume que a temperatura interior está sempre acima dos 20 °C no Inverno, e abaixo de 25°C no Verão. Ora, esta hipótese dificilmente se enquadrará com a realidade destes edifícios, que não se baseiam em climatização mecânica, dado que temperaturas abaixo ou acima desta gama são frequentemente compatíveis com os mais exigentes requisitos de conforto térmico, segundo o modelo do conforto adaptativo, como formalmente reconhecido na norma ASHRAE 55-2004 através da diferenciação de requisitos para espaços com climatização passiva (“naturally conditioned”).

O trabalho aqui reportado insere-se num projecto mais amplo que visa o desenvolvimento de ferramentas que possam expandir o potencial do RCCTE para a promoção da climatização passiva, e contribuir para evitar a necessidade de recurso a equipamentos de ar condicionado para arrefecimento de edifícios residenciais.

Tentar-se-á neste primeiro momento, analisar uma relação quer para as necessidades energéticas de aquecimento quer para as necessidades energéticas de arrefecimento, determinadas por intermédio de um método simplificado, o RCCTE, e por um método de simulação detalhada, o ESP-r. Será também necessário avaliar uma relação entre o desempenho aferido em regime condicionado (por intermédio do ESP-r ou do RCCTE) e o desempenho aferido por simulação detalhada (por intermédio do ESP-r), em regime de flutuação livre de temperaturas, adoptando o modelo de conforto adaptativo. Pretende-se também nesta fase, clarificar que níveis de requisitos permitem prescindir sistemas mecânicos de arrefecimento. Serão para tal utilizados o software ESP-r e as folhas de cálculo do RCCTE.

2 CASOS DE ESTUDO

Neste capítulo serão apresentados os casos de estudo que foram analisados para obter as relações pretendidas neste trabalho. O primeiro destes casos de estudo é uma habitação unifamiliar de tipologia T3, localizada no Marco de Canaveses. O segundo é um edifício de apartamentos, onde será analisado um piso constituído por quatro fracções autónomas, duas de tipologia T1 e duas de tipologia T2, localizado em Lisboa. Posteriormente será analisada uma moradia geminada, de tipologia T3 localizada no Porto e por fim apresenta-se o último caso de estudo que se trata de uma variante mais eficiente do caso de estudo da moradia geminada.

2.1 Habitação unifamiliar

2.1.1 Breve apresentação e caracterização

O presente caso de estudo refere-se a uma habitação unifamiliar de tipologia T3, a construir na freguesia de Avessadas, concelho de Marco de Canaveses (zona climática I2-V2 Norte).

O esquema funcional previsto é o seguinte: o acesso principal faz-se a meio piso, estando a entrada protegida por uma pala em betão, criando uma zona de abrigo. Na entrada encontra-se o hall da habitação que comunica com a garagem através de uma porta corta-fogo e com as escadas de acesso ao piso 1 e ao rés-do-chão. O rés-do-chão é constituído pelos seguintes espaços: sala de estar, sala de jantar, escritório, instalação sanitária, cozinha e arrumos. Ao aceder ao piso superior encontra-se um corredor de acesso aos três quartos sendo um tipo suite, existindo igualmente uma instalação sanitária de apoio. De forma a potenciar todos os espaços da habitação com luz natural, existem pequenas clarabóias sobre a escada e o corredor dos quartos.

As figuras seguintes apresentam as plantas dos dois pisos do edifício. Serão também apresentados os principais cortes, assim como os alçados Noroeste, Sudeste, Nordeste e Sudoeste do edifício. Nestes alçados é possível ver o acesso principal da habitação na fachada a Sudeste, representado na figura 9.

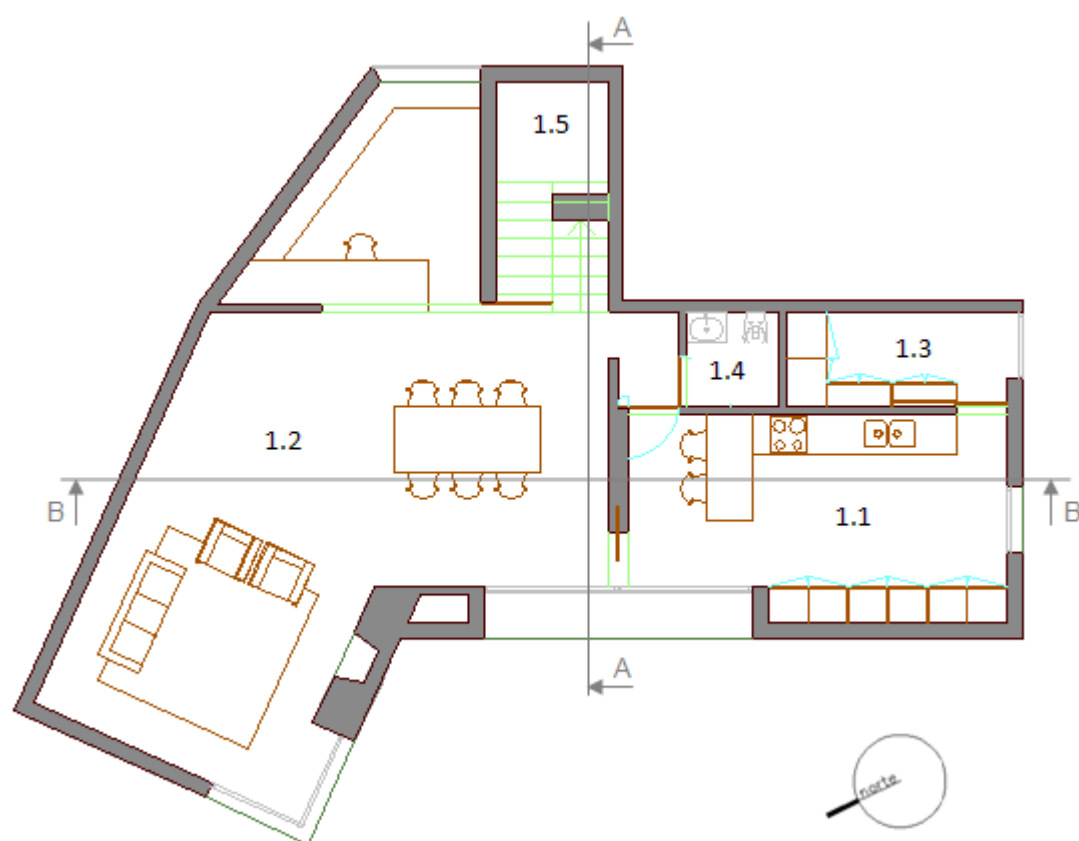


Figura 4: Planta do rés-do-chão da habitação

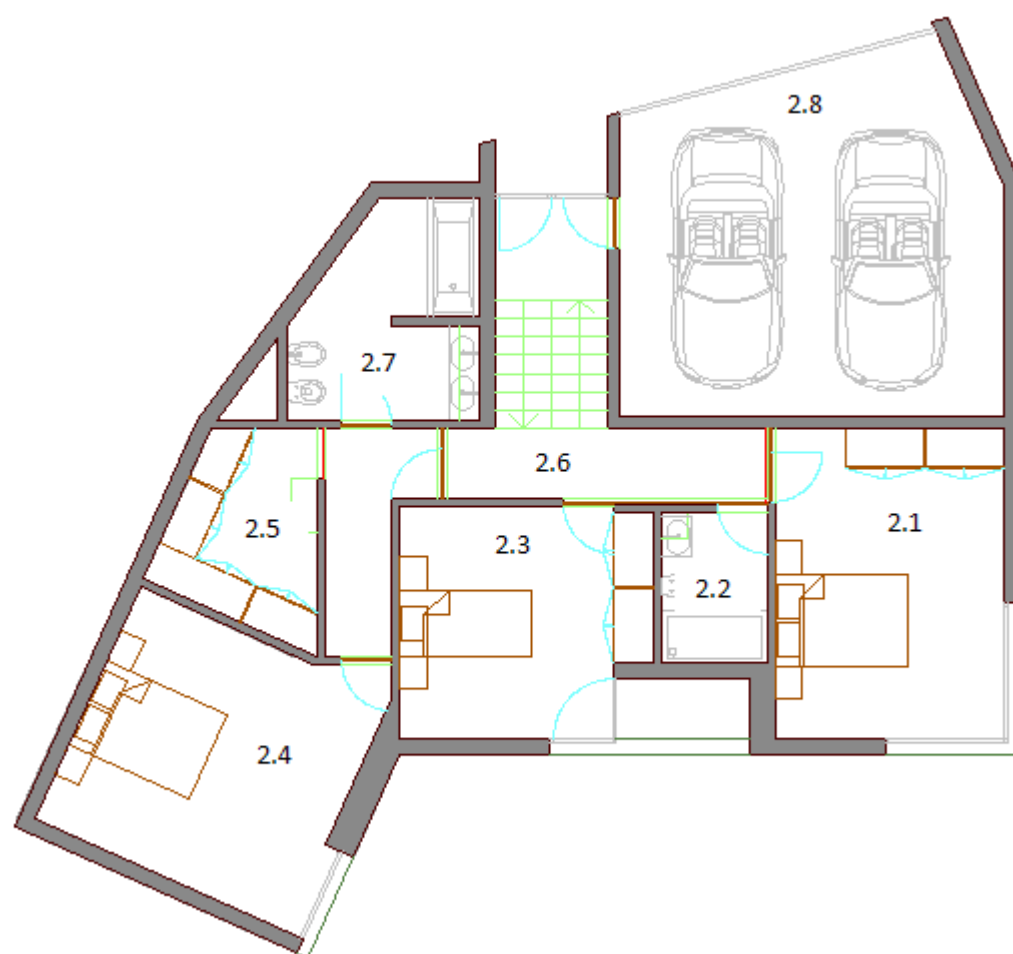


Figura 5: Planta do 1º Andar da habitação

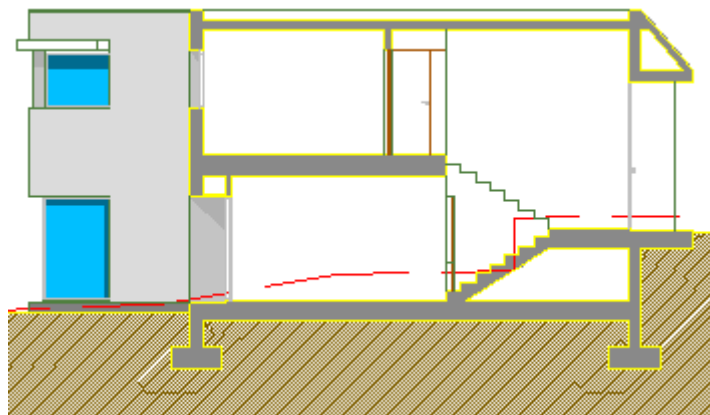


Figura 6: Representação do corte A-A do edifício

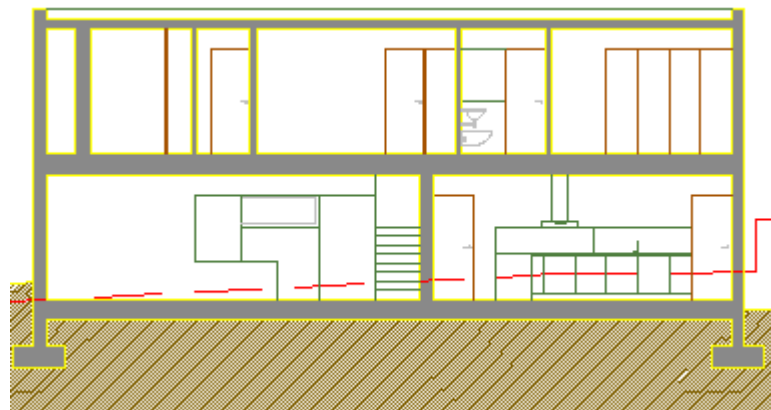


Figura 7: Representação do corte B-B do edifício

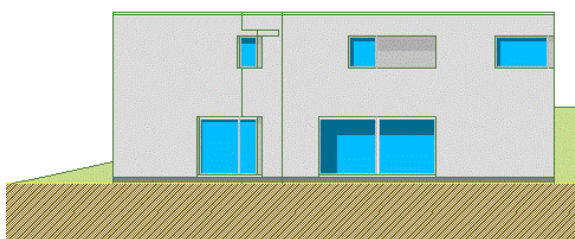


Figura 8: Alçado a Noroeste

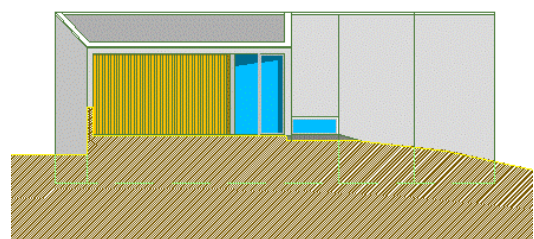


Figura 9: Alçado a Sudeste

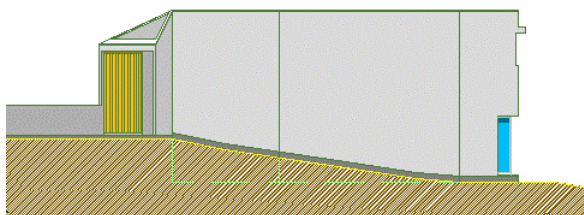


Figura 10: Alçado a Nordeste

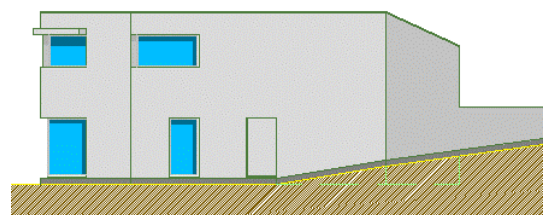


Figura 11: Alçado a Sudoeste

Área útil e pé direito

A tabela seguinte apresenta as zonas do edifício com as suas respectivas áreas.

Tabela 1: Áreas das zonas do edifício

	Zona	Área [m ²]
1.1	Cozinha	16,8
1.2	Sala	51,5
1.3	Arrumos	4,8
1.4	Instalação Sanitária	1,9
1.5	Escadas	6,0
2.1	Quarto	16,2
2.2	Instalação Sanitária	3,6
2.3	Quarto	12,6
2.4	Quarto	16,7
2.5	Quarto de Vestir	6,3
2.6	Corredor	9,4
2.7	Instalação Sanitária	9,2
2.8	Garagem	29,6

De acordo com o apresentado na tabela 1, a área útil de pavimento é de 150,4 m², não sendo contabilizado neste total a área dos espaços não úteis (arrumos e garagem). O pé direito considerado é de 2,4 m, em ambos os pisos.

2.1.2 Aplicação do RCCTE

2.1.2.1 Coeficientes de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos

As perdas térmicas das paredes que separam o espaço útil do espaço não útil são calculadas em função do coeficiente τ (coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos).

A determinação do valor de τ é feita a partir da Tabela IV.1 do RCCTE, em função do tipo de espaço não útil e da relação entre as áreas dos elementos que separam os dois espaços e a dos elementos que separam o espaço não útil do exterior.

Desta forma, o valor de τ para a zona “garagem” em que a área dos elementos que separam o espaço útil do não útil é de 31 m², e a área dos elementos que separa o não útil do ambiente exterior é de 74 m² ($\frac{A_i}{A_u} = \frac{31}{74} = 0,4$), será igual a 0,8.

Da mesma forma, o valor de τ para a zona “arrumos”, em que a área dos elementos que separam o espaço útil do não útil é de 12,2 m², e a área dos elementos que separa o não útil do ambiente exterior é de 1,5 m² ($\frac{A_i}{A_u} = \frac{12,2}{1,5} = 8,1$), será igual a 0,7.

2.1.2.2 Caracterização térmica das soluções construtivas

Envoltente Opaca

Nas tabelas seguintes descrevem-se as soluções construtivas dos elementos opacos da envoltente e apresenta-se a caracterização das propriedades térmicas. É de referir que os

valores apresentados foram calculados com base na publicação do LNEC - ITE 50. Como se pode verificar todos os elementos respeitam os requisitos mínimos exigidos pelo RCCTE.

Elementos da envolvente opaca exterior

Tabela 2: Envolvente Exterior

Descrição	U (W/m ² . °C)	U _{máx} (W/m ² . °C)
Paredes exteriores		
Paredes simples com pano de alvenaria de tijolo furado normal, com 190 mm de espessura, isolada pelo exterior com placas de poliestireno expandido de 60 mm de espessura, rebocada pelo exterior e interior	0,44	1,60
Cobertura		
Cobertura horizontal, protegida por uma camada exterior de seixo, seguida de uma primeira camada de poliestireno expandido com 30 mm de espessura, uma tela de impermeabilização intermédia e uma nova camada de placas de poliestireno expandido com 50 mm. A estrutura resistente é constituída por uma laje maciça de betão com 200 mm de espessura mais uma camada de forma de betão leve com 100mm.	0,40	1,00

Elementos da envolvente opaca interior

Tabela 3: Envolvente interior

Descrição	U (W/m ² . °C)	U _{máx} (W/m ² . °C)
<i>Parede de separação do espaço útil com o espaço não útil da garagem</i>		
Parede Interior - parede simples com pano de alvenaria de tijolo furado normal, com 11 mm de espessura, isolada com placas de poliestireno expandido de 60 mm, rebocada de ambos os lados.	0,48	1,60
<i>Parede de separação do espaço útil com o espaço não útil dos arrumos</i>		
Parede Interior - parede simples, com pano de alvenaria de tijolo furado normal, com 11 mm de espessura, rebocada de ambos os lados.	1,77	2,00
<i>Pavimento de separação do espaço útil com o espaço não útil dos arrumos</i>		
Pavimento interior - constituído por uma laje maciça de betão com 220 mm de espessura mais uma camada de regularização com 20 mm de espessura, uma camada de poliestireno expandido com 30 mm de espessura, e acabamento superficial de madeira, no lado superior, e reboco do lado inferior.	0,77	1,30

Pontes térmicas planas

No que diz respeito às pontes térmicas planas, o RCCTE impõe que, os valores dos coeficientes de transmissão térmica superficial U das heterogeneidades opacas inseridas na zona corrente da envolvente (pilares, vigas e caixas de estore) não excedam os valores máximos admissíveis de U para os elementos opacos nem o dobro do valor de U dos elementos verticais ou horizontais em zona corrente.

Tabela 4: Pontes térmicas planas

Descrição	U (W/m ² . °C)	$U_{máx}$ (W/m ² . °C)
Talão de viga		
Talão de viga de betão armado da laje dos pavimentos intermédios e da laje de cobertura com 0,2 m de espessura, isolado pelo exterior com 60 mm de poliestireno expandido e rebocado pelo interior e exterior.	0,51	$0,88 \leq 1,60$
Pilar de betão		
Parede exterior com pilar de betão de 0,2 m, isolada pelo exterior com 60 mm de poliestireno expandido e rebocada pelo interior e exterior.	0,51	$0,88 \leq 1,60$
Caixas de estore		
Caixa de estore na parede exterior, com altura de 0.25 m, constituída por 2 placas de fibrocimento, cada uma com 0.185 m, com reboco pelo interior e exterior, isolamento na caixa de estore de 40 mm de poliestireno expandido.	0,70	$0,88 \leq 1,60$

Pontes térmicas lineares

Para o caso das pontes térmicas lineares, o RCCTE apresenta, para as situações mais correntes, os valores dos coeficientes de transmissão térmica linear Ψ . Na tabela seguinte indicam-se as pontes térmicas lineares identificadas na moradia unifamiliar.

Tabela 5: Pontes térmicas lineares

Ligações entre:	Ψ (W/m. °C)	Referência
Fachada com pavimentos térreos $d = 0$ m e $z = 0,41$ m	0,45	RCCTE, Tabela IV.3 - Ae
Fachada com pavimentos intermédios $e_m = 0,29$ m e $e_p = 0,27$ m	0,10	RCCTE, Tabela IV.3 - Ce
Fachada com cobertura inclinada ou terraço $e_m = 0,29$ m e $e_p = 0,40$ m	0,55	RCCTE, Tabela IV.3 - De
Duas paredes verticais $e_m = 0,29$ m	0,15	RCCTE, Tabela IV.3 - Fe
Fachada com caixa de estore (tampo da caixa de estore isolada)	0,0	RCCTE, Tabela IV.3 - Ge
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril (isolamento encosta à caixilharia)	0,0	RCCTE, Tabela IV.3 - He

Vãos envidraçados

Na tabela seguinte apresentam-se os valores dos coeficientes de transmissão térmica U dos vãos envidraçados, que constam nos quadros da publicação do LNEC – ITE 50.

Tabela 6: Vãos envidraçados

Descrição	U [W/m ² . °C]
VP-1: cozinha e sala, com orientação NW; VP-2: cozinha e sala, com orientação SW e SE; VJ-1: sala, quarto1 e quarto2, com orientação NW; VJ-2: quarto1 e quarto3, com orientação SW; VJ-3: quarto2, com orientação SW; Vidro laminado 8 mm + caixa-de-ar 16mm + vidro laminado 5 mm, incolor, com protecção pelo exterior (estores); Caixilharia de alumínio sem corte térmico; Janela simples, vidro duplo, janela de correr; Dispositivo de oclusão nocturna, cortina interior opaca.	3,50
Porta de entrada, vidro laminado 8 mm + caixa-de-ar 16 mm + vidro laminado 5 mm, incolor, com protecção pelo exterior; Caixilharia em aço inox sem corte térmico; Porta simples, vidro duplo, giratória; Dispositivo de oclusão nocturna, com permeabilidade ao ar elevada.	3,10

Factores solares na Estação de Aquecimento (Inverno)

Nas tabelas seguintes encontram-se descritos os valores dos diferentes factores solares F () e $g_{\perp}$ que, traduzem a fracção da radiação solar disponível no exterior, transmitida para o interior do espaço útil sob a forma de radiação visível e térmica.

Tabela 7: Factores solares e de sombreamento na estação de aquecimento

Vãos envidraçados	X_j	$g_{\perp}$	F_s	F_g	F_w
VP-1: cozinha e sala, com orientação NW	0,33	0,63	0,86	0,7	0,9
VP-2: cozinha e sala, com orientação SW e SE	0,84	0,63	0,90	0,7	0,9
VJ-1: sala, quarto1 e quarto2, com orientação NW	0,33	0,63	0,90	0,7	0,9
VJ-2: quarto1 e quarto3, com orientação SW	0,84	0,63	0,67	0,7	0,9
VJ-3: quarto2, com orientação SW	0,84	0,63	0,38	0,7	0,9
Porta de entrada, orientação SE	0,84	0,63	0,72	0,7	0,9

Factores solares na estação de arrefecimento (Verão)

O valor do factor solar do vão envidraçado, durante a estação de arrefecimento, é obtido de acordo com o RCCTE, considerando que os dispositivos de sombreamento móveis se encontram activos a 70%, ou seja, o factor solar do vão envidraçado é igual à soma de 30% do factor solar do vidro mais 70% do factor solar do vão envidraçado com a protecção móvel actuada.

Na tabela seguinte, apresentam-se os valores dos factores na estação de arrefecimento.

Tabela 8: Factores solares e de sombreamento na estação de arrefecimento

Vãos envidraçados	$g_{\perp}'$	$g_{\perp V}$	$g_{\perp}$	F_s	F_g	F_w
VP-1: cozinha e sala, com orientação NW	0,07	0,75	0,274	0,86	0,7	0,85
VP-2: cozinha e sala, com orientação SW e SE	0,07	0,75	0,274	0,9	0,7	0,85
VJ-1: sala, quarto1 e quarto2, com orientação NW	0,07	0,75	0,274	0,9	0,7	0,85
VJ-2: quarto1 e quarto3, com orientação SW	0,07	0,75	0,274	0,67	0,7	0,85
VJ-3: quarto2, com orientação SW	0,07	0,75	0,274	0,38	0,7	0,85
Porta de entrada, orientação SE	0,07	0,75	0,274	0,72	0,7	0,85

2.1.2.3 Taxa de renovação horária nominal

Admitindo que a entrada e saída de ar nas instalações sanitárias é efectuada de forma natural e que existe apenas extracção na cozinha, efectuada por intermédio de um exaustor, verifica-se que, segundo o RCCTE o edifício é ventilado naturalmente.

Para a determinação da taxa nominal de renovações horárias de ar interior, sabe-se que o edifício não está em conformidade com a norma NP 1037-1, e admite-se que a classe de permeabilidade ao ar das caixilharias é sem classificação.

Assim, como o edifício está situado na periferia de uma zona rural de Marco de Canaveses e sendo a sua altura acima do solo inferior a 10 m, de acordo com o Quadro IV.2 do RCCTE, conclui-se que a classe de exposição ao vento das fachadas do edifício é a Exp.2.

Os valores convencionais da taxa de renovação horária nominal para edifício são obtidos a partir do Quadro IV.1 do RCCTE. Admitindo que o edifício não dispõe de dispositivos de admissão na fachada, e que existe caixa de estore, obtêm-se $1,05 \text{ [h}^{-1}\text{]}$.

Por fim, considera-se as correcções ao valor obtido no Quadro IV.1. Assim, este valor deverá então ser:

- Agravado de $0,10 \text{ [h}^{-1}\text{]}$, devido à área de envidraçado ser superior a 15 % da área útil de pavimento ($A_{\text{env}}/A_{\text{pav}} = 19 \%$);
- Reduzido em $0,05 \text{ [h}^{-1}\text{]}$, uma vez que as portas exteriores do edifício se encontram bem vedadas por aplicação de borrachas em todo o seu desenvolvimento;

Do exposto advém que o valor da taxa nominal de renovação será de $1,10 \text{ [h}^{-1}\text{]}$.

2.1.2.4 Necessidades de aquecimento

De acordo com a metodologia descrita no Anexo V do RCCTE, a energia útil que é necessário fornecer à fracção autónoma para manter no seu interior a temperatura de referência de $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, N_{IC} , é a indicada na tabela 9, onde se indica também o valor limite das necessidades nominais de aquecimento N_I . As folhas de cálculo utilizadas para determinar as necessidades de aquecimento (FCIV.1a a FCIV.1f e FCIV.2) encontram-se no Anexo CD.

Tabela 9: Necessidades de aquecimento

N_{IC}	N_I
$[\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}]$	$[\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}]$
79,91	90,11

2.1.2.5 Necessidades de arrefecimento

De acordo com a metodologia descrita no Anexo V do RCCTE, a energia útil que é necessário retirar à fracção autónoma para manter no seu interior a temperatura de referência de 25 °C, N_{VC} , é a indicada na tabela 10, onde se indica o valor limite das necessidades nominais de arrefecimento N_V . As folhas de cálculo utilizadas para determinar as necessidades de arrefecimento (FCV.1a a FCV.1g) encontram-se no Anexo CD.

Tabela 10: Necessidades de arrefecimento

N_{VC} [kWh/m ² .ano]	N_V [kWh/m ² .ano]
2,25	18,0

2.1.2.6 Águas quentes sanitárias

De acordo com o RCCTE a contribuição de energia fornecida por colectores solares térmicos para preparação de águas quentes sanitárias, deverá ser calculada utilizando o programa SOLTERM do INETI. Assim, de acordo com o programa SOLTERM, a energia fornecida por um sistema solar ($\eta_0 = 0,758$, $a_1 = 2,8 \text{ W/m}^2/\text{K}$, $a_2 = 0,023 \text{ W/m}^2/\text{K}^2$), com 4 m² de área de captação é de aproximadamente 1635 kWh/ano para o concelho de Marco de Canaveses.

No cálculo das necessidades de aquecimento para preparação de águas quentes sanitárias, admitiu-se que o sistema de apoio utilizado é uma caldeira mural, com eficiência nominal de 87%. Na tabela 11 indica-se as necessidades de energia útil para preparação de águas quentes sanitárias e o seu valor máximo admissível nos termos do regulamento.

Tabela 11: Águas Quentes Sanitárias

N_{ac} [kWh/m ² .ano]	N_a [kWh/m ² .ano]
12,49	31,45

2.1.2.7 Energia primária

Na tabela 12 indicam-se as necessidades globais anuais específicas de energia primária e o seu valor máximo admissível nos termos regulamentares. Para o cálculo das necessidades de energia primária, considerou-se:

- Aquecimento realizado por intermédio de uma bomba de calor, com uma eficiência nominal de 4;
- Arrefecimento realizado por intermédio de uma bomba de calor, com uma eficiência nominal de 3;

Tabela 12: Energia primária

N_{tc} [kgep/m ² .ano]	N_t [kgep/m ² .ano]
1,68	5,22

2.1.3 Modelo de simulação detalhado do edifício em ESP-r

O edifício foi dividido em 13 zonas, sendo o rés-do-chão formado pelas seguintes zonas: cozinha, arrumos, sala mais escritório (agrupados) e instalação sanitária. O primeiro andar é constituído pelas seguintes zonas: três quartos, duas instalações sanitárias, corredor e quarto de vestir.

De forma a simular o efeito da chaminé do fogão, quando este se encontra inactivo, nas necessidades de aquecimento e arrefecimento da habitação, considerou-se uma zona para o efeito com uma abertura directa para o exterior.

2.1.3.1 Condições de fronteira

Superfícies em contacto com o exterior: condições exteriores horárias, a partir do ficheiro do clima.

Superfícies em contacto com o solo: utilizou-se o perfil anual de temperatura do solo, onde se definiu a temperatura média de cada mês do ano para uma profundidade de 4 m, a partir da base de dados do EnergyPlus (EnergyPlus, 2007).

A figura 12 representa o modelo geométrico da habitação unifamiliar definido a partir do software ESP-r.

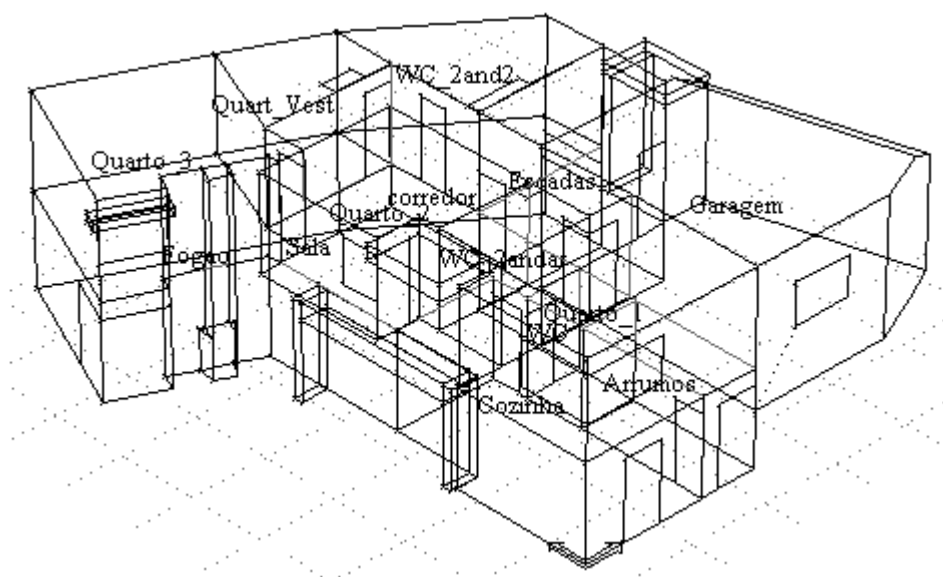


Figura 12: Modelo da habitação no software ESP-r.

2.1.3.2 Ganhos internos

Os valores detalhados dos perfis de ocupação, iluminação e equipamentos, encontram-se definidos no Anexo D. O valor médio destes ganhos é aproximadamente 4 W/m^2 , um valor muito próximo dos 4 W/m^2 assumidos no RCCTE. De seguida apresentam-se os perfis, das principais zonas introduzidos no software ESP-r.

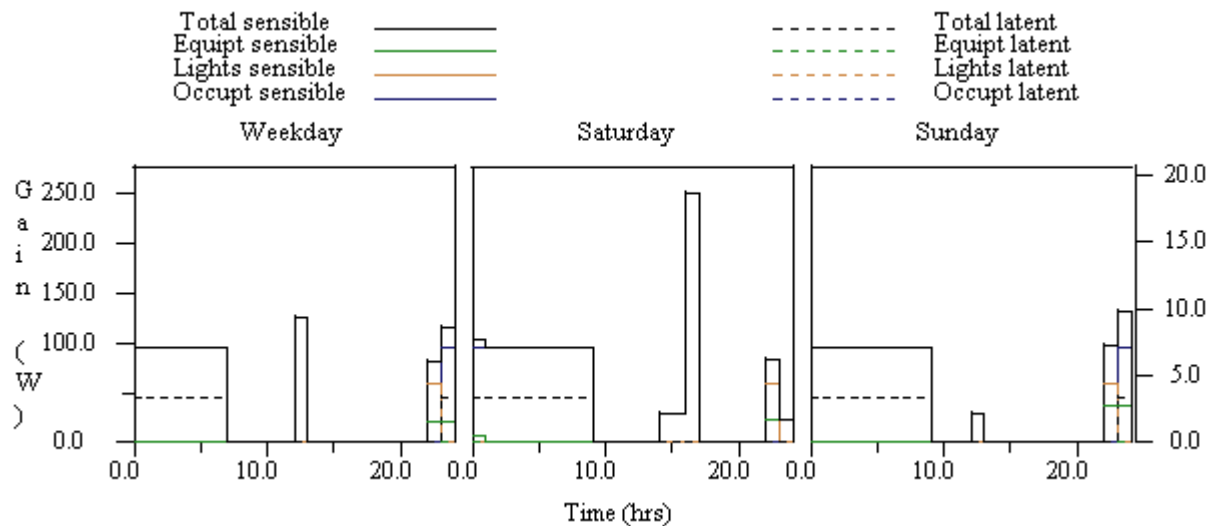


Figura 13: Perfis do quarto

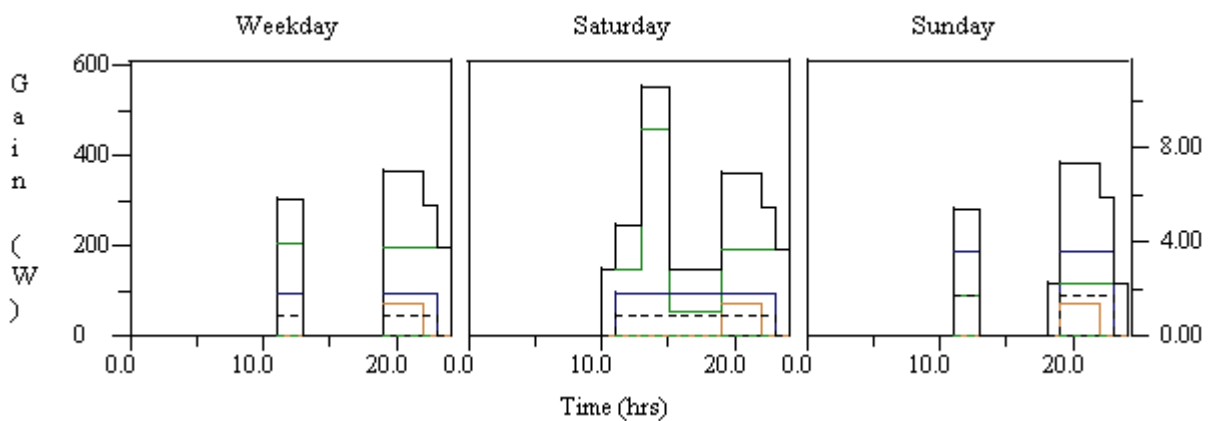


Figura 14: Perfis da sala

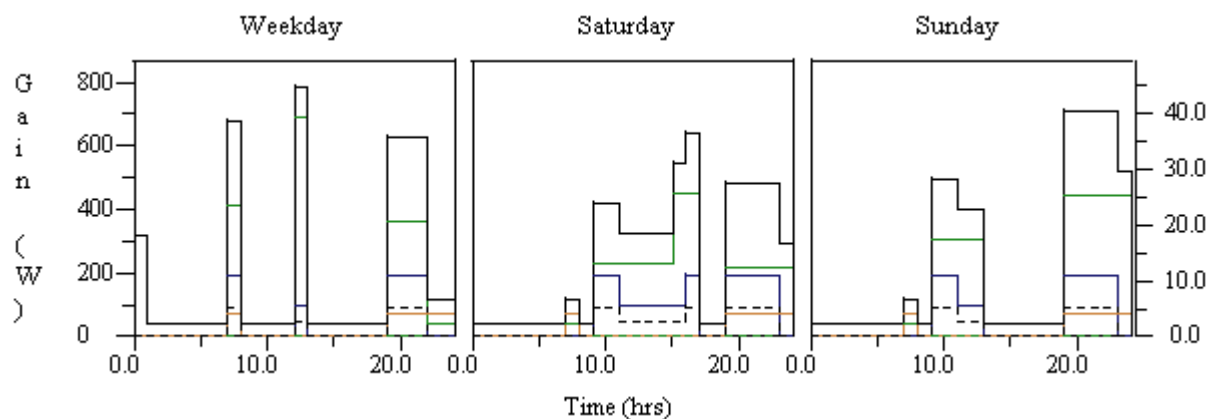


Figura 15: Perfis da cozinha

2.1.3.3 Propriedades dos vidros

Para efeitos de simulação torna-se necessário determinar as propriedades dos vidros, com e sem estore, de forma a obter um factor solar do vidro próximo do determinado para efeitos do regulamento RCCTE. Os coeficientes de absorção e transmissão, necessários para definir as propriedades ópticas do vidro, foram obtidos a partir do software WIS (Dijk, 2006), tendo em conta a sua constituição física e os seguintes factores solares:

- Sem estore exterior: $g_{\perp} = 0,63$
- Com estore exterior: $g_{\perp} = 0,07$

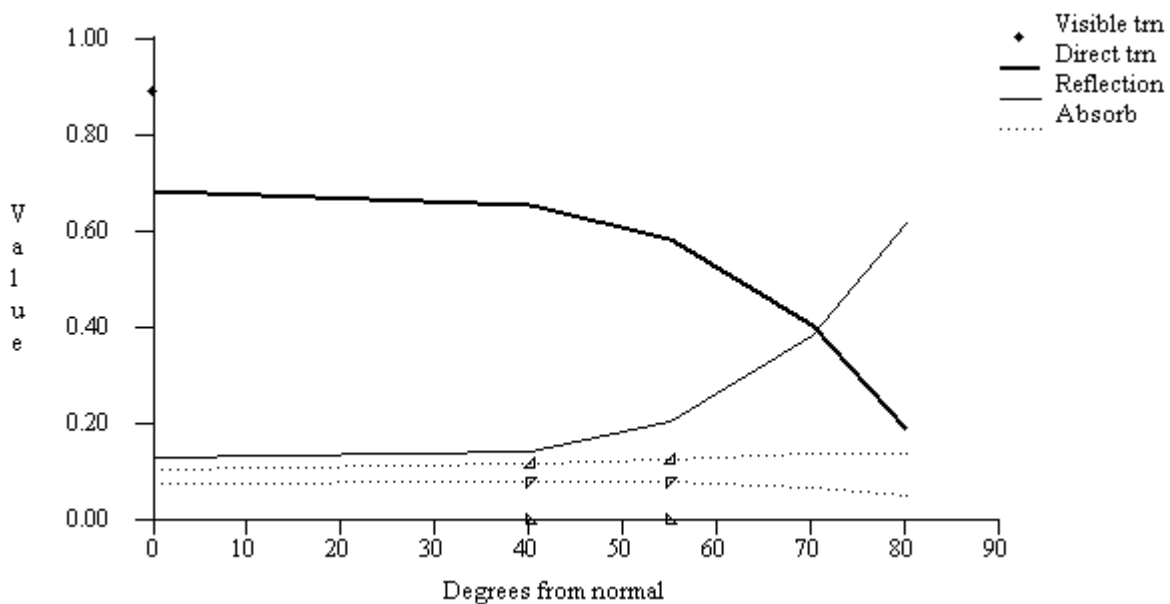


Figura 16: Propriedades ópticas do vidro duplo normal sem protecção

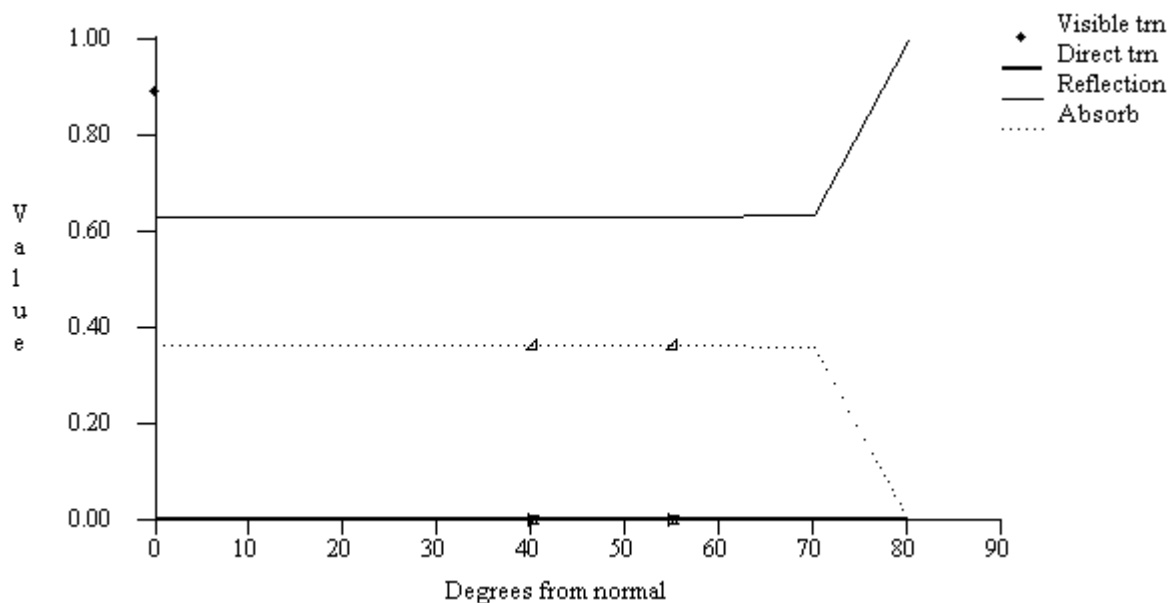


Figura 17: Propriedades ópticas do vidro duplo normal com protecção exterior

2.1.3.4 Leis de controlo do sombreamento

Para controlar a posição dos estores, ao longo de um dia, foi definido um controlador no modelo de simulação. O controlador permite variar as propriedades ópticas do vidro, em função da temperatura do ar exterior. Foram definidos os seguintes critérios para actuação dos estores:

- Das 0 às 8h: utilização das propriedades ópticas para o vidro duplo com protecção exterior;
- Das 8 às 21h: variação das propriedades ópticas do vidro duplo em função da temperatura do ar ambiente. Definiu-se um set-point para a temperatura exterior de 20° C, assim para temperaturas superiores a 20° C o estore encontra-se fechado e para temperaturas inferiores o estore abre.
- Das 21 às 24h: utilização das propriedades ópticas para o vidro duplo com protecção exterior;

2.1.3.5 Controlo de temperatura interior em regime condicionado

As leis de controlo dos sistemas de climatização para aquecimento e arrefecimento permitem garantir a temperatura máxima e mínima, para um espaço climatizado.

