



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Cátia Carolina Alves Barros

Estudo de edifício visando eficiência
energética e qualidade do ambiente
interior



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Cátia Carolina Alves Barros

Estudo de edifício visando eficiência
energética e qualidade do ambiente
interior

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Sandra Monteiro da Silva

Agradecimentos

A realização desta dissertação não seria possível sem o contributo e incentivo de várias pessoas às quais desejo expressar os meus agradecimentos:

À professora Sandra Monteiro da Silva, pelas orientações e sugestões ao longo do desenvolvimento da dissertação.

Aos meus pais e irmã, por toda a paciência, incentivo e preocupação durante este percurso académico.

Ao meu primo Rafael, pela disponibilidade, apoio e sentido de humor na realização deste trabalho.

E por fim, a todas aquelas pessoas que me apoiaram incondicionalmente nestes 5 anos académicos.

Resumo

A reabilitação energética e a qualidade do ambiente interior, têm vindo a ganhar cada vez mais relevância devido à crise económica e à dependência das fontes de energia externas.

O setor dos edifícios é um dos grandes consumidores de energia, no qual devem ser tomadas medidas que permitam eliminar as barreiras associadas à dificuldade em aumentar a eficiência energética, estudando assim soluções que minimizem o consumo energético e sejam viáveis economicamente.

Para assegurar o cumprimento das metas definidas na EPBD-recast, é essencial intervir no parque edificado existente. Assim, a reabilitação de edifícios, é uma das principais formas de atingir os objetivos da EPBP-recast e também de aumentar as condições de conforto e de qualidade do ar interior.

As principais intervenções, devem ser feitas tendo em conta a eficiência energética e a qualidade do ambiente interior.

Para realizar uma reabilitação adequada, há necessidade de conhecer os consumos energéticos do edifício em estudo e assim propor soluções de melhoria tendo em conta a sua viabilidade económica.

Neste sentido, este trabalho apresenta a avaliação das condições de conforto térmico, acústico, lumínico e de qualidade do ar interior de um edifício, tendo em vista, a definição de uma proposta de reabilitação, esperando que estas medidas contribuam para o aumento da eficiência energética e da qualidade do ambiente interior no edifício.

Palavras-Chave: Reabilitação, Eficiência energética, Qualidade do ambiente interior, Economia, Sustentabilidade

Abstract

The Energetic Refurbishment and indoor air quality have become increasingly important as result of the economy crisis and the dependency of external sources of energy.

The civil construction sector, is one of the biggest consumers of energy and in which should be taken measures to eliminate the barriers associated with the difficulty of raising the energy efficiency, studying solutions that minimize the energy consumption and are profitable.

To ensure the compliance of the defined targets in EPBD-recast, it's essential to intervene in the existing building stock. Thus, the building refurbishment, it's one of the main ways to achieve the EPBD-recast and improve the comfort conditions and indoor air quality.

The main interventions should be made, considering the energy efficiency and indoor air quality.

To conduct a proper refurbishment, there is the need to obtain knowledge about the energy consumption of the building under study and propose improvement solutions considering their profitability.

In this regard, the thesis presents the thermal comfort evaluation, acoustic, luminosity and indoor air quality of a building in view of a refurbishment proposal, expecting that the measures contribute to the building increased energy efficiency and indoor air quality.

Keywords: Refurbishment; Energy efficiency; Indoor air quality; Saving; Sustainability

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice	vii
Índice de Figuras	xi
Índice de Quadros	xv
Abreviaturas	1
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	3
1.1. Enquadramento	3
1.2. Objetivos	5
1.3. Estrutura	6
CAPÍTULO 2 - ESTADO DA ARTE	9
2.1. Reabilitação	9
2.2. Consumo energético em Portugal	14
2.3. Qualidade do ambiente interior	16
2.4. Principais patologias dos edifícios	17
2.5. Soluções de reabilitação energética e da qualidade do ambiente interior	18
2.5.1. Coeficiente de transmissão térmica nos elementos construtivos	18
2.5.2. Caixilharias e envidraçados	20
2.5.3. Energias renováveis	20
2.5.4. Sistema de sombreamento	20
2.6. Ventilação/Qualidade do ar interior	21
2.7. Problemas e soluções associadas a reabilitação de edifícios	23
2.7.1. Infiltrações	23
2.7.2. Condensações superficiais	24
2.7.3. Eflorescências	25
2.7.4. Humidade ascensional	25
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	27
3.1. Avaliação do conforto térmico	27
3.2. Avaliação das condições de iluminação	28

3.3. Ensaio de avaliação da qualidade do ar interior	29
3.4. Ensaio de avaliação das condições de conforto acústico	30
3.5. Programas de simulação	30
3.6. Simulação da qualidade do ar interior	33
3.7. Descrição do edifício	38
3.7.1. Soluções construtivas	39
3.7.2. Sistema de climatização	40
3.8. Soluções estudadas	42
3.8.1. Paredes	42
3.8.2. Cobertura	43
3.8.3. Envidraçados	43
3.9. Período de retorno de investimento	44
CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE UM EDIFÍCIO	45
4.1. Consumos	45
4.1.1. Lenha	45
4.1.2. Gasóleo de aquecimento	46
4.2. Patologias existentes	48
4.2.1. Eflorescências	48
4.2.2. Condensações superficiais	48
4.2.3. Infiltrações	50
CAPÍTULO 5 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR DO EDIFÍCIO	53
5.1. Avaliação do comportamento higrotérmico do edifício	53
5.1.1. Quarto	53
5.1.2. Sala	57
5.1.3. Cozinha	60
5.2. Avaliação in situ da qualidade do ar interior	63
5.2.1. Monóxido de Carbono (CO)	64
5.2.2. Formaldeído (CHOH)	66
5.2.3. Ozono (O ₃)	66
5.2.4. Partículas suspensas no ar (PM ₁₀)	68
5.2.5. Dióxido de Carbono (CO ₂)	70

5.3. Avaliação do comportamento lumínico	72
5.4. Avaliação do comportamento acústico	76
CAPÍTULO 6 - SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO, ACÚSTICO, LUMÍNICO E QUALIDADE DO AR INTERIOR	79
6.1. Simulação do comportamento térmico	79
6.1.1. Análise de resultados	79
6.1.1.1. Reforço do isolamento térmico das fachadas exteriores	79
6.1.1.2. Variação das características dos envidraçados	81
6.1.1.3. Reforço de isolamento térmico da laje de cobertura	82
6.1.2. Análise económica	83
6.1.3. Análise de resultados	85
6.2. Simulação do comportamento acústico	86
6.3. Simulação do comportamento lumínico	89
6.4. Simulação da qualidade do ar interior	92
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	95
7.1. Principais conclusões	95
7.2. Perspetivas futuras	97
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	99