No modelo de simulação definiu-se um controlador que permite manter a temperatura do ar interior entre 20 e 25 °C. Assim o controlador é dotado de um sensor de temperatura definido no interior de uma zona, permitindo ao controlador actuar sobre o ar interior. Desta forma, o controlador liga o sistema de aquecimento sempre que a temperatura interior é inferior a 20 °C ou liga o sistema de arrefecimento quando a temperatura é superior a 25 °C.

2.1.3.6 Pontes térmicas lineares

O ESP-r apenas contabilizada a condução monodimensional. De forma a obter uma simulação de acordo com o regulamento RCCTE, torna-se necessário considerar as pontes térmicas lineares no modelo de simulação. Uma das alternativas de compensar as pontes térmicas lineares é considerar um aumento do U de uma das paredes para um U_{equiv} de modo a que:

$$A_{parede}U_{equiv} = A_{parede}U_{real} + \sum B_i\psi_i \quad (eq.1)$$

Assim considerando a área total da parede exterior orientada a nordeste do 1º andar, obtém-se um total de 26,3 m². Sendo o valor do $U=0,44 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ da solução construtiva das paredes exteriores, e o somatório das pontes térmicas lineares de 58,6 W/°C, resulta um $U_{equiv} = 2,67 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Este será o valor utilizado na solução construtiva da parede considerada anteriormente, no modelo de simulação.

2.1.3.7 Clima

Para definir o clima de Marco de Canaveses, recorreu-se á base de dados do INETI, onde se efectuou uma adaptação do formato do ficheiro climático do INETI, para um formato em ESP-r.

2.1.3.8 Simulação do edifício em regime condicionado

Será efectuado um estudo da habitação em regime condicionado, com uma taxa de renovação de ar constante, para uma posterior comparação dos resultados com os obtidos a partir do RCCTE.

Foi adoptado no modelo de simulação o valor da taxa de renovação horária nominal determinada na aplicação do RCCTE ao edifício, onde obteve-se um valor de 1,10 [h⁻¹].

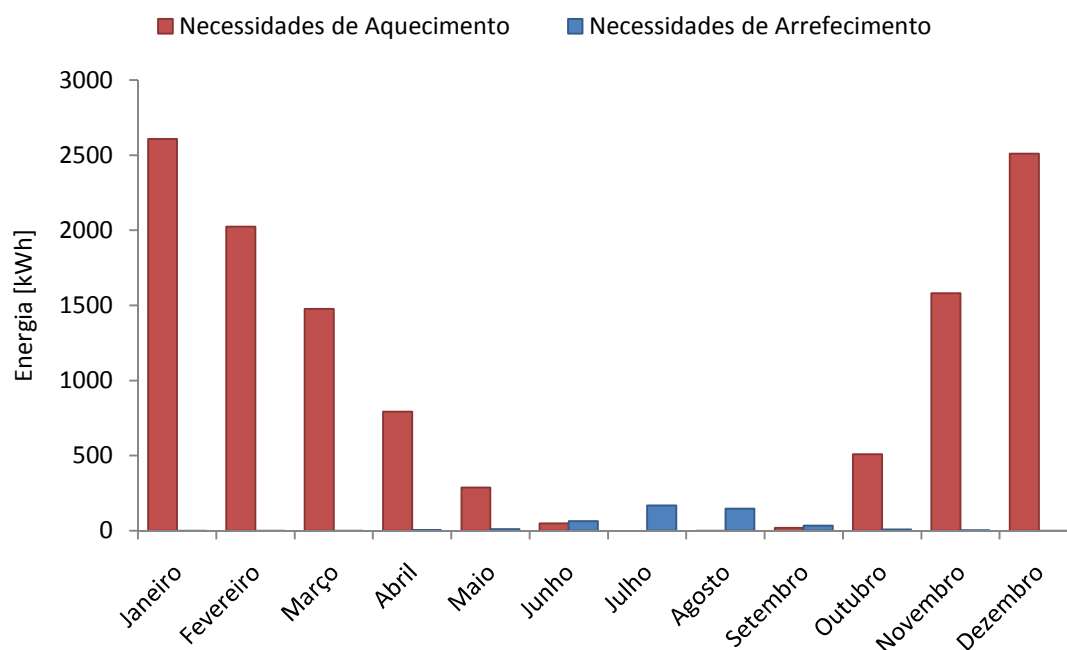


Figura 18: Necessidades de aquecimento e arrefecimento segundo a metodologia do RCCTE

De acordo com os resultados obtidos no programa de simulação ESP-r, a energia útil que é necessário fornecer à fracção autónoma, de forma a manter no seu interior a temperatura de referência de 20 °C, N_{IC} , é a indicada na tabela seguinte. Apresenta-se também, a energia útil que é necessário retirar à fracção autónoma, para manter no seu interior a temperatura de referência de 25 °C.

Tabela 13: Necessidades de aquecimento e arrefecimento

N_{IC} [kWh/m ² .ano]	N_{VC} [kWh/m ² .ano]
74,44	2,76

2.1.3.9 Simulação do edifício em free float com network flow

Para o estudo do edifício em regime de flutuações livre de temperaturas (sem sistemas de climatização), nesta secção serão efectuadas as alterações necessárias no modelo de simulação, essencialmente ao nível da distribuição e circulação do ar no edifício, com o objectivo de obter uma maior aproximação do modelo de simulação à realidade. Com este fim será integrado no modelo uma rede de escoamento de ar (network flow).

A figura 19 e figura 20 apresentam a rede de escoamento de ar para o rés-do-chão e primeiro andar, respectivamente.

Nós, componentes e ligações

Foram definidos 17 nós no modelo de simulação, dos quais 13 caracterizam o ar interior de cada zona e os restantes caracterizam o ar exterior.

Para efectuar a ligação dos nós foram definidos vários componentes. Definiu-se essencialmente três tipos de componentes, um para representar as frinchas de janelas e portas em contacto com o ar exterior, um segundo componente para representar a abertura de áreas para o exterior e um terceiro componente para representar as portas interiores de forma a permitir o escoamento do ar no interior da habitação.

Os componentes representados em paralelo na mesma abertura exterior, têm como objectivo identificar as aberturas exteriores que serão utilizadas para promover o arrefecimento gratuito.

Leis de controlo de abertura de janelas

De forma a controlar a abertura de janelas e portas exteriores, com o objectivo de promover o arrefecimento gratuito, adoptou-se um controlador no modelo de simulação. Foi seleccionado um controlador com múltiplos sensores, com vista a utilizar dois sensores de temperatura, um para a temperatura exterior e outro para a temperatura da zona e ainda com a função lógica “AND”. Assim este controlador permite variar o caudal de ar para uma determinada zona em função dos set-points definidos para os sensores.

Os set-points definidos nos sensores para actuar o controlador, de forma a controlar a abertura de janelas ou portas exteriores, em regime de free float foram os seguintes:

- Temperatura da zona superior a 25 °C
- Temperatura do ar exterior inferior a 25 °C

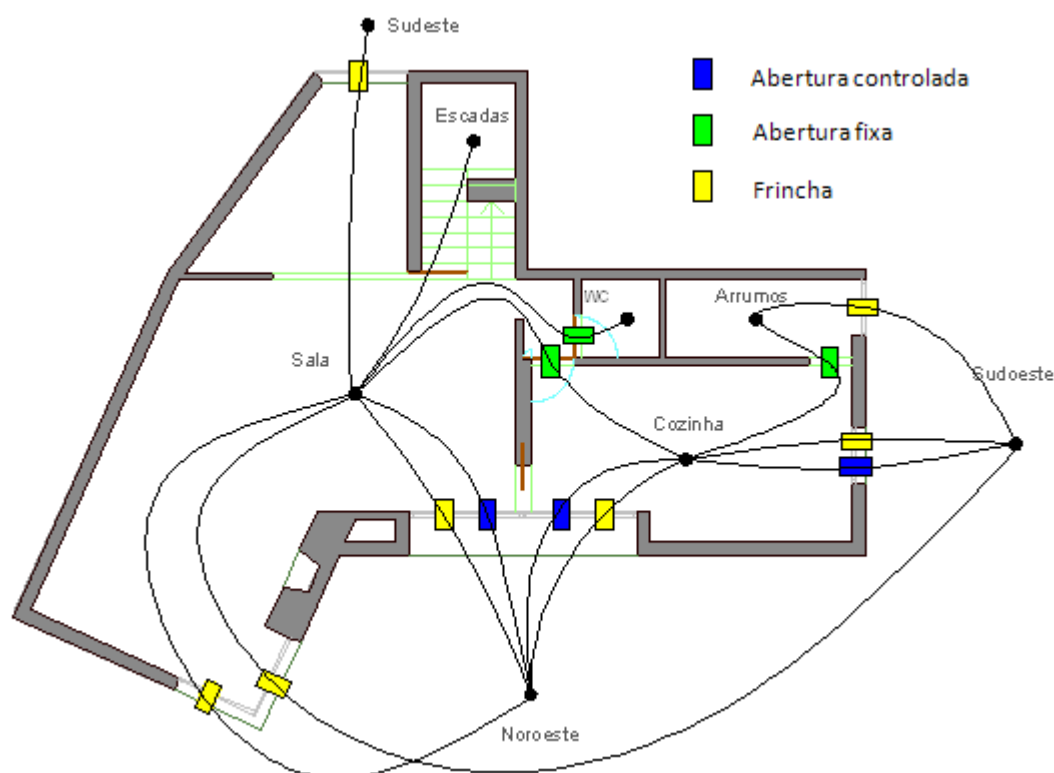


Figura 19: Esquema da rede de escoamento de ar do rés-do-chão.

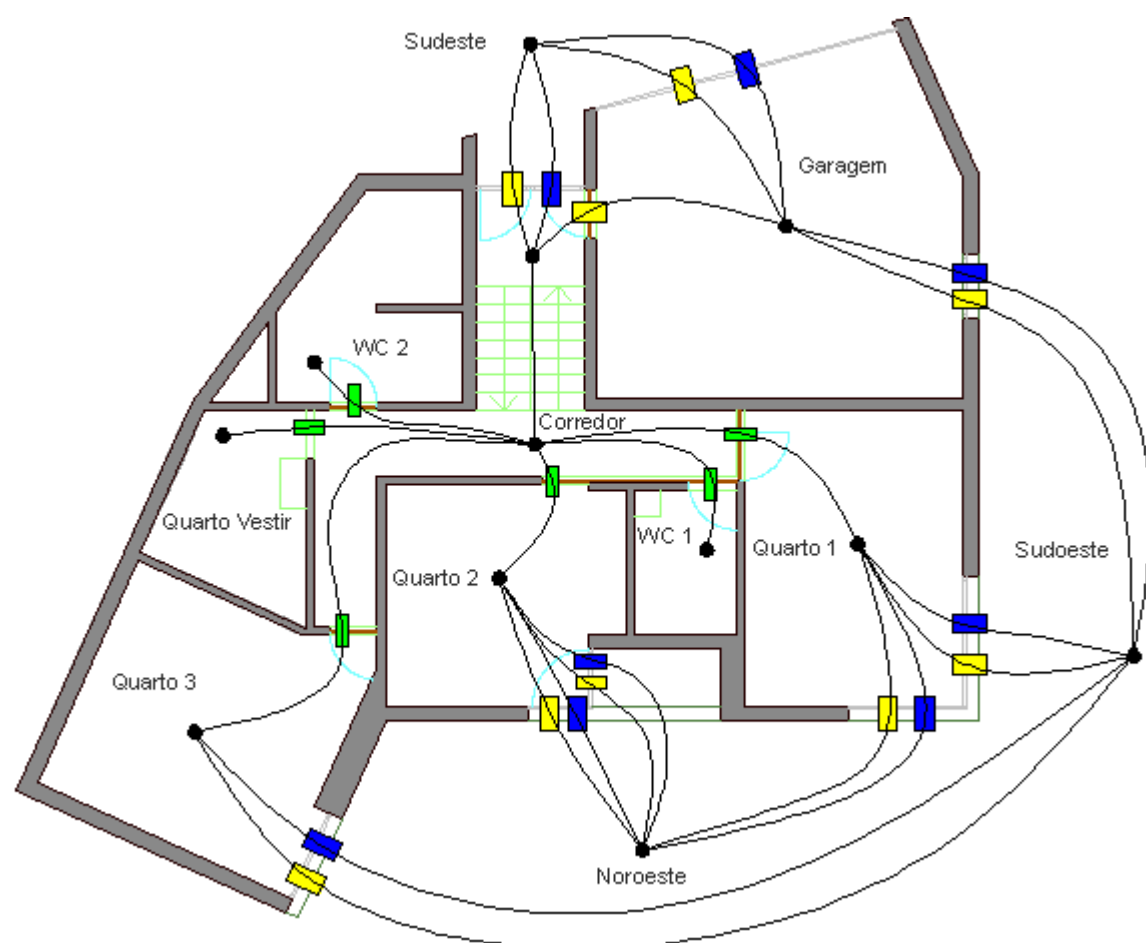


Figura 20: Esquema da rede de escoamento de ar do piso 1.

Infiltrações

Para a simulação do modelo com network flow é fundamental ter em consideração o valor da taxa de renovação horária proveniente das infiltrações. Assim foram efectuadas várias simulações, variando a área das aberturas e a espessura das frinchas, com o objectivo de obter uma taxa de renovação horária mínima próxima de $0,6 \text{ [h}^{-1}\text{]}$. As figuras seguintes apresentam o valor médio mensal das infiltrações, nas principais zonas, onde se observa, que as aberturas exteriores estão activas essencialmente nos meses da estação de arrefecimento.

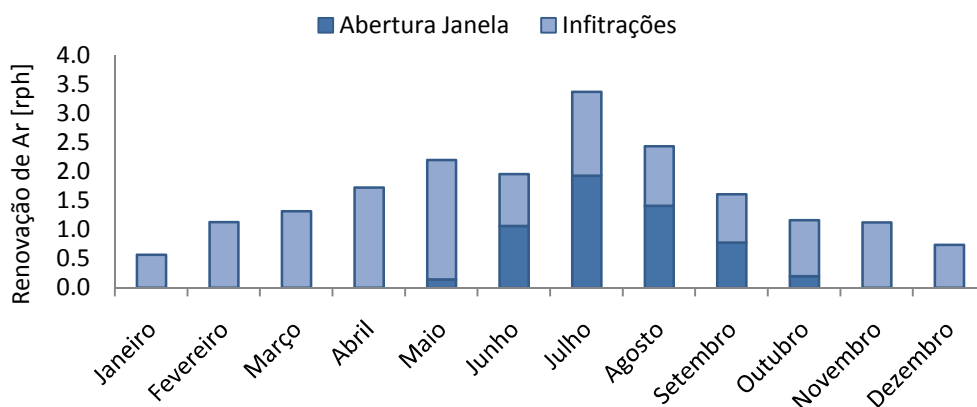


Figura 21: Renovação de ar na cozinha

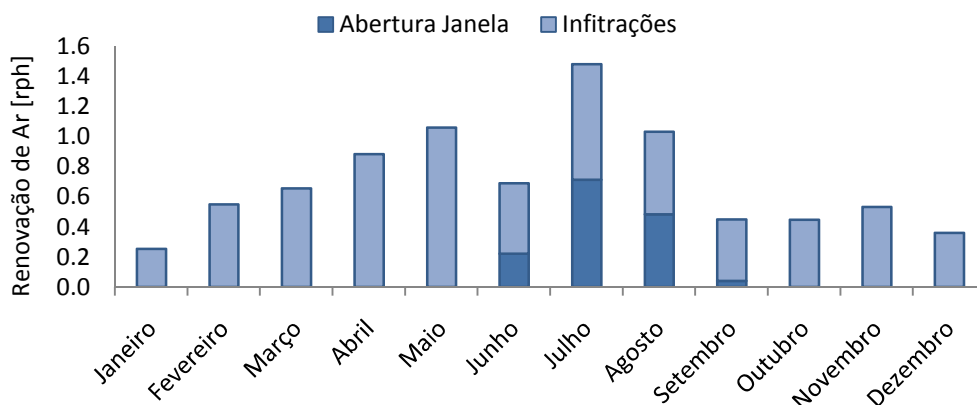


Figura 22: Renovação de ar na sala

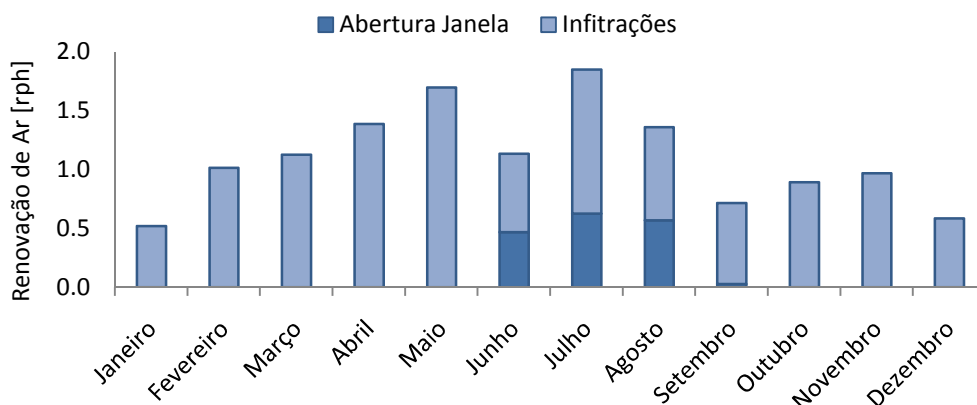


Figura 23: Renovação de ar no quarto

Temperaturas interiores

De seguida é efectuada uma análise do comportamento do edifício em regime de free float, para avaliar a evolução da temperatura interior, nas principais zonas do modelo.

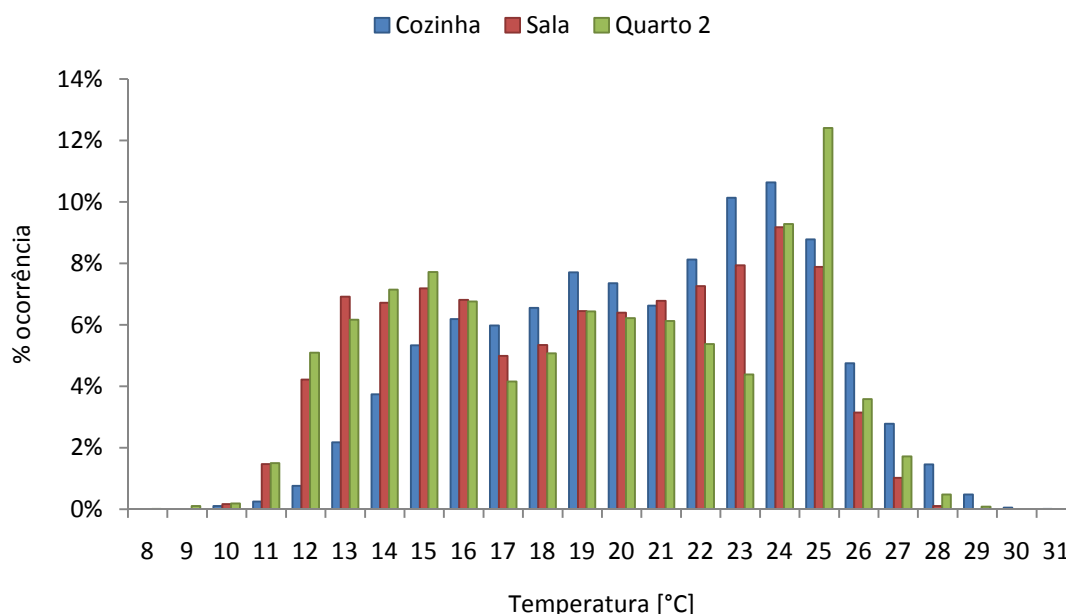


Figura 24: Histograma de temperaturas

Para determinar o número de horas anuais que cumprem os requisitos de conforto térmico, recorreu-se ao modelo de conforto adaptativo, descrito na norma ASHRAE 55-2004, apresentado no Anexo C. Assim, primeiro recorreu-se ao ficheiro climático do INETI para determinar a temperatura média mensal do ar exterior, conforme apresentado na tabela seguinte. De seguida, determinou-se a gama de temperaturas compatíveis com os requisitos de conforto térmico, com 80 % de aceitabilidade, a partir da figura 88. De acordo com o que está apresentado na norma, não é possível extrapolar os valores dos limites de conforto para temperaturas médias mensais exteriores inferiores a 10 °C, assim para estes casos adoptou-se o valor do limite inferior de conforto para uma temperatura exterior de 10 °C.

Tabela 14: Limites para a temperatura de conforto na habitação segundo o modelo de conforto adaptativo

Mês	$T_{\text{méd, ext}}$ [° C]	T_{min} [° C]	$T_{\text{máx}}$ [° C]
Janeiro	7,0	17,4	24,3
Fevereiro	7,8	17,4	24,3
Março	9,7	17,4	24,3
Abril	11,7	18,0	24,9
Maio	14,7	18,9	25,8
Junho	18,0	19,9	26,8
Julho	20,5	20,7	27,6
Agosto	20,3	20,6	27,5
Setembro	18,4	20,0	27,0
Outubro	14,6	18,8	25,7
Novembro	9,7	17,4	24,3
Dezembro	7,2	17,4	24,3

Na tabela 15 apresenta-se a percentagem de horas que cumprem os requisitos de conforto térmico, durante a estação de aquecimento e arrefecimento.

Para determinar o número de horas de conforto é necessário efectuar a divisão dos meses pertencentes à estação de aquecimento e arrefecimento. De acordo com o regulamento RCCTE a estação convencional de arrefecimento é o conjunto dos quatro meses de Verão (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e a duração da estação de aquecimento consta no Quadro III.1 do RCCTE, onde obteve-se o valor de 7 meses para o concelho do Marco de Canaveses. Para a estação de aquecimento escolheu-se os meses com as necessidades energéticas de aquecimento mais elevadas, que constam na figura 18.

Assim para os meses da estação de aquecimento determinou-se número de horas em que a temperatura interior da zona é superior à temperatura mínima, presente na tabela 14. Em relação aos meses pertencentes à estação de arrefecimento, determinou-se o número de horas em que a temperatura interior da zona é inferior à temperatura máxima presente na tabela 14.

Analizando a tabela seguinte verifica-se que este edifício apresenta uma elevada percentagem de horas que cumprem os requisitos de conforto térmico durante o Verão. No entanto este número decresce de uma forma acentuada quando se trata da estação de aquecimento.

Tabela 15: Percentagem de horas que cumprem os requisitos da norma ASHRAE 55-2004

Cozinha		Sala		Quarto	
$T > T_{\min}$	$T < T_{\max}$	$T > T_{\min}$	$T < T_{\max}$	$T > T_{\min}$	$T < T_{\max}$
51,9 %	96,6 %	25,4 %	100,0 %	26,3 %	99,5 %

A evolução do número de horas mensais dentro do conforto ao longo do ano está representada na figura seguinte. É possível verificar que durante os meses da estação de arrefecimento existe um elevado número de horas mensais dentro da gama de temperaturas com conforto, como verificado anteriormente, o que naturalmente implica necessidades de arrefecimento baixas. Durante os meses da estação de aquecimento verifica-se o oposto, o que proporciona necessidades de aquecimento relativamente elevadas.

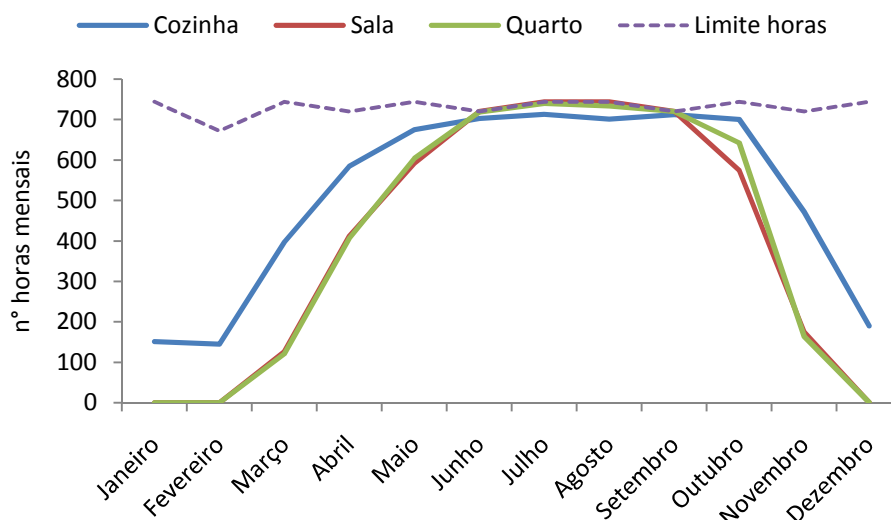


Figura 25: Evolução do número de horas mensais dentro do conforto térmico

2.2 Edifício de apartamentos

2.2.1 Breve apresentação e caracterização

O presente caso de estudo constitui um dos exemplos do manual de aplicação do RCCTE, e dele será feita uma breve descrição das principais características do edifício, que são imprescindíveis para simulação em ESP-r. Uma descrição detalhada encontra-se definida no manual de apoio à aplicação do RCCTE (Gonçalves, Maldonado, 2007).

O edifício, designado por bloco F3 do lote F, localizado em Lisboa (zona climática I1-V2), é constituído por 6 pisos (0 a 5) que se destinam exclusivamente a habitação e onde existem 4 fracções autónomas por piso: duas de tipologia T1 e duas de tipologia T2, com as fachadas principais orientadas a Nordeste e a Sudoeste tal como se encontra descrito na tabela 16. A fachada orientada a noroeste irá ser considerada como exterior, e a fachada a Sudeste irá estar em contacto com outro edifício adjacente – Bloco F4, sobre o qual não se tem qualquer conhecimento relativamente à distribuição dos espaços interiores, pelo que se considera como envolvente interior.



Figura 26: Planta de implantação do Bloco F3 do Lote F

Na tabela seguinte diferenciam-se as fracções autónomas do edifício.

Tabela 16: Fracções autónomas do edifício

Piso	Designação	Orientação da fachada principal
0	T1-A	NE
	T1a-B	SO
	T2c-C	NE
	T2-D	SO
1 a 4	T1-A	NE
	T1-B	SO
	T2-C	NE
	T2-D	SO
5	T1-A	NE
	T1-B	SO
	T2-C	NE
	T2-D	SO

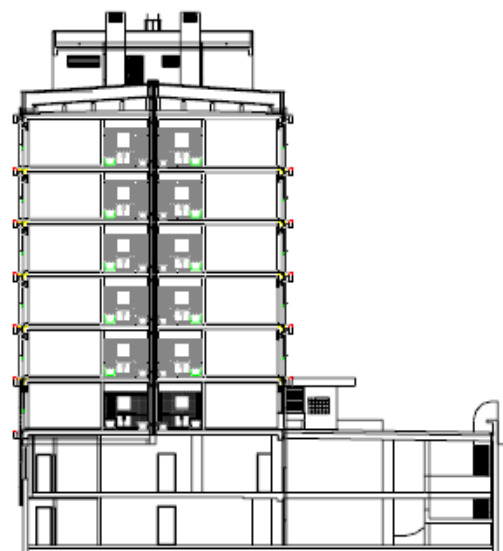


Figura 27: Corte transversal

Nas figuras seguintes, estão representados os alçados, nascente e poente e a planta das fracções autónomas situadas no piso 0, tal como representadas no documento original.

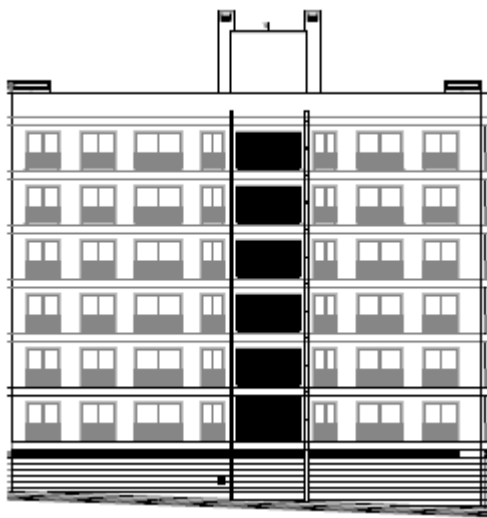


Figura 28: Fachada a Nordeste



Figura 29: Fachada a Sudoeste

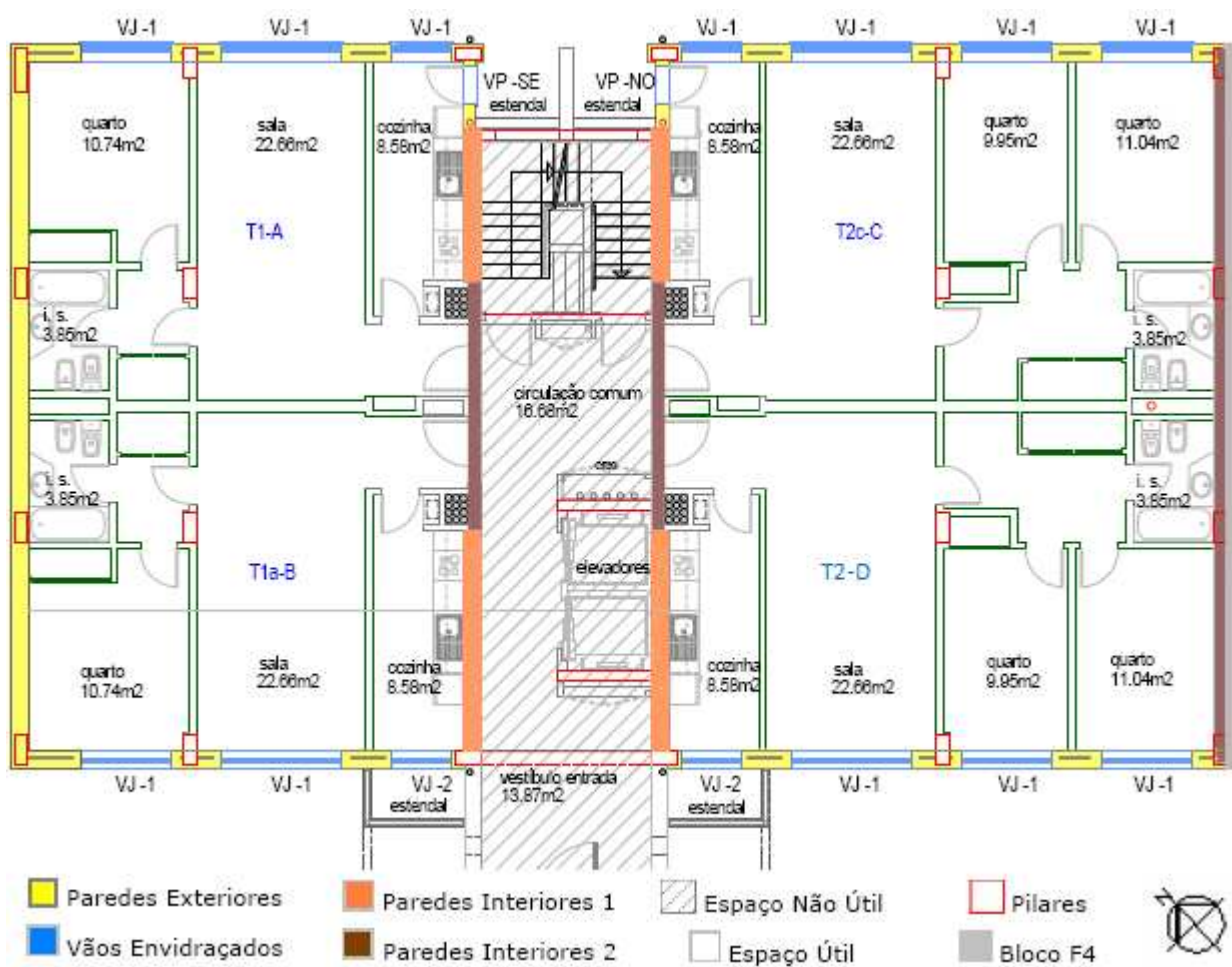


Figura 30: Planta do piso 0

2.2.2 Aplicação do RCCTE

2.2.2.1 Caracterização térmica das soluções construtivas

Envolvente opaca

Nas tabelas seguintes descrevem-se e caracterizam-se as soluções construtivas dos elementos opacos da envolvente em termos dos coeficientes de transmissão térmica superficiais (U). Como se pode verificar todos os elementos respeitam os requisitos mínimos exigidos pelo RCCTE.

Elementos da envolvente opaca exterior

Tabela 17: Envolvente exterior

Descrição	U (W/m ² . °C)	$U_{máx}$ (W/m ² . °C)
Paredes exteriores		
Paredes duplas com panos em alvenaria de tijolo furado normal, 0,11 + 0,05 + 0,15 m, com caixa-de-ar não ventilada preenchida parcialmente com 30 mm de poliestireno expandido moldado, rebocadas pelo exterior e interior.	0,57	1,80
Cobertura		
Constituída por laje de betão com 0,22 m de espessura, isolada com 50 mm de manta de lã de rocha, reboca pelo interior.	0,64	1,25

Elementos da envolvente opaca interior

Tabela 18: Envolvente interior

Descrição	U (W/m ² . °C)	$U_{máx}$ (W/m ² . °C)
<i>Entre os fogos e zonas de circulação (espaço não útil):</i>		
Parede interior 1 constituída por um pano de betão com 0,20 m e um pano de tijolo com 0,11 m rebocada pelo exterior e interior.	1,50	2,00
Parede interior 2 constituída por um pano de tijolo com 0,22 m, rebocada em ambos os lados.	1,20	
<i>Paredes de separação com as fracções autónomas adjacentes do edifício Bloco F4</i>		
Parede interior 2 constituída por um pano de tijolo, com 0,22 m, rebocada em ambos os lados.	1,20	2,00
<i>Entre o piso 0, zona útil de habitação/fracções autónomas e piso - 1m zona não útil das garagens e arrecadações</i>		
Pavimento com aplicação de 0,01 m de parquet de madeira, 0,04 m de betonilha, folha de separação, 0,04 m de aglomerado negro de cortiça e laje maciça de betão com 0,26 m de espessura.	0,70	1,25

Vãos envidraçados

Na tabela seguinte encontram-se descritos os valores dos coeficientes de transmissão térmica U dos vãos envidraçados, de acordo com o ITE 50 do LNEC.

Tabela 19: Vãos envidraçados

Descrição	U [W/m ² . °C]
VJ-1 (Salas, quartos e cozinha – orientações NE e SW); VJ-2 (cozinha – janela com grelha de protecção do estendal – orientação SW); Janela de correr com caixilharia de alumínio termolacado, vidro duplo incolor de 6 mm e 4 mm, lâmina de ar com 6 mm de espessura, estores exteriores (dispositivos de oclusão nocturna com permeabilidade ao ar baixa) e cortinas interiores muito transparentes de cor clara.	3,10
VP-NW e VP-SE (cozinha – porta de vidro de acesso à zona exterior de tratamento de roupa – Orientações NW e SE, respectivamente) Janela de correr com caixilharia de alumínio termolacado, com vidro duplo incolor de 6 mm e 4 mm, lâmina de ar com 6 mm de espessura e cortinas interiores muito transparentes de cor clara (VP-NW) ou cortinas interiores transparentes de cor clara (VP-SE).	4,50

2.2.2.2 Ventilação

O projecto de ventilação não previu a existência de dispositivos de admissão de ar auto-reguláveis em paredes de fachada nem a aplicação de vedantes nas portas exteriores ou para as zonas não úteis.

Ainda de acordo com os elementos disponibilizados, a entrada e saída de ar nas instalações sanitárias é feita de forma natural, através de aberturas servidas por condutas de comunicação com o exterior. O exaustor na cozinha será o único dispositivo de extracção mecânica de que os apartamentos dispõem, pelo que se pode concluir que as fracções autónomas só têm ventilação natural e que não satisfazem a norma NP-1037-1.

A tabela 20 apresenta a taxa de renovação horária nominal das quatro fracções autónomas do piso 0.

Tabela 20: Taxa de renovação horária nominal

Fracção autónoma	Taxa Renovação [h ⁻¹]
T1-A	0,94
T1a-B	0,85
T2c-C	0,94
T2-D	0,85

2.2.2.3 Valores nominais para o edifício

Tabela 21: Valores nominais para o piso 0 do edifício

FA	Área m ²	N _{IC} [kWh/m ² .ano]	N _I [kWh/m ² .ano]	N _{VC} [kWh/m ² .ano]	N _V [kWh/m ² .ano]	N _{ac} [kWh/m ² .ano]	N _a [kWh/m ² .ano]	N _{tc} [kgep/m ² .ano]	N _t [kgep/m ² .ano]
T1-A	53,48	58,56	60,31	14,47	32,00	12,58	44,23	3,20	6,80
T1a-B	53,48	43,05	59,43	14,08	32,00	12,58	44,23	2,74	6,79
T2c-C	68,12	54,15	56,79	14,45	32,00	14,81	52,08	3,26	7,83
T2-D	68,12	38,02	56,35	14,30	32,00	14,81	52,08	2,79	7,83

2.2.3 Modelo de simulação detalhado do edifício em ESP-r

O modelo de simulação é composto pelas quatro fracções autónomas do piso 0 do edifício descrito anteriormente. Cada fracção autónoma de tipologia T1 é constituída pelas seguintes zonas: quarto, sala, cozinha, instalação sanitária e hall. Cada fracção autónoma de tipologia T2 é constituída pelas seguintes zonas: 2 quartos, sala, cozinha, instalação sanitária e hall.

2.2.3.1 Condições de fronteira

Superfícies em contacto com o exterior: condições exteriores horárias, a partir do ficheiro do clima.

Superfícies em contacto com outras fracções autónomas: assumiram-se condições dinâmicas similares para as outras fracções autónomas.

Superfícies em contacto com espaços não úteis: criaram-se duas zonas no modelo de simulação, para considerar os espaços não úteis, nomeadamente as garagens e arrecadações.

Superfícies em contacto com o solo: utilizou-se o perfil mensal de temperaturas do solo, para uma profundidade de 4 m, da base de dados do EnergyPlus (EnergyPlus, 2007).

A figura 31 apresenta o modelo de simulação do piso 0 da habitação familiar, ainda sem os espaços não úteis que serão introduzidas na fase seguinte.

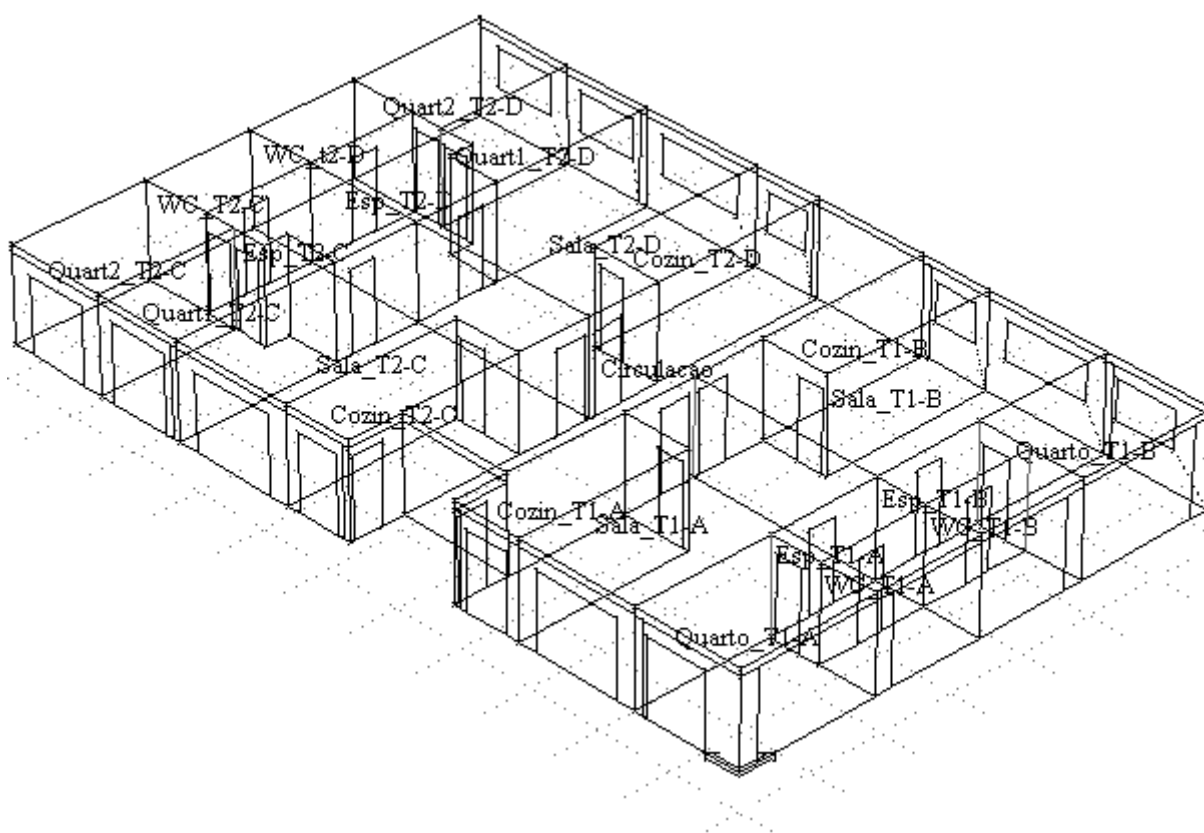


Figura 31: Modelo de simulação do piso 1 da habitação multifamiliar

2.2.3.2 Espaços não úteis

Com vista a simular os espaços não úteis da habitação, nomeadamente o estacionamento e as arrecadações, introduziram-se no modelo de simulação duas zonas térmicas adicionais, os pisos -1 e -2. A introdução destas zonas é fundamental para uma maior aproximação do modelo de simulação ao caso real, possibilitando definir as condições de fronteira do espaço útil em contacto com o espaço não útil. De seguida será efectuada uma breve descrição das condições de fronteira consideradas.

A laje de tecto do piso -1 tem duas condições de fronteira, uma parte da laje está em contacto com o piso 0, e a restante área da laje está em contacto com o ambiente exterior. Quanto às paredes exteriores, as paredes orientadas a Nordeste e Noroeste estão em contacto com o ambiente exterior, e as paredes orientadas a Sudoeste e Sudeste estão em contacto com o solo. Para o piso -2, a laje de tecto está em contacto com o piso -1, as paredes estão em contacto com o solo e o pavimento térreo está em contacto com o solo.

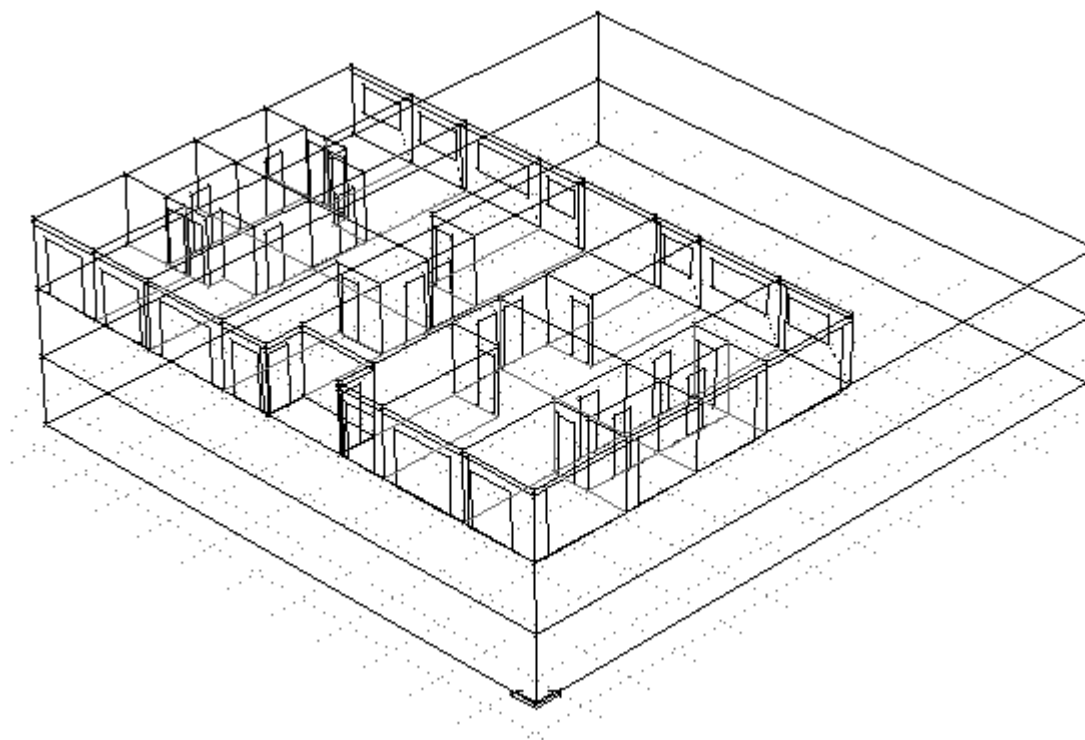


Figura 32: Modelo de simulação com os espaços não úteis

2.2.3.3 Obstruções exteriores

De forma a simular a redução da radiação solar incidente nos vãos envidraçados, devida ao sombreamento permanente causado por diferentes obstruções exteriores ao edifício, definiram-se no modelo de simulação três obstruções, que representam o edifício A, B e os lotes F1 e F2, presentes na figura 26.

No software ESP-r é necessário definir todas as obstruções que provocam sombreamento ao nível de cada zona. A figura 33 apresenta o modelo de simulação com a introdução das obstruções exteriores.

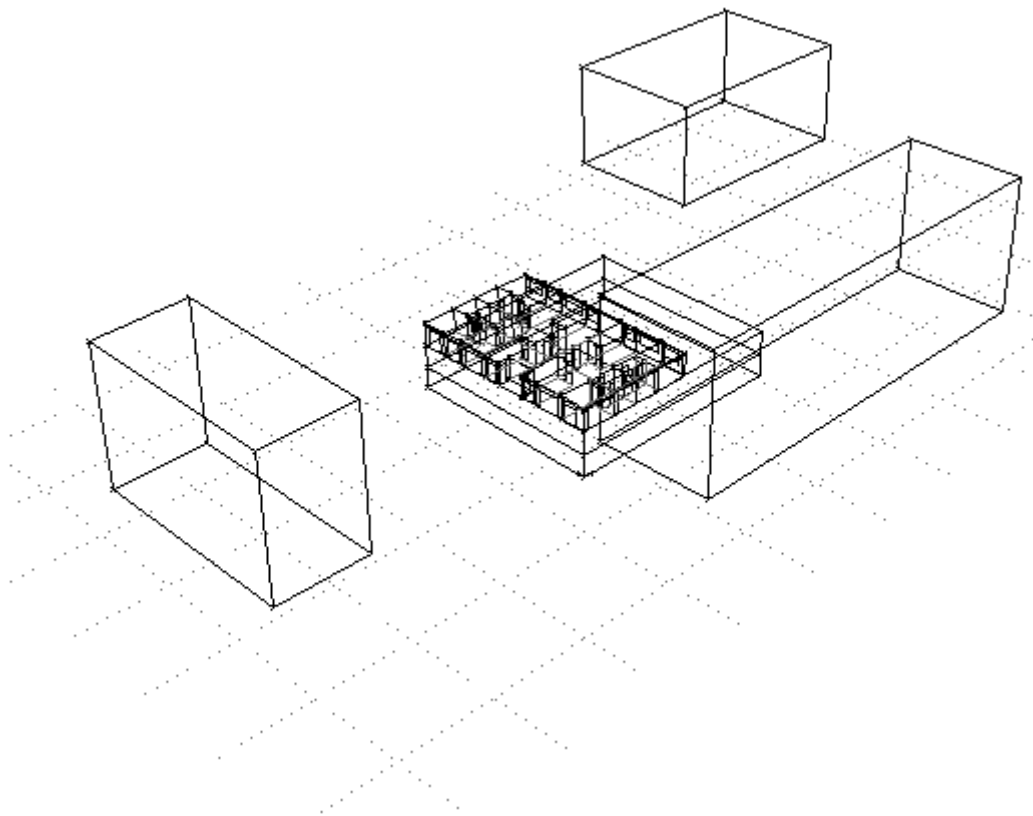


Figura 33: Modelo de simulação com obstruções exteriores ao edifício

2.2.3.4 Ganhos internos

Os valores detalhados dos perfis de ocupação, iluminação e equipamentos, encontram-se definidos no Anexo D. O valor médio destes ganhos é $6,6 \text{ W/m}^2$ para a fracção autónoma do tipo T1 e $7,2 \text{ W/m}^2$ para a fracção autónoma do tipo T2, valores que diferem consideravelmente dos 4 W/m^2 assumidos no RCCTE.

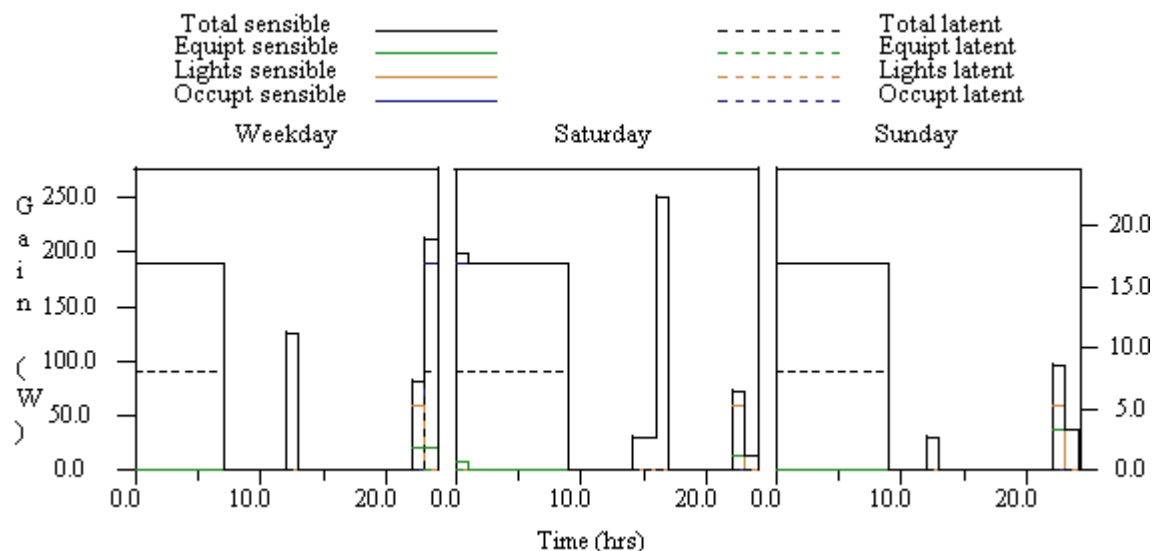


Figura 34: Perfis do quarto

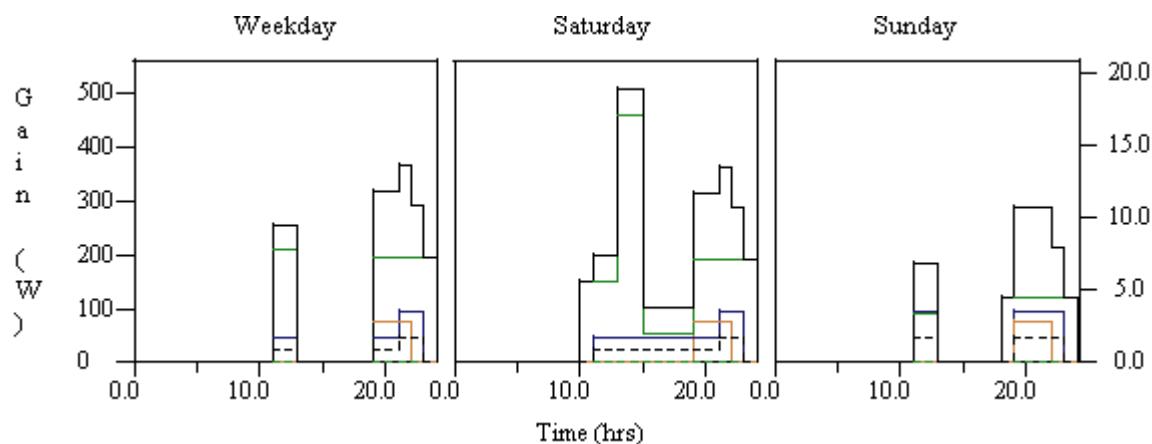


Figura 35: Perfis da sala

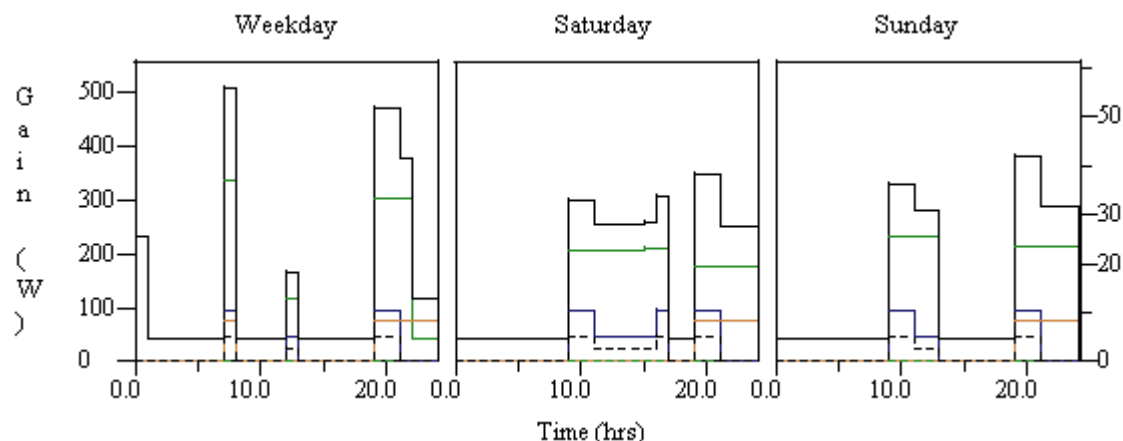


Figura 36: Perfis da cozinha

2.2.3.5 Propriedades dos vidros

As propriedades ópticas dos envidraçados a utilizar no modelo de simulação, foram determinadas a partir do software WIS (Dijk, 2006), tendo em conta a sua constituição física e o factor solar do vidro determinado para efeitos da aplicação do RCCTE, para cada fracção autónoma.

Para os vãos envidraçados com estores exteriores (VJ-1), definiram-se as propriedades ópticas do vidro, tendo em consideração os seguintes factores solares:

- Sem estore exterior: $g_{\perp} = 0,63$
- Com estore exterior: $g_{\perp} = 0,07$

As propriedades ópticas do vidro duplo normal, sem e com protecção exterior, apresentam-se na figura 16 e figura 17, respectivamente.

Para os vãos envidraçados com estores exteriores (VP), definiram-se as propriedades ópticas do vidro, considerando os seguintes factores solares:

- Sem estore interior: $g_{\perp} = 0,63$
- Com estore interior: $g_{\perp} = 0,39$

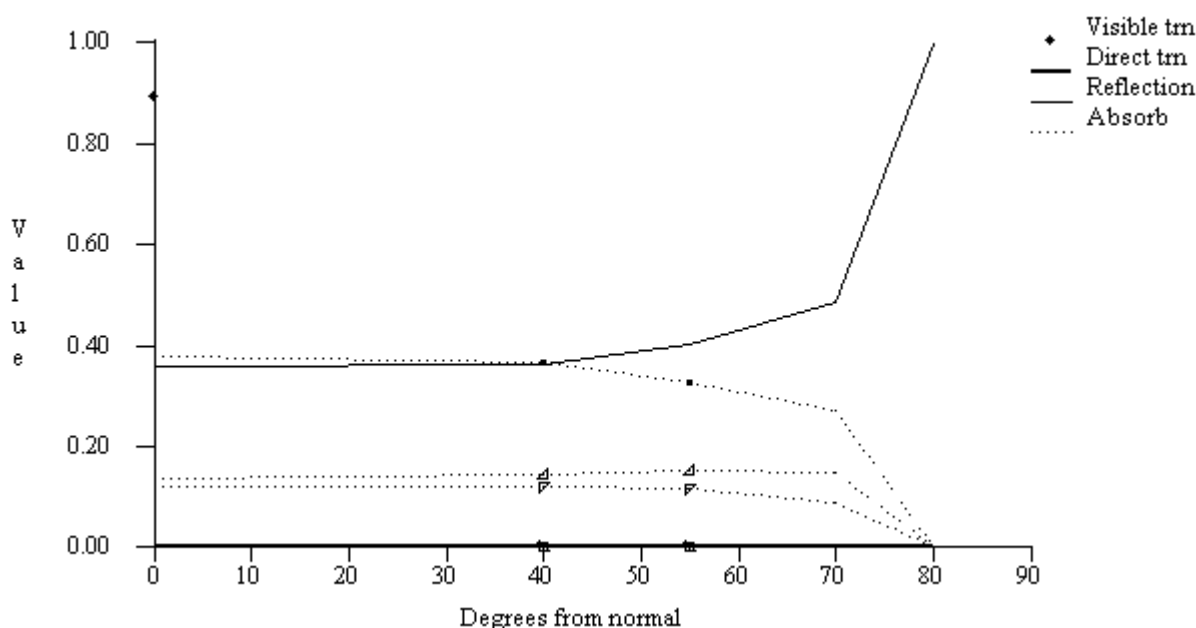


Figura 37: Propriedades ópticas do vidro duplo normal com estore interior

2.2.3.6 Leis de controlo de sombreamento

Para controlar a posição dos sombreamentos das janelas VJ-1, foram definidos os seguintes critérios:

- Das 0 às 8h: utilização das propriedades ópticas para o vidro duplo com protecção exterior;
- Das 8 às 21h: variação das propriedades ópticas do vidro duplo em função da temperatura do ar ambiente. Definiu-se um set point para a temperatura exterior de 20° C, assim para temperaturas superiores a 20° C o estore encontra-se fechado e para temperaturas inferiores o estore abre.
- Das 21 às 24h: utilização das propriedades ópticas para o vidro duplo com protecção exterior;

Para controlar a posição dos sombreamentos das janelas VP, foram definidos os seguintes critérios:

- Das 0 às 8h: utilização das propriedades ópticas para o vidro duplo com protecção interior;
- Das 8 às 21h: variação das propriedades ópticas do vidro duplo em função da temperatura do ar ambiente.
- Das 21 às 24h: utilização das propriedades ópticas para o vidro duplo com protecção interior;

2.2.3.7 Controlo de temperatura interior em regime condicionado

No modelo de simulação definiu-se um controlador para manter a temperatura do ar interior entre 20 e 25 °C. Desta forma, o controlador liga o sistema de aquecimento sempre que a temperatura interior é inferior a 20 °C ou liga o sistema de arrefecimento quando a temperatura é superior a 25 °C.

2.2.3.8 Pontes térmicas lineares

Para compensar as pontes térmicas lineares será utilizada a equação 1, onde estas serão consideradas de forma individual para cada fracção autónoma.

Para a fracção autónoma T1-A, será utilizada a fachada exterior, orientada a noroeste. A fachada apresenta uma área total de 17,1 m², com um coeficiente de transmissão térmica de 0,57 W/m². °C. O somatório das pontes térmicas lineares da fracção autónoma é de 14,02 W/°C. Aplicando a eq.1 resulta um $U_{equiv} = 1,39 \text{ W/m}^2. \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para a fracção autónoma T1a-B, será utilizada a fachada exterior, orientada a noroeste. A fachada apresenta uma área total de 17,1 m², com um coeficiente de transmissão térmica de 0,57 W/m². °C. O somatório das pontes térmicas lineares da fracção autónoma é de 11,53 W/°C. Aplicando a eq.1 resulta um $U_{equiv} = 1,24 \text{ W/m}^2. \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para a fracção autónoma T1c-C, será utilizada a fachada exterior, orientada a nordeste. A fachada apresenta uma área total de 11,4 m², com um coeficiente de transmissão térmica de 0,57 W/m². °C. O somatório das pontes térmicas lineares da fracção autónoma é de 12,42 W/°C. Aplicando a eq.1 resulta um $U_{equiv} = 1,66 \text{ W/m}^2. \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para a fracção autónoma T1-A, será utilizada a fachada exterior, orientada a sudoeste. A fachada apresenta uma área total de 19,8 m², com um coeficiente de transmissão térmica de 0,57 W/m². °C. O somatório das pontes térmicas lineares da fracção autónoma é de 15,22 W/°C. Aplicando a eq.1 resulta um $U_{equiv} = 1,34 \text{ W/m}^2. \text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.2.3.9 Clima

Para definir o clima de Lisboa, recorreu-se à base de dados do INETI, onde se efectuou uma adaptação do formato do ficheiro climático do INETI, para um formato em ESP-r. Os dados da direcção e velocidade do vento foram obtidos a partir da base de dados do EnergyPlus, uma vez que não se encontram definidos no ficheiro climático do INETI.

2.2.3.10 Simulação do edifício em regime condicionado

A simulação foi efectuada considerando a renovação de ar constante, onde foi adoptado no modelo de simulação o valor da taxa de renovação horária nominal, determinada na aplicação do RCCTE para cada fracção autónoma, que consta na tabela 20.

Os resultados obtidos no programa de simulação ESP-r, para a energia útil que é necessário fornecer a cada fracção autónoma, de forma a manter no seu interior a temperatura de referência de 20 °C, N_{IC} , e para a energia útil que é necessário retirar a cada fracção autónoma, para manter no seu interior a temperatura de referência de 25 °C, estão presentes na tabela 22.

Tabela 22: Necessidades de aquecimento e arrefecimento para as fracções autónomas

FA	Orientação	N_{IC}	N_{VC}
		[kWh/m ² .ano]	[kWh/m ² .ano]
T1-A	Noroeste	41,23	9,61
T1a-B	Sudoeste	27,36	7,27
T2c-C	Noroeste	37,66	7,74
T2-D	Sudoeste	20,98	8,10

De seguida apresentam-se as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento mensais, para cada fracção autónoma.

Fracção autónoma T1-A

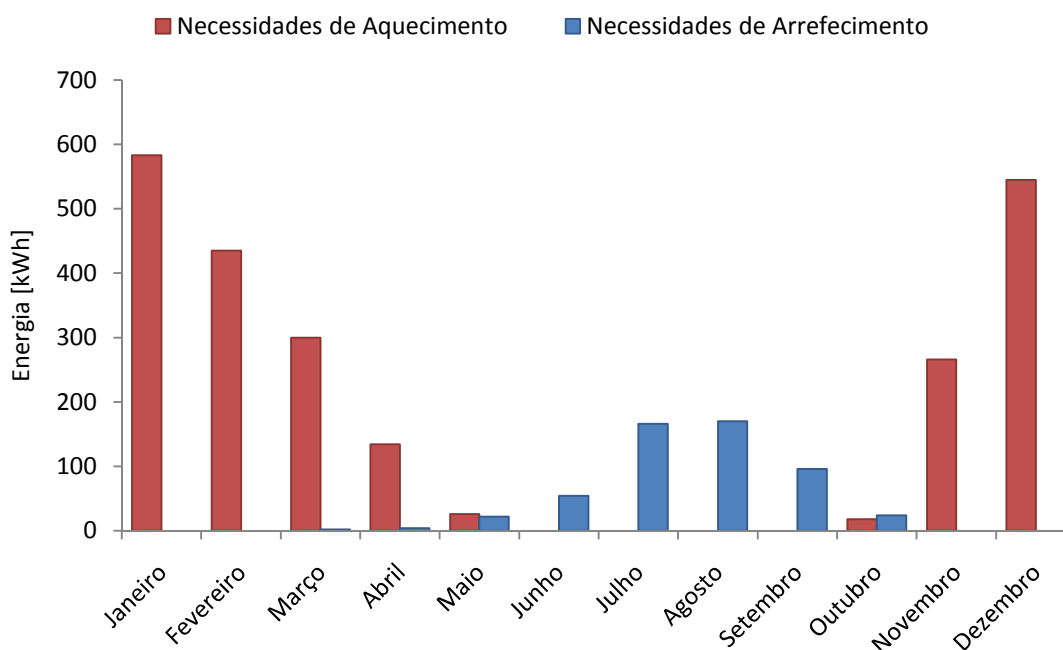


Figura 38: Necessidades de aquecimento e arrefecimento para a fracção autónoma T1-A segundo a metodologia do RCCTE

Fracção autónoma T1-B

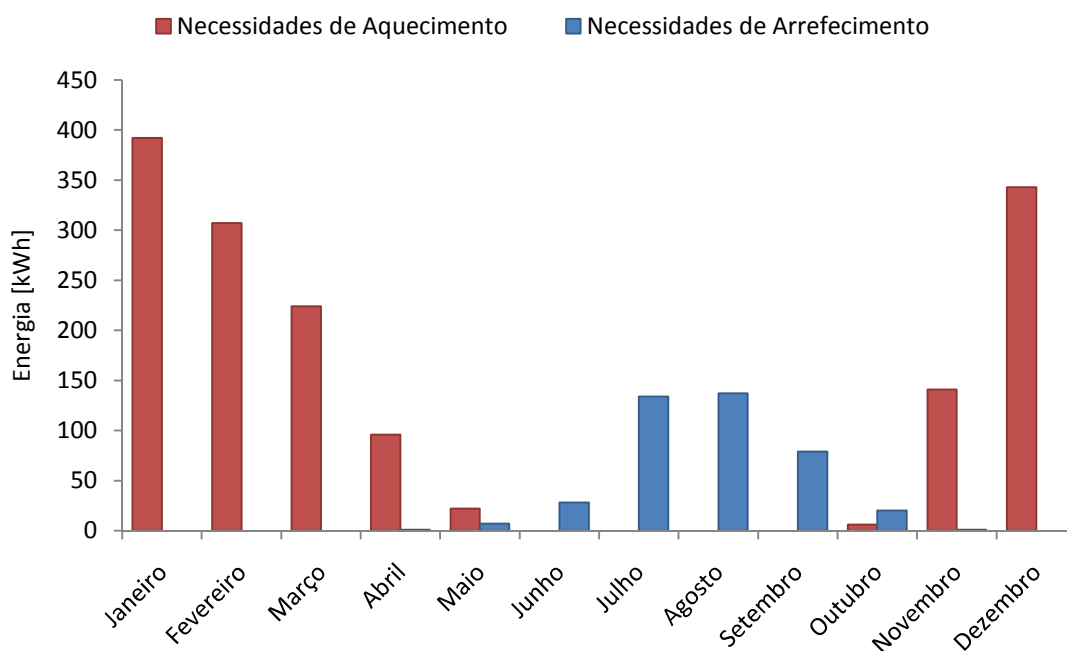


Figura 39: Necessidades de aquecimento e arrefecimento para a fracção autónoma T1-B segundo a metodologia do RCCTE

Fracção autónoma T2-C

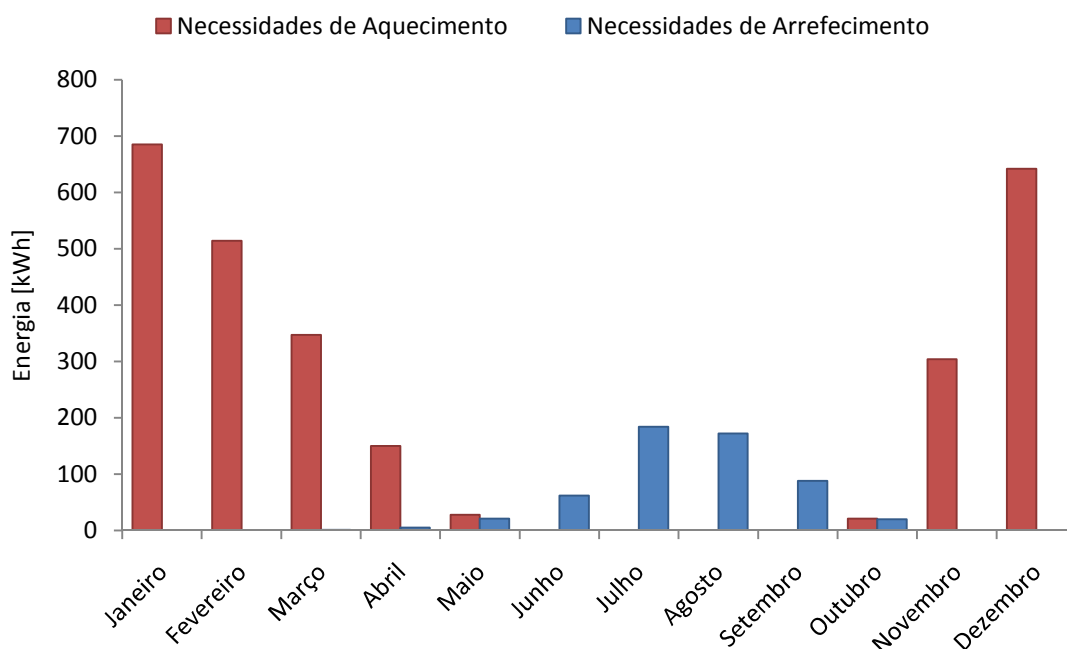


Figura 40: Necessidades de aquecimento e arrefecimento para a fracção autónoma T2-C segundo a metodologia do RCCTE

Fracção autónoma T2-D

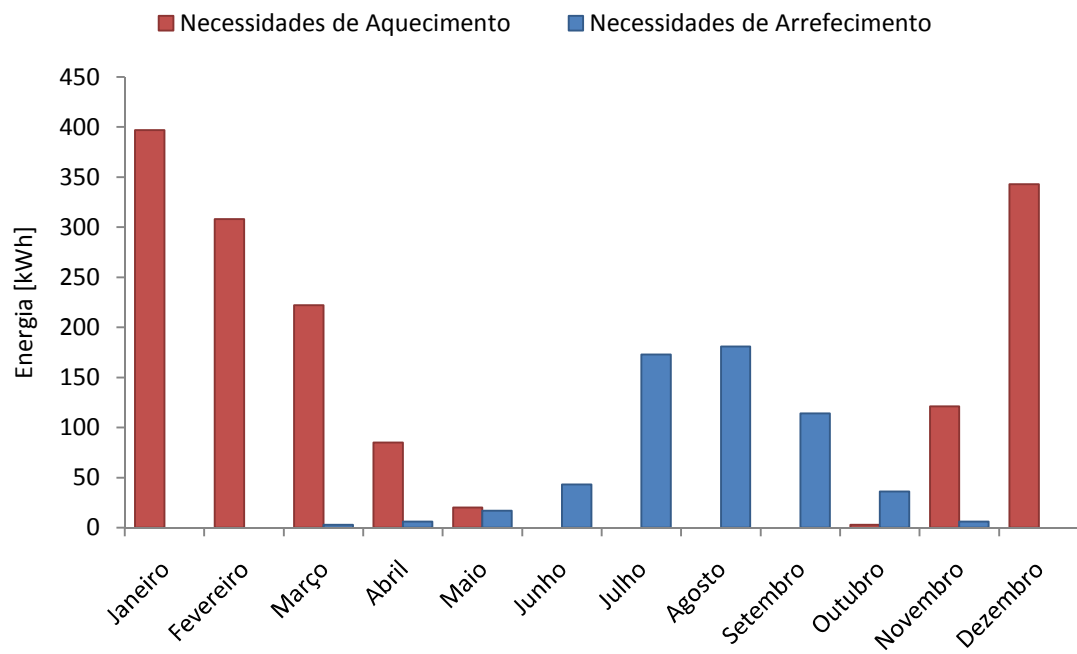


Figura 41: Necessidades de aquecimento e arrefecimento para a fracção autónoma T2-D segundo a metodologia do RCCTE

2.2.3.11 Simulação do edifício em free float com network flow

Para o estudo do edifício em regime de flutuação livre de temperaturas (sem sistemas de climatização), na presente secção serão efectuadas as alterações necessárias no modelo de simulação, ao nível da distribuição e circulação do ar no edifício, com o objectivo de obter uma maior aproximação do modelo à realidade. Para tal considerou-se uma rede de ar (network flow) que está incluída no software ESP-r.

A figura seguinte apresenta a rede de escoamento de ar que será introduzida no modelo de simulação.