Índice de Figuras

Figura 1 - Gráfico de evolução Famílias/Alojamentos	10
Figura 2 - Reabilitação de edifícios residenciais em vários países	11
Figura 3 - Reabilitação do edificado e construções novas, Portugal, 1995-2010	12
Figura 4 - Distribuição dos edifícios por estado de conservação, 2011	13
Figura 5 - Proporção de edifícios por época de construção e estado de conservação, 2011	13
Figura 6 - Evolução dos consumos de energia nos alojamentos	14
Figura 7 - Consumo de energia em alojamento, 2010.....	15
Figura 8 - Distribuição de energia no alojamento	15
Figura 9 - Modelo de simulação do Acoubat sound.....	31
Figura 10- Modelo de simulação no Designbuilder	32
Figura 11 - Visualização do programa Radiance desktop.....	33
Figura 12- Perceção da qualidade do ar	34
Figura 13 - Insatisfação causada por uma pessoa padrão.....	35
Figura 14 - Concentração de CO ₂ acima do exterior (PPM).....	35
Figura 15 - Percentagem de pessoas descontentes em função da perceção da qualidade do ar interior	36
Figura 16 - Localização do edifício em estudo	38
Figura 17 - Vista geral da habitação.....	39
Figura 18 - Planta da habitação	39
Figura 19 - Radiador de aquecimento	41
Figura 20 - Termoacumulador.....	41
Figura 21 - Caldeira comum e fogão a lenha	41
Figura 22 - Localização do isolamento de paredes exteriores em pedra.....	42
Figura 23 - Localização do isolamento de paredes exteriores em alvenaria de tijolo.....	43
Figura 24 - laje de cobertura com isolamento	43
Figura 25 - Exemplo de envidraçado	44
Figura 26 - Curva de funcionamento e potência máxima e mínima do queimador	47
Figura 27 - Eflorescência no hall e lavandaria	48
Figura 28 - Condensações em casas de banho	49
Figura 29 – Vista pelo interior e exterior do quarto	50
Figura 30 - Vista interior e exterior da fachada exterior da garagem	51
Figura 31 - Vista interior e exterior da fachada exterior do hall de entrada	51

Figura 32 - Teto do corredor do rés-do-chão	52
Figura 33 - Condições higrométricas num dos quartos do edifício (Inverno)	54
Figura 34 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) no quarto (Inverno)	55
Figura 35 - Condições higrométricas num dos quartos do edifício (Verão)	56
Figura 36 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) no quarto (Verão)	57
Figura 37 - Condições higrométricas na sala do edifício (Inverno)	58
Figura 38 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) na sala (Inverno)	59
Figura 39 - Condições higrométricas num dos quartos do edifício (Verão)	59
Figura 40 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) na sala (verão)	60
Figura 41 - Condições higrotérmicas na cozinha do edifício (Inverno)	61
Figura 42 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) na sala (Inverno)	62
Figura 43 - Condições higrotérmicas na cozinha do edifício (Verão)	62
Figura 44 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) na sala (Verão)	63
Figura 45 - Concentração de CO no quarto	64
Figura 46 - Concentração de CO na sala	65
Figura 47 - Concentração de CO na cozinha	65
Figura 48 - Concentração de CHOH nos compartimentos	66
Figura 49 - Concentração de ozono no quarto	66
Figura 50 - Concentração de ozono na sala	67
Figura 51 - Concentração de ozono na cozinha	68
Figura 52 - Concentração de PM10 no quarto	68
Figura 53 - Concentração de PM10 na sala	69
Figura 54 - Concentração de PM ₁₀ na cozinha	69
Figura 55 - Concentração de CO ₂ no quarto	70
Figura 56 - Concentração de CO ₂ na sala	71
Figura 57 - Concentração de CO ₂ na cozinha	71
Figura 58 - Planta do quarto com representação da malha de medição de iluminância	72
Figura 59 - Planta da sala com representação da malha de medição de iluminância	74

Figura 60 - Planta da cozinha com representação da malha de medição de iluminância	75
Figura 61 - Consumo de energia da solução com sistema ETICS	80
Figura 62 - Consumo de energia com XPS pelo interior	81
Figura 63 - Consumo de energia com EPS na cobertura.....	82
Figura 64 - Consumo de energia com XPS pelo exterior.....	83
Figura 65 - Geometria dos compartimentos para avaliação do comportamento acústico.....	87
Figura 66 - Capacidade da fachada exterior do quarto isolar os sons aéreo	87
Figura 67 - Capacidade da fachada exterior da sala isolar os sons aéreo.....	88
Figura 68 - Capacidade da fachada exterior do quarto com isolamento isolar os sons aéreo	88
Figura 69 - Capacidade da fachada exterior da sala com isolamento isolar os sons aéreo	89
Figura 70 - Iluminância da sala (lux)	90
Figura 71 - Fator de luz do dia na sala (%)	90
Figura 72 - Iluminância da cozinha.....	91
Figura 73 - Fator de luz do dia na cozinha (%).....	91
Figura 74 - Iluminância do quarto.....	92
Figura 75 - Fator de luz do dia no quarto	92

Índice de Quadros

Tabela 1-Dados dos censos 2011 e 2001	9
Tabela 2 - Percentagem de necessidade de reparação.....	17
Tabela 3 - Características térmicas do parque habitacional europeu	19
Tabela 4 - FLD recomendados para os vários compartimentos	28
Tabela 5 - Concentrações máximas de referência de poluentes no interior do edifício.....	29
Tabela 6 - Fatores de conversão de gases em frações molares	29
Tabela 7 - Níveis de qualidade do ar.....	34
Tabela 8 - Emissão olfativa de objetos/materiais.....	36
Tabela 9 - Carga sensorial de poluentes emitidos pelos ocupantes.....	37
Tabela 10 - Carga sensorial de poluentes emitidos pelos materiais do edifício.....	37
Tabela 11 - Características dos vãos envidraçados	40
Tabela 12 - Características do fogão de lenha do edifício	46
Tabela 13 - Consumo de energia (Lenha)	46
Tabela 14 - Consumo de energia (caldeira)	47
Tabela 15 - Resultados das medições do conforto térmico no quarto (Inverno).....	55
Tabela 16 - Resultados das medições do conforto térmico no quarto (Verão)	56
Tabela 17- Resultados das medições do conforto térmico na sala (Inverno).....	58
Tabela 18 - Resultados das medições do conforto térmico na sala (Inverno).....	60
Tabela 19 - Resultados das medições do conforto térmico na cozinha (inverno).....	61
Tabela 20 - Resultados das medições do conforto térmico na cozinha (Verão)	63
Tabela 21 - Iluminância e FLD no quarto (Inverno)	73
Tabela 22 - Iluminância e FLD no quarto (Verão).....	73
Tabela 23 - Iluminância e FLD na sala (Inverno)	74
Tabela 24 - Iluminância e FLD na sala (Verão).....	75
Tabela 25 - Iluminância e FLD na cozinha (Verão e Inverno)	76
Tabela 26 - Valores de LAeq em dB(A) (período diurno).....	76
Tabela 27 - Valores de LAeq em dB(A) (período de entardecer).....	77
Tabela 28 - Valores de LAeq em dB(A) (período noturno).....	77
Tabela 29 - Combinações para a envolvente exterior	80
Tabela 30 - Combinações para a laje de cobertura.....	82
Tabela 31 - Custo de investimento no reforço do isolamento térmico da cobertura.....	84
Tabela 32 - Custo de investimento no reforço do isolamento térmico da cobertura.....	84

Tabela 33 - Período de retorno de investimento da cobertura com isolamento.....	85
Tabela 34 - Período de retorno de investimento da fachada com isolamento.....	85
Tabela 35 - Valor da carga sensorial.....	93

Abreviaturas

AECOPS – Associação de Empresas de Construção e Obras Públicas e Serviços

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CEN – Comité Europeu de Normalização

CHOH – Formaldeído

CIE – Comissão Internacional de Iluminação

CO - Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

EPBD – Diretiva relativa ao Desempenho Energético de Edifícios

EPS – Poliestireno expandido

FLD – Fator de Luz do Dia

GEE – Gases com efeito de estufa

INE – Instituto Nacional de Estatística

LA_{eq} – Nível contínuo equivalente

O₃ – Ozono

PM₁₀ – Partículas suspensas no ar

PMV – Voto Médio Previsível

PPD – Percentagem de Pessoas Descontentes

PPM – Percentagem Previsível de Insatisfeitos

R – Resistência térmica

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RGR – Regulamento Geral do Ruído

RPH - Taxa de Renovação Nominal

RRAE - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SO₂ - Dióxido de enxofre

U – Condutibilidade térmica

VOCs - Compostos Orgânicos Voláteis

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Desde há muitos séculos atrás, que a construção de edifícios é uma preocupação das civilizações, criando então cabanas e casas que protegem o homem das condições atmosféricas exteriores. Foram-se formando assim os primeiros aglomerados de habitações e conseqüentemente o crescimento da humanidade (Afonso, 2009).