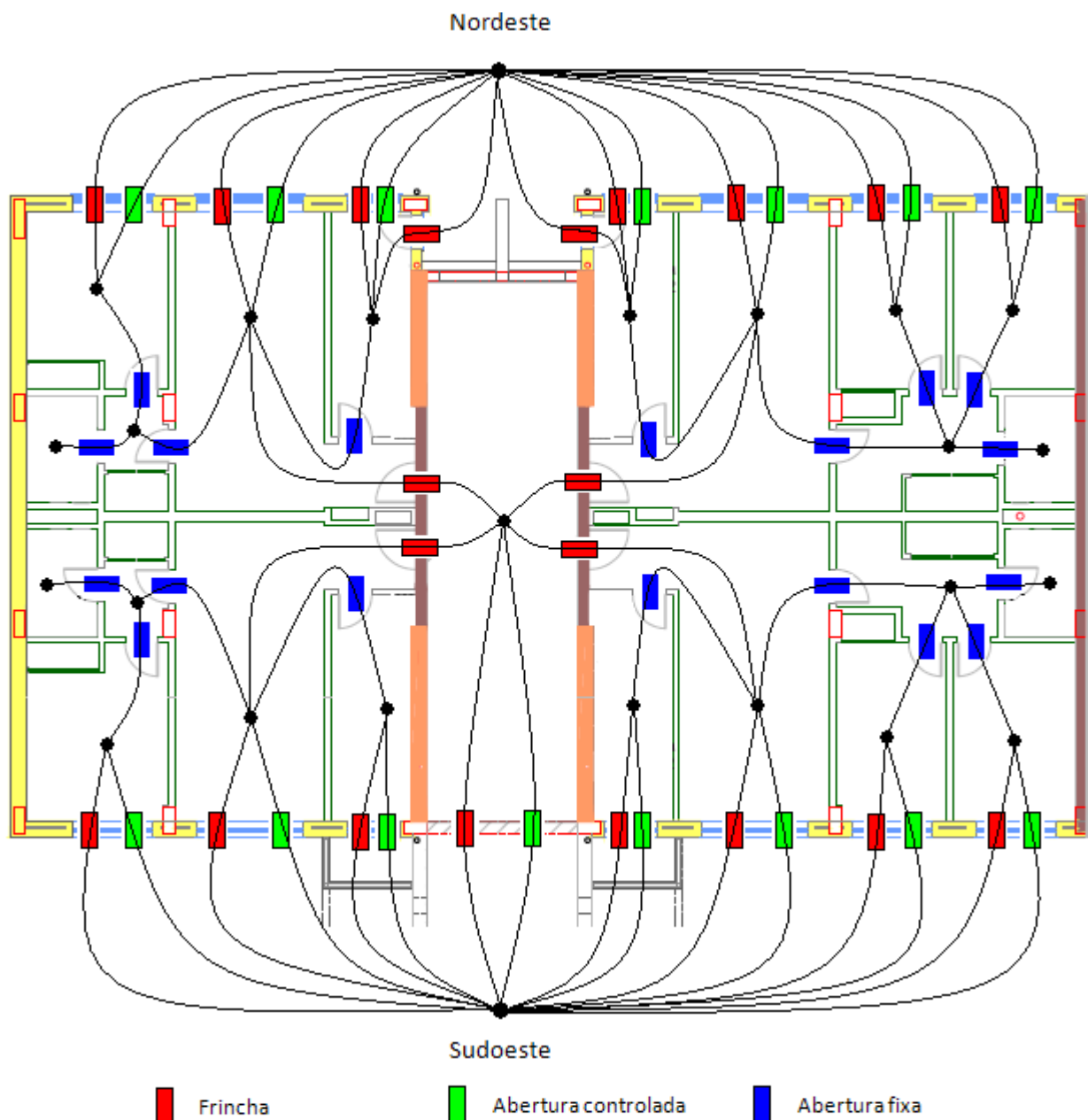


Figura 42: Esquema da rede de escoamento do ar

Nós, componentes e ligações

Foram definidos 27 nós no modelo, sendo que 23 representam o ar interior das zonas (um para cada zona útil), dois para as zonas não úteis (pisos -1 e -2), e os outros 2 foram definidos para caracterizar o ambiente exterior, que varia conforme a velocidade e direcção do vento, representados na figura anterior (Nordeste e Sudoeste).

Quanto aos componentes definiram-se 7 componentes, para efectuar as ligações dos nós. Definiram-se dois componentes para as janelas fechadas orientadas a nordeste e a sudoeste, devido às diferentes áreas, que implicam um perímetro distinto. Para as portas interiores, definiu-se um componente com uma área de abertura relativamente pequena de forma a simular que as portas se encontram entreabertas. Adicionou-se outro componente com uma determinada área de abertura, para considerar a abertura de janelas.

Leis de controlo de abertura de janelas

De forma a controlar a abertura de determinadas janelas e portas exteriores, com o objectivo de promover o arrefecimento gratuito, utilizou-se um controlador que actua em função da temperatura exterior e interior.

Os set-points definidos nos sensores para actuar o controlador, de forma a controlar a abertura de janelas ou portas exteriores, em regime de free float foram os seguintes:

- Temperatura da zona superior a 25 °C
- Temperatura do ar exterior inferior a 25 °C

Infiltrações

Os resultados obtidos da simulação de um modelo com network flow devem ser analisados com algum cuidado, uma vez que a consistência dos resultados depende fortemente da ocorrência em maior ou menor grau de infiltrações numa determinada zona.

Como estes modelos não têm qualquer tipo de controlo sobre as infiltrações, que estão dependentes de muitas variáveis como a direcção e velocidade do vento, a área das aberturas, a espessura das frinchas, entre outras, torna-se necessário efectuar uma análise. A análise das infiltrações recai sobre um estudo do valor da taxa de renovação horária das infiltrações, durante a estação de aquecimento. Quanto à estação de arrefecimento, sempre que a temperatura exterior é inferior a 25 °C e inferior à temperatura interior ocorre a abertura de janelas de forma a promover a ventilação natural.

Com este fim, efectuaram-se várias simulações, variando a espessura das frinchas e a área das aberturas, de forma a obter uma taxa de renovação horária mínima de 0,6 [h⁻¹], durante os meses da estação de aquecimento. É de salientar que o incremento da espessura das frinchas de forma a aumentar a taxa de renovação horária, pretende também contabilizar as aberturas instantâneas para o exterior (como a entrada e saída de pessoas, aberturas de janelas não controladas) que na realidade existem, mas que não estão directamente contabilizadas no modelo.

Fracção autónoma T1-A orientada a Nordeste

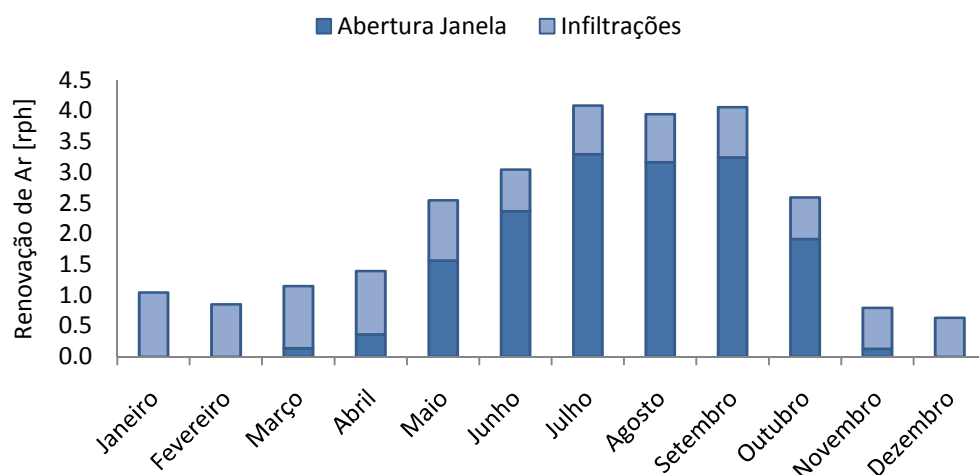


Figura 43: Renovação de ar na cozinha da fracção autónoma T1-A

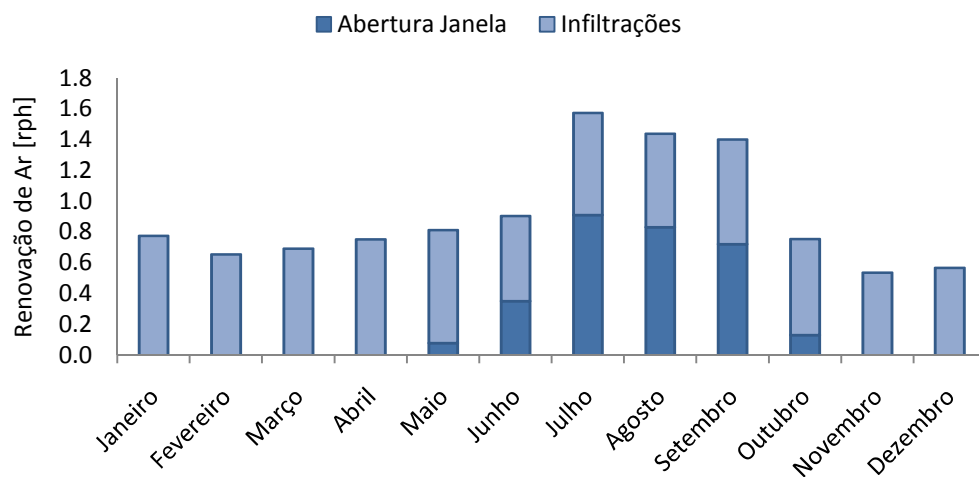


Figura 44: Renovação de ar na sala da fracção autónoma T1-A

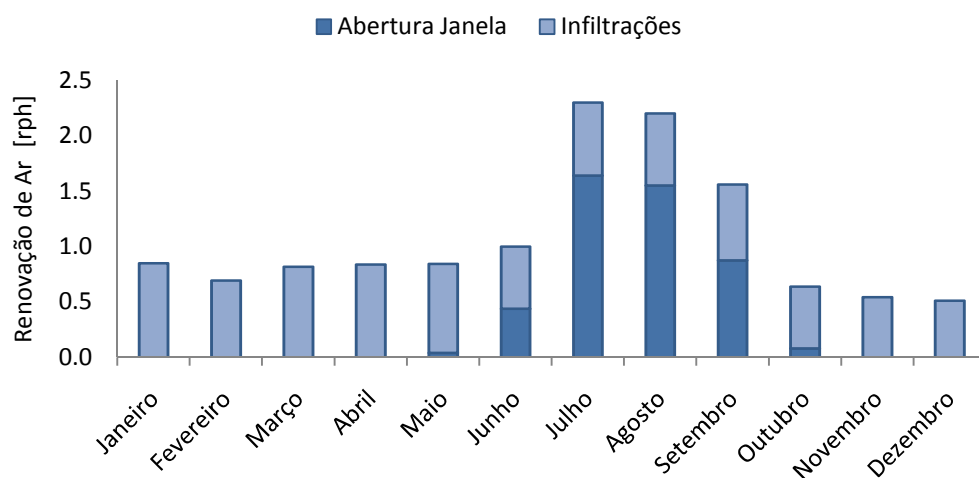


Figura 45: Renovação de ar no quarto da fracção autónoma T1-A

Fracção autónoma T2-D orientada a Sudoeste

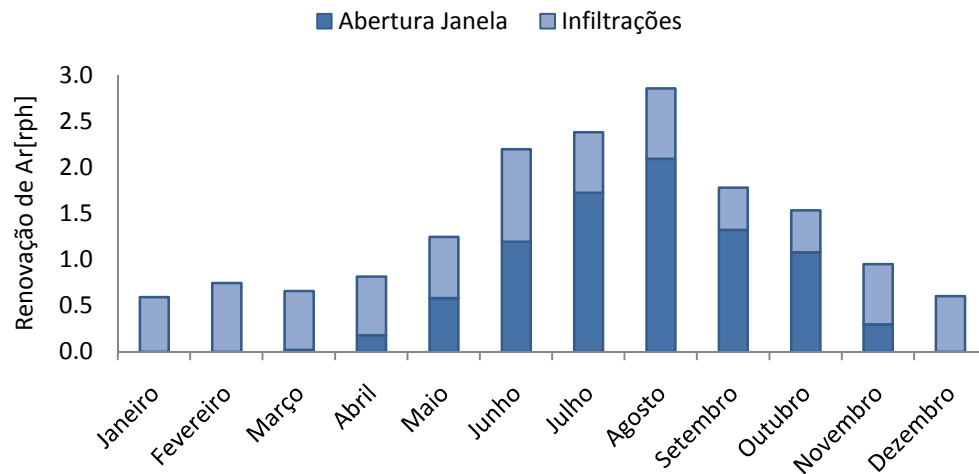


Figura 46: Renovação de ar na cozinha da fracção autónoma T2-D

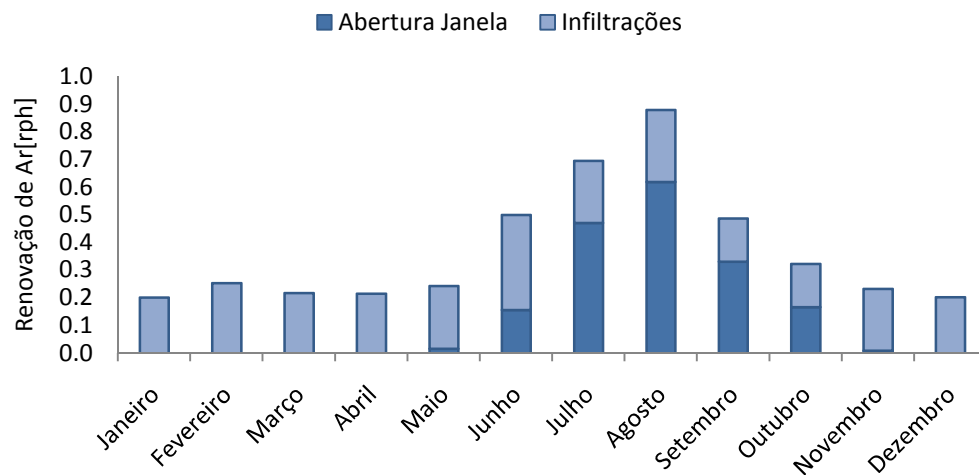


Figura 47: Renovação de ar na sala da fracção autónoma T2-D

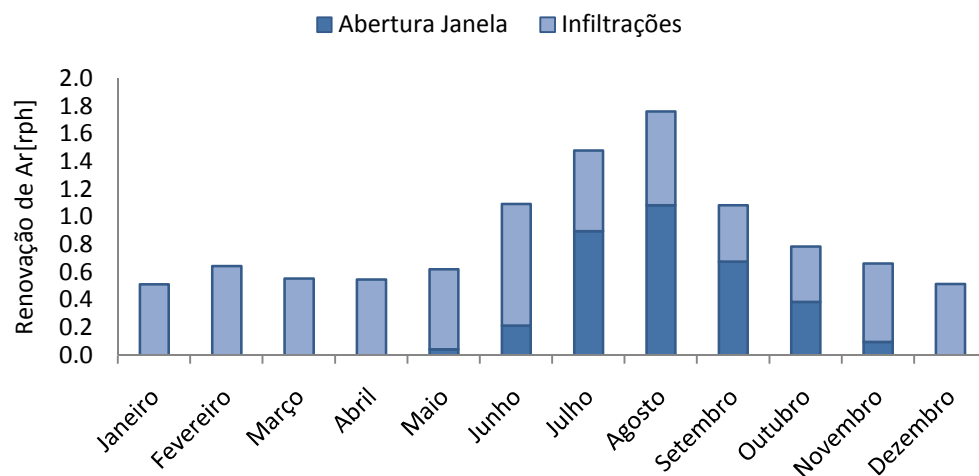


Figura 48: Renovação de ar no quarto da fracção autónoma T1-A

Temperaturas interiores

Fracção autónoma T1-A

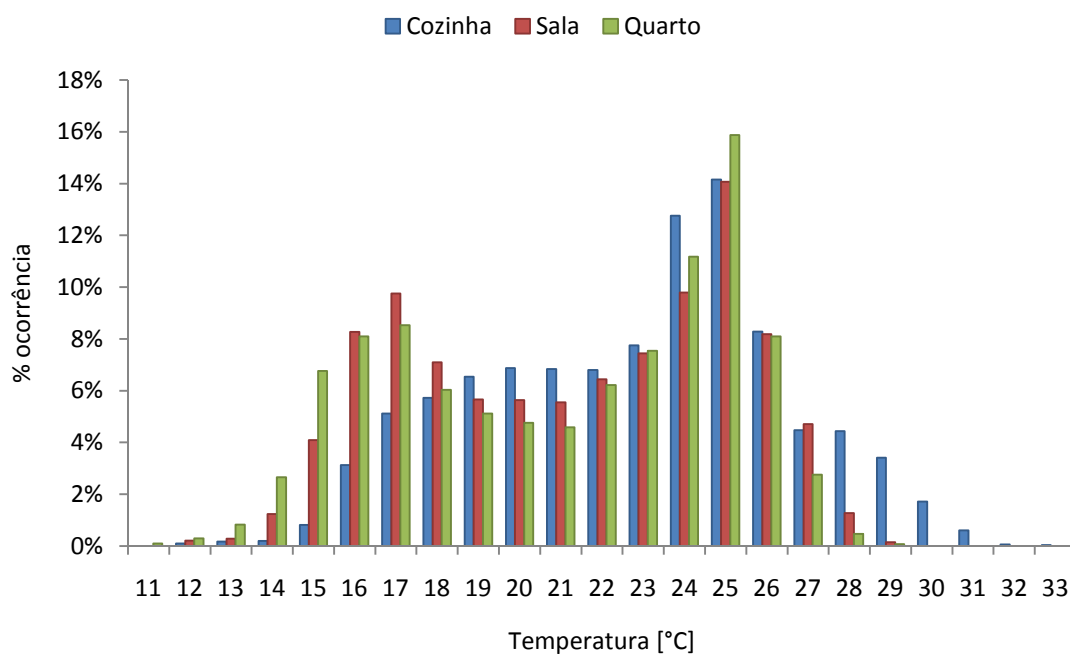


Figura 49: Histograma de temperaturas da fracção T1-A

Fracção autónoma T1-B

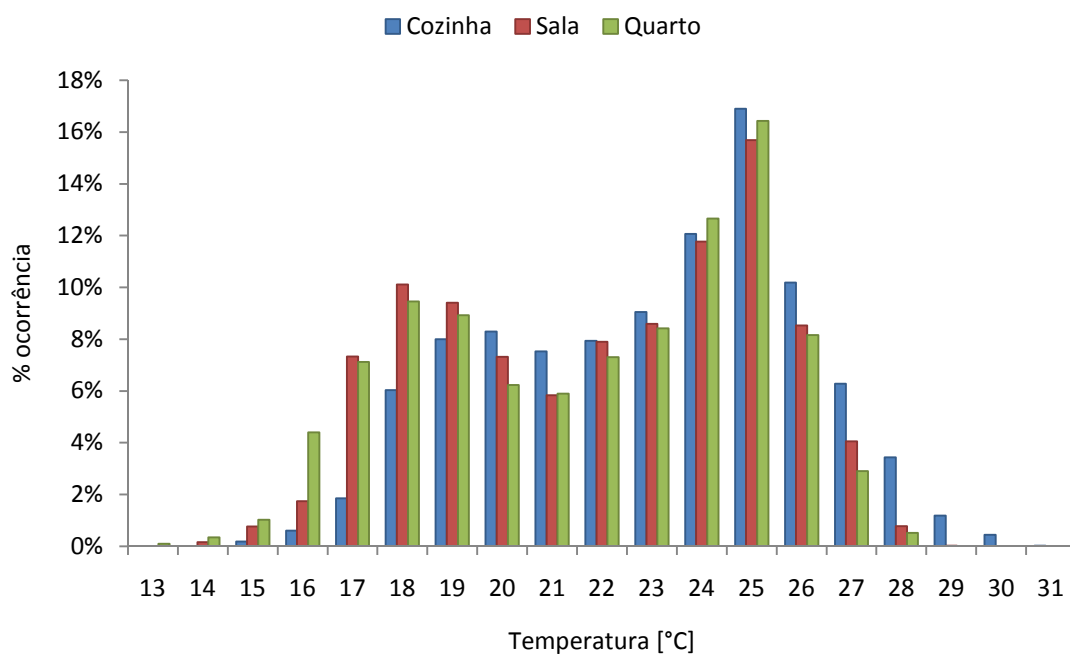


Figura 50: Histograma de temperaturas da fracção T1a-B

Fracção autónoma T2-C

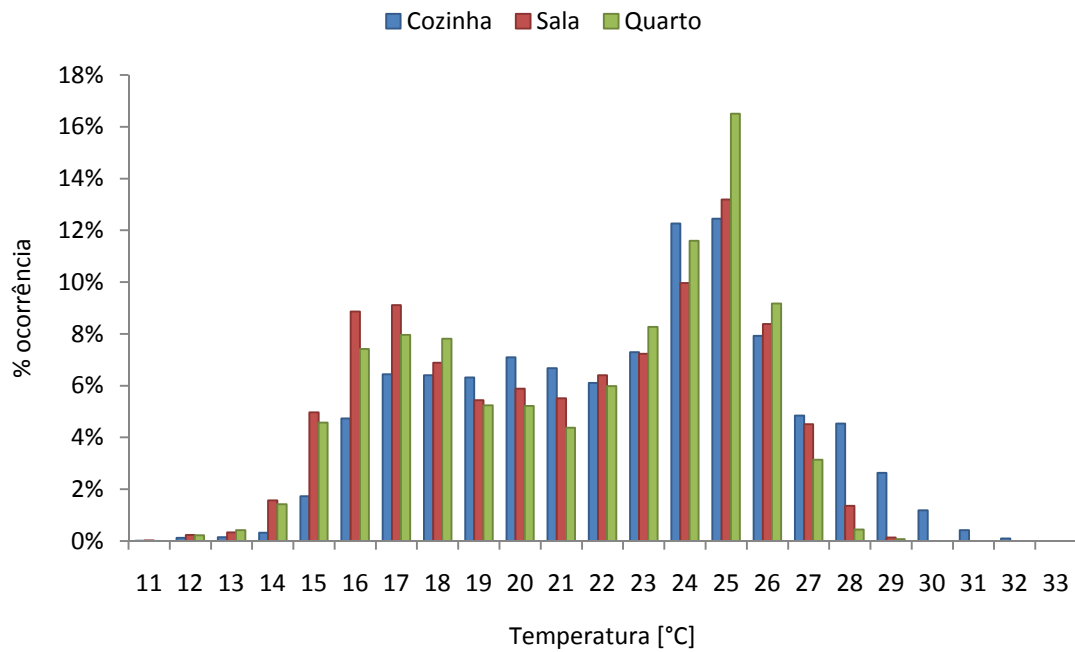


Figura 51: Histograma de temperaturas da fracção T2c-C

Fracção autónoma T2-D

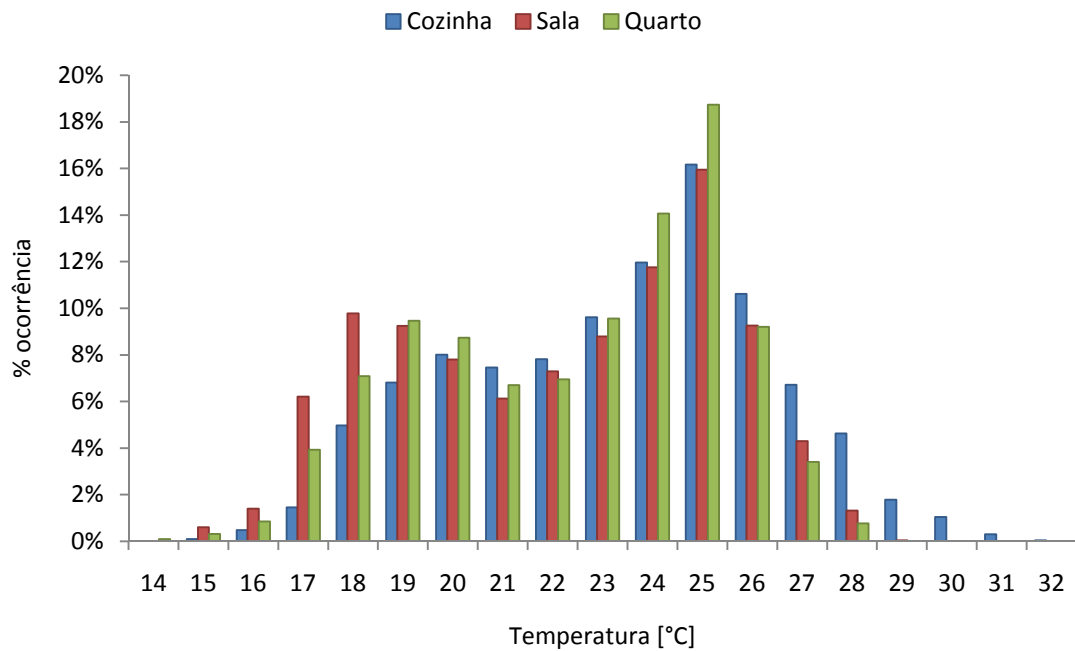


Figura 52: Histograma de temperaturas da fracção T2-D

A partir da figura 88, determinou-se a gama de temperaturas compatíveis com os requisitos de conforto térmico, com 80 % de aceitabilidade. Para tal recorreu-se ao ficheiro climático do INETI, para determinar a temperatura média mensal do ar exterior, conforme apresentado na tabela seguinte.

Tabela 23: Limites para a temperatura de conforto na habitação segundo o modelo do conforto adaptativo

Mês	$T_{\text{méd,ext}}$ [° C]	T_{min} [° C]	$T_{\text{máx}}$ [° C]
Janeiro	10,6	17,7	24,6
Fevereiro	11,5	17,9	24,9
Março	12,8	18,3	25,2
Abril	14,6	18,8	25,8
Maio	17,3	19,7	26,7
Junho	20,1	20,6	27,4
Julho	22,4	21,2	28,2
Agosto	22,6	21,3	28,3
Setembro	21,3	20,9	27,8
Outubro	17,8	19,8	26,8
Novembro	13,6	18,6	25,5
Dezembro	11,0	17,8	24,7

Na tabela 24 apresenta-se a percentagem de horas durante a estação de aquecimento e arrefecimento em relação às temperaturas de referência para conforto térmico.

Para determinar o número de horas de conforto é necessário efectuar a divisão dos meses pertencentes à estação de aquecimento e arrefecimento. Segundo o RCCTE a estação convencional de arrefecimento é o conjunto dos quatro meses de Verão (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e a duração da estação de aquecimento consta no Quadro III.1 do RCCTE, onde obteve-se o valor de 5,3 meses para o concelho de Lisboa. Para a estação de aquecimento escolheu-se os meses com as necessidades energéticas de aquecimento mais elevadas, como descrito na secção da simulação do edifício em regime condicionado.

Assim para os meses da estação de aquecimento determinou-se número de horas em que a temperatura interior da zona é superior à temperatura mínima presente na tabela 23. Em relação aos meses pertencentes à estação de arrefecimento, determinou-se o número de horas em que a temperatura interior da zona é inferior à temperatura máxima presente na tabela 23.

Tabela 24: Percentagem de horas que cumprem os requisitos da norma ASHRAE 55-2004

Fracção	Cozinha		Sala		Quarto	
	$T > T_{\text{min}}$	$T < T_{\text{máx}}$	$T > T_{\text{min}}$	$T < T_{\text{máx}}$	$T > T_{\text{min}}$	$T < T_{\text{máx}}$
T1-A	66,2 %	83,2 %	28,0 %	99,8 %	22,3 %	99,9 %
T1a-B	81,5 %	95,3 %	55,0 %	100,0 %	49,1 %	100,0 %
T2c-C	54,1 %	87,0 %	26,2 %	99,8 %	30,3 %	99,9 %
T2-D	85,3 %	90,8 %	60,4 %	99,9 %	72,4 %	100,0 %

A evolução do número de horas mensais dentro do conforto ao longo do ano, para as principais zonas de uma fracção autónoma, de cada orientação, está representada na figura 53 e figura 54. A linha a traço interrompido representa o número de horas de cada mês.

Analizando as figuras seguintes verifica-se que durante os meses da estação de arrefecimento existe um elevado número de horas mensais dentro da gama de temperaturas com conforto, o que implica baixas necessidades de arrefecimento. Durante os meses da estação de aquecimento verifica-se o oposto, o que origina necessidades de aquecimento relativamente elevadas. Analisando a cozinha verifica-se que esta zona apresenta o maior número de horas mensais, dentro da gama de temperaturas de conforto, durante os meses de aquecimento e durante a estação de arrefecimento este número decresce relativamente às outras zonas, devendo-se fundamentalmente aos elevados ganhos internos.

Comparando os dois gráficos verifica-se que o número de horas mensais em que a temperatura interior das zonas pertencentes à fracção autónoma T2-D, está dentro dos limites de conforto térmico é superior à fracção autónoma T1-A. Isto deve-se essencialmente à orientação do edifício uma vez que a fracção autónoma T2-D encontra-se orientada a Sudoeste enquanto a fracção autónoma T1-A está orientada a Nordeste.

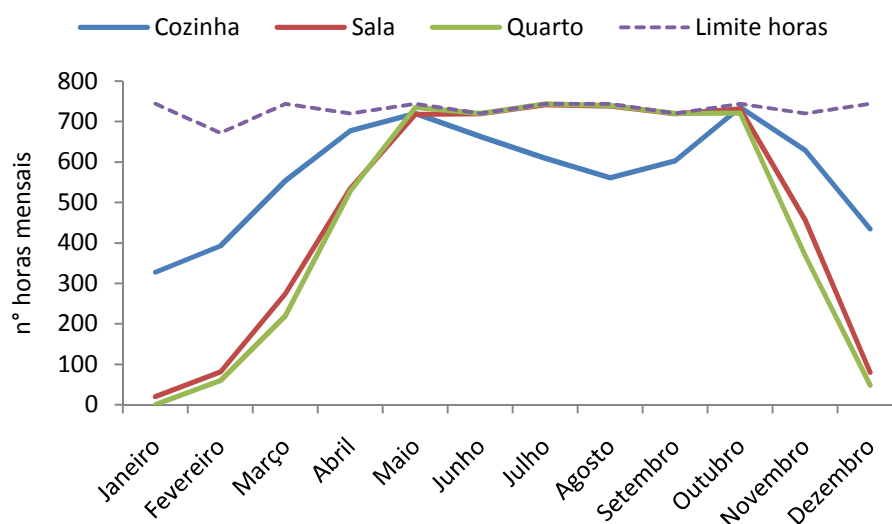


Figura 53: Evolução do número de horas mensais dentro do conforto térmico da fracção T1-A

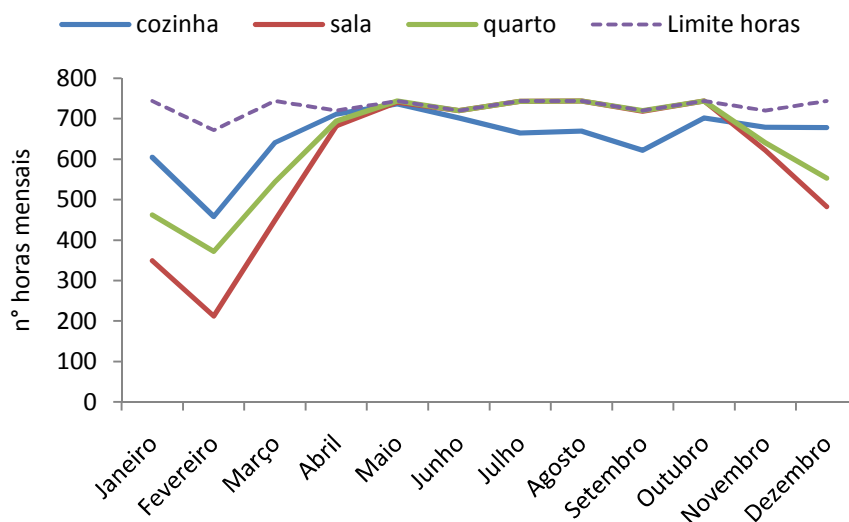


Figura 54: Evolução do número de horas mensais dentro do conforto térmico da fracção T2-D

2.2.4 Comparação de resultados de ambos os métodos

Como se pode avaliar a partir da tabela 25, existe alguma diferença dos resultados obtidos a partir do software de simulação ESP-r, quando comparados com os obtidos a partir do RCCTE.

Tabela 25: Necessidades de aquecimento e arrefecimento segundo as metodologias RCCTE e ESP-r

FA	N _{IC} RCCTE [kWh/m ² .ano]	N _{IC} ESP-r [kWh/m ² .ano]	N _{VC} RCCTE [kWh/m ² .ano]	N _{VC} ESP-r [kWh/m ² .ano]
T1-A	58,56	41,23	14,47	9,61
T1a-B	43,05	27,36	14,08	7,27
T2c-C	54,15	37,66	14,45	7,74
T2-D	38,02	20,98	14,30	8,10

2.2.4.1 Análise dos resultados do RCCTE

De seguida será apresentado um resumo dos principais resultados, obtidos na aplicação do RCCTE à fracção autónoma T1-A, para a estação de aquecimento e arrefecimento.

Estação de aquecimento (Inverno)

A partir da folha de cálculo FC IV.2 do RCCTE utilizada para determinar as necessidades de aquecimento, obteve-se as perdas térmicas durante a estação de aquecimento, associadas à envolvente exterior, interior, vãos envidraçados e renovação do ar, presentes na tabela 26.

Tabela 26: Perdas térmicas

Perdas térmicas associadas a:	RCCTE [kWh]
Envolvente exterior	1167
Envolvente interior	1115
Vãos envidraçados	1136
Renovação de ar	1230
Total	4648

Os ganhos totais úteis da estação de aquecimento foram obtidos a partir da folha de cálculo FC IV.1e, que resultam da soma dos ganhos internos úteis e ganhos solares úteis, apresentados na tabela 27.

Tabela 27: Ganhos totais úteis

Ganhos totais úteis	RCCTE [kWh]
Ganhos solares úteis	708
Ganhos Internos úteis	808
Total	1517

Estação de arrefecimento (Verão)

A partir das folhas de cálculo utilizadas para determinar as necessidades energéticas de arrefecimento obtiveram-se os valores necessários para caracterizar as perdas e os ganhos da estação de arrefecimento.

A partir da folha de cálculo FC V.1a obtiveram-se as perdas associadas à envolvente exterior, vãos envidraçados e renovação do ar, presentes na tabela 28.

Tabela 28: Perdas térmicas

Perdas térmicas associadas a:	RCCTE [kWh]
Envolvente exterior	129
Vãos envidraçados	233
Renovação de ar	252
Total	614

Os ganhos totais úteis no Verão, resultam dos ganhos solares pela envolvente opaca, dos ganhos solares pelos envidraçados exteriores e ganhos internos. A folha de cálculo FC V.1f apresenta um resumo dos ganhos totais na estação de arrefecimento, que constam na tabela 29.

Tabela 29: Ganhos totais úteis

Ganhos totais úteis	RCCTE [kWh]
Ganhos solares pelos vãos envidraçados	634
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	121
Ganhos internos	626
Ganhos térmicos totais	1381

2.2.4.2 Análise dos resultados do ESP-r

O software de simulação dinâmica ESP-r apresenta uma metodologia de simulação térmica, que permite obter os resultados de um balanço energético para as superfícies e os resultados de um balanço energético para o ar de uma zona.

Balanço energético para superfícies interiores

A partir do balanço energético para um volume de controlo limitado por uma superfície interior é possível obter os resultados dos seguintes termos: condução monodimensional, convecção entre a superfície e o ar da zona, radiação entre as superfícies envolventes, radiação solar absorvida e os ganhos internos por radiação absorvidos (ocupação, iluminação e equipamentos). A tabela 30 apresenta um resumo dos resultados anuais, com a diferenciação dos resultados para as superfícies interiores e para as superfícies em contacto com o ambiente exterior, para a mesma construção.

Tabela 30: Resultados anuais do balanço energético para as superfícies

Transferência Calor	<i>Superfície Interior</i>		<i>Superfície Exterior</i>	
	Ganhos [kWh]	Perdas [kWh]	Ganhos [kWh]	Perdas [kWh]
Condução	1830	-6302	7142	-2973
Convecção	2176	-664	115	-6704
Radiação entre superfícies	2816	-2816	0	0
Radiação entre edifícios	0	0	1127	-253
Radiação reflectida para o exterior	0	0	0	-8300
Radiação reflectida do solo	0	0	1214	-343
Radiação solar absorvida	1998	0	8975	0
Ocupação (radiação)	188	0	0	0
Iluminação (radiação)	140	0	0	0
Equipamentos (radiação)	635	0	0	0
Calor Armazenado	157	-157	265	-265
Total	9939	-9939	18839	-18839

Para uma melhor comparação com os resultados obtidos a partir da folha de cálculo do RCCTE, é necessário efectuar uma separação dos resultados para a transferência de calor por condução. A tabela 31 apresenta a discretização dos resultados anuais obtidos no ESP-r.

Tabela 31: Discretização dos resultados para a condução

Condução	Ganhos [kWh]	Perdas [kWh]	Total [kWh]
Envolvente opaca exterior	111	-1047	-936
Envolvente opaca interior – FA adjacente	1243	-1538	-295
Envolvente opaca interior – espaços não úteis	34	-2103	-2069
Vãos Envidraçados	441	-1614	-1173
Total	1830	-6302	-4473

Balanço energético para o ar interior

O ESP-r a partir do balanço energético para o ar interior de uma zona permite obter os resultados dos seguintes termos: transferência de calor por convecção das superfícies de fronteira (paredes, pavimentos, coberturas, envidraçado, etc.) para o ar, infiltrações do ar exterior, infiltrações do ar de outras zonas e ganhos internos por convecção (ocupação, iluminação e equipamentos). A tabela 32 apresenta um resumo dos resultados anuais.

Tabela 32: Resultados anuais do balanço energético para o ar interior

Transferência de calor	Ganhos [kWh]	Perdas [kWh]
Infiltrações	135	-2235
Ocupação	751	0
Iluminação	140	0
Equipamentos	953	0
Envolvente Opaca exterior	55	-437
Envolvente Opaca interior	427	-1230
Vãos Envidraçados	152	-479

Resultados por estação de aquecimento e arrefecimento

Os resultados apresentados anteriormente foram obtidos numa base anual. Desta forma é necessário efectuar uma divisão por estação de aquecimento e arrefecimento.

De acordo com o regulamento RCCTE a estação convencional de arrefecimento é o conjunto dos quatro meses de Verão (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e a duração da estação de aquecimento consta no Quadro III.1 do RCCTE, onde obteve-se o valor de 5,3 meses para o concelho de Lisboa.

De modo a obter os resultados diferenciados por estação de aquecimento e arrefecimento, efectuou-se um estudo horário dos termos determinados a partir dos balanços energéticos. De seguida agrupou-se os resultados horários em mensais para facilitar a posterior comparação.

Finalmente efectuou-se a comparação final dos resultados obtidos a partir da folha de cálculo do RCCTE e do software de simulação dinâmica ESP-r, apresentados na tabela 33.

A partir de uma análise à tabela 33 verifica-se que existem algumas diferenças significativas dos valores obtidos em ambos os métodos. No caso das perdas térmicas durante a estação de aquecimento a maior diferença de valores verifica-se ao nível da envolvente exterior, que pode ser justificada devido à simplificação adoptada pelo RCCTE na contabilização dinâmica do clima. Quanto aos ganhos solares úteis durante a estação de aquecimento também se verifica uma diferença significativa de resultados, favorável ao ESP-r, uma vez que vai permitir uma redução das necessidades de aquecimento. Analisando a estação de arrefecimento, constata-se os ganhos solares pelos vãos envidraçados são superiores para o método do RCCTE, o que vai levar a um aumento das necessidades de arrefecimento por este método.

Tabela 33: Comparação dos resultados do ESP-r com os do RCCTE

Estação de aquecimento			Estação de arrefecimento		
Perdas térmicas	RCCTE [kWh]	ESP-r [kWh]	Perdas térmicas	RCCTE [kWh]	ESP-r [kWh]
Envolvente exterior	1167	796	Envolvente exterior	129	85
Envolvente interior	1115	1234	Vãos envidraçados	233	304
Vãos envidraçados	1136	1000	Renovação de ar	252	316
Renovação de ar	1230	1380	Total	614	705
Total	4648	4410			
Ganhos térmicos	RCCTE [kWh]	ESP-r [kWh]	Ganhos térmicos	RCCTE [kWh]	ESP-r [kWh]
Ganhos solares úteis	708	1125	Ganhos solares pelos vãos envidraçados	634	214
Ganhos Internos úteis	808	811	Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	121	93
Total	1517	1936	Ganhos internos	626	616
			Total	1381	923

Para além das diferenças já descritas, é importante também analisar as variáveis que não estão contabilizadas no método de cálculo do RCCTE e que por sua vez estão presentes no ESP-r.

Para o caso da estação de aquecimento, o RCCTE não contabiliza os ganhos internos por radiação, que o ESP-r contabiliza quando efectua o balanço energético às superfícies interiores das várias zonas consideradas no modelo de simulação. Assim durante a estação de aquecimento a absorção dos ganhos internos radiativos da envolvente opaca, proporciona um aumento da temperatura da mesma, que irá influenciar a transferência de calor por convecção entre as superfícies interiores e o ar da zona.

Simulação desprezando ganhos internos por radiação

Para verificar a influência dos ganhos internos por radiação nas necessidades de aquecimento e arrefecimento, efectuou-se uma nova simulação, alterando os ganhos internos do modelo de simulação, para 4 W/m^2 , totalmente convectivos, tal como consta no Quadro IV.3 do RCCTE.

Tabela 34: Necessidades de aquecimento e arrefecimento

N_{IC} [kWh/m ² .ano]	N_{VC} [kWh/m ² .ano]
45,34	5,16

Tal como seria de esperar, houve um aumento das necessidades de aquecimento e uma redução das necessidades de arrefecimento. Assim é possível concluir que os ganhos internos por radiação têm influência na diferença de resultados dos dois métodos.

2.3 Moradia geminada

2.3.1 Breve apresentação e caracterização

O presente caso de estudo refere-se a uma moradia geminada, de tipologia T3, localizada no concelho do Porto (zona climática I2-V1 Norte).

A moradia geminada é formada por dois pisos, sendo o rés-do-chão constituído pelas seguintes zonas: átrio, cozinha e sala. O primeiro piso é formado pelas seguintes zonas: três quartos, sendo um tipo suite, três instalações sanitárias e um hall. Nas figuras seguintes estão representadas as plantas de ambos os pisos do edifício. As fachadas exteriores estão orientadas a Este (hall, cozinha e quartos do 1º andar) e a Oeste (sala e suite).

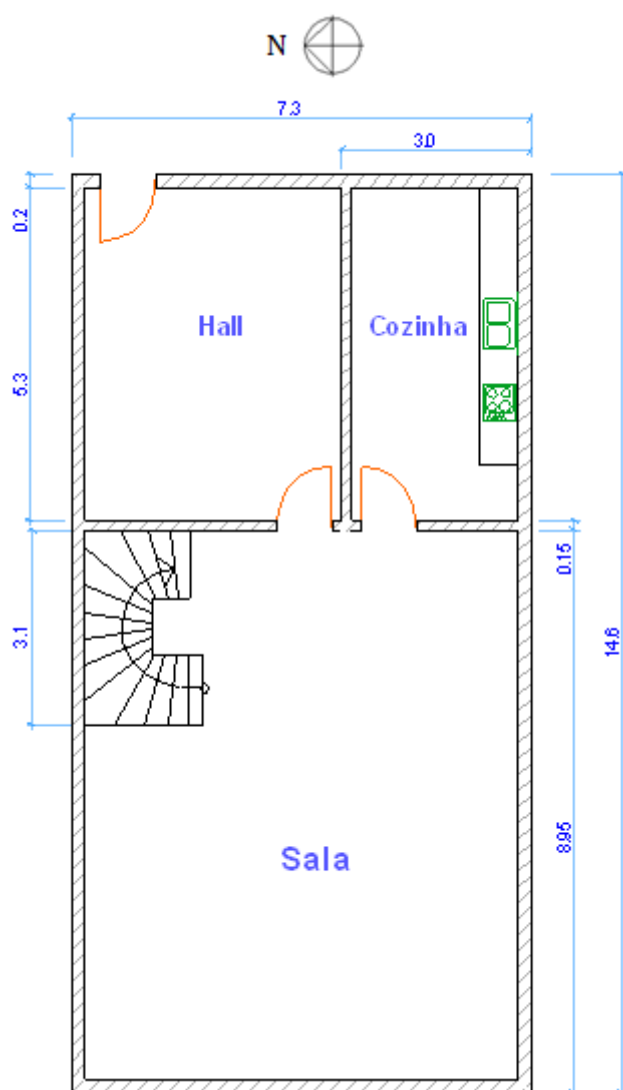


Figura 55: Rés-do-chão da moradia geminada

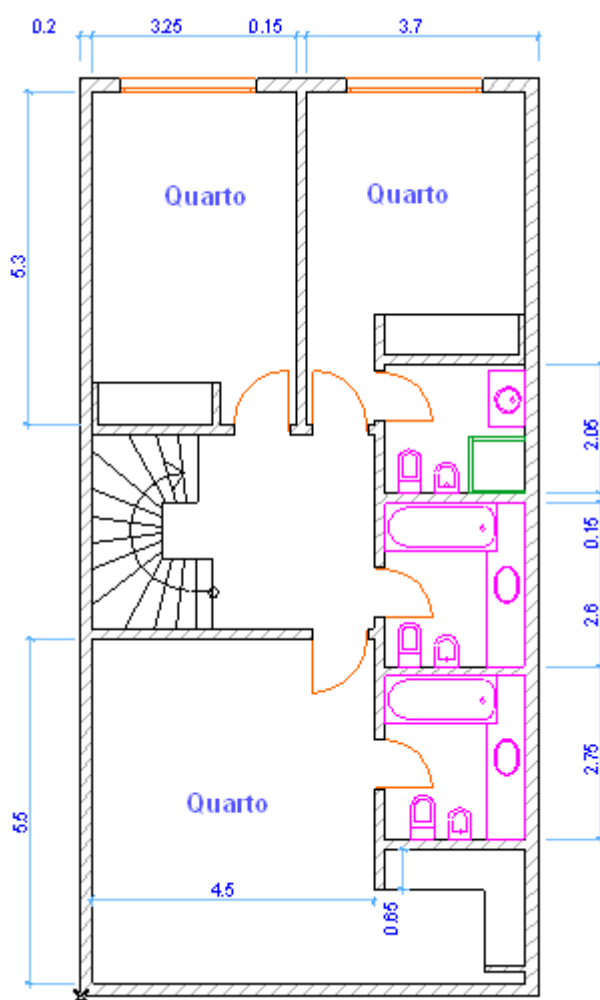


Figura 56: Primeiro andar da moradia geminada

Área útil e pé direito

A tabela seguinte apresenta as zonas do edifício com as suas respectivas áreas.

Tabela 35: Área das zonas da moradia geminada

Zona	Área [m ²]
Sala	54,2
Cozinha	14,8
Hall	21,7
Escadas	6,2
Quarto – suite	29,8
Instalação sanitária 1	6,6
Instalação sanitária 2	6,6
Instalação sanitária 3	4,9
Quarto 1	16,8
Quarto 2	18,0
Hall - 1º piso	7,8

De acordo com o apresentado na tabela anterior, a área útil de pavimento é aproximadamente 187,4 m². O pé direito útil considerado é de 2,4 m, para ambos os pisos.

2.3.2 Aplicação do RCCTE

2.3.2.1 Caracterização térmica das soluções construtivas

Nas tabelas seguintes descrevem-se as soluções construtivas dos elementos opacos da envolvente e apresenta-se a caracterização das propriedades térmicas. Como se pode verificar todos os elementos respeitam os requisitos mínimos exigidos pelo RCCTE.

Elementos da envolvente opaca exterior

Tabela 36: Envolvente exterior

Descrição	U (W/m ² . °C)	U _{máx} (W/m ² . °C)
Paredes exteriores		
Paredes simples com pano de alvenaria de tijolo furado normal, com 190 mm de espessura, isolada pelo exterior com placas de poliestireno expandido de 60 mm de espessura, rebocada pelo exterior e interior.	0,44	1,60
Cobertura		
Cobertura horizontal, protegida por uma camada exterior de seixo, seguida de uma tela de impermeabilização, e isolada com 60 mm de EPS. A estrutura resistente é constituída por uma laje maciça de betão com 200 mm de espessura mais uma camada de forma de betão leve com 100 mm.	0,43	1,00

Pontes térmicas planas

Para as pontes térmicas planas, o RCCTE impõe que, os valores dos coeficientes de transmissão térmica superficial (U) das heterogeneidades opacas inseridas na zona corrente

(pilares, vigas e caixas de estore) não excedam os valores máximos admissíveis de U para os elementos opacos nem o dobro do valor de U dos elementos verticais ou horizontais em zona corrente.

Tabela 37: Pontes térmicas planas

Descrição	U (W/m ² . °C)	$U_{\text{máx}}$ (W/m ² . °C)
Talão de viga		
Talão de viga de betão armado da laje dos pavimentos intermédios e da laje de cobertura com 0,2 m de espessura, isolado pelo exterior com 60 mm de poliestireno expandido e rebocado pelo interior e exterior.	0,51	$0,88 \leq 1,60$
Pilar de betão		
Parede exterior com pilar de betão de 0,2 m, isolada pelo exterior com 60 mm de poliestireno expandido e rebocada pelo interior e exterior.	0,51	$0,88 \leq 1,60$
Caixas de estore		
Caixa de estore na parede exterior, com altura de 0,25 m, constituída por 2 placas de fibrocimento, cada uma com 0,185 m, com reboco pelo interior e exterior, isolamento na caixa de estore de 40 mm de poliestireno expandido.	0,70	$0,88 \leq 1,60$

Pontes térmicas lineares

No que diz respeito às pontes térmicas lineares, o RCCTE apresenta, para as situações mais correntes, os valores do coeficiente de transmissão térmica linear. Na tabela seguinte apresentam-se as pontes térmicas lineares identificadas na moradia geminada.

Tabela 38: Pontes térmicas

Ligações entre:	Ψ (W/m. °C)	Referência
Fachada com pavimentos térreos $d = 0$ m e $z = 0,06$ m	0,30	RCCTE, Tabela IV.3 - Ae
Fachada com pavimentos intermédios $e_m = 0,29$ m e $e_p = 0,27$ m	0,10	RCCTE, Tabela IV.3 - Ce
Fachada com cobertura inclinada ou terraço $e_m = 0,29$ m e $e_p = 0,385$ m	0,55	RCCTE, Tabela IV.3 - De

Vãos envidraçados

Na tabela seguinte apresentam-se os valores dos coeficientes de transmissão térmica U dos vãos envidraçados, que constam nos quadros da publicação do LNEC – ITE 50.

Tabela 39: Vãos envidraçados

Descrição	U [W/m ² . °C]
Oeste: sala e suite; Este: cozinha, quarto 1 e quarto 2; Vidro laminado 8 mm + caixa-de-ar 16mm + vidro laminado 5 mm, incolor, com protecção pelo exterior (estores); Caixilharia de alumínio sem corte térmico; Janela simples, vidro duplo, janela de correr; Dispositivo de oclusão nocturna, cortina interior opaca.	3,50

Factores solares na estação de aquecimento

Na tabela seguinte encontram-se descritos os valores dos factores de sombreamento e dos factores solares na estação de aquecimento, que traduzem a fracção da radiação solar disponível no exterior, transmitida para o interior do espaço útil sob a forma de radiação visível e térmica.

Tabela 40: Factores solares e de sombreamento na estação de aquecimento

Vãos envidraçados	X_i	$g_{\perp}$	F_s	F_g	F_w
Oeste: sala e suite	0,56	0,63	0,9	0,7	0,9
Este: cozinha, quarto 1 e quarto 2	0,56	0,63	0,9	0,7	0,9

Factores solares na estação de arrefecimento

Os valores dos factores solares e de sombreamento na estação de arrefecimento apresentam-se na tabela seguinte.

Tabela 41: Factores solares e de sombreamento na estação de arrefecimento

Vãos envidraçados	$g_{\perp}'$	$g_{\perp V}$	$g_{\perp}$	F_s	F_g	F_w
Oeste: sala e suite	0,07	0,75	0,274	0,9	0,7	0,85
Este: cozinha, quarto 1 e quarto 2	0,07	0,75	0,274	0,9	0,7	0,85

2.3.2.2 Taxa de renovação horária nominal

Admitindo que a entrada e saída de ar nas instalações sanitárias é efectuada de forma natural e que existe apenas extracção na cozinha efectuada por intermédio de um exaustor, verifica-se, que segundo o RCCTE o edifício é ventilado naturalmente.

Para a determinação da taxa nominal de renovações horárias de ar interior, sabe-se que o edifício não está em conformidade com a norma NP 1037-1, e admite-se que a classe de permeabilidade ao ar das caixilharias é “sem classificação”. Assim, como o edifício está situado no interior de uma zona urbana (Porto) e sendo a sua altura acima do solo inferior a 10 m, de acordo com o Quadro IV.2 do RCCTE conclui-se que a classe de exposição ao vento das fachadas do edifício é a Exp.1.

A taxa de renovação horária nominal para a moradia geminada é obtida a partir do Quadro IV.1 do RCCTE. Admitindo que o edifício não dispõe de dispositivos de admissão na fachada, e que existe caixa de estore, obtêm-se $1,0 \text{ [h}^{-1}\text{]}$.

2.3.2.3 Necessidades de aquecimento

De acordo com a metodologia descrita no Anexo V do RCCTE, a energia útil que é necessário fornecer à fracção autónoma para manter no seu interior a temperatura de referência de $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, N_{IC} , é a indicada na tabela 42, onde se indica o valor limite das necessidades nominais de aquecimento N_I . As folhas de cálculo utilizadas para determinar as necessidades de aquecimento (FCIV.1a a FCIV.1f e FCIV.2) encontram-se no Anexo CD.

Tabela 42: Necessidades de aquecimento

N_{IC} [kWh/m ² .ano]	N_I [kWh/m ² .ano]
37,57	68,10

2.3.2.4 Necessidades de arrefecimento

De acordo com a metodologia descrita no Anexo V do RCCTE, a energia útil que é necessário retirar à fracção autónoma para manter no seu interior a temperatura de referência de $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, N_{VC} , é a indicada na tabela 43, onde se indica o valor limite das necessidades nominais de arrefecimento N_V . As folhas de cálculo utilizadas para determinar as necessidades de arrefecimento (FCV.1a a FCV.1g) encontram-se no Anexo CD.

Tabela 43: Necessidades de arrefecimento

N_{VC} [kWh/m ² .ano]	N_V [kWh/m ² .ano]
1,98	16

2.3.2.5 Águas quentes sanitárias

De acordo com o RCCTE a contribuição de energia fornecida por colectores solares térmicos para preparação de águas quentes sanitárias, deverá ser calculada utilizando o programa SOLTERM do INETI. Assim, de acordo com o programa SOLTERM, a energia fornecida por um sistema solar ($\eta_0 = 0,758$, $a_1 = 2,8 \text{ W/m}^2/\text{K}$, $a_2 = 0,023 \text{ W/m}^2/\text{K}^2$), com 4 m^2 de área de captação é de aproximadamente 1670 kWh/ano para o concelho do Porto. No cálculo das necessidades de aquecimento para preparação de águas quentes sanitárias, admitiu-se que o sistema de apoio utilizado é uma caldeira mural, com eficiência nominal de 87%.

Na tabela 44 indica-se as necessidades de energia útil para preparação de águas quentes sanitárias e o seu valor máximo admissível nos termos do regulamento.

Tabela 44: Águas Quentes Sanitárias

N_{ac} [kWh/m ² .ano]	N_a [kWh/m ² .ano]
9,84	25,24

2.3.2.6 Energia primária

Na tabela 45 indicam-se as necessidades globais anuais específicas de energia primária e o seu valor máximo admissível nos termos regulamentares. Para o cálculo das necessidades de energia primária, considerou-se:

- Aquecimento realizado por intermédio de uma bomba de calor, com uma eficiência nominal de 4;
- Arrefecimento realizado por intermédio de uma bomba de calor, com uma eficiência nominal de 3;

Tabela 45: Energia primária

N_{tc} [kgep/m ² .ano]	N_t [kgep/m ² .ano]
1,14	4,16

2.3.3 Modelo de simulação detalhado do edifício em ESP-r

A moradia geminada foi dividida em dez zonas, sendo o rés-do-chão formado pelas seguintes zonas: sala, cozinha e hall de entrada. O primeiro andar é constituído pelas seguintes zonas: três quartos, três instalações sanitárias, hall e a escadaria.

2.3.3.1 Condições de fronteira

Superfícies em contacto com o exterior: condições exteriores horárias, a partir do ficheiro de clima.

Superfícies em contacto com outras fracções autónomas: atribuíram-se condições dinâmicas similares para os edifícios adjacentes.

Superfícies em contacto com o solo: utilizou-se o perfil mensal de temperaturas do solo, para uma profundidade de 4 m, da base de dados do EnergyPlus (EnergyPlus, 2007).

A figura 57 apresenta o modelo de simulação da moradia geminada definida no software de simulação dinâmica ESP-r.

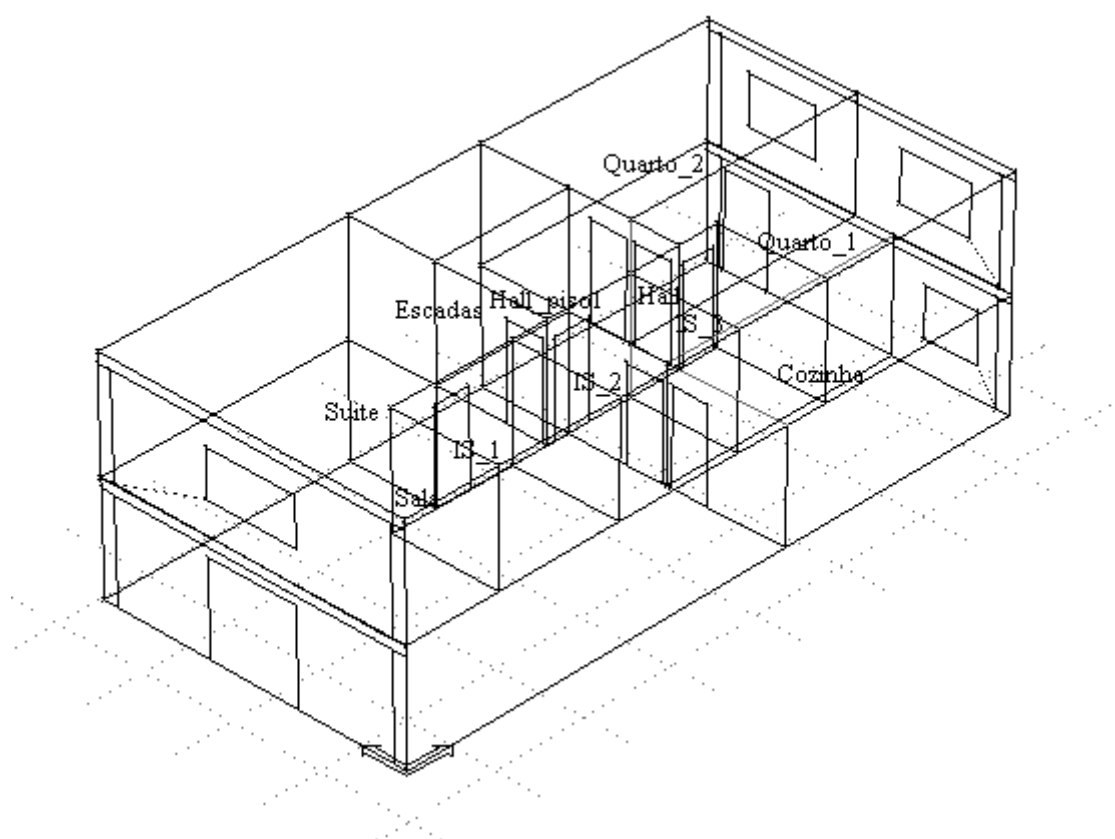


Figura 57: Modelo de simulação da moradia geminada

2.3.3.2 Ganhos internos

Os valores detalhados dos perfis de ocupação, iluminação e equipamentos, encontram-se definidos no Anexo D. O valor médio destes ganhos é $3,2 \text{ W/m}^2$. De seguida apresentam-se os perfis, das principais zonas introduzidas no software ESP-r.

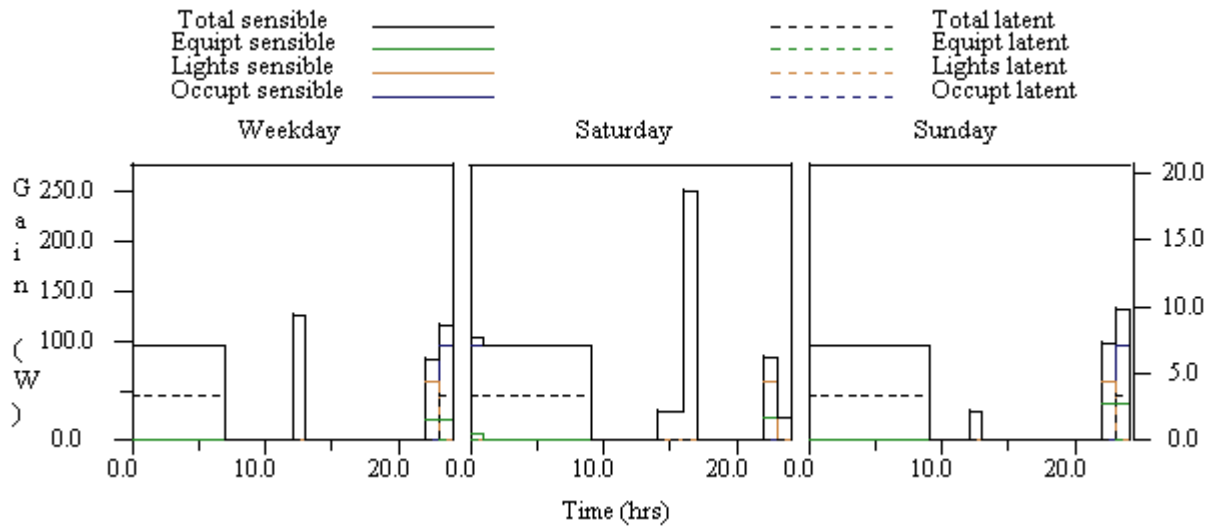


Figura 58: Perfis do quarto

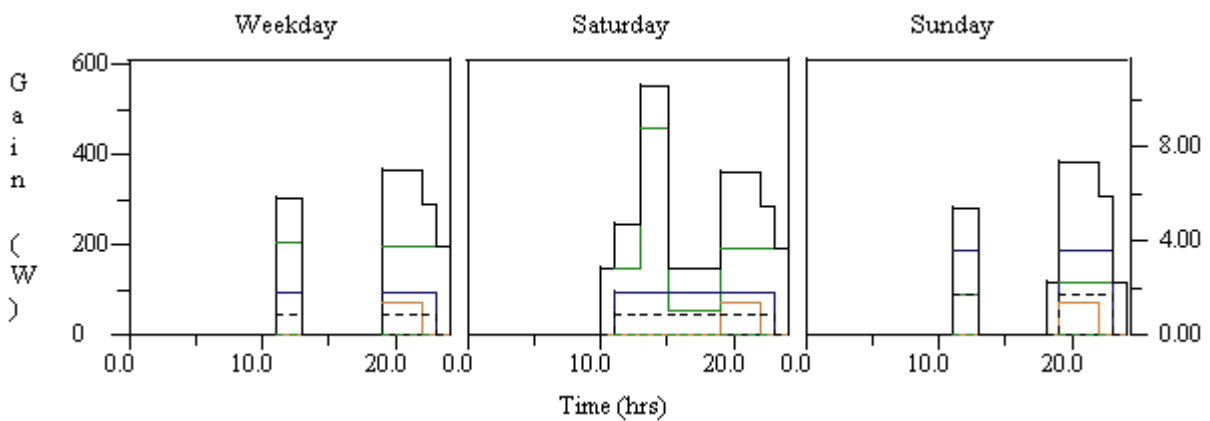


Figura 59: Perfis da sala

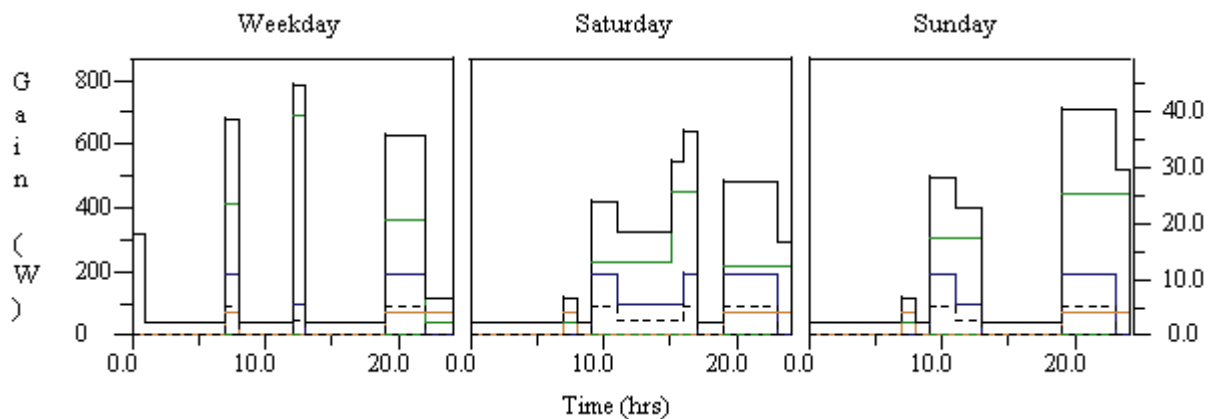


Figura 60: Perfis da cozinha

2.3.3.3 Propriedades dos vidros

As propriedades ópticas dos envidraçados foram determinadas com recurso ao software WIS. Estas propriedades foram determinadas tendo em conta a sua constituição física e o factor solar resultante, determinado na aplicação do RCCTE à moradia geminada. Os factores solares considerados foram os seguintes:

- Sem estore exterior: $g_{\perp} = 0,63$
- Com estore exterior: $g_{\perp} = 0,07$

As propriedades ópticas do vidro duplo normal, sem e com protecção exterior, apresentam-se na figura 16 e figura 17, respectivamente.

2.3.3.4 Leis de controlo de sombreamento

Para controlar a posição dos sombreamentos das janelas VJ-1, foram definidos os seguintes critérios:

- Das 0 às 8h: utilização das propriedades ópticas para o vidro duplo com protecção exterior;
- Das 8 às 21h: variação das propriedades ópticas do vidro duplo em função da temperatura do ar ambiente. Definiu-se um set point para a temperatura exterior de 20° C, assim para temperaturas superiores a 20° C o estore encontra-se fechado e para temperaturas inferiores o estore abre.
- Das 21 às 24h: utilização das propriedades ópticas para o vidro duplo com protecção exterior;

2.3.3.5 Controlo de temperatura interior em regime condicionado

Definiu-se um controlador que permite manter a temperatura do ar interior entre 20 e 25 °C. Assim o controlador liga o sistema de aquecimento sempre que a temperatura interior é inferior a 20 °C ou liga o sistema de arrefecimento quando a temperatura é superior a 25 °C.

2.3.3.6 Pontes térmicas lineares

De forma a contabilizar as pontes térmicas lineares no modelo de simulação, será utilizada a equação 1.

Para o efeito foi utilizada a parede da fachada exterior, orientada a Oeste. Assim escolheu-se a parede do quarto tipo suite, que apresenta uma área total de 11,9 m², com um coeficiente de transmissão térmica de 0,44 W/m². °C. O somatório das pontes térmicas lineares da moradia geminada é de 14,49 W/°C. Aplicando a eq.1 resulta um $U_{equiv} = 1,66$ W/m². °C.

2.3.3.7 Clima

Recorreu-se á base de dados do INETI, onde se efectuou uma adaptação do formato do ficheiro climático do INETI, para um formato em ESP-r.

2.3.3.8 Simulação do edifício em regime condicionado

Será efectuado um estudo da habitação em regime condicionado, com uma taxa de renovação constante. Assim foi adoptado no modelo de simulação o valor da taxa de renovação horária nominal determinada na aplicação do RCCTE à moradia geminada, onde se obteve o valor de $1,10 \text{ [h}^{-1}\text{]}$.

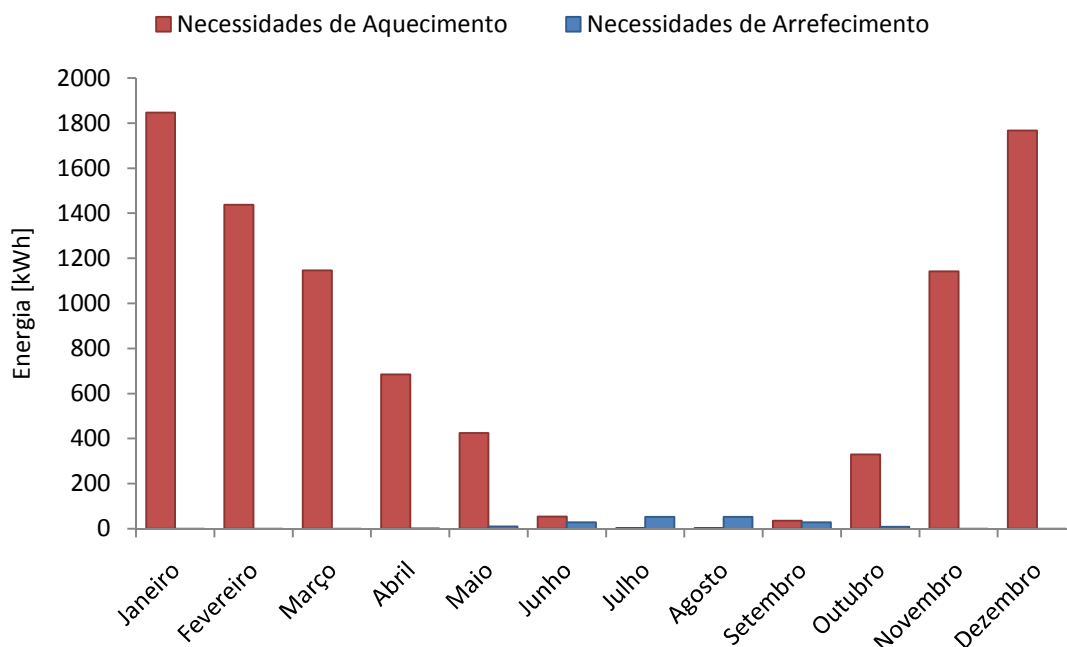


Figura 61: Necessidades de aquecimento e arrefecimento segundo a metodologia do RCCTE

De acordo com os resultados obtidos no programa de simulação ESP-r, a energia útil que é necessário fornecer à fracção autónoma, de forma a manter no seu interior a temperatura de referência de $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, e a energia útil que é necessário retirar à fracção autónoma, para manter no seu interior a temperatura de referência de $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, apresentam-se na tabela seguinte.

Tabela 46: Necessidades de aquecimento e arrefecimento

N_{IC} [kWh/m ² .ano]	N_{VC} [kWh/m ² .ano]
46,69	1,02

2.3.3.9 Simulação do edifício em free float com network flow

Para realizar o estudo do edifício em regime de flutuação livre de temperaturas (sem sistemas de climatização), na presente secção serão efectuadas alterações no modelo de simulação, ao nível da distribuição e circulação do ar no edifício, na tentativa de aproximar o modelo de simulação à realidade. Assim considerou-se uma rede de escoamento de ar (network flow) integrada no ESP-r.

A figura seguinte apresenta a rede de escoamento de ar, que será introduzida no modelo de simulação.

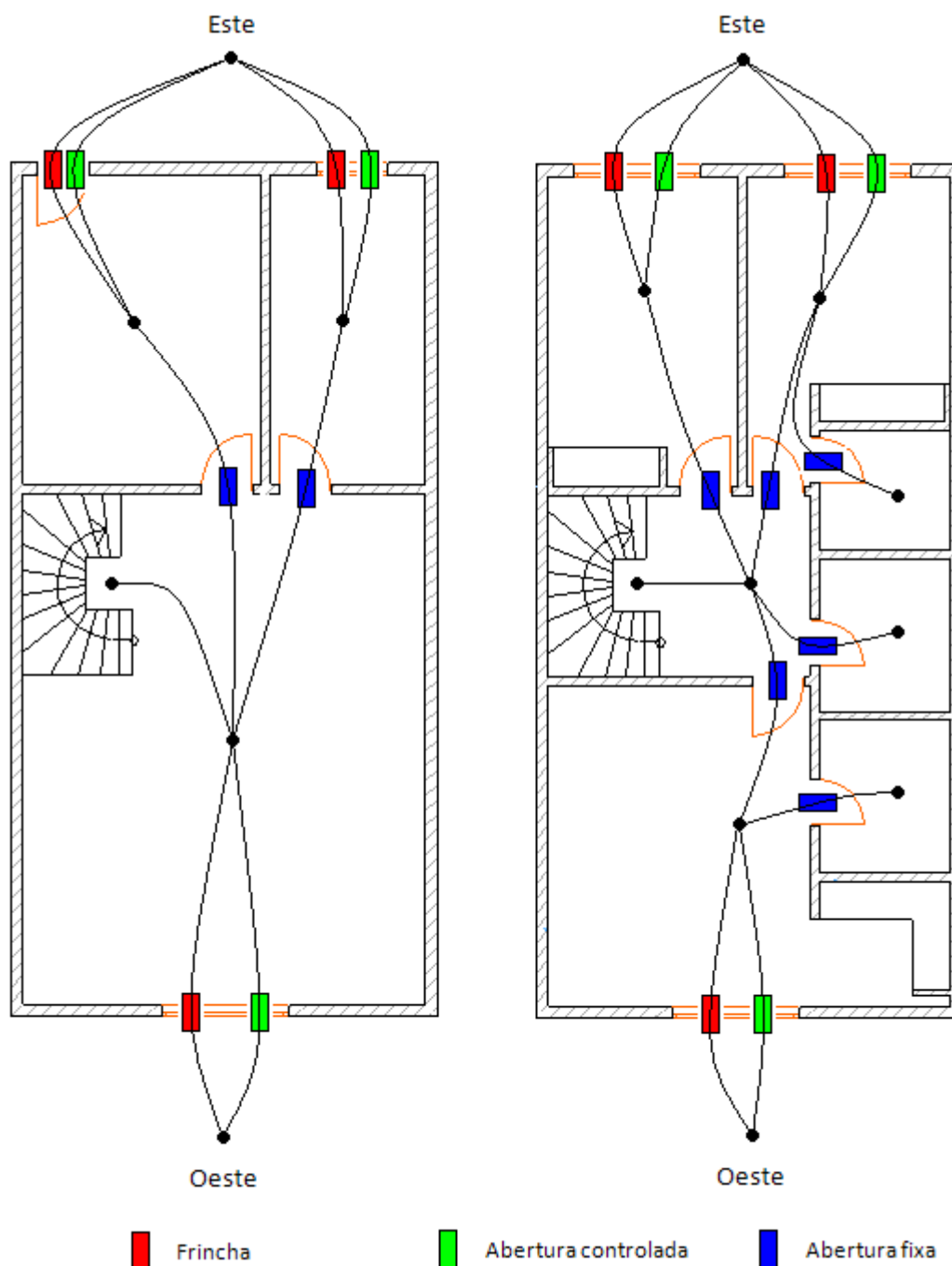


Figura 62: Esquema da rede de escoamento de ar no rés-do-chão (esquerda) e 1º andar (direita)

Nós, componentes e ligações

Foram definidos 14 nós no modelo de simulação, dos quais 12 caracterizam o ar interior de cada zona e os restantes caracterizam o ambiente exterior.

Para efectuar a ligação dos nós foram definidos vários componentes. Como representado na figura 62, definiram-se essencialmente três tipos de componentes, um para representar as frinchas de janelas e portas em contacto com o ar exterior, um segundo componente para representar a abertura de áreas para o exterior e um terceiro componente para representar as portas interiores de forma a permitir o escoamento de ar no interior da moradia geminada.

Os componentes representados em paralelo têm como objectivo simular a abertura de janelas para o exterior, quando o ar exterior permite arrefecer o interior.

Leis de controlo de aberturas de janelas

De forma a controlar a abertura de janelas e portas para promover a troca de ar com o exterior, de forma a proporcionar o arrefecimento gratuito, definiu-se um controlador no modelo de simulação que permite controlar, a abertura de determinadas áreas.

Os set-points definidos nos sensores para actuar o controlador, de forma a controlar a abertura de janelas ou portas exteriores, em regime de free float foram os seguintes:

- Temperatura da zona superior a 25 °C
- Temperatura do ar exterior inferior a 25 °C

Infiltrações

Foram efectuadas várias simulações de forma a optimizar o valor da espessura das frinchas e da área das aberturas directas para o exterior. Assim durante a estação de aquecimento efectuaram-se ajustes ao nível da espessura das frinchas no modelo, com vista a obter uma taxa de renovação horária pelo menos próxima de 0,6 [h⁻¹]. Durante a estação de arrefecimento considerou-se a área das aberturas directas para o exterior, com vista a reduzir ao máximo as necessidades de arrefecimento, sem provocar o aumento das necessidades energéticas de aquecimento.

As figuras seguintes apresentam o valor médio mensal das renovações de ar, em três zonas, onde se observa, como esperado, que as aberturas exteriores estão activas principalmente durante os meses da estação de arrefecimento. A cozinha é a zona que apresenta a maior taxa de renovação horária uma vez que é a zona onde existe a maior frequência de abertura da janela para o exterior. Isto deve-se essencialmente aos elevados ganhos internos existentes nesta zona.