Durante várias épocas, o principal requisito dos edifícios imposto pelo Homem era que estes reunissem as condições necessárias para que fossem desenvolvidas atividades produtivas ou de lazer, sendo estes requisitos básicos (Silva, 2009).

Com o evoluir dos anos, as exigências do Homem evoluíram conjuntamente com as tecnologias associadas a cada época, melhorando a qualidade construtiva e o conforto interior (Afonso, 2009). O conforto interior de uma habitação passa por assegurar condições higrotérmicas, visuais, olfativas e acústicas sendo estes aspetos essenciais para o bem-estar e saúde dos ocupantes (Silva, 2009).

Nos edifícios construídos até 1960 em Portugal, a pedra e o tijolo maciço eram os principais elementos construtivos para fachadas apresentando espessuras elevadas e condicionando o espaço útil interior.

A partir de 1960, a pedra deixou de ser o elemento construtivo mais utilizado sendo substituído por tijolo vazado, sendo este um material que detém menor capacidade isolamento térmico (Ferreira, 2009).

Com o evoluir dos anos, é notória uma evolução em termos de soluções construtivas, fazendo com que as trocas de calor entre o interior e exterior fossem cada vez menores (Ferreira, 2009).

O grande objetivo da eficiência energética seria tornar o edifício o mais estanque possível para que as trocas de energia com o exterior fossem reduzidas mas isto conduziu a problemas de qualidade do ar interior do edifício.

A qualidade do ar interior é influenciada por fontes de poluição interior (materiais de construção, equipamentos, produtos de consumo, produtos de limpeza, entre outros), ocupantes (comportamento e atividades), sistemas de ventilação, sistemas de climatização e fontes de

poluição exterior (fumo de combustão de veículos, emissões industriais, pólen, deposição de resíduos) podendo influenciar o bem-estar da saúde dos ocupantes (Santos, 2010).

A qualidade do ar interior é uma componente associada a qualidade do ambiente interior, onde está também associada a estética do espaço, conforto térmico, conforto lumínico e conforto acústico (Silva, 2009).

A partir de 1990, com a entrada em vigor do 1º regulamento das características de comportamento térmico (RCCTE), que visava estabelecer normas em termos de condições de higiene e de conforto térmico, o isolamento térmico veio a tomar relevância diminuindo as trocas de calor entre o interior e o exterior e assim a consequente diminuição das necessidades de aquecimento ou arrefecimento (Ferreira, 2009).

Em 1998 surgiu o RSECE, regulamento dos sistemas energéticos para climatização de edifícios no ramo da energia e no ramo da qualidade do ar interior.

Em 2006 foi publicada a diretiva EPBD, constituindo um novo pacote legislativo (SCE, RSECE e RCCTE), fazendo uma análise mais aprofundada dos parâmetros presentes no primeiro regulamento.

Em 2010, foi implementada a Diretiva Europeia relativa ao desempenho energético de edifícios (EPBD-recast), associado a medidas sustentáveis e de eficiência energética impõe novos desafios. Os desafios da EPBD são: a redução de 20% nas emissões de GEE até 2020; 20% de energia proveniente de fontes renováveis até 2020; aumento de 20% na eficiência energética até 2020; Grandes intervenções em edifícios existentes, em que o custo total da renovação é superior a 25% do valor do edifício, e/ou é renovada mais de 25% da superfície da envolvente do edifício; Planos de incentivo para recuperação do parque edificado existente para construção de novos “edifícios energia quase zero”; Requisitos mínimos baseados em critérios de viabilidade económica; Apresentação da classe energética desde que o edifício é colocado no mercado; Afixação de certificados energéticos na entrada de edifícios públicos. Estas medidas foram tomadas por todos os estados membros (Esteves, 2011; EPBD, 2010).

A sustentabilidade, é outro conceito que tem vindo a ganhar cada vez mais importância devido às preocupações com o ambiente e com o futuro.

A sustentabilidade, visa cumprir as necessidades humanas atuais da população, sem que o futuro das próximas gerações fique comprometido, ou seja, fazer uma boa gestão dos recursos naturais.

A otimização da eficiência energética e da qualidade do ambiente interior, tendo em consideração a sustentabilidade, permite diminuir os custos com os consumos energéticos.

Em 2011, Portugal atingiu o maior excedente de alojamentos em relação a 2001. O número de alojamentos superou em 45% o número de famílias, rondando valores de mais de 1,8 milhões de alojamentos do que de famílias (INE, 2011).

A sustentabilidade permite a redução de recursos sem prejudicar o meio ambiente e é vantajoso para a economia, pois a reabilitação dinamiza o mercado da construção valorizando as cidades.

Além da reabilitação das patologias, é necessário que a reabilitação conduza a um aumento da eficiência energética e da qualidade do ambiente interior do parque habitacional.

A reabilitação de edifícios visando a eficiência energética e qualidade do ambiente interior, é essencial para os tempos vividos atualmente, permitindo que a população se encontre em conforto, tendo em conta a sustentabilidade e economia.

Em tempos de crise, torna-se fundamental adotar medidas eficientes (reabilitação, manutenção e de eficiência energética) para que os edifícios atinjam a vida útil para que são projetados, e assim, tentar desenvolver Portugal em termos de economia e emprego (CPCI, 2012).

Esta é a única forma de, com o mercado da construção em crise, atingir as metas definidas pela EPBD-recast (EPBD, 2010).

Os dados estatísticos dos CENSOS de 2011 indicam que 40% dos edifícios com mais de 30 anos necessitam de intervenções, ou seja, 1 em cada 5 edifícios (Censos,2011).

Quando realizada a reabilitação, deve-se ter em conta as soluções construtivas adotadas para a envolvente exterior, sendo essencial respeitar os valores históricos e arquitetónicos de cada edifício (Pimentel, 2005).

1.2. Objetivos

Esta dissertação, tem como objetivo realizar um estudo das principais patologias e a definição do projeto de reabilitação não estrutural de um edifício que caracteriza uma parte significativa do parque edificado de uma região de Portugal, tendo em conta as soluções construtivas associadas.

O edifício em estudo, é uma habitação unifamiliar construída em 1890, localizada em Ponte de Lima.

Este estudo possibilitará propor soluções de reabilitação não estrutural que sejam eficientes a nível energético e adequadas do ponto de vista da sustentabilidade e da qualidade do ambiente interior.

Será feita uma simulação de consumos energéticos, simulação acústica, simulação lumínica e simulação da qualidade do ar interior antes e após a implantação das soluções de reabilitação definidas para o edifício.

A medição da qualidade do ambiente interior (acústica, lumínica, ozono, formaldeídos, dióxido de carbono, monóxido de carbono e partículas suspensas no ar) será realizada e comparada com os valores normalizados.

Por fim, será feito um estudo económico para avaliação da viabilidade da implementação das soluções definidas, tendo em conta o investimento inicial e o período de retorno. As soluções poderão ser implementadas em edifícios com características semelhantes, assim esta dissertação terá uma aplicabilidade mais alargada.

1.3. Estrutura

A presente dissertação está dividida em 7 capítulos.

O primeiro capítulo, apresenta o enquadramento do trabalho, avaliando o panorama atual referente à eficiência energética e à qualidade do ambiente interior, os objetivos e a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo contém o estado da arte, no qual insere a problemática da existência de uma grande quantidade de edifícios vagos em Portugal a precisarem de reabilitação energética. São ainda caracterizadas as possíveis patologias dos edifícios e as correspondentes soluções.

No capítulo 3, é apresentada a metodologia para concretizar os objetivos propostos com informação relativa à pesquisa bibliográfica.