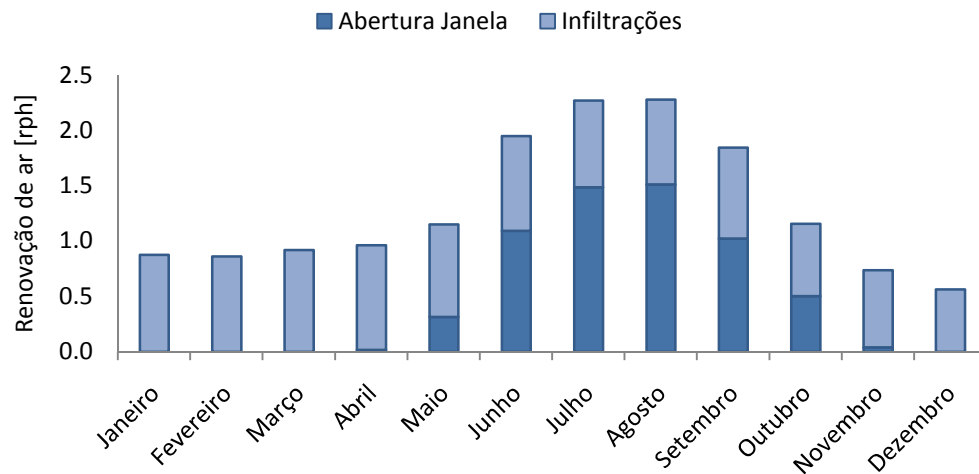


Figura 63: Renovação de ar na cozinha

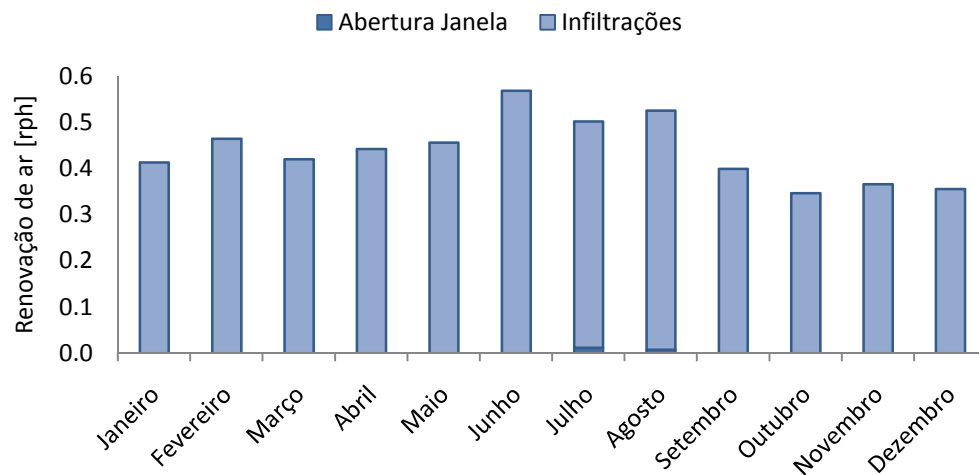


Figura 64: Renovação de ar na sala

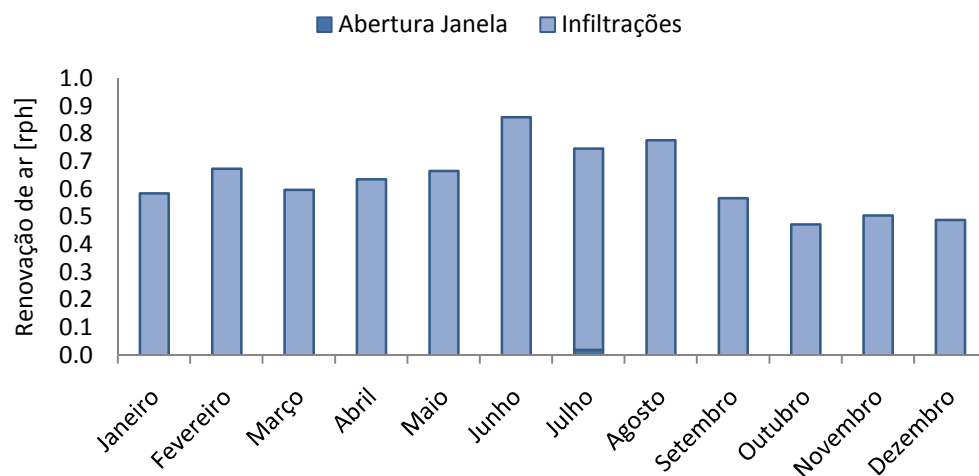


Figura 65: Renovação de ar no quarto tipo suite

Temperaturas interiores

De seguida é efectuada uma análise do comportamento do edifício para a situação de free float, de forma a verificar a evolução da temperatura interior, nas principais zonas do modelo, sem qualquer intervenção ao nível da climatização.

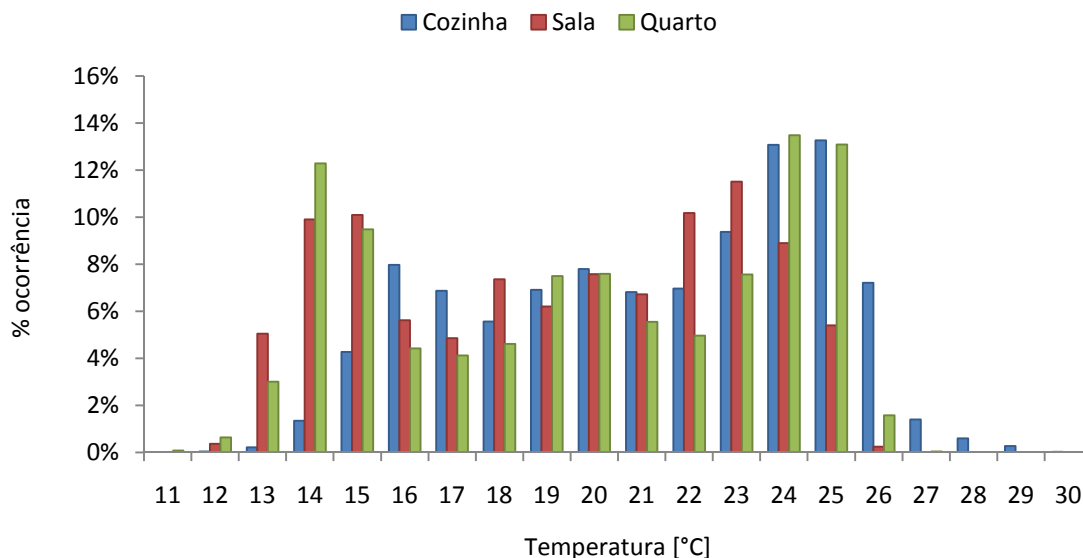


Figura 66: Histograma de temperaturas

Para determinar o número de horas anuais que cumprem os requisitos de conforto térmico, recorreu-se ao modelo de conforto adaptativo, descrito na norma ASHRAE 55-2004, apresentado no Anexo C. Assim, primeiro recorreu-se ao ficheiro climático do INETI para determinar a temperatura média mensal do ar exterior, conforme apresentado na tabela seguinte. De seguida determinou-se a gama de temperaturas compatíveis com os requisitos de conforto térmico, com 80 % de aceitabilidade, a partir da figura 88.

Tabela 47: Limites para a temperatura de conforto na habitação segundo o modelo do conforto adaptativo

Mês	$T_{\text{méd ext}}$ [° C]	T_{min} [° C]	$T_{\text{máx}}$ [° C]
Janeiro	8,8	17,8	24,7
Fevereiro	9,3	17,8	24,7
Março	11,0	17,8	24,7
Abril	12,6	18,2	25,1
Maio	15,1	19,0	26,0
Junho	17,9	19,9	26,8
Julho	19,8	20,4	27,3
Agosto	19,6	20,3	27,2
Setembro	18,4	20,1	27,0
Outubro	15,5	19,2	26,1
Novembro	11,3	17,9	24,8
Dezembro	9,0	17,8	24,7

Para os casos presentes na tabela anterior em que a temperatura média mensal exterior é inferior 10 °C, considerou-se o valor do limite inferior de conforto para uma temperatura exterior de 10 °C. Conforme descrito na norma do conforto adaptativo não é possível

extrapolar os valores dos limites de conforto para temperaturas médias mensais exteriores inferiores a 10 °C nem superiores a 30 °C.

Na tabela 48 apresenta-se a percentagem de horas durante a estação de aquecimento e arrefecimento em relação às temperaturas de referência para conforto térmico.

De acordo com o RCCTE a duração da estação convencional de arrefecimento são quatro meses (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e a duração da estação de aquecimento consta no Quadro III.1 do RCCTE, onde obteve-se o valor de 6,7 meses para o concelho do Porto. Para a estação de aquecimento escolheu-se os meses com as necessidades energéticas de aquecimento mais elevadas, que constam na figura 61.

Assim para os meses da estação de aquecimento determinou-se número de horas em que a temperatura interior da zona é superior à temperatura mínima presente na tabela 47. Para os meses da estação de arrefecimento, determinou-se o número de horas em que a temperatura interior da zona é inferior à temperatura máxima que consta na tabela 47. A tabela seguinte mostra que durante o Verão a temperatura interior é confortável ao contrário do Inverno que tem uma baixa percentagem de horas que se enquadram com os requisitos de conforto.

Tabela 48: Percentagem de horas que cumprem os requisitos da norma ASHRAE 55-2004

Cozinha		Sala		Quarto	
$T > T_{\min}$	$T < T_{\max}$	$T > T_{\min}$	$T < T_{\max}$	$T > T_{\min}$	$T < T_{\max}$
53,5 %	97,6 %	20,6 %	100,0 %	27,9 %	100,0 %

A evolução de número de horas mensais dentro do conforto ao longo do ano está representada na figura seguinte. É possível verificar que durante os meses da estação de arrefecimento existe um elevado número de horas mensais dentro da gama de temperaturas com conforto, verificando-se mesmo em algumas zonas a totalidade das horas mensais dentro do conforto. Durante os meses da estação de aquecimento o número de horas em que a temperatura interior das zonas está dentro dos limites de conforto decresce de forma acentuada relativamente ao Verão, o que leva a necessidades de aquecimento, relativamente elevadas.

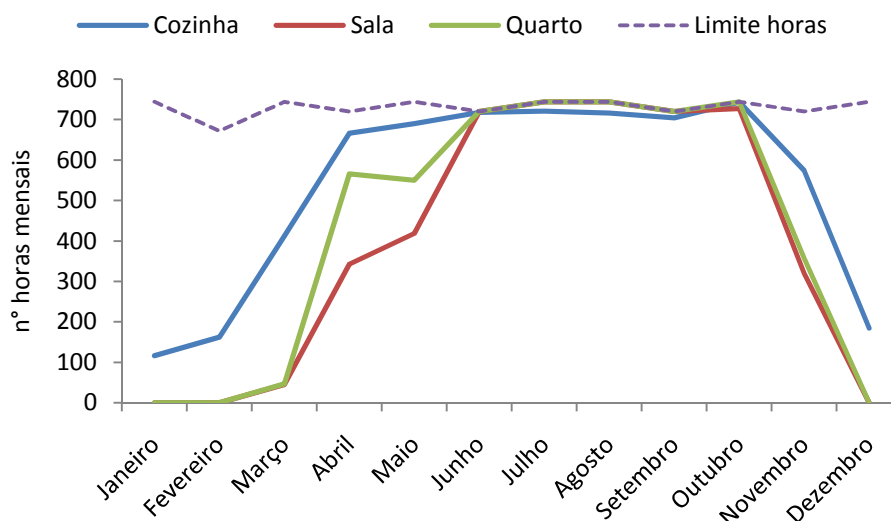


Figura 67: Evolução do número de horas mensais dentro do conforto térmico

2.4 Variante eficiente da moradia geminada

2.4.1 Breve apresentação e caracterização

O presente caso de estudo refere-se a uma variante mais eficiente do caso de estudo da moradia geminada, analisada no ponto anterior. No decorrer da análise deste caso de estudo, serão apenas apresentadas as características inerentes ao edifício que serão modificadas relativamente ao caso base da moradia geminada descrita no ponto anterior. As alterações que serão efectuadas têm como objectivo obter um novo caso de estudo, com baixas necessidades energéticas de aquecimento.

De forma a aumentar os ganhos solares durante a estação de aquecimento, a fachada principal da variante eficiente da moradia geminada foi orientada a Sul (sala e suite da figura 55 e figura 56), estando assim a outra fachada exterior orientada a Norte (hall, cozinha e quartos do 1º andar). Houve também uma maximização da área envidraçada na fachada orientada a Sul.

2.4.2 Aplicação do RCCTE

2.4.2.1 Caracterização térmica das soluções construtivas

Nas tabelas seguintes descrevem-se as soluções construtivas dos elementos opacos da envolvente e apresenta-se a caracterização das propriedades térmicas. É de referir que se utilizou uma espessura de isolamento bastante elevada, para reduzir as perdas energéticas para o exterior, pela envolvente opaca, durante a estação de aquecimento. A partir da análise das tabelas também se verifica que todos os elementos respeitam os requisitos mínimos exigidos pelo RCCTE.

Elementos da envolvente opaca exterior

Tabela 49: Envolvente exterior

Descrição	U (W/m ² . °C)	U _{máx} (W/m ² . °C)
Paredes exteriores		
Paredes simples com pano de alvenaria de tijolo furado normal, com 190 mm de espessura, isolada pelo exterior com placas de poliestireno expandido de 170 mm de espessura, rebocada pelo exterior e interior.	0,20	1,60
Cobertura		
Cobertura horizontal, protegida por uma camada exterior de seixo, seguida de uma tela de impermeabilização, e isolada com 166 mm de EPS. A estrutura resistente é constituída por uma laje maciça de betão com 200 mm de espessura mais uma camada de forma de betão leve com 100 mm.	0,20	1,00

Pontes térmicas planas

Para as pontes térmicas planas, o RCCTE impõe que os valores dos coeficientes de transmissão térmica superficial (U) das heterogeneidades opacas inseridas na zona corrente não excedam os valores máximos admissíveis de U para os elementos opacos nem o dobro do valor de U dos elementos verticais ou horizontais em zona corrente.

Como sucedido na envolvente opaca exterior, houve um aumento da espessura do isolamento térmico, para reduzir as perdas energéticas durante a estação de aquecimento.

Tabela 50: Pontes térmicas planas

Descrição	U (W/m ² . °C)	U _{máx} (W/m ² . °C)
Talão de viga		
Talão de viga de betão armado da laje dos pavimentos intermédios e da laje de cobertura com 0,2 m de espessura, isolado pelo exterior com 175 mm de poliestireno expandido e rebocado pelo interior e exterior.	0,21	0,4 ≤ 1,60
Pilar de betão		
Parede exterior com pilar de betão de 0,2 m, isolada pelo exterior com 175 mm de poliestireno expandido e rebocada pelo interior e exterior.	0,21	0,4 ≤ 1,60

Pontes térmicas lineares

No que diz respeito às pontes térmicas lineares, apresentam-se na tabela seguinte as pontes térmicas lineares identificadas na variante eficiente da moradia geminada.

Tabela 51: Pontes térmicas

Ligações entre:	Ψ (W/m. °C)	Referência
Fachada com pavimentos térreos d = 0 m e z = 0,06 m	0,30	RCCTE, Tabela IV.3 - Ae
Fachada com pavimentos intermédios e _m = 0,29 m e e _p = 0,27 m	0,10	RCCTE, Tabela IV.3 - Ce
Fachada com cobertura inclinada ou terraço e _m = 0,29 m e e _p = 0,385 m	0,55	RCCTE, Tabela IV.3 - De

Vãos envidraçados

Na tabela seguinte apresentam-se os valores dos coeficientes de transmissão térmica U dos vãos envidraçados.

Tabela 52: Vãos envidraçados

Descrição	U [W/m ² . °C]
Sul: sala e suite; Norte: cozinha, quarto 1 e quarto 2; Vidro triplo low ε, com protecção pelo exterior (estores); Caixilharia de alumínio; Dispositivo de oclusão nocturna, cortina interior opaca.	1,10

Factores solares na estação de aquecimento

Na tabela seguinte encontram-se descritos os valores dos factores de sombreamento e os factores solares na estação de aquecimento, que traduzem a fracção da radiação solar disponível no exterior, transmitida para o interior do espaço útil sob a forma de radiação visível e térmica.

Tabela 53: Factores solares e de sombreamento na estação de aquecimento

Vãos envidraçados	X_j	$g_{\perp}$	F_s	F_g	F_w
Sul: sala e suite	1	0,63	0,9	0,7	0,9
Norte : cozinha, quarto 1 e quarto 2	0,27	0,63	0,9	0,7	0,9

Factores solares na estação de arrefecimento

Na tabela seguinte, apresentam-se os valores dos factores solares e de sombreamento na estação de arrefecimento.

Tabela 54: Factores solares e de sombreamento na estação de arrefecimento

Vãos envidraçados	$g_{\perp}'$	$g_{\perp V}$	$g_{\perp}$	F_s	F_g	F_w
Sul: sala e suite	0,07	0,75	0,274	0,9	0,7	0,85
Norte: cozinha, quarto 1 e quarto 2	0,07	0,75	0,274	0,9	0,7	0,85

2.4.2.2 Taxa de renovação horária nominal

Admitindo que a entrada e saída de ar nas instalações sanitárias é efectuada de forma natural e que existe apenas extracção na cozinha efectuada por intermédio de um exaustor, verifica-se, que segundo o RCCTE o edifício é ventilado naturalmente. Para a determinação da taxa nominal de renovação horária do ar interior, admitiu-se que o edifício está em conformidade com a norma NP 1037-1, obtendo o valor de $0,6 [h^{-1}]$.

2.4.2.3 Necessidades de aquecimento

De acordo com a metodologia descrita no Anexo V do RCCTE, a energia útil que é necessário fornecer à fracção autónoma para manter no seu interior a temperatura de referência de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, N_{IC} , é a indicada na tabela 55, onde se indica o valor limite das necessidades nominais de aquecimento N_I . As folhas de cálculo utilizadas para determinar as necessidades de aquecimento (FCIV.1a a FCIV.1f e FCIV.2) encontram-se no Anexo CD.

Tabela 55: Necessidades de aquecimento

N_{IC}	N_I
$[kWh/m^2.ano]$	$[kWh/m^2.ano]$
2,67	68,10

2.4.2.4 Necessidades de arrefecimento

De acordo com a metodologia descrita no Anexo V do RCCTE, a energia útil que é necessário retirar à fracção autónoma para manter no seu interior a temperatura de referência de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, N_{VC} , é a indicada na tabela 56, onde se indica o valor limite das necessidades nominais de arrefecimento N_V . As folhas de cálculo utilizadas para determinar as necessidades de arrefecimento (FCV.1a a FCV.1g) encontram-se no Anexo CD.

Tabela 56: Necessidades de arrefecimento

N_{VC}	N_V
$[kWh/m^2.ano]$	$[kWh/m^2.ano]$
7,71	16

2.4.2.5 Águas quentes sanitárias

De acordo com o RCCTE a contribuição de energia fornecida por colectores solares térmicos para preparação de águas quentes sanitárias, deverá ser calculada utilizando o programa SOLTERM do INETI. Assim, de acordo com o programa SOLTERM, a energia fornecida por um sistema solar ($\eta_0 = 0,758$, $a_1 = 2,8 \text{ W/m}^2/\text{K}$, $a_2 = 0,023 \text{ W/m}^2/\text{K}^2$), com 4 m^2 de área de captação é de aproximadamente 1670 kWh/ano para o concelho do Porto.

No cálculo das necessidades de aquecimento para preparação de águas quentes sanitárias, admitiu-se que o sistema de apoio utilizado é uma caldeira mural, com eficiência nominal de 87%. Na tabela 57 indica-se as necessidades de energia útil para preparação de águas quentes sanitárias e o seu valor máximo admissível nos termos do regulamento.

Tabela 57: Águas Quentes Sanitárias

N_{ac} [kWh/m ² .ano]	N_a [kWh/m ² .ano]
9,84	25,24

2.4.2.6 Energia primária

Na tabela 58 indicam-se as necessidades globais anuais específicas de energia primária e o seu valor máximo admissível nos termos regulamentares. Para o cálculo das necessidades de energia primária, considerou-se:

- Aquecimento realizado por intermédio de uma bomba de calor, com uma eficiência nominal de 4;
- Arrefecimento realizado por intermédio de uma bomba de calor, com uma eficiência nominal de 3;

Tabela 58: Energia primária

N_{tc} [kgep/m ² .ano]	N_t [kgep/m ² .ano]
0,94	4,16

2.4.3 Modelo de simulação detalhado do edifício em ESP-r

Para o modelo de simulação da variante eficiente da moradia geminada, serão descritas apenas as características modificadas relativamente ao modelo do caso de estudo da moradia geminada.

A figura 68 apresenta o modelo de simulação da variante eficiente da moradia geminada definida no software ESP-r.

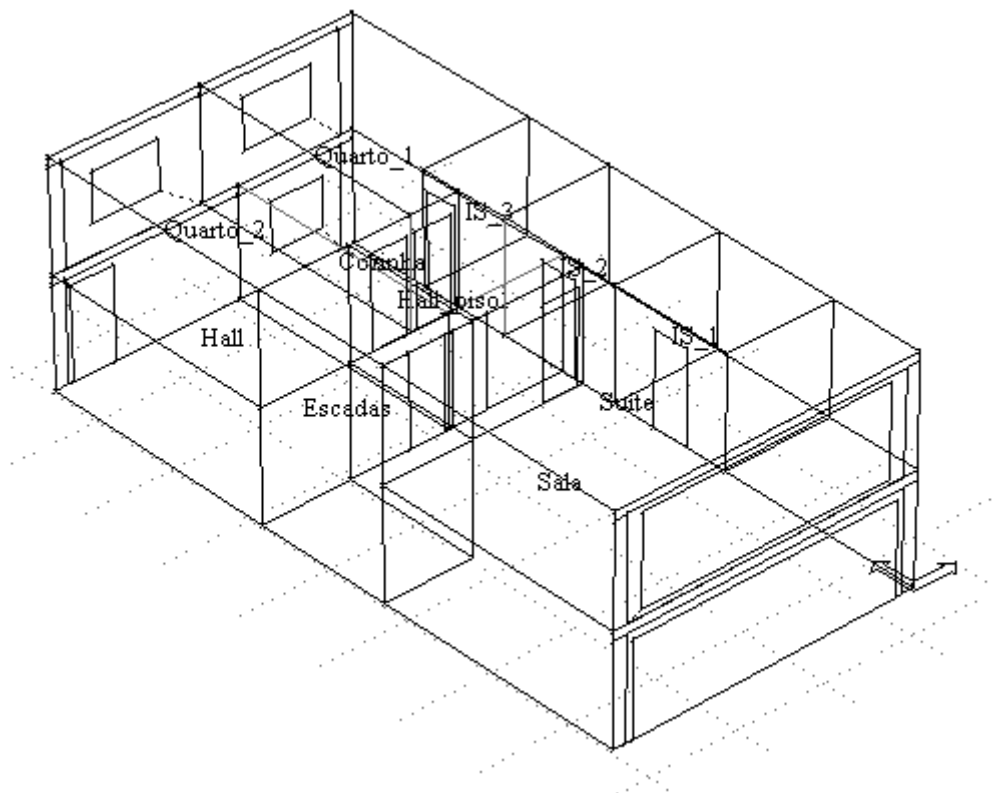


Figura 68: Modelo de simulação da moradia geminada

2.4.3.1 Propriedades dos vidros

As propriedades ópticas do vidro triplo low ϵ foram determinadas com recurso ao software WIS (Dijk, 2006). Estas propriedades foram determinadas tendo em conta a sua constituição física e o factor solar do vidro, determinado na aplicação do RCCTE à variante eficiente da moradia geminada. Os factores solares considerados foram os seguintes:

- Sem estore exterior: $g_1 = 0,63$
- Com estore exterior: $g_1 = 0,07$

Os coeficientes de absorção e transmissão, necessários para definir as propriedades do vidro triplo low ϵ , com e sem protecção exterior encontram-se representados nas figuras seguintes.

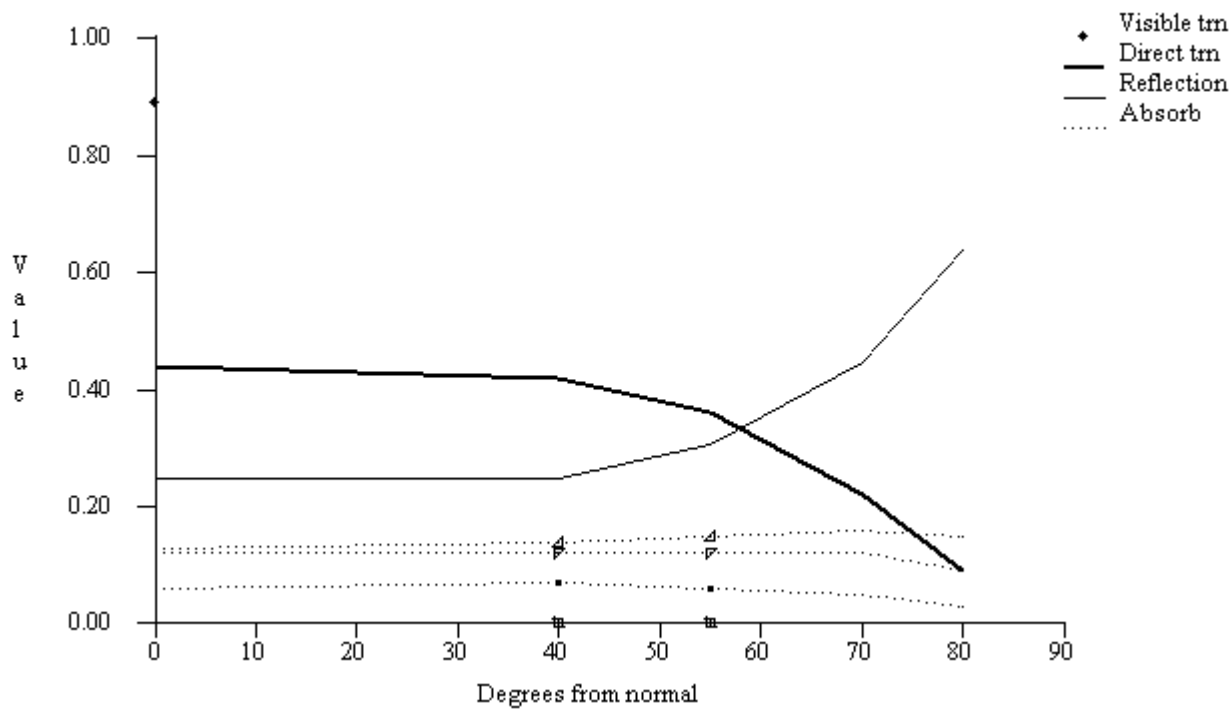


Figura 69: Propriedades ópticas do vidro triplo low ε sem protecção

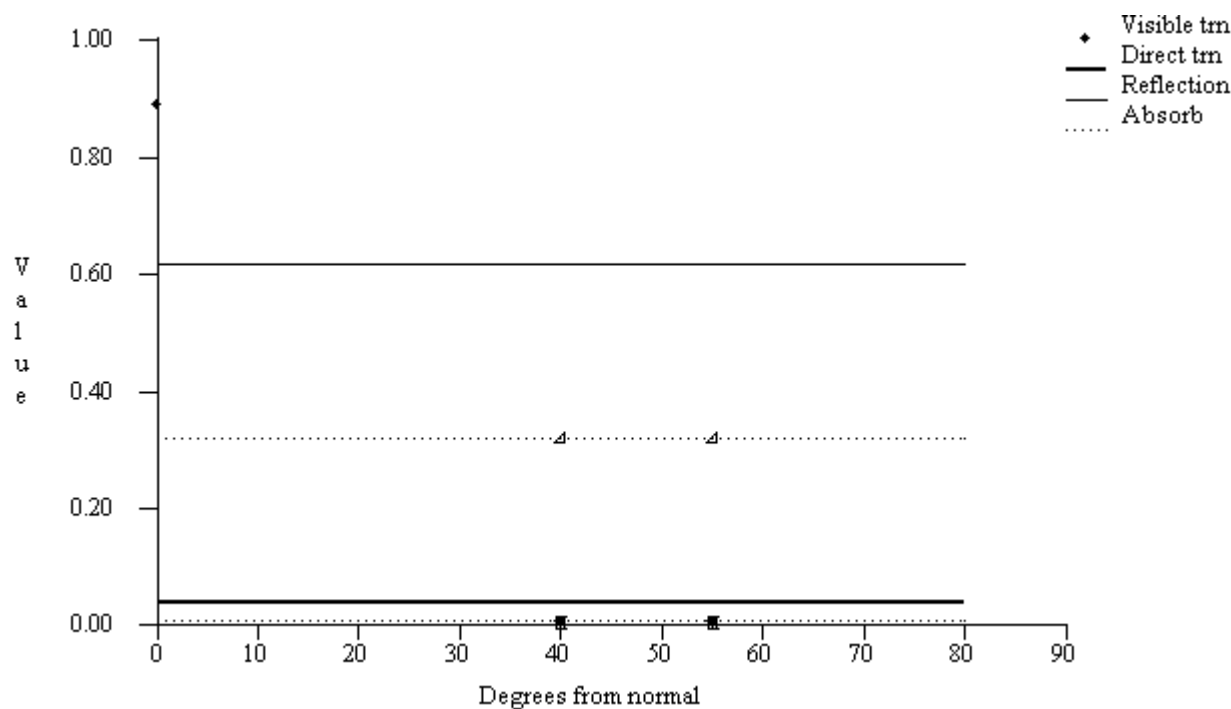


Figura 70: Propriedades ópticas do vidro triplo low ε com protecção exterior

2.4.3.2 Leis de controlo de sombreamento

Foram definidos diferentes set points da temperatura exterior, que promovem a actuação dos estores para a porta envidraçada da sala e para a janela da suite. Definiu-se um set point de 18 °C para a porta envidraçada da sala e 12 °C para a janela da suite, devido à elevada área destes elementos, que provocavam ganhos solares muito elevados durante a estação de arrefecimento e consequentemente elevadas necessidades energéticas de arrefecimento. Com estes set points foi possível reduzir as necessidades de arrefecimento no Verão sem provocar um aumento significativo das necessidades de aquecimento no Inverno.

Para controlar a posição dos sombreadores das janelas, foram definidos os seguintes critérios:

- Das 0 às 8h: utilização das propriedades ópticas para o vidro triplo low ϵ com protecção exterior;
- Das 8 às 21h: variação das propriedades ópticas do vidro triplo low ϵ em função da temperatura do ar exterior. Definiram-se três set points para a temperatura exterior; 18 °C para a porta envidraçada da sala; 12 °C para a janela da suite e 20 °C para as restantes janelas.
- Das 21 às 24h: utilização das propriedades ópticas para o vidro triplo low ϵ com protecção exterior;

2.4.3.3 Controlo de temperatura interior em regime condicionado

Definiu-se um controlador que permite manter a temperatura do ar interior entre 20 e 25 °C. Assim o controlador liga o sistema de aquecimento sempre que a temperatura interior é inferior a 20 °C ou liga o sistema de arrefecimento quando a temperatura é superior a 25 °C.

2.4.3.4 Pontes térmicas lineares

De forma a contabilizar as pontes térmicas lineares no modelo de simulação, será utilizada a equação 1.

Será utilizada a uma parede da fachada exterior, orientada a Norte. Foi seleccionada a parede do hall de entrada, que apresenta uma área total de 8,6 m², com um coeficiente de transmissão térmica de 0,2 W/m². °C. O somatório das pontes térmicas lineares da moradia geminada é de 14,49W/°C. Aplicando a eq.1 resulta um $U_{\text{equiv}} = 1,88 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

2.4.3.5 Clima

Recorreu-se à base de dados do INETI, onde se efectuou uma adaptação do formato do ficheiro climático do INETI, para um formato em ESP-r.

2.4.3.6 Simulação do edifício em regime condicionado

Será efectuado um estudo da variante eficiente da moradia em regime condicionado, com uma taxa de renovação de ar constante. Assim foi adoptado no modelo de simulação o valor da taxa de renovação horária nominal determinada na aplicação do RCCTE a moradia, onde se obteve o valor de $0,6 \text{ [h}^{-1}\text{]}$.

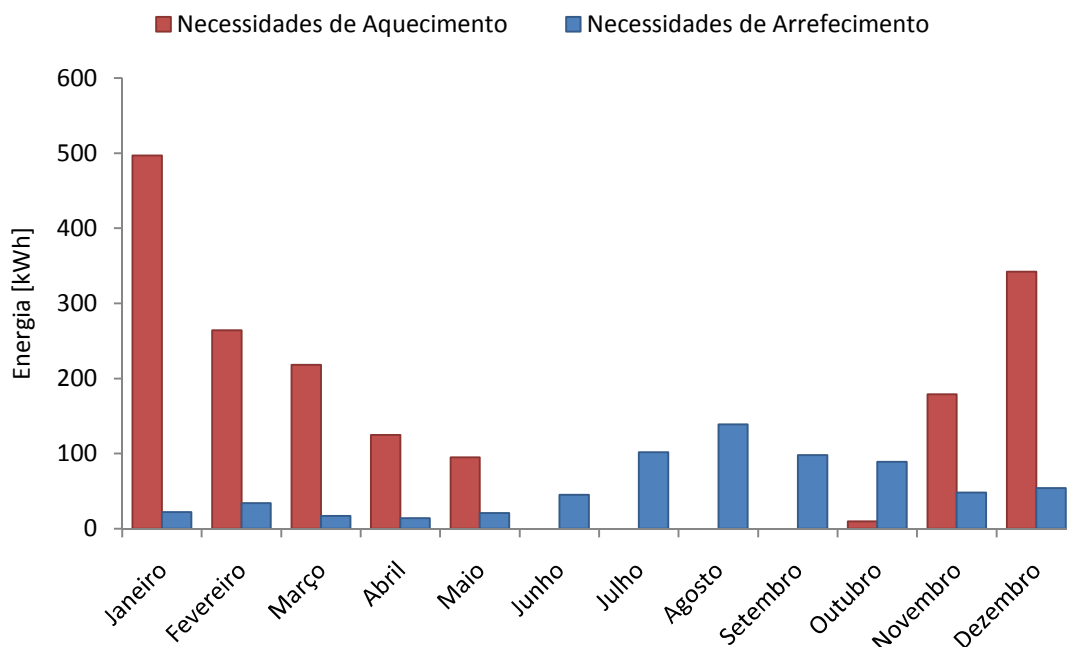


Figura 71: Necessidades de aquecimento e arrefecimento segundo a metodologia do RCCTE

De acordo com os resultados obtidos no programa de simulação ESP-r, a energia útil que é necessário fornecer à fracção autónoma, de forma a manter no seu interior a temperatura de referência de $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, e a energia útil que é necessário retirar à fracção autónoma, para manter no seu interior a temperatura de referência de $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, apresentam-se na tabela seguinte.

Tabela 59: Necessidades de aquecimento e arrefecimento

N_{IC} [kWh/m ² .ano]	N_{VC} [kWh/m ² .ano]
9,11	3,59

2.4.3.7 Simulação do edifício em free float com network flow

Para o estudo do edifício em regime de flutuação livre de temperaturas (se sistemas de climatização), na presente secção serão efectuadas alterações no modelo de simulação, ao nível da distribuição e circulação do ar no edifício, com o objectivo de obter uma maior aproximação do modelo de simulação à realidade. Para o efeito será utilizada a mesma rede de escoamento de ar do caso de estudo da moradia geminada, presente na figura 62, efectuando as devidas adaptações devido à nova orientação do edifício, assim como as mesmas leis de controlo de abertura de janelas.

Infiltrações

Empregando o mesmo método do caso de estudo da moradia geminada, efectuaram-se várias simulações de forma a otimizar a espessura das frinchas e a área das aberturas directas para o exterior, tendo sempre em consideração o valor da taxa de renovação horária, que deve ser no mínimo próxima de $0,6 \text{ [h}^{-1}\text{]}$.

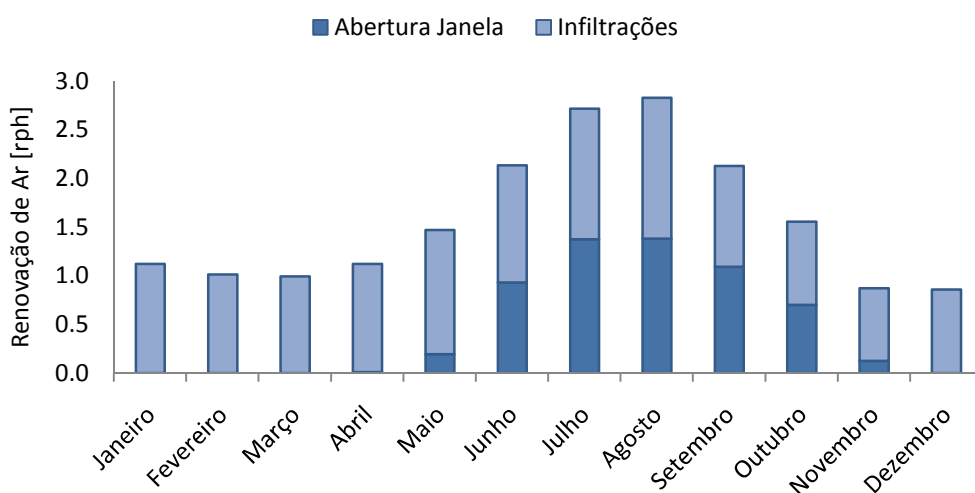


Figura 72: Renovação de ar na cozinha

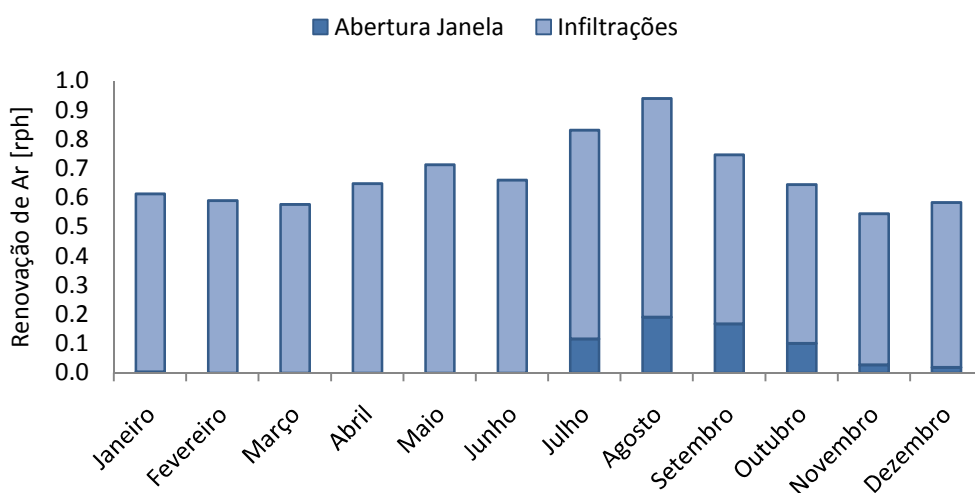


Figura 73: Renovação de ar na suite

Temperaturas interiores

De seguida será efectuada uma análise do comportamento do edifício para a situação de free float, com vista a analisar a evolução da temperatura interior, nas principais zonas do edifício.

Na figura seguinte adicionou-se mais uma zona para além das três zonas típicas adoptadas nos outros casos de estudo. Isto porque ao contrário do que sucedeu nos casos de estudo anteriores, no presente caso de estudo a cozinha não é a zona que apresenta as temperaturas interiores horárias mais elevadas. Assim adicionou-se uma quarta zona (Quarto), que tem a mesma orientação da cozinha (Norte), que permite comprovar que as baixas temperaturas do ar interior da cozinha relativamente à sala e suite (orientadas a Sul), devem-se à sua orientação e à maximização dos envidraçados das zonas orientadas a Sul.

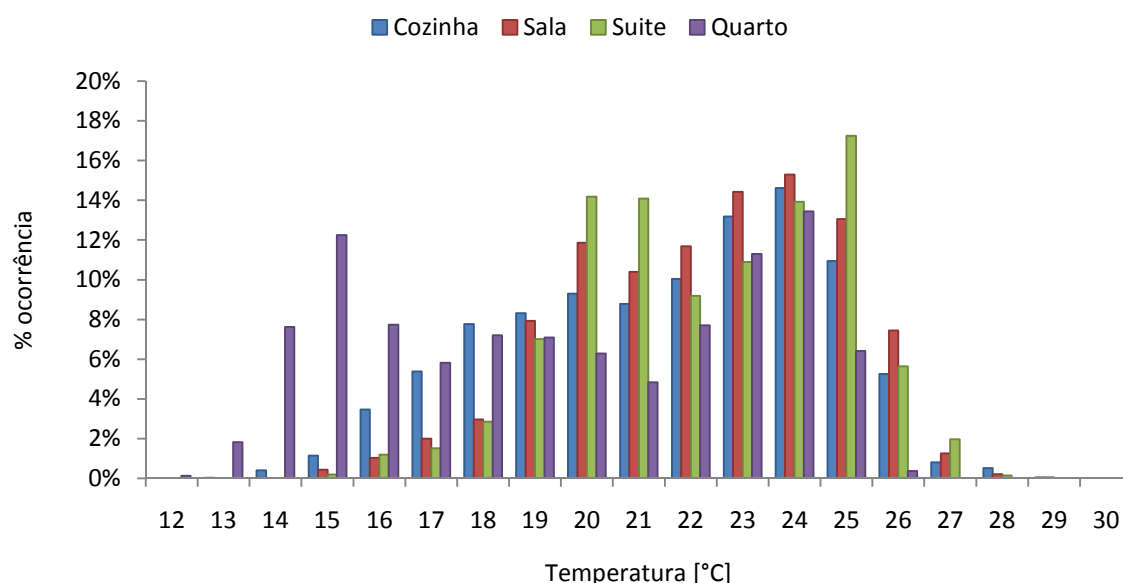


Figura 74: Histograma de temperaturas

Para determinar o número de horas anuais que cumprem os requisitos de conforto térmico, adoptou-se o método utilizado nos casos de estudos anteriores. A temperatura média mensal do ar exterior e os limites para temperatura de conforto constam na tabela 47, do caso de estudo da moradia geminada.

A tabela seguinte apresenta a percentagem de horas anuais dentro dos limites de conforto térmico.

Tabela 60: Percentagem de horas que cumprem os requisitos da norma ASHRAE 55-2004

Cozinha		Sala		Suite		Quarto	
$T > T_{\min}$	$T < T_{\max}$	$T > T_{\min}$	$T < T_{\max}$	$T > T_{\min}$	$T < T_{\max}$	$T > T_{\min}$	$T < T_{\max}$
68,3 %	98,6 %	88,6 %	100,0 %	89,9 %	99,7 %	20,0 %	100,0 %

Analisando a tabela anterior verifica-se um elevado número de horas que cumprem os requisitos de conforto para todas as zonas, durante a estação de arrefecimento ($T < T_{\max}$). Quanto à estação de aquecimento verifica-se um decréscimo desse número principalmente no quarto e na cozinha. Isto deve-se principalmente à orientação do edifício e às áreas dos envidraçados, não sendo tão relevante para a cozinha devido aos elevados ganhos internos.

A evolução do número de horas mensais dentro do conforto térmico encontra-se representada na figura seguinte.

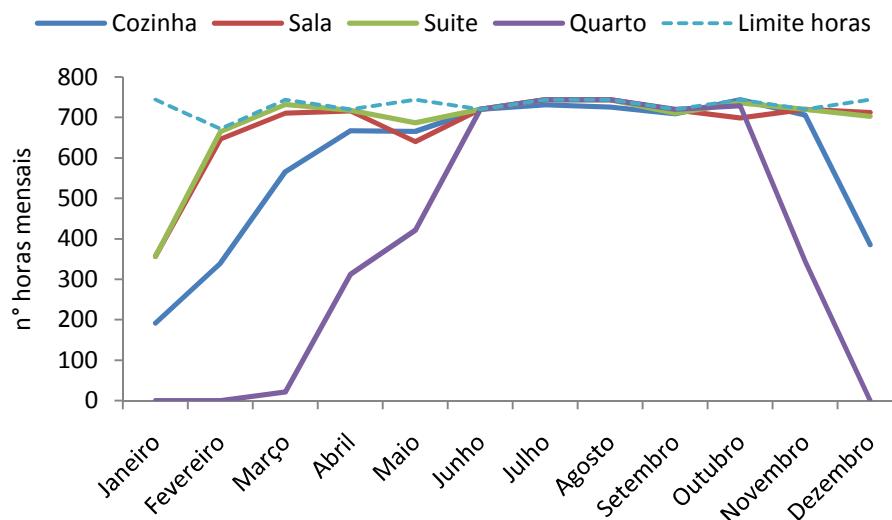


Figura 75: Evolução do número de horas mensais dentro do conforto térmico

Analisando o gráfico verifica-se que durante os meses da estação de arrefecimento existe um elevado número de horas mensais dentro da gama de temperaturas com conforto, como verificado na tabela anterior, o que mostra que considerando a abertura de janelas, o edifício apresenta baixas necessidades de arrefecimento. Durante os meses da estação de aquecimento verifica-se um decréscimo do número de horas dentro do conforto, principalmente para as zonas com a fachada exterior orientada a Norte, o que implica naturalmente maiores necessidades energéticas de aquecimento.

3 ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1 Estação de aquecimento em regime condicionado

Com base nos casos de estudo reportados no capítulo 2, e utilizando o modelo de regressão linear simples foi estabelecida uma relação linear entre os resultados das necessidades energéticas de aquecimento obtidos a partir de um método de simulação detalhada (ESP-r) e a partir de um método simplificado (RCCTE).

O diagrama de dispersão da figura 76 apresenta uma relação linear, com alguma intensidade, entre as necessidades energéticas de aquecimento obtidas pelos dois métodos, ESP-r e RCCTE e com uma clara proporcionalidade directa. A qualidade do grau de ajuste da recta de regressão é definida pelo coeficiente de determinação, $r^2 = 73 \%$, que representa a proporção da variação das necessidades de aquecimento do RCCTE que é explicada pela regressão.

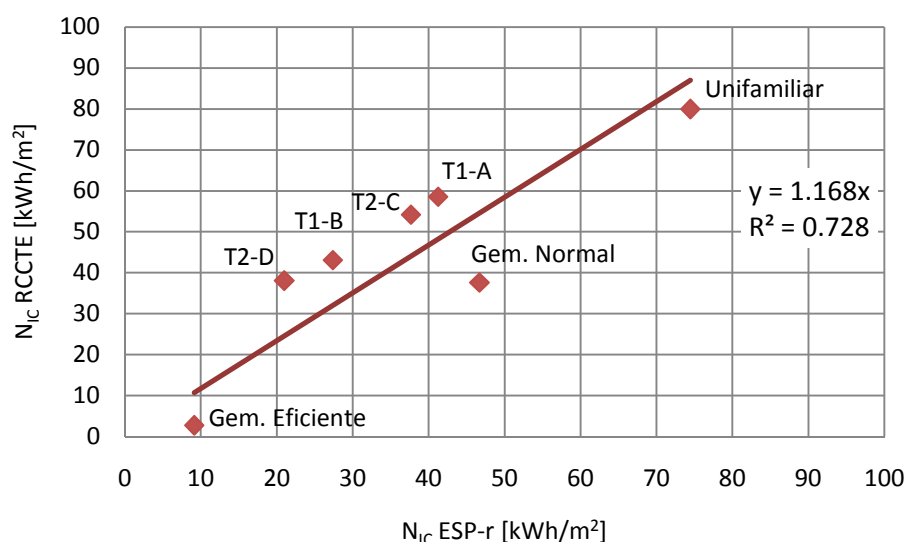


Figura 76: Relação linear entre o RCCTE e o ESP-r para as necessidades de aquecimento

3.1.1 Testes de hipóteses à relação linear

Será utilizado de seguida o método de teste de validade de regressão de linear simples, conforme descrito em (Guimarães, Cabral, 2007) e detalhado no Anexo E. Os testes indicados seguem o princípio habitual de propor uma hipótese nula, uma hipótese alternativa e uma regra de rejeição, para um nível de significância de 5%. Isto significa que a probabilidade do

teste rejeitar uma hipótese nula que fosse verdadeira é inferior a 0,05, mas nada diz sobre o erro complementar, ou seja, não rejeitar a hipótese nula, sendo esta falsa.

Para α' , a estrutura de teste resulta das seguintes expressões (Guimarães, Cabral, 2007):

$$\begin{aligned} H_0: \alpha' &= \alpha'_0 \\ H_1: \alpha' &\neq \alpha'_0, \alpha' > \alpha'_0 \text{ ou } \alpha' < \alpha'_0 \\ ET &= \frac{(A - \bar{X} \cdot B) - \alpha'_0}{S \cdot \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{\bar{X}^2}{S_{XX}}}} \\ H_0 \text{ verdadeira} &\Rightarrow ET \sim t_{N-2} \end{aligned}$$

Para β , a estrutura de teste resulta das seguintes expressões (Guimarães, Cabral, 2007):

$$\begin{aligned} H_0: \beta &= \beta_0 \\ H_1: \beta &\neq \beta_0, \beta > \beta_0 \text{ ou } \beta < \beta_0 \\ ET &= \frac{B - \beta_0}{S/\sqrt{S_{xx}}} \\ H_0 \text{ verdadeira} &\Rightarrow ET \sim t_{N-2} \end{aligned}$$

Teste de hipótese para o parâmetro α' :

Para esta análise, será testada a hipótese $H_0: \alpha' = 0$ contra $H_1: \alpha' \neq 0$, para um nível de significância de 5%.

A estatística de teste (ET) seguirá uma distribuição t_{N-2} se H_0 for verdadeira.

$$ET = 0,827 < t_5(\alpha = 0.025) = 2,571$$

A hipótese nula não é rejeitada ao nível de significância de 5% (com um valor de prova de 44,6%), pelo que é possível passar a recta de regressão pela origem.

Teste de hipótese para o parâmetro β :

Será efectuado um teste unilateral, uma vez que é apenas plausível que Y cresça com X, ou seja, $\beta > 0$. As hipóteses em apreço são:

$$\begin{aligned} H_0: \beta &= 0 \\ H_1: \beta &> 0 \end{aligned}$$

E a estatística de teste

$$ET = \frac{\beta - \beta_0}{S/\sqrt{S_{xx}}}$$

Seguirá uma distribuição t_{N-2} se H_0 for verdadeira.

$$ET = 3,995 > t_5(\alpha = 0.05) = 2,015$$

A hipótese H_0 ($\beta = 0$) é rejeitada ao nível de significância de 5 % (com um valor de prova de 1,04 %). Uma vez que $\beta > 0$ verifica-se que existe uma relação linear significativa entre as variáveis X e Y. Nestas condições pode adoptar-se a recta de regressão estimada.

3.1.2 Potenciais diferenças dos resultados de ambos os métodos

Efectuando uma análise detalhada ao nível de cada caso de estudo, verificam-se diferenças consideráveis nos resultados obtidos por intermédio de cada método. Assim efectuou-se também um estudo do desvio absoluto médio (DAM) para avaliar a dispersão dos resultados.

$$DAM = \frac{\sum_{i=1}^N |y_i - x_i|}{N} \quad (\text{eq.2})$$

A partir da equação 2 determinou-se o desvio absoluto médio, onde se obteve o valor de 12,5 kWh/m².

Com vista a interpretar as potenciais diferenças de resultados de ambos os métodos, efectuou-se no capítulo 2 um estudo detalhado dos resultados, no caso de estudo do edifício de apartamentos na fracção autónoma T1-A, onde foi possível constatar que as principais diferenças ao nível dos resultados das necessidades energéticas de aquecimento se deviam essencialmente aos efeitos dinâmicos e de armazenamento relacionados com os ganhos internos, os ganhos solares e a transferência de calor por condução na envolvente opaca exterior.

Quanto aos ganhos internos, o valor adoptado pelo RCCTE é de 4 W/m². Para o modelo de simulação de cada caso de estudo foram determinados os perfis de ocupação, equipamentos e iluminação, onde foi possível verificar que o valor médio dos ganhos internos variou de forma significativa perante o tipo de edifício residencial que foi tratado. Por exemplo no caso de estudo do edifício de apartamentos numa fracção autónoma de tipologia T2 obteve-se um valor de 6,6 W/m², enquanto no caso de estudo da moradia geminada este valor foi de 3,2 W/m². Esta diferença deve-se essencialmente à área de pavimento útil de cada edifício, uma vez que a potência dos equipamentos e da iluminação não varia muito dentro das várias tipologias de edifícios. Isto implica naturalmente diferenças nas necessidades energéticas de aquecimento.

Para a transferência de calor pela envolvente opaca em contacto com o exterior, as diferenças devem-se principalmente à simplificação adoptada pelo RCCTE na contabilização dinâmica do clima.

3.2 Estação de arrefecimento em regime condicionado

Para a estação de arrefecimento efectuou-se um diagrama de dispersão com base nos resultados dos casos de estudo reportados no capítulo 2, para analisar a relação entre os resultados das necessidades energéticas de arrefecimento obtidos a partir do ESP-r e do RCCTE.

O diagrama de dispersão da figura 77 apresenta uma relação linear forte, entre as necessidades energéticas de arrefecimento obtidas pelos dois métodos, ESP-r e RCCTE e com uma clara proporcionalidade directa. O coeficiente de determinação, $r^2 = 92\%$, representa a proporção da variação das necessidades de arrefecimento do RCCTE que é explicada pela regressão. Apesar dito, deve notar-se que o factor de proporcionalidade é cerca de 1,73, relativamente longe de 1.

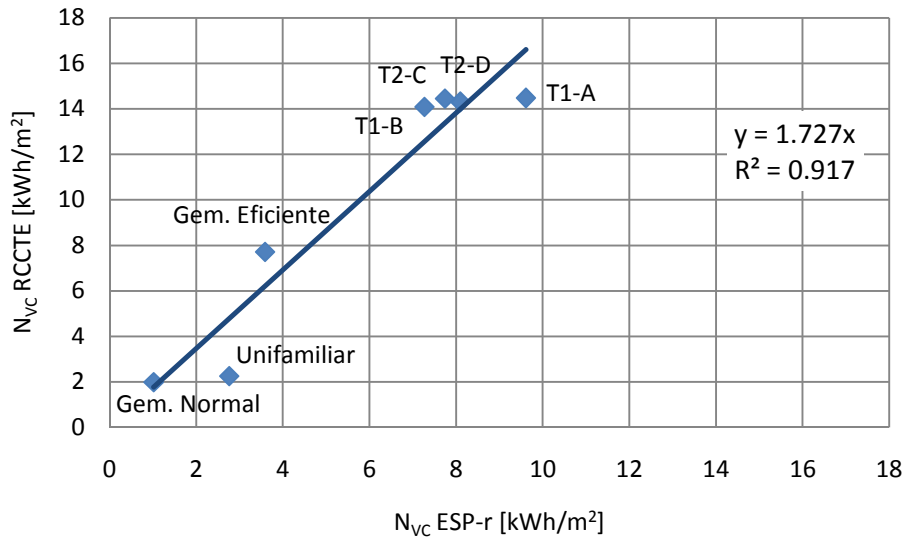


Figura 77: Relação entre as necessidades de arrefecimento do RCCTE e do ESP-r

3.2.1 Testes de hipóteses à relação linear

Teste de hipótese para o parâmetro α' :

Para esta análise, será testada a hipótese $H_0: \alpha' = 0$ contra $H_1: \alpha' \neq 0$, para um nível de significância de 5%.

A estatística de teste seguirá uma distribuição t_{N-2} se H_0 for verdadeira.

$$ET = -0,013 < t_5(\alpha = 0.025) = 2,571$$

A hipótese nula não é rejeitada ao nível de significância de 5% (com um valor de prova de 99 %), pelo que se torna evidente que é possível passar a recta de regressão pela origem.

Teste de hipótese para o parâmetro β :

Será efectuado um teste unilateral, uma vez que é apenas plausível que Y cresça com X, ou seja, $\beta > 0$. As hipóteses em apreço são:

$$H_0: \beta = 0$$

$$H_1: \beta > 0$$

Seguirá uma distribuição t_{N-2} se H_0 for verdadeira.

$$ET = 7,48 > t_5(\alpha = 0.05) = 2,015$$

A hipótese $H_0 (\beta = 0)$ é rejeitada ao nível de significância de 5 % (com um valor de prova de 0,07%). Uma vez que $\beta > 0$ verifica-se que existe uma relação linear significativa entre as variáveis X e Y. Nestas condições pode adoptar-se a recta de regressão estimada.

3.2.2 Potenciais diferenças dos resultados de ambos os métodos

Realizando novamente uma análise detalhada ao nível de cada caso de estudo, verificam-se algumas diferenças nos resultados obtidos por ambos os métodos, implícito no valor do desvio absoluto médio de 4,3 kWh/m².

Tal como verificado na estação de aquecimento, novamente as diferenças de resultados devem-se essencialmente aos ganhos internos, aos ganhos solares pelos vãos envidraçados e envoltente opaca exterior.

Quanto aos ganhos solares a principal diferença reside no facto de o valor do factor solar do vão envidraçado, durante a estação de arrefecimento no RCCTE ser obtido considerando que os dispositivos de sombreamento móveis se encontram activos a 70%, enquanto o ESP-r permite controlar a posição do dispositivo de sombreamento de forma dinâmica, em função da hora, da incidência solar e da temperatura exterior.

3.3 Estação de aquecimento em regime de free float para o ESP-r

O diagrama de dispersão da figura seguinte apresenta uma relação linear entre as necessidades energéticas de aquecimento determinadas a partir do ESP-r e a percentagem do número de horas da estação de aquecimento com a temperatura interior superior ao limite mínimo de conforto (Anexo C), também determinadas a partir do ESP-r.

Analisando a figura 78 verifica-se que existe uma relação linear moderada, entre as necessidades energéticas de aquecimento do ESP-r e o número de horas de conforto. A recta de regressão apresenta uma proporcionalidade inversa. A qualidade do grau de ajuste da recta de regressão é definida pelo coeficiente de determinação, $r^2 = 67\%$, que representa a proporção da variação do número de horas que verificam os requisitos de conforto térmico que é explicada pela regressão.

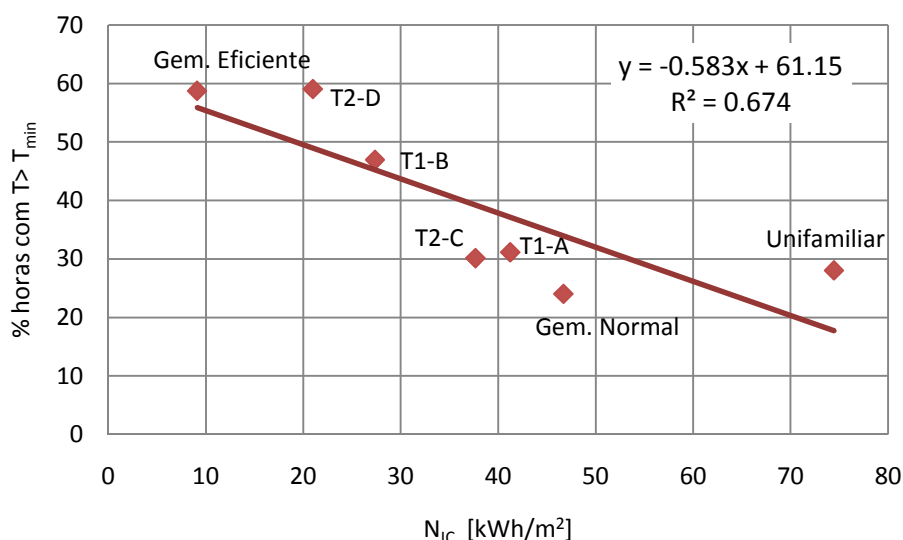


Figura 78: Relação entre a % de horas com $T > T_{min}$ e o N_{IC} do ESP-r

De um modo geral verifica-se que os casos de estudo com maiores necessidades de aquecimento apresentam um número de horas de conforto inferior aos casos de estudo com menores necessidades de aquecimento. No entanto efectuando um estudo detalhado ao nível de cada caso de estudo, constata-se que alguns casos apresentam um número de horas de conforto superior a outros casos com necessidades de aquecimento inferiores. Nomeadamente a moradia geminada tem menos horas de conforto que a habitação unifamiliar, apesar de ter necessidades de aquecimento inferiores.

É importante referir que os casos de estudo que apresentam níveis de conforto superiores durante a estação de aquecimento dispõem de sistemas solares passivos que permitem um melhor comportamento do edifício, nomeadamente a orientação do edifício e a existência de maiores envidraçados orientados a Sul. Para o caso de estudo da variante eficiente da moradia geminada houve também a redução do coeficiente global de transferência de calor, e a utilização de envidraçados com vidro triplo low ϵ , o que vai contribuir para uma redução das necessidades energéticas de aquecimento, e o natural aumento do conforto térmico.

3.3.1 Testes de hipóteses à relação linear

Será efectuado um teste unilateral, uma vez que é apenas plausível que Y decresça com X , ou seja, $\beta < 0$. As hipóteses em apreço são:

$$H_0: \beta = 0$$

$$H_1: \beta < 0$$

Seguirá uma distribuição t_{N-2} se H_0 for verdadeira.

$$ET = -3,21 < t_5(\alpha = 0.95) = -2,015$$

A hipótese H_0 ($\beta = 0$) é rejeitada ao nível de significância de 5 %. Uma vez que $\beta < 0$ verifica-se que existe uma relação linear significativa entre as variáveis X e Y . Nestas condições pode adoptar-se a recta de regressão estimada.

3.4 Estação de aquecimento em regime de free float para o RCCTE

O diagrama de dispersão apresentado na figura seguinte mostra uma relação linear entre as necessidades energéticas de aquecimento determinadas a partir do RCCTE e a percentagem do número de horas da estação de aquecimento acima da temperatura de conforto, determinadas a partir do ESP-r.

Analisando a figura 79 verifica-se que existe uma relação linear fraca, entre as necessidades energéticas de aquecimento do RCCTE e o número de horas de conforto. A recta de regressão apresenta uma proporcionalidade inversa. O coeficiente de determinação neste caso é apenas 46 %.

Efectuando uma análise pormenorizada dos casos de estudo constata-se que existem algumas dispersões relevantes. Como a moradia geminada e a fracção autónoma T2-D do edifício de apartamentos, que apresentam necessidades de aquecimento similares, e contudo a moradia geminada tem menos de metade das horas de conforto relativamente à fracção autónoma T2-D. Também existem casos de estudo com percentagens de horas de conforto similares e com necessidades de aquecimento muito diferentes, como é o caso da moradia geminada e a habitação unifamiliar.

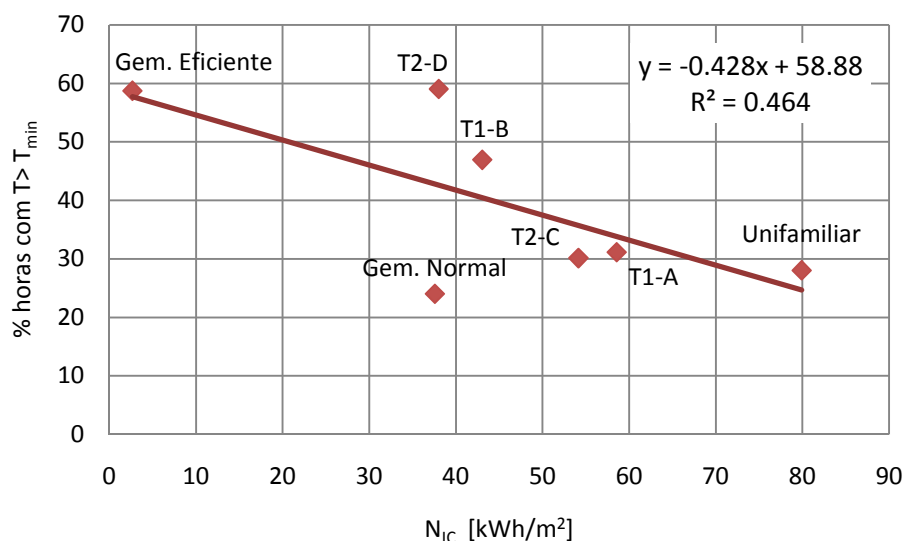


Figura 79: Relação entre % de horas com $T > T_{min}$ e o N_{IC} do RCCTE

3.4.1 Testes de hipóteses à relação linear

Será efectuado um teste unilateral, uma vez que é apenas plausível que Y decresça com X , ou seja, $\beta < 0$. As hipóteses em apreço são:

$$H_0: \beta = 0$$

$$H_1: \beta < 0$$

Seguirá uma distribuição t_{N-2} se H_0 for verdadeira.

$$ET = -2,08 < t_5(\alpha = 0.95) = -2,015$$

A hipótese H_0 ($\beta = 0$) é rejeitada ao nível de significância de 5 %. Uma vez que $\beta < 0$ verifica-se que existe uma relação linear significativa entre as variáveis X e Y . Nestas condições pode adoptar-se a recta de regressão estimada.

No entanto, conclui-se que estes casos de estudo não permitem estabelecer uma relação sólida entre as necessidades de aquecimento determinadas por um método simplificado (RCCTE) e a percentagem do número de horas dentro de conforto térmico determinadas por intermédio de um método de simulação detalhada (ESP-r). De facto, esta relação torna-se mais aceitável quando é definida a partir dos resultados determinados exclusivamente por intermédio do software de simulação dinâmica.

3.5 Estação de arrefecimento em regime de free float para o ESP-r

Analisando o diagrama de dispersão apresentado na figura 80 verifica-se que existe uma relação linear relativamente moderada, entre as necessidades energéticas de arrefecimento determinadas pelo ESP-r, e o número de horas de conforto, também determinadas pelo ESP-r. A recta de regressão apresenta uma proporcionalidade inversa. O coeficiente de determinação neste caso é de 61%.

A relação linear apresentada na figura 80 tem uma certa tendência de proporcionalidade inversa. Observando a figura torna-se perceptível a elevada percentagem do número de horas que cumprem os requisitos de conforto térmico, situando-se sempre acima dos 96 % em todos os casos de estudo.

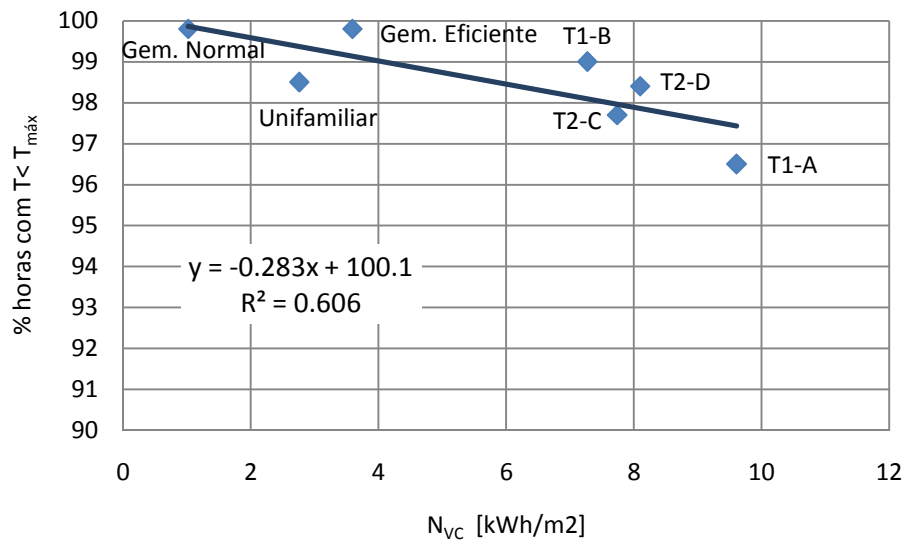


Figura 80: Relação entre a % de horas com $T < T_{máx}$ e o N_{VC} do ESP-r

3.5.1 Testes de hipóteses à relação linear

Será efectuado um teste unilateral, uma vez que é apenas plausível que Y decresça com X, ou seja, $\beta < 0$. As hipóteses em apreço são:

$$H_0: \beta = 0$$

$$H_1: \beta < 0$$

Seguirá uma distribuição t_{N-2} se H_0 for verdadeira.

$$ET = -2,78 < t_5(\alpha = 0.95) = -2,015$$

A hipótese H_0 ($\beta = 0$) é rejeitada ao nível de significância de 5 %. Uma vez que $\beta < 0$ verifica-se que existe uma relação linear significativa entre as variáveis X e Y. Nestas condições pode adoptar-se a recta de regressão estimada.

3.6 Estação de arrefecimento em regime de free float para o RCCTE

O diagrama de dispersão seguinte apresenta uma relação linear entre as necessidades energéticas de arrefecimento, determinadas a partir do RCCTE e a percentagem do número de horas de conforto da estação de arrefecimento, determinadas a partir do ESP-r.

A relação linear apresentada na figura 81 tem uma certa tendência de proporcionalidade inversa, como verificado na análise anterior, sendo que neste caso o declive da linha de tendência é muito próximo de zero, o que significa que é quase horizontal. Assim é possível verificar a relativa independência entre as necessidades de arrefecimento e o número de horas que cumpre os requisitos de conforto térmico e que se situa sempre acima dos 96 %.

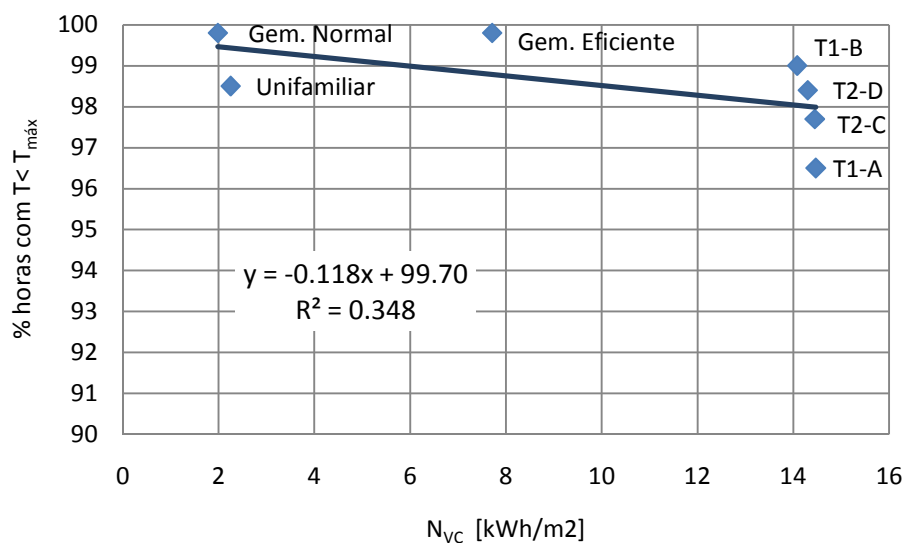


Figura 81: Relação entre a % de horas com $T < T_{máx}$ e o N_{VC} do RCCTE

3.6.1 Testes de hipóteses à relação linear

Será efectuado um teste unilateral, uma vez que é apenas plausível que Y decresça com X, ou seja, $\beta < 0$. As hipóteses em apreço são:

$$H_0: \beta = 0$$

$$H_1: \beta < 0$$

Seguirá uma distribuição t_{N-2} se H_0 for verdadeira.

$$ET = -1,63 > t_5(\alpha = 0.975) = -2,015$$

A hipótese H_0 ($\beta = 0$) não é rejeitada. Assim ao nível de significância de 5%, conclui-se que não se verifica uma relação linear estatisticamente significativa entre as necessidades de arrefecimento determinadas pelo RCCTE e o número de horas de conforto desta estação.

4 CONCLUSÕES E POSSIBILIDADES DE TRABALHO FUTURO

O presente trabalho visou dois pontos fundamentais: em primeiro lugar obter uma relação quer para as necessidades de aquecimento quer para as necessidades de arrefecimento, determinadas por intermédio de um método simplificado, o RCCTE, e por um método de simulação detalhada, o ESP-r. E em segundo lugar avaliar a relação entre o desempenho aferido em regime condicionado (por intermédio do ESP-r ou do RCCTE), e o desempenho aferido por simulação detalhada em regime de flutuação livre de temperaturas.

Para a estação de aquecimento foi possível obter uma relação linear significativa entre as necessidades de aquecimento determinadas a partir do RCCTE e as determinadas a partir do ESP-r, com uma clara proporcionalidade directa. Esta relação poderá ainda ser melhorada, adicionando mais casos de estudo, com vista a obter uma relação matemática mais sólida.

Na estação de arrefecimento obteve-se uma relação linear muito forte entre as necessidades de arrefecimento determinadas a partir do ESP-r e do RCCTE, com uma clara proporcionalidade directa. É de referir que a qualidade de ajuste da recta de regressão definida pelo coeficiente de determinação foi de 92 %. Assim conclui-se que obteve-se uma correlação matemática sólida nesta análise, ainda que o declive da recta seja significativamente diferente de 1.

Efectuou-se também, uma análise detalhada dos resultados do caso de estudo do edifício de apartamentos na fracção autónoma T1-A, que revelou que as principais diferenças de resultados de ambos os métodos se devem essencialmente aos ganhos internos, aos ganhos solares e aos efeitos dinâmicos da transferência de calor por condução através da envolvente opaca exterior.

Na análise do edifício em free float, durante a estação de aquecimento obteve-se uma relação linear moderada entre as necessidades de aquecimento determinado a partir do ESP-r e o número de horas de conforto, também determinadas a partir do ESP-r.

No caso da relação entre as necessidades de aquecimento determinadas a partir do RCCTE e o número de horas de conforto determinadas a partir do ESP-r, obteve-se uma relação linear fraca, com proporcionalidade inversa. Assim conclui-se que estes casos de estudo não permitem ainda estabelecer uma relação matemática sólida. De facto, esta relação torna-se mais aceitável quando é definida a partir dos resultados determinados exclusivamente por intermédio do software de simulação dinâmica, ESP-r.

Também é importante referir que, como esperado, os edifícios energeticamente mais eficientes foram os que na sua concepção arquitectónica integravam princípios da utilização

da energia solar passiva, como a orientação e os envidraçados orientados a Sul, e naturalmente foram os que apresentaram melhores índices de conforto térmico.

Durante a estação de aquecimento, verificou-se um número relativamente baixo de horas em que a temperatura interior era superior à temperatura mínima de conforto. Assim conclui-se que, nestes casos de estudo os sistemas de aquecimento são efectivamente necessários para manter os edifícios mais tempo com conforto térmico.

Na análise do edifício em free float durante a estação de arrefecimento obteve-se uma relação linear moderada entre as necessidades energéticas de arrefecimento determinadas a partir do ESP-r e o número de horas de conforto.

Para a relação entre as necessidades de arrefecimento determinadas a partir do RCCTE e o número de horas de conforto determinadas a partir do ESP-r, verificou-se que estes casos de estudo não permitem ainda obter uma relação linear. Também se constatou que o número de horas em que temperatura interior era inferior ao limite máximo de temperaturas definido pela norma ASHRAE 55-2004, era na prática independente das necessidades de arrefecimento, sendo sempre superior a 96 %.

Ao longo da análise dos casos de estudo no capítulo 2, verificou-se também que uma elevada percentagem das necessidades de arrefecimento existente nos edifícios se situavam na cozinha, devido aos elevados ganhos internos da zona, o que na prática habitualmente se resolve com incremento de ventilação.

Durante a estação de arrefecimento, conclui-se que abertura de janelas nos períodos correctos, tende a ser suficiente para promover o arrefecimento do edificio, sem haver necessidade de recorrer a equipamentos de ar condicionado.

Um dos pontos de expansão do trabalho actual, será o objectivo pretendido no projecto em que se insere este trabalho, que visa o desenvolvimento de ferramentas que possam expandir o potencial do RCCTE para a promoção da climatização passiva, e contribuir para evitar a necessidade de recurso a equipamentos de ar condicionado para arrefecimento de edifícios residenciais.

5 REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA

- ADENE – *Manual de procedimentos para entidades licenciadoras*. ADENE, Agência para a Energia, 2007.
- Aguiar, Ricardo; Carvalho, Maria – *Manual de Instalação e Utilização do Solterm*. INETI, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, 2007.
- ANSI/ASHRAE - *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Standard 55 – 2004.
- Attali, S.; Brotas, L.; Guzman, G; Pindar, A.; Fernandez, J. - *Review of Existing Low Energy and Passive Best Practice*, Passive-On, 2006.
- Beausoleil-Morrison, Ian - *The adaptive coupling of heat and air flow modelling within dynamic whole-building simulation*. University of Strathclyde, Glasgow UK, 2000.
- Communities and local Government – *Building Regulations: Energy efficiency requirements for new dwellings*. Department for Communities and Local Government, 2007.
- Communities and local Government – *Homes for the future: more affordable, more sustainable*. Department for Communities and Local Government, 2007.
- Dijk, v; Oversloot, Henk – *WIS, The European Tool to Calculate Thermal and Solar Properties of Windows and Window Components*. TNO Building and Construction Research, Delft, Holanda, 2003.
- Dijk, v. *WIS - Advanced Windows Information System*. Delft-Netherlands, EU Thematic Network WinDat, 2003.
- EnergyPlus – *Auxiliary EnergyPlus Programs: To Increase Your Efficiency at Using EnergyPlus*, 2007.
- ESRU - *Data Model Summary, ESP-r, Version 9 Series*. ESRU Report TR96/2University of Strathclyde, 1996.
- ESRU - *The ESP-r System for Building Energy Simulation: User Guide Version 10 Series*, ESRU manual U02/1. Energy Systems Research Unit, University of Strathclyde, Glasgow, Escócia, 2002.
- Gonçalves, Helder; Brotas, Luisa – *A norma passivhaus em climas quentes da Europa: Directrizes de projectos para casas confortáveis de baixo consumo energético*. INETI, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, 2007.