O capítulo 4, descreve o edifício quanto aos consumos energéticos e patologias existentes.

No capítulo 5, apresenta os resultados da qualidade do ambiente interior medido in situ no edifício, nomeadamente conforto térmico, condições de iluminação, conforto acústico e qualidade do ar interior.

No capítulo 6, são apresentados os resultados referentes à simulação do comportamento térmico, acústico, lumínico e qualidade do ar interior do edifício e respetiva verificação regulamentar.

No sétimo e último capítulo, são apresentadas e discutidas as conclusões do trabalho efetuado e ainda apresentadas perspetivas futuras que possam desenvolver e complementar esta dissertação.

CAPÍTULO 2 - ESTADO DA ARTE

2.1. Reabilitação

Portugal está a enfrentar a maior crise económica dos últimos tempos, sendo o setor da construção o mais afetado.

A construção civil é considerada o motor da economia, pois movimentava os restantes setores devido ao seu peso diretamente associado, mas também, por ser a atividade que mais emprega a população portuguesa (Pereira, 2012).

Devido à grande queda do investimento, congelamento das grandes obras públicas, faltas de liquidez no auxílio ao setor imobiliário, atrasos e faltas de pagamento no setor público e privado e a dificuldade da população em obter acesso ao crédito tem influenciado no decréscimo acentuado do investimento no setor da construção civil (Pereira, 2012).

A população desempregada no 3º trimestre de 2013 era de 838,6 mil, verificando-se uma diminuição de 3,7% em relação ao trimestre homólogo de 2012 e 5,3% em relação ao trimestre anterior. A taxa de desemprego influencia também negativamente a evolução do mercado da construção (INE, 2013).

Os dados estatísticos dos últimos anos, vêm realçar os tempos de crise económica vividos atualmente, em que o setor da construção estagnou e os empregos são cada vez mais escassos.

Na tabela 1, apresentam-se valores referentes à variação da população e edificado entre 2001 e 2011 (Censos, 2011).

Tabela 1-Dados dos censos 2011 e 2001 (INE, 2011)

	Portugal	
	2011	2001
População	10562178	10356117
Famílias	4048559	3654633
Alojamentos	5878756	5054922
Edifícios	3544389	3160043

Segundo os dados apresentados na tabela 1, observa-se um crescimento de 10,78% de famílias e 16,3% de alojamentos, desde 2001 até 2011 (INE, 2013).

A tabela 1, permite concluir que cada vez mais o número de habitações é superior ao número de famílias, pois em 2001 existia cerca de 1,4 milhões de alojamentos a mais do que famílias, enquanto em 2011 este número aumentou para 1,8 milhões de edifícios inutilizados.

Na Figura 1, é apresentada a evolução da relação entre famílias e alojamentos desde 1970 a 2011.

Na década de 1970-81, existia uma pequena discrepância entre a percentagem de edifícios construídos e a percentagem de novas famílias pois o mercado da construção civil encontrava-se em alta, enquanto entre 1981-91 apresenta a maior discrepância entre a percentagem de edifícios construídos e a percentagem de novas famílias.

Entre 2001-2011 observa-se a maior queda em termos percentuais de edifícios construídos.

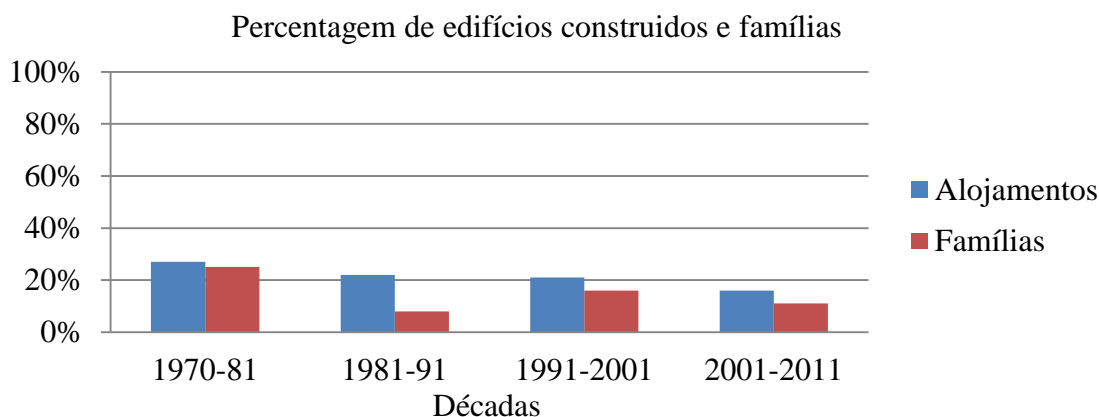


Figura 1 - Gráfico de evolução Famílias/Alojamentos (adaptado de (Pereira,2012))

Constata-se assim que o número de edifícios existentes é superior ao número de famílias, em todas as décadas.

No entanto, o parque habitacional português está cada vez mais envelhecido e degradado sendo essencial recorrer a reabilitação e assim satisfazer as exigências funcionais atuais.

As exigências funcionais passam pela resolução de problemas associados, principalmente, à eficiência energética e à qualidade do ambiente interior. Estes tipos de patologias podem ser visíveis e invisíveis (qualidade do ambiente interior).

Portugal, toma os últimos lugares relativamente à reabilitação de edifícios a nível europeu, o que se traduz num agravamento da degradação do parque habitacional. Para evitar que os edifícios se tornem em património envelhecido, devem ser tomadas iniciativas de reabilitação.

A Alemanha, é o país com mais volume de trabalhos de reabilitação de edifícios residenciais no total da construção no mercado europeu, enquanto a Roménia é o país com menor volume de trabalhos de reabilitação, seguindo-se Portugal, tal como apresentado na Figura 2 (AECOPS, 2009).

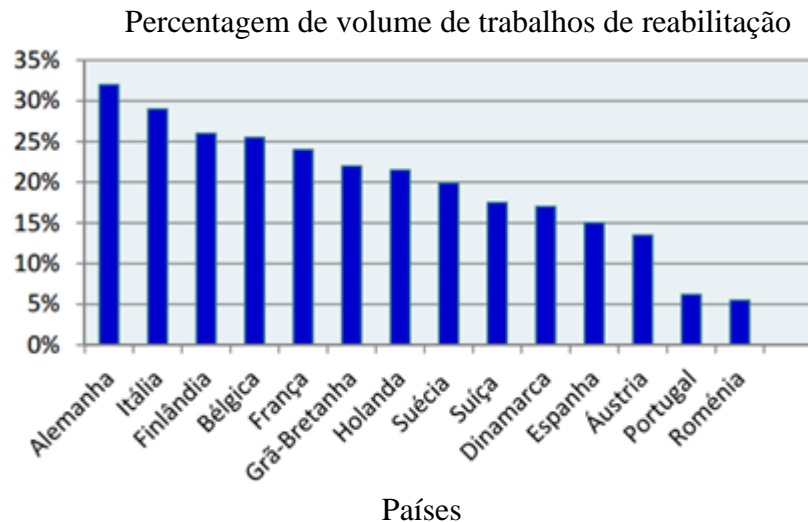


Figura 2 - Reabilitação de edifícios residenciais em vários países (Adaptado (AECOPS,2009))

É necessário modificar este cenário, podendo a reabilitação ter um contributo positivo para a resolução da crise económica em que Portugal se encontra, sendo essencial desenvolver processos de reabilitação e assim diminuir a taxa de desemprego associada ao setor da construção.

Para tudo isto, é necessário motivação e incentivo para uma participação financeira da população, caso contrário os edifícios ficaram cada vez mais degradados e envelhecidos.

Portugal registou uma quebra de 1,1% no número de edifícios reabilitados em 2010 face ao ano de 2009, em que a maior parte destas (67,9%) corresponde a obras de ampliação.

A reconstrução corresponde à menor parcela das obras de reabilitação do edificado, com um peso de 3,3% face ao total (INE, 2011).

É representada na Figura 3, a evolução da percentagem de edifícios construídos (reabilitação do edificado e construções novas) entre 1995 e 2010 em que até 2002 existe uma estabilidade das reabilitações de edifícios e simultaneamente um acréscimo de novas construções. Principalmente a partir de 2003, é visível uma quebra pouco acentuada no sector das obras de reabilitação e uma diminuição das construções novas.

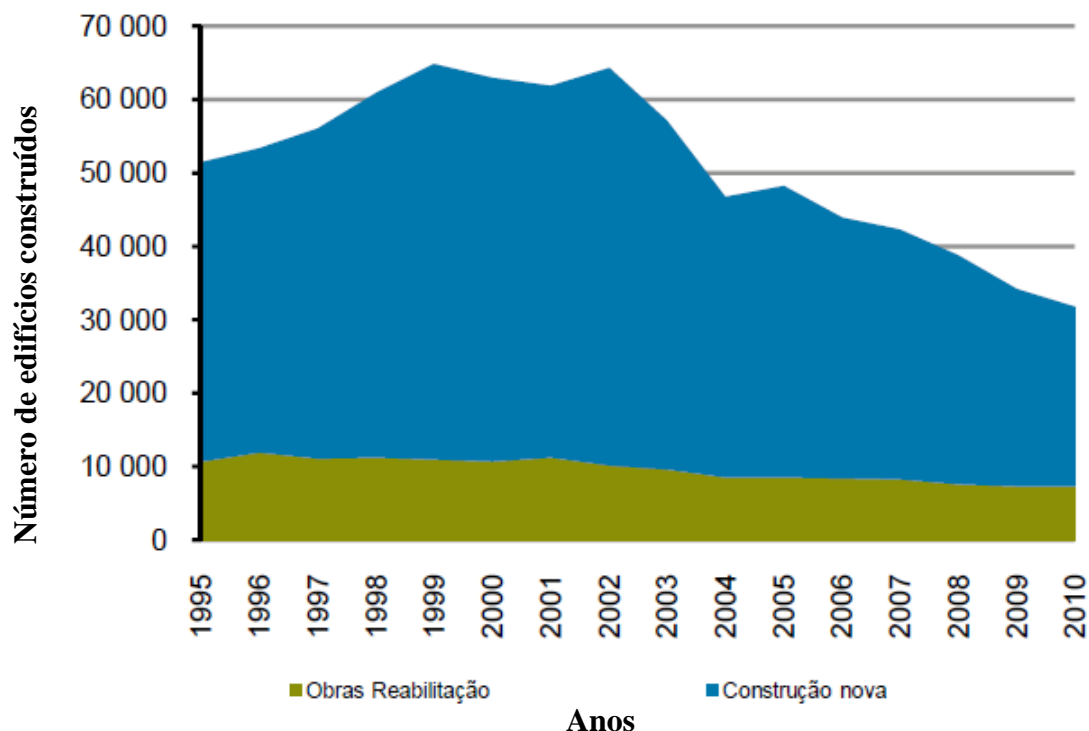


Figura 3 - Reabilitação do edificado e construções novas, Portugal, 1995-2010 (Adaptado (INE, 2011))

Em 2011, existiam em Portugal 3.544.389 edifícios, dos quais 71% se encontram em bom estado, sem necessidades de reabilitação, enquanto 29% necessitam de intervenção. Dentro destes 29%, 17% necessitam de pequenas reparações, 7% necessitam de médias reparações, 3% necessitam de grandes reparações e por fim 2% encontram-se num estado muito degradado, tal como é apresentado na Figura 4 (Censos, 2011).

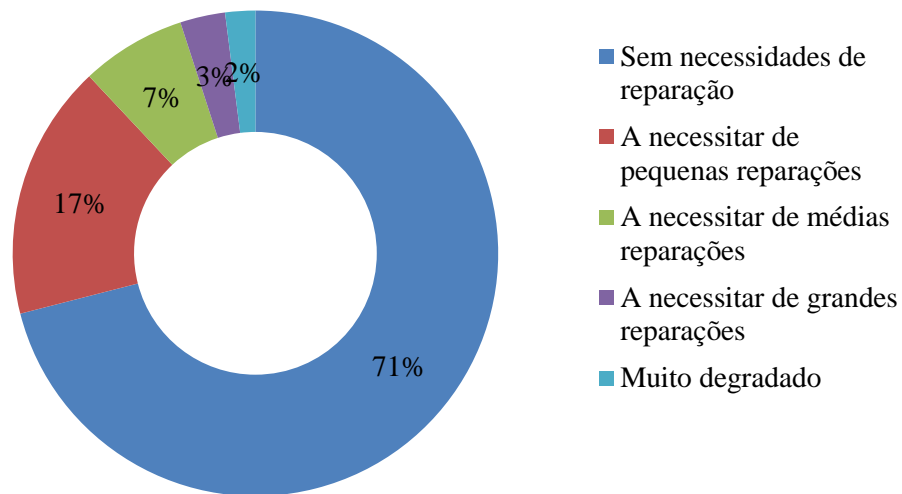


Figura 4 - Distribuição dos edifícios por estado de conservação, 2011 (Adaptado (INE, 2011))

A Figura 5, mostra que num total de edifícios do parque habitacional, construídos até 2011, os mais antigos são os que mais necessitam de intervenção e os mais recentes são os que menos necessitam de intervenção.

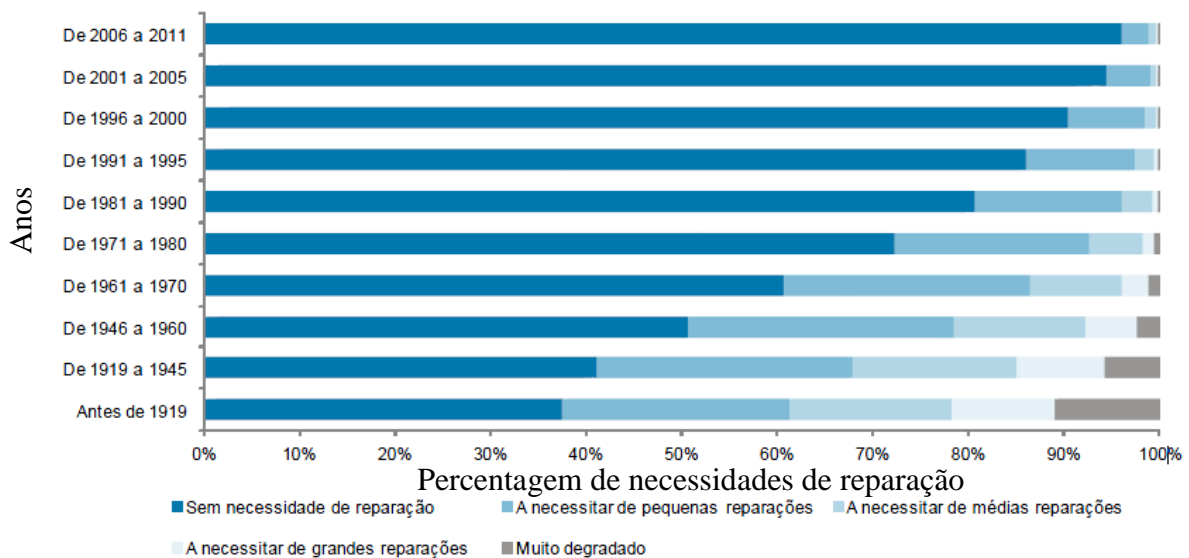


Figura 5 - Proporção de edifícios por época de construção e estado de conservação, 2011 (Adaptado (INE, Censos 2011))

2.2. Consumo energético em Portugal

Com o evoluir dos anos, o tipo de energia utilizado para consumo energético de um edifício tem vindo a variar.