- Gonçalves, Helder; Graça, João – *Conceitos Bicromáticos para os Edifícios em Portugal*. INETI, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, 2004
- Gonçalves, Helder; Maldonado, Eduardo – *Manual de apoio à aplicação do RCCTE*. INETI, Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, 2007.
- Guimarães, Rui; Cabral, José – *Estatística*. FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.
- Hand, Jon W. - *The ESP-r: cookbook*. 2006.
- Hensen, J.L.M. - *Integrated building airflow simulation*. Technical University of Eindhoven, 2003.
- Jon Hand, Paul Strachan - *ESP-r Data Model Decomposition*. ESRU TR 98/9 University of Strathclyde, 1998.
- Leal, Vítor; Maldonado, Eduardo – *The impact of ventilation on heating and cooling energy demand: Report for the dwelling case study*. IDMEC, Instituto de Engenharia Mecânica, 2000.
- Leal, Vítor – *Thermal and Energetic Analysis of a Naturally Ventilated Reversible Window*. FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.
- Nascimento, Carlos; Gonçalves, Helder – *Prémio DGE 2003 – Eficiência Energética em Edifícios*, Lisboa, 2005.
- Pina dos Santos, Carlos; Matias, Luís - *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.
- RCCTE - *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, 2006.
- UE – *Actividades da União Europeia*. Sínteses da legislação, 2007.
- Disponível em <http://europa.eu/scadplus/leg/pt/s14000.htm>

ANEXO A: Modelo térmico do software ESP-r

Neste anexo pretende-se apresentar a metodologia de simulação térmica do software ESP-r. Em primeiro lugar será apresentado a abordagem de um balanço térmico por volume de controlo com diferenças finitas. De seguida é apresentado o balanço térmico para um material no interior de uma construção opaca com várias camadas de materiais. Finalmente é apresentado a modelação da transferência de calor por convecção para uma determinada zona, a partir de um balanço térmico ao ar da zona.

Abordagem do balanço térmico por volume de controlo com diferenças finitas

O ESP-r efectua a simulação térmica de um edifício, aplicando uma formulação de diferenças finitas, baseada num balanço térmico e volumes de controlo, de forma a representar todas as trocas de calor (Beausoleil-Morrison, 2000). Este processo envolve três passos fundamentais:

1. O edifício é discretizado de forma a representar volumes de ar (zonas como quartos, salas, etc.), construções opacas e transparentes (paredes, janelas, coberturas, pavimentos), interfaces sólido-fluido (como as superfícies internas e externas de paredes e janelas), e equipamentos de climatização (como caldeiras), a partir de nós, segundo o método das diferenças finitas. Nas construções opacas são colocados diversos nós para representar as diferentes camadas que constituem a construção (figura 82).
2. Para cada nó é efectuado um balanço térmico, onde se consideram todas as trocas de calor, como representado na figura 82.
3. Durante a simulação são repetidos os passos anteriores de forma a reformular e resolver as equações para cada “time-step”.

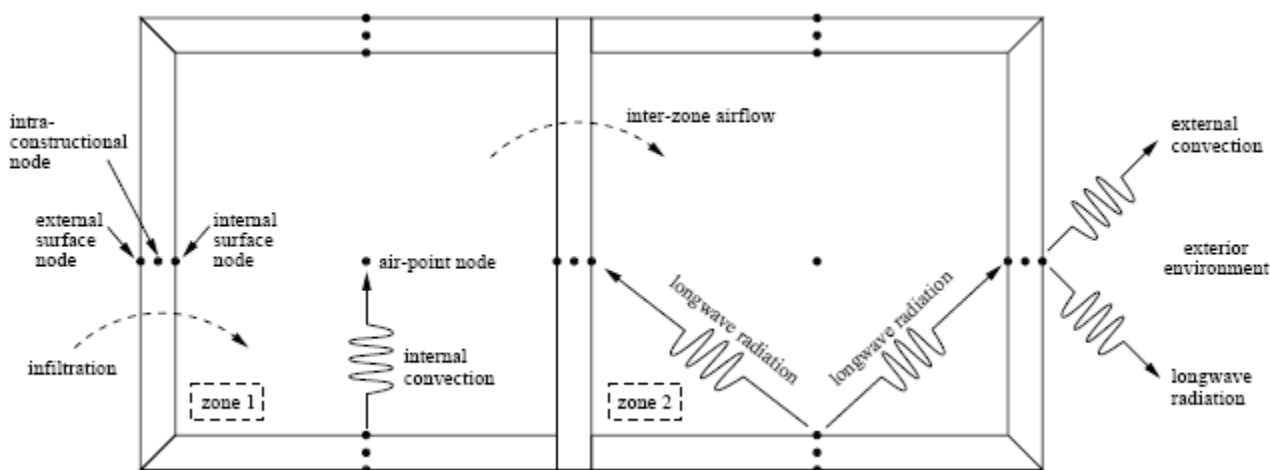


Figura 82: Discretização de diferenças finitas e fluxos de calor nos nós internos

Balanço térmico para nós de materiais internos numa construção

A troca de calor no interior de construções opacas é complexa, podendo envolver numerosos modos de transferência de calor: condução sólida, condução gasosa, convecção dentro de materiais porosos, e radiação (através de camadas de ar ou entre as fibras de isolamento e as superfícies de fronteira dos poros do isolamento). O problema torna-se ainda mais complexo com a transferência de humidade, com a resistência de contacto entre os materiais e com os fluxos de calor multidimensionais em torno das estruturas.

Embora o tratamento detalhado deste sistema complexo de transferência de calor seja possível, normalmente efectuam-se aproximações, como considerar a transferência de calor através da envolvente opaca como um problema de condução monodimensional com propriedades termofísicas constantes (Beausoleil-Morrison, 2000).

Para uma construção opaca são utilizados três nós por cada camada de um material homogéneo, sendo um para cada superfície de fronteira e outro no ponto intermédio da camada, como representado na figura 83.

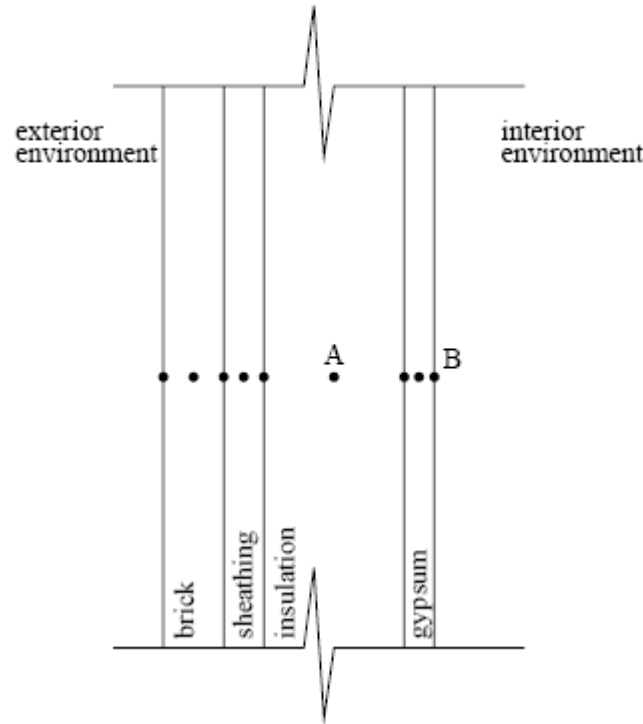


Figura 83: Discretização dos nós para uma construção opaca

A figura 84 apresenta um nó localizado no interior de uma camada de um material homogéneo de uma construção multi-camadas (nó A da figura 83). Sendo que I representa o nó atrás descrito enquanto I+1 e I-1 representam os nós vizinhos na direcção x (direcção do fluxo de calor). O volume de controlo (área cinzenta da figura 84) engloba o nó I, sendo delimitado por uma largura Δx , altura Δz e Δy na direcção perpendicular à página (Beausoleil-Morrison, 2000).

O balanço térmico para o volume de controlo (VC) apresentado na figura 84, pode ser descrito pelos seguintes termos,

$$\left\{ \begin{matrix} \text{calor armazenado} \\ \text{no VC} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} \text{condução} \\ \text{para o VC} \end{matrix} \right\} + \left\{ \begin{matrix} \text{fonte calor} \\ \text{no interior do VC} \end{matrix} \right\}$$

Esta relação mostra que um material pode armazenar ou libertar energia térmica em função da transferência de calor e da quantidade de geração de calor.

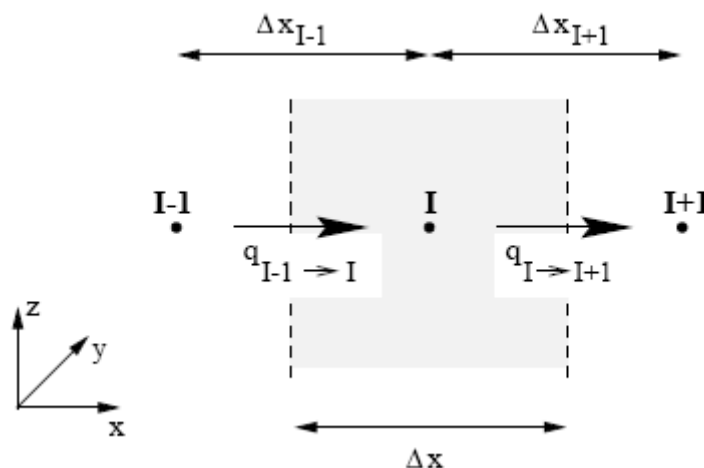


Figura 84: Balanço térmico para um nó interior de uma camada homogênea de uma construção multi-camadas

Balanço térmico para nós de superfícies interiores

Apresentado um caso em que se efectuou um balanço térmico para os nós de um material no interior de uma construção multi-camadas, passar-se-á para o caso de um balanço térmico, para um volume de controlo com superfícies em contacto com o ar interior.

Na figura 85 está representado o nó I localizado numa superfície interior de uma construção opaca (nó B da figura 83). O volume de controlo está representado na figura 85 (área cinzenta), localizado entre os nós I e I-1. Do lado direito da construção opaca encontra-se o ar interior de uma zona, representado pelo nó I+1 (Beausoleil-Morrison, 2000).

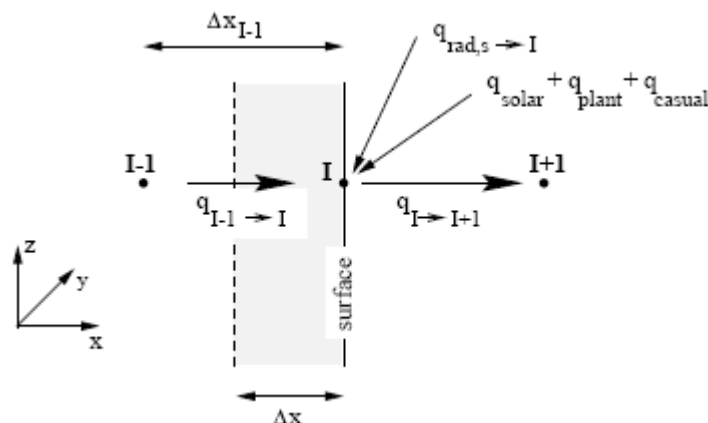


Figura 85: Balanço térmico para um nó de uma superfície interior

O balanço térmico para o volume de controlo (VC) apresentado na figura 85, pode ser descrito pelos seguintes termos,

$$\left\{ \begin{array}{c} \text{calor armazenado} \\ \text{no VC} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \text{condução} \\ \text{no VC} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{c} \text{fonte de calor} \\ \text{interior do VC} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{c} \text{radiação} \\ \text{para o VC} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{c} \text{Convecção} \\ \text{para o VC} \end{array} \right\}$$

O primeiro termo da equação representa a transferência de calor por condução monodimensional para o nó da superfície interior. O segundo termo engloba a radiação solar absorvida pelo nó I; a energia radiativa dos ganhos internos absorvida (ocupação, iluminação e equipamentos); e a energia radiativa dos sistemas de climatização. O terceiro termo representa a transferência de calor por radiação das superfícies envolventes. O quarto termo representa a transferência de calor por convecção entre o ar da sala e a superfície interior.

Balanço térmico para o ar interior

O mecanismo da transferência de calor entre o ar interior de uma zona e as superfícies interiores é a convecção.

A figura 86 mostra um nó que representa o ar interior de uma zona. As construções sólidas da envolvente são as superfícies de fronteira do volume de controlo (área a cinzento). Neste caso, o nó I representa o ar interior e os nós S representam os nós das condições de fronteira. O nó J representa o ar de outra zona enquanto o nó O representa o ar exterior. O ar interior da zona é tratado como uniforme (Beausoleil-Morrison, 2000).

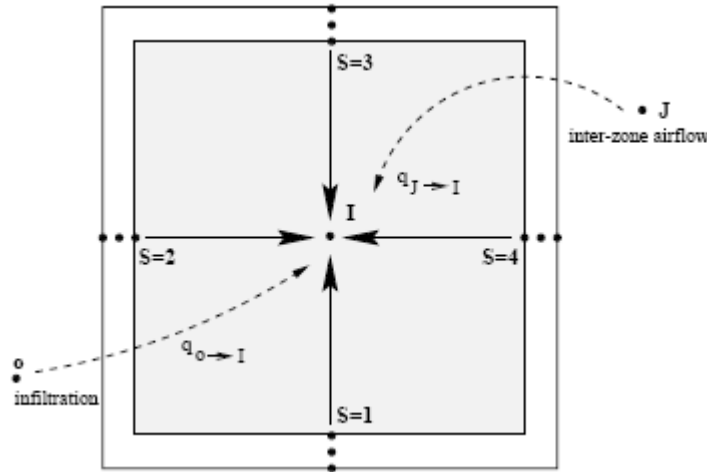


Figura 86: Balanço térmico ao ar interior

O balanço térmico para o ar interior da zona deve considerar: as infiltrações do exterior e de outras zonas, a convecção das superfícies de fronteira e a convecção de fontes de calor. O balanço térmico para o volume de controlo (VC) apresentado na figura 86, pode ser descrito pelos seguintes termos,

$$\left\{ \begin{array}{c} \text{calor} \\ \text{armazenado} \\ \text{no VC} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \text{convecção} \\ \text{para o VC} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{c} \text{infiltrações} \\ \text{de outras} \\ \text{zonas} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{c} \text{infiltrações} \\ \text{exteriores} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{c} \text{fonte de calor} \\ \text{para o VC} \end{array} \right\}$$

O primeiro termo representa a transferência de calor por convecção proveniente de todas as superfícies de fronteira (paredes, coberturas, pavimentos, janelas), para o ar interior. O segundo e terceiro termo representam as infiltrações de ar de zonas adjacentes e as infiltrações do ar exterior, respectivamente. O quarto termo engloba os ganhos internos convectivos (ocupação, iluminação e equipamentos), e a energia convectiva dos sistemas de climatização.

ANEXO B: Network flow no software ESP-r

A definição de uma rede de escoamento de ar num modelo de simulação multi-zonas envolve os seguintes passos (Beausoleil-Morrison, 2000):

- O edifício é discretizado por nós para representar volumes de ar (normalmente zonas), como representado na figura 87. Os nós são também utilizados para representar as condições do ar exterior.
- Os componentes são definidos para representar, a passagem do escoamento de ar, e diferenças de pressões associadas a portas, janelas, grelhas de insuflação, tubos, ventiladores, etc.
- Os nós são ligados através dos componentes, formando as ligações.

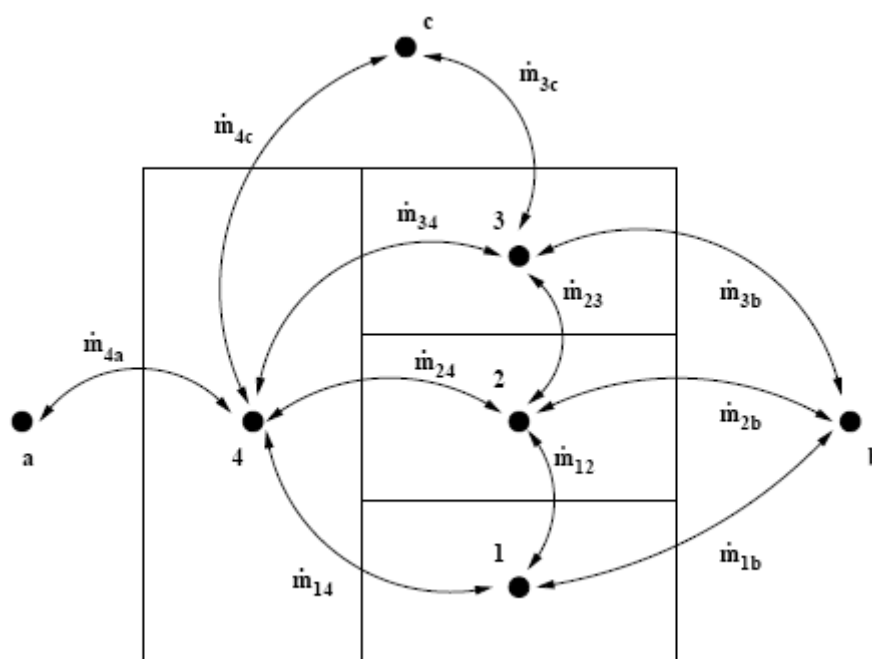


Figura 87: Rede de escoamento de ar

Definidos os principais passos para implementar uma rede de escoamento de ar, no modelo de simulação, será feito de seguida uma breve descrição dos principais elementos.

Assim começando pelos nós, que são os pontos da rede onde a pressão é calculada, estes podem ser interiores ou exteriores. Os nós interiores são automaticamente determinados a partir da resolução das equações da lei da conservação da massa em cada nó, onde é apenas necessário fornecer informação relativamente ao volume e a altura de referência da zona.

Para os nós exteriores (fronteira), a pressão deve ser conhecida ou define-se a partir da pressão do vento incidente no edifício. O vento ao incidir na fachada provoca uma diferença de pressão relativamente ao interior do edifício, originando assim infiltrações ou exfiltrações a partir de aberturas ou frinchas.

Os componentes são caracterizados por relações matemáticas baseadas no escoamento do fluxo do ar e da pressão desse escoamento.

As ligações são definidas a partir da ligação de dois nós através de um componente. A altura relativa da ligação dos nós de entrada e saída por intermédio de um componente de uma determinada zona é necessária para o cálculo da rede de escoamento de ar.

ANEXO C: Norma ASHRAE 55-2004

Para edifícios sem sistemas activos de climatização, a gama de temperaturas compatíveis com os requisitos de conforto térmico, é definida a partir do modelo do conforto adaptativo, como formalmente reconhecido na norma ASHRAE 55-2004 através da diferenciação de requisitos para espaços com climatização passiva “naturally conditioned” (ASHRAE, 2004).

Modelo de conforto adaptativo

O modelo de determinação das condições térmicas aceitáveis para espaços com climatização passiva aplica-se a situações em que os ocupantes podem controlar as condições térmicas de um espaço de forma natural, onde as condições térmicas são reguladas principalmente pelos ocupantes abrindo ou fechando janelas. Para aplicação deste método, devem ser verificados os seguintes parâmetros:

- O espaço em questão deve possuir janelas que permitam a abertura para o exterior, de forma controlada por parte dos ocupantes.
- O espaço não deve possuir nenhum sistema de arrefecimento.
- Podem ser utilizados sistemas mecânicos de ventilação de ar não tratado, no entanto a abertura de janelas deve ser o principal meio para promover a ventilação.
- O espaço pode estar provido de um sistema de aquecimento, mas este método não é aplicado quando este está activo.
- Só se aplica a espaços onde os ocupantes desempenhem actividades metabólicas entre 1,0 a 1,3 met.
- Só é aplicável nos espaços em que os seus ocupantes podem variar o seu vestuário em função das condições térmicas de um recinto fechado e/ou do ar exterior.

As temperaturas interiores de espaços que verifiquem os critérios anteriores podem ser determinadas a partir da figura seguinte.

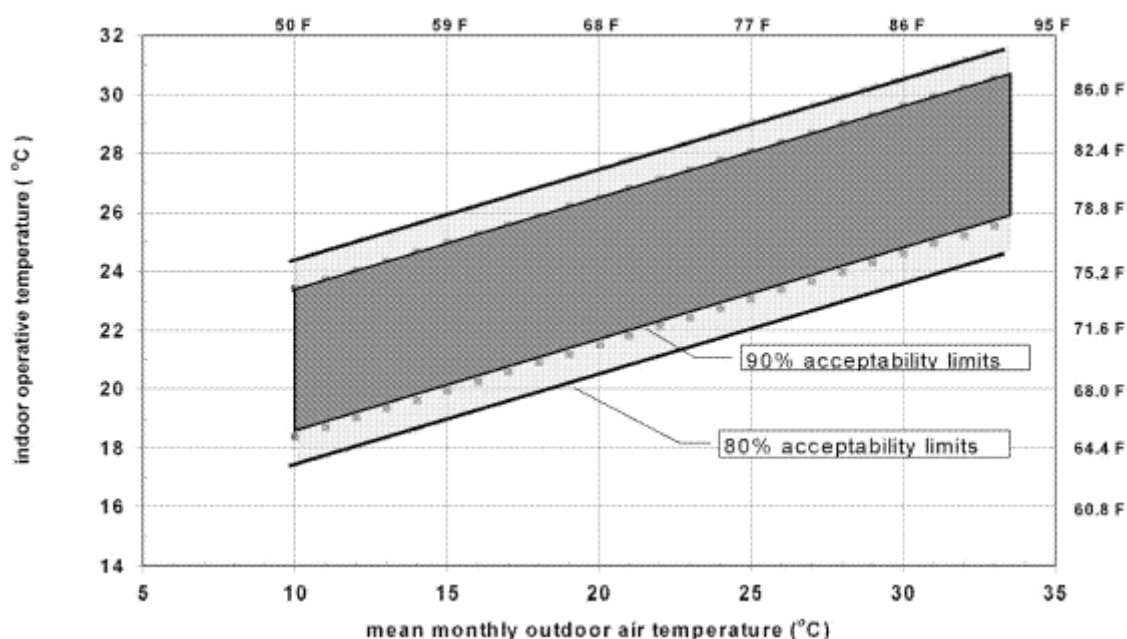


Figura 88: Gama de temperaturas de operação aceitáveis para espaços com climatização passiva (ASHRAE, 2004).

A figura contém dois limites para a temperatura dentro do conforto térmico, um com 80% de aceitabilidade e outro com 90% de aceitabilidade. O limite com 80% de aceitabilidade é utilizado para casos com informação indisponível e aplicações típicas. Para os casos com maior exigência de conforto térmico, nomeadamente os edifícios de serviços, utiliza-se o limite com 90 % de aceitabilidade. Os limites da temperatura de operação da figura não podem ser extrapolados. Se a temperatura média mensal exterior for inferior a 10°C ou superior 33,5 °C, este método não pode ser aplicado (ASHRAE, 2004).

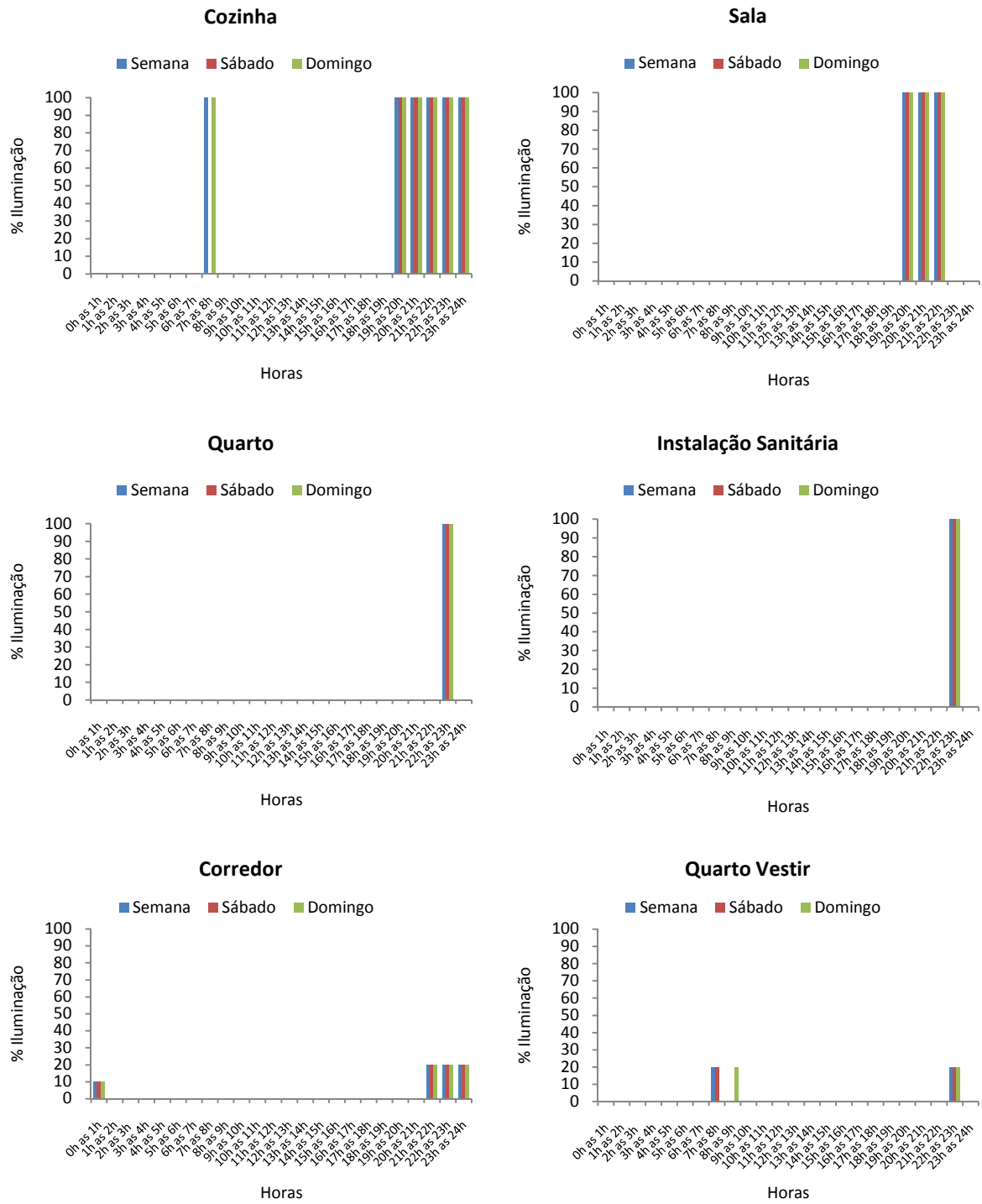
ANEXO D: Perfis de iluminação, equipamentos e ocupação

Perfis de Iluminação

As figuras seguintes apresentam os perfis de iluminação (tabelas no Anexo CD). A percentagem de iluminação representa a fracção de energia libertada, numa hora, relativamente à potência da iluminação de cada zona, apresentada na tabela seguinte.

Tabela 61: Potência da iluminação de cada zona

Potência [W]					
Cozinha	Sala	Quarto	IS	Corredor	Quarto Vestir
75	75	60	30	30	60



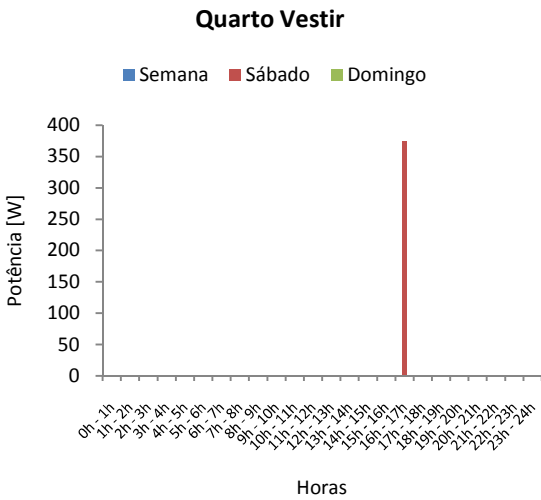
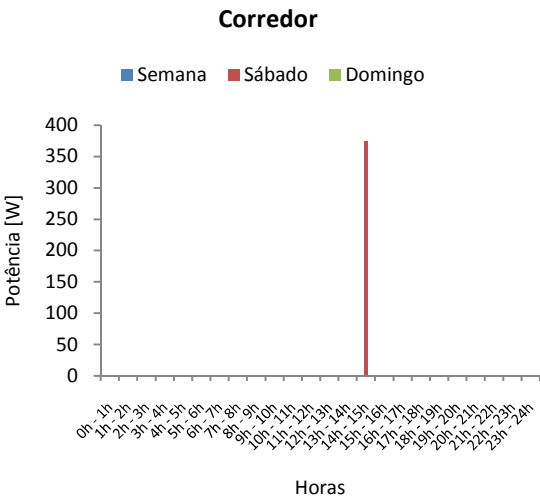
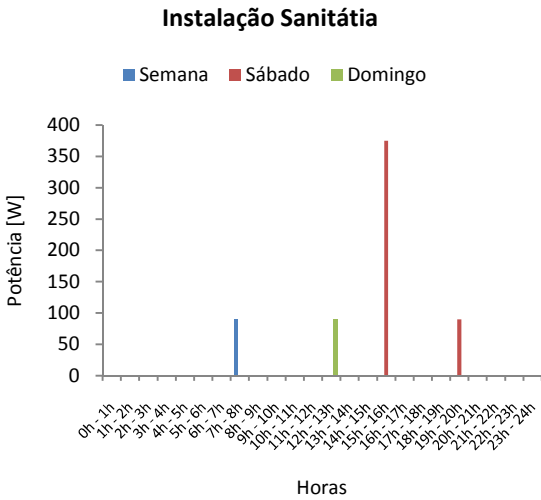
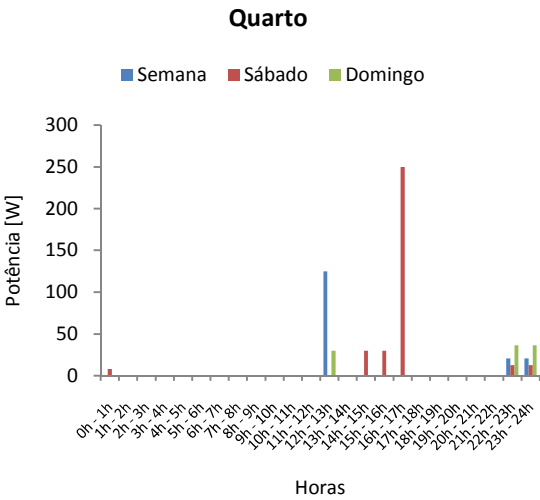
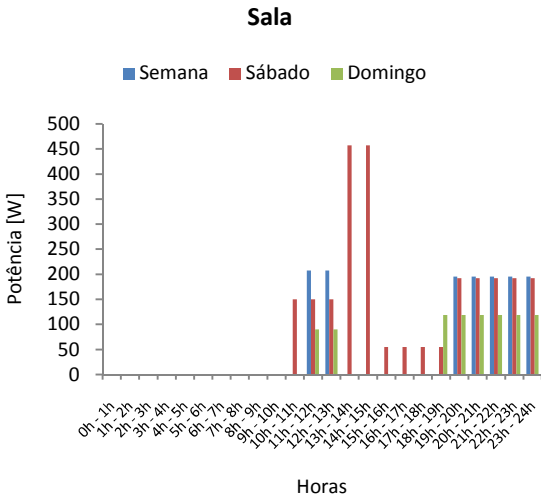
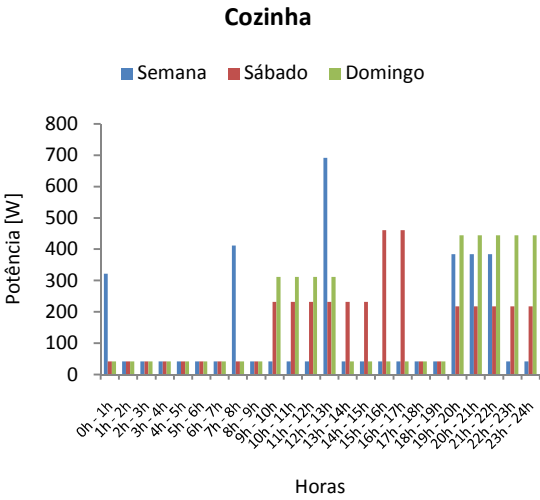
Perfis de Equipamentos

A selecção dos equipamentos normalmente utilizados numa habitação foi efectuada a partir da informação disponibilizada pela EDP, assim como as características dos equipamentos que constam na tabela seguinte.

Tabela 62: Equipamentos de cada zona

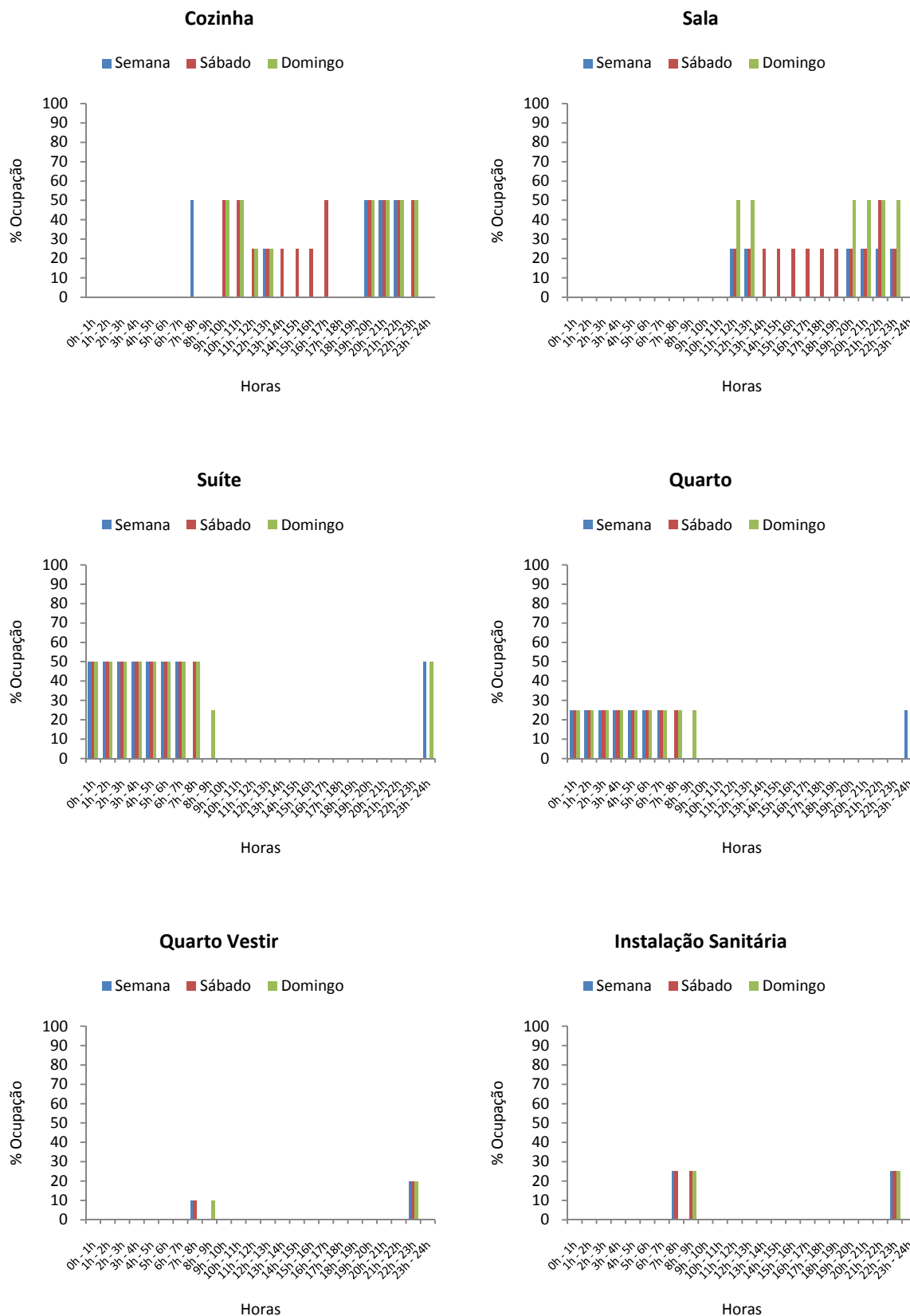
Divisão	Equipamento	Potência [W]
Corredor	Aspirador	1250
Cozinha	Forno	2500
	Microondas	1000
	Cafeteira	1200
	Fritadeira	1500
	Torradeira	750
	Frigorífico	140
	Batedeira Eléctrica	300
	Exaustor	150
	Ferro de Engomar	800
	Máquina de lavar louça	1000
	Máquina de lavar roupa	900
	Máquina de secar roupa	2000
Suite	Televisão	90
	Aparelhagem de Som	30
	DVD ou Vídeo	195
	Cobertor eléctrico	80
	Aspirador	1250
Quartos	Aparelhagem de Som	30
	Cobertor eléctrico	80
	Aspirador	1250
Sala	Televisão	90
	Aparelhagem de Som	30
	DVD ou Vídeo	195
	Consola de Jogos	40
	Computador	250
	Impressora	150
	Aspirador	1250
Instalação	Secador de Cabelo	300
Sanitária	Aspirador	1250

Definidos os equipamentos e a sua potência, efectuou-se os seus perfis de utilização, que apresentam-se nas figuras seguintes. A distribuição detalhada da utilização de cada equipamento está disponível no Anexo CD.



Perfis de Ocupação

Para determinar os perfis de ocupação, considerou-se que a energia libertada por cada pessoa, sob a forma de calor sensível e latente, durante uma hora, para uma actividade metabólica de 1 met, é de 95 W e 45 W, respectivamente.



ANEXO E: Regressão linear simples

Um modelo de regressão linear simples descreve uma relação entre uma variável quantitativa independente, X , e uma variável quantitativa dependente, Y , nos termos seguintes:

$$Y_n = \alpha + \beta \cdot (X_n - \bar{X}) + E_n \quad (\text{eq.3})$$

Onde

n : índice denotado as observações do par de variáveis X e Y ($n = 1, \dots, N$);

(X_n, Y_n) : n -ésima observação do par (X, Y) ;

$\bar{X}$: média aritmética das observações;

α, β : parâmetros fixos da relação linear entre X e Y ;

E_n : erro aleatório associado ao valor observado Y_n ;

Neste modelo admite-se que os valores observados da variável independente, X_n ($n=1, \dots, N$), não se encontram associados a quaisquer erros. Tais valores devem então serem encarados como constantes predeterminadas.

Como se mostra na equação 3, os erros considerados no modelo de regressão linear simples incidem directamente sobre os valores observados de Y . A teoria da regressão assenta no seguinte conjunto de hipóteses sobre tais erros, E_n ($n=1, \dots, N$);

- i. Têm valor esperado nulo e variância constante, σ^2 ,
- ii. São mutuamente dependentes, e
- iii. São Normalmente distribuídos.

A equação 3 é equivalente à seguinte equação (Guimarães, Castro, 2007):

$$Y_n = \alpha' + \beta \cdot X_n + E_n$$

Onde o parâmetro α' tem o seguinte significado:

$$\alpha' = \alpha - \beta \cdot \bar{X}$$