A Figura 6, mostra que em 1989, a lenha era o recurso natural mais utilizado para aquecimento das habitações, seguindo-se o GPL e a Eletricidade que apresentam valores com uma grande diferença relativamente à lenha.

A partir de 1996, começa a notar-se uma forte tendência do crescimento do consumo de eletricidade e GPL, diminuindo a utilização da lenha.

Em 2010, a utilização de eletricidade toma valores elevados enquanto a lenha continua a ser cada vez menos utilizada, o gasóleo de aquecimento começa a ganhar alguma relevância e o solar térmico aparece minoritariamente (INE inquéritos, 2010).

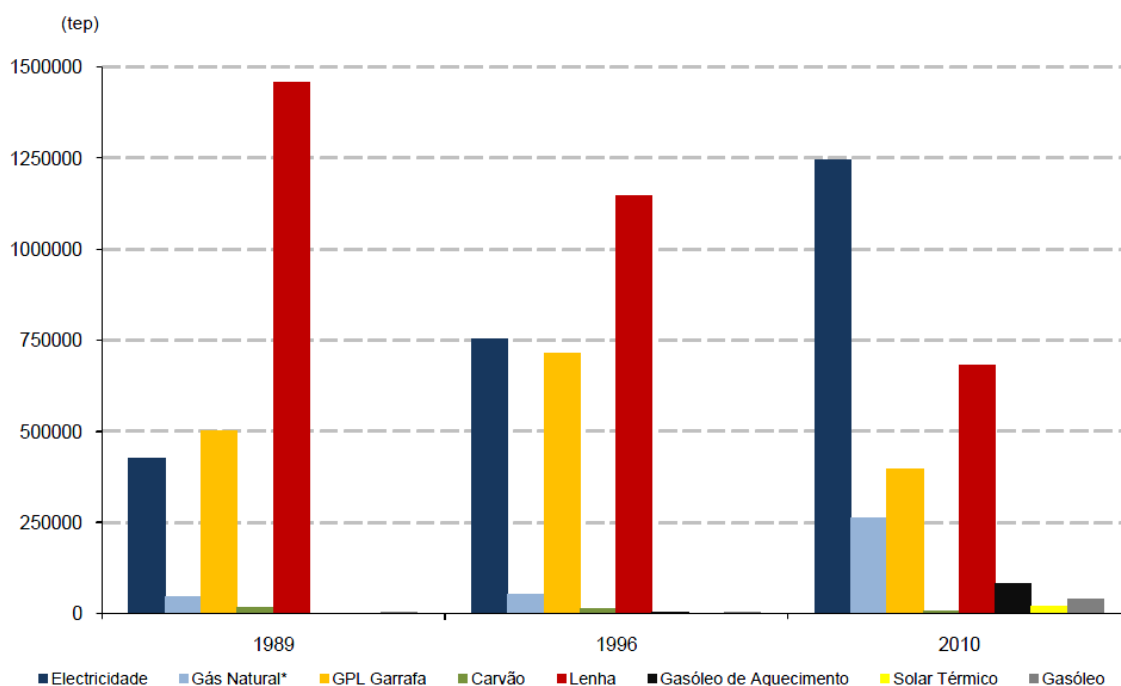


Figura 6 - Evolução dos consumos de energia nos alojamentos (Adaptado (INE, inquéritos 2010))

Na Figura 7, apresenta-se a distribuição de consumo de energia no alojamento em 2010, por tipo de fonte, e na Figura 8 por tipo de uso, para Portugal.

Em 2010, a eletricidade era a fonte de energia mais utilizada para aquecimento de uma habitação e o carvão o menos utilizado.

A cozinha era o compartimento onde era usada uma maior quantidade de fontes de energia, seguindo-se o aquecimento de águas.

O arrefecimento de ambiente está associado à menor percentagem de utilização de energia.

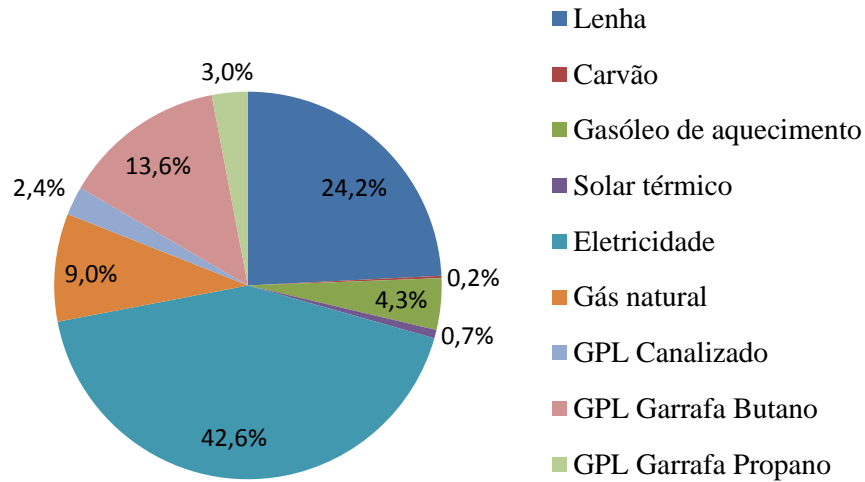


Figura 7 - Consumo de energia em alojamento, 2010 (Adaptado (INE, Inquérito 2010))

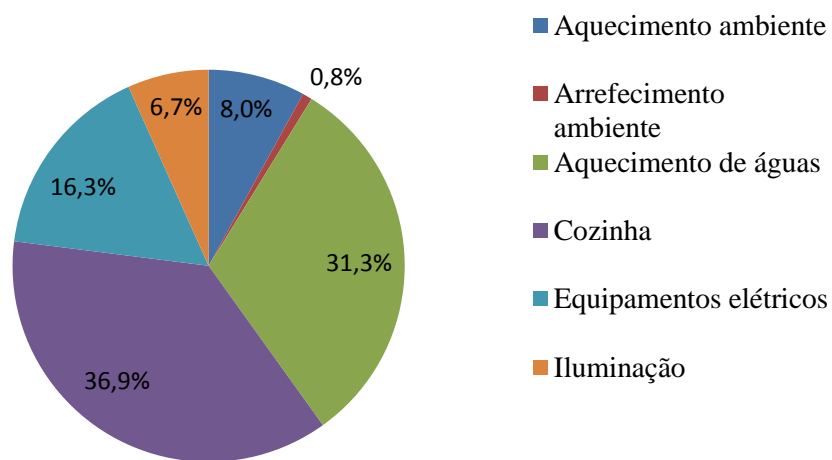


Figura 8 - Distribuição de energia no alojamento (Adaptado (INE, Inquérito 2010))

Numa habitação, a distribuição de energia, para satisfazer as necessidades dos ocupantes, corresponde, maioritariamente, a atividades realizadas na cozinha enquanto a menor percentagem é atribuída ao arrefecimento ambiente.

As energias não renováveis estão cada vez mais caras devido ao elevado custo a que se encontra o petróleo enquanto as energias renováveis não tem custos de exploração tão elevados.

As energias renováveis estão associadas à sustentabilidade pois não comprometem a qualidade do ar interior devido à baixa combustão e dependendo do investimento inicial e custo de exploração terá um curto ou longo período de retorno de investimento.

2.3. Qualidade do ambiente interior

A qualidade do ambiente interior tem várias componentes, sendo elas: a qualidade do ar interior, o conforto térmico, o conforto lumínico, o conforto acústico (EN 15251, 2007; Silva, 2009).

A qualidade do ar interior, está diretamente relacionada com a eficiência energética, pois para um edifício ter uma boa eficiência energética é necessário que este seja o mais estanque possível, mas isto afeta diretamente a qualidade do ar interior, visto que, quanto maior for a estanquicidade ao ar da envolvente do edifício, maior será a dificuldade da entrada de ar para diluir os poluentes que se encontram dentro do edifício.

Relativamente ao conforto térmico, o Homem deve manter o corpo a uma temperatura interna de 37°C, obrigando a que haja um equilíbrio térmico entre o corpo e o meio ambiente, em que um desvio deste valor pode causar a morte (Almeida & Silva, 2001).

O conforto térmico é uma sensação que depende de aspetos biológicos, físicos e emocionais dos ocupantes, podendo os ocupantes de um determinado edifício não estarem todos em conforto térmico (Almeida & Silva, 2001).

Quando o ocupante se sente satisfeito com o ambiente (não deseja um ambiente nem mais frio nem mais quente) está em conforto térmico, ou seja, quando as trocas de calor a que o corpo está sujeito são nulas e a temperatura da pele e o suor estiverem dentro dos limites (ISO 7730, 2005; Almeida & Silva, 2001).

O conforto visual, é dado não só pela garantia de visibilidade dos espaços, mas também pela capacidade do Homem desenvolver as suas tarefas visuais com o máximo de precisão visual sem grande esforço, sem riscos de prejuízos para a visão e com reduzidos riscos de acidentes (Almeida & Silva, 2001).

O bom aproveitamento da iluminação natural, contribui para o conforto visual e bem-estar dos ocupantes e também para a eficiência energética, pela redução da utilização da iluminação artificial (Almeida & Silva, 2001).

O ruído tem efeitos desagradáveis tanto a nível fisiológico como psicológico na população. Assim, o conforto acústico nos edifícios é essencial para o bem-estar, saúde e produtividade dos ocupantes. Os edifícios devem respeitar o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) e o Regulamento Geral do Ruído (RGR), mas isto pode não ser suficiente para que um ocupante se sinta em conforto acústico devido à sua sensibilidade e aos hábitos de utilização, mas também devido a possíveis ruídos exterior elevados que impossibilitam a abertura de janelas ou acesso a varandas (Silva, 2009; RRAE, 2008; RGR, 2007).

2.4. Principais patologias dos edifícios

É essencial conhecer os elementos do edifício com maior necessidade de reparação com o objetivo de propor soluções mais adequadas às necessidades funcionais atuais.

As principais patologias dos edifícios, estão relacionadas com a estrutura, a cobertura, as paredes exteriores, e a caixilharia do envidraçado (INE, 2011). Para cada um dos elementos mencionados é necessário observar a necessidade ou não de reparação. No caso de ser necessário reparação, as patologias devem ser qualificadas quanto ao tipo de reparação: pequena, média, grande ou muito grande.

Na Tabela 2, está representada a percentagem de edifícios correspondente a cada elemento e respetivo grau de necessidade de reparação.

Tabela 2 - Percentagem de necessidade de reparação (Adaptado (INE, 2011))

	Cobertura	Estrutura	Paredes e caixilharia exteriores
Nenhumas	67,0%	69,3%	64,6%
Pequenas	19,1%	18,0%	20,4%
Médias	8,5%	7,6%	9,2%
Grandes	3,5%	3,2%	3,8%
Muito grandes	2,0%	1,9%	2,1%
Total	100,0%	100,0%	100,0%

As paredes e caixilharias exteriores são os elementos com mais necessidade de intervenção, comparando com a cobertura e com a estrutura.

Para além das patologias visíveis, há também patologias não visíveis, associadas ao conforto térmico, conforto acústico e qualidade do ar interior.

Estas patologias têm grande importância, visto que é o conforto dos ocupantes que está em causa e pode ser prejudicial.

2.5. Soluções de reabilitação energética e da qualidade do ambiente interior

É essencial definir soluções para resolver problemas associados a reabilitação energética e de qualidade do ambiente interior. Através do conhecimento da localização das patologias, é importante estudar as causas/efeito e assim propor soluções que se adequem ao problema e resolvam a situação de desconforto dos ocupantes.

2.5.1. Coeficiente de transmissão térmica nos elementos construtivos

O isolamento térmico é essencial para minimizar as trocas de calor entre o interior e o exterior do edifício. Na estação de aquecimento, a utilização de isolamento térmico permite reduzir as perdas de calor e na estação de arrefecimento, permite reduzir os ganhos de calor pela envolvente. O material de isolamento deve apresentar uma baixa condutibilidade térmica (λ), ou seja, resistência térmica elevada (R).

O valor do coeficiente de transmissão térmica (U) é inversamente proporcional à resistência térmica sendo o calor transferido por mecanismos combinados (convecção, radiação e condução). O conhecimento da espessura do material e a condutibilidade térmica do mesmo, permite calcular o coeficiente de transmissão térmica do material.

Nos edifícios de habitação construídos à vários anos, os elementos construtivos tinham uma constituição que não incluía isolamento térmico e tinham uma espessura elevada. Esta espessura tende a diminuir o coeficiente de transmissão térmica (U).

Quanto menor for o valor de U, que resulta do aumento da espessura de isolamento térmico, maior será o investimento inicial mas tem como vantagem a diminuição dos consumos energéticos durante a exploração do edifício (Ferreira, 2009).

Na Tabela 3, é visível uma evolução crescente em termos do coeficiente transmissão térmica, dependendo da zona climática que varia consoante o país.

As zonas climáticas frias são: a Finlândia e a Suécia

As zonas climáticas moderadas são: a Áustria, Bélgica, Dinamarca, França, Alemanha, Irlanda, Luxemburgo, Países-baixos e Reino Unido (EURIMA, 2006).

Com o evoluir dos anos, as exigências energéticas dos ocupantes têm vindo a ser cada vez maiores, assim sendo, o coeficiente de transmissão térmica dos elementos (U) tem diminuindo de modo a que as trocas de calor entre o interior e o exterior sejam menores.

Tabela 3 - Características térmicas do parque habitacional europeu (Adaptado (Ferreira, 2009))

U [W/(m ² ·K)]	< 1975 Condição inicial	>1975 Reabilitados	1975- 1990	1991- 2002	2003-2006 Novos edifícios & Reabilitados	>2006 Novos edifícios & Reabilitados
Zonas climáticas frias						
Coberturas	0,5	0,2	0,2	0,15	0,15	0,13
Paredes exteriores	0,5	0,3	0,3	0,2	0,18	0,17
Pavimentos	0,5	0,2	0,2	0,18	0,18	0,17
Vãos envidraçados	3	1,6	2	1,6	1,42	1,33
Zonas climáticas moderadas						
Coberturas	1,5	0,5	0,5	0,4	0,25	0,23
Paredes exteriores	1,5	1	1	0,5	0,41	0,28
Pavimentos	1,2	0,8	0,8	0,5	0,44	0,415
Vãos envidraçados	3,5	2	3,5	2	1,84	1,68

As pontes térmicas planas são um grande problema associado aos edifícios, estas surgem quando um material com baixo isolamento térmico (pilares e vigas) interrompe outro material com maior resistência térmica.

As patologias associadas a pontes térmicas, são o aparecimento de fungos e bolores e degradação dos materiais, isto acontece quando os valores de humidade relativa são abaixo dos valores de saturação (Vieira, 2002).

A solução para este problema, será adaptar técnicas construtivas favoráveis, reforçando o isolamento térmico pelo interior ou exterior (ETICS), cumprindo as exigências de ventilação do edifício (Patorreb, 2009).

2.5.2. Caixilharias e envidraçados

As caixilharias e envidraçados, têm grande influência na eficiência energética e qualidade do ambiente dos edifícios, para isso é necessário proceder a um dimensionamento adequado dos mesmos.

A área da superfície envidraçada, o tipo de vidro utilizado e o tipo de caixilharia são os aspetos mais importantes, pois é estimado que 25% a 30% das necessidades de aquecimento acontecem devido às perdas de calor associadas aos envidraçados (Enerbuilding, 2008).

As caixilharias dos edifícios antigos eram maioritariamente constituídos por madeira sendo este tipo de solução substituído atualmente por outro tipo de tecnologias (Por exemplo: Alumínio e PVC) (Chaves, 2004).

Quanto aos envidraçados, os edifícios antigos eram em grande parte constituídos por vidros simples que não satisfazem as necessidades de conforto dos ocupantes, nem de eficiência energética dos edifícios.

2.5.3. Energias renováveis

O aumento do custo do petróleo e o protocolo de Quioto, tem vindo a dar um maior incentivo ao uso de fontes de energia renovável, visto que, estes tipos de sistemas utilizam uma fonte inesgotável de energia.

A implementação do protocolo de Quioto, permite limitar as emissões de gases com efeito de estufa dos países desenvolvidos. Os objetivos e metas deste protocolo é a introdução de diferenciação entre metas de redução de energia entre os diferentes países e por fim, um conjunto de reduções e limitações acordadas que resultam na redução das emissões destes países em cerca de 5% (APA, 2013).

2.5.4. Sistema de sombreamento

O sistema de sombreamento pode ser colocado pelo interior ou exterior. O sombreamento realizado pelo interior é menos eficaz que o sombreamento exterior pois este deixa passar 20% a 30% da radiação solar (Quercus, 2008; Rodrigues, 2011).

O sombreamento feito pelo exterior é mais vantajoso pois permite que a radiação solar seja absorvida e refletida no exterior do edifício, e assim, não é necessária a utilização de sistemas de ventilação para eliminar o calor (Rodrigues, 2011).

A implantação de palas em edifícios construídos, é uma solução para otimizar a eficiência energética do edifício.

A colocação de proteções exteriores, saliências devido à construção do edifício e vegetação, tem como finalidade minimizar a inserção da radiação nos períodos quentes e maximiza-la nos períodos frios.

O dimensionamento dos elementos de sombreamento, depende da trajetória do sol ao longo do ano. A melhor solução, é orientar a maioria dos envidraçados a Sul de modo a receberem o máximo de radiação no inverno e menos no verão, deste modo a fachada a norte deve ser bem isolada e ter poucas aberturas (Ferreira, 2009).

2.6. Ventilação/Qualidade do ar interior

Durante muito tempo, a poluição exterior era o principal interesse de estudo por parte dos cientistas, mas com o evoluir dos tempos a poluição interior tem vindo a ganhar relevância (Santos, 2010).

A qualidade do ar interior, é influenciada pelos seguintes fatores: fontes de poluição interior (materiais de construção, equipamentos produtos de consumo, limpeza, entre outros), ocupantes (comportamento e atividades), sistemas de ventilação, sistemas de climatização, fontes de poluição exterior (fumo de combustão de veículos, emissões industriais, pólen, deposição de resíduos) (Santos, 2010).

Os fatores acima referidos podem trazer ao ocupante efeitos sobre o seu bem-estar que vão desde ligeira sensação de mal-estar até doenças graves e no limite mesmo a morte (monóxido de carbono).

O dióxido de enxofre (SO₂), ozono (O₃) e o pólen, são poluentes exteriores que se infiltram para o interior do edifício através da envolvente ou sistemas de ventilação.

Os poluentes interiores incluem formaldeído, radão, amónia, compostos orgânicos voláteis (COVs), microrganismos, CO₂ e CO no caso de combustão.

O formaldeído, é derivado da aplicação em diversos materiais existentes, a sua emissão decresce ao longo do tempo e concentrações elevadas pode provocar reações alérgicas nos ocupantes.

O dióxido de carbono (CO₂), NO_x, partículas e VOC's são comuns no interior e no exterior, sendo o CO₂ o poluente mais importante quando há ocupação humana (Silva & Almeida, 2001).

O monóxido de carbono (CO), é produzido devido à incompleta combustão de fogões, caldeiras, automóveis, tabaco, entre outros.

No caso dos habitantes do edifício serem fumadores, é necessário uma maior taxa de ventilação visto que o fumo do tabaco liberta mais de 5000 substâncias que podem ser prejudiciais para a saúde humana, desde irritação das mucosas, cancro e alergias. Assim sendo, é necessário adicionar um caudal de ar fresco de 7l/s para cada fumador para consumidores de 1,3 cigarros/hora (Silva, 2009).

No caso do ambiente exterior ter uma boa qualidade do ar, pode recorrer-se à ventilação dos espaços e assim proceder à diluição dos poluentes do edifício, promovendo oxigénio para respiração dos ocupantes, controlo da humidade interior e controlo de partículas respiráveis proporcionando bem-estar aos ocupantes.

Os tipos de ventilação existente, são ventilação natural e mecânica (forçada). A ventilação natural, é dada pelas diferenças de temperatura, fluxos de pressão e continua circulação de ar. Para tal acontecer, é necessário a existência de aberturas em contato com o exterior para que se possa promover a renovação de ar entre divisões opostas (Amaral, 2008).

A ventilação mecânica, é utilizada no caso da ventilação natural não ser suficiente para assegurar a taxa de renovação de ar mínima regulamentar ($R_{ph}=0,6h^{-1}$) (RCCTE, 2006). Os sistemas de ventilação permitem extrair o ar poluído e insuflar ar fresco. Estes sistemas possibilitam que seja efetuada uma recuperação de energia no aquecimento e arrefecimento fazendo com que fluxos de entrada e saída se cruzem sem se misturarem (Rodrigues, 2011).

2.7. Problemas e soluções associadas a reabilitação de edifícios

Para uma reabilitação eficaz, inicialmente deve-se identificar o tipo de problema associado a cada patologia e de seguida, intervir propondo soluções de melhoria.

As soluções de melhoria devem ser analisadas quanto á sua sustentabilidade, viabilidade económica e eficiência energética.

2.7.1. Infiltrações

As infiltrações de ar e água são patologias frequentes nos edifícios. As infiltrações de ar, podem conduzir à ventilação descontrolada e consumos energéticos elevados, mas também, asseguram a ventilação e a qualidade do ar interior.

As infiltrações de água podem acontecer pelas coberturas planas, inclinadas e paredes podendo degradar os materiais.

Em relação à infiltração de água pelos envidraçados, em geral deve-se à deficiente ligação da caixilharia e do peitoril com a ombreira. A possível causa para esta anomalia, é devido ao mau dimensionamento da caixilharia, ou seja, não são completamente eficazes à estanquidade ao ar, permeabilidade à água e deformabilidade ao vento.

Um outro problema que pode afetar o bem-estar dos ocupantes, é a falta de estanquidade ao ar, e assim proporcionar uma sensação de frio na estação de aquecimento.

Em relação à cobertura plana não acessível, é muito frequente observar manchas de humidade no revestimento do teto do edifício. Isto pode ocorrer devido à deficiente configuração final do sistema de impermeabilização ou a insuficiências ao nível do isolamento térmico da cobertura. As platibandas em alvenaria, quando degradadas, permitem a infiltração de água (Patorreb, 2009).

A estanquidade à água numa cobertura inclinada, é garantida quando a única ação exercida sobre o telhado é a chuva, mas quando a ação da chuva se junta o vento pode provocar movimentos das águas nos telhados provocando infiltração de água (lftc, 2006).

Devido à existência de fissuras no exterior da fachada do edifício, há a possibilidade de penetração da água por estas fissuras, isto ocorre em paredes simples ou devido ao deficiente tratamento da caixa-de-ar de paredes duplas (Patorreb, 2009).

A caixa-de-ar deve encontrar-se impermeabilizada, o que muitas vezes não acontece, permitindo a condução de água até o interior do edifício causando aparecimento de manchas de humidade e destacamentos (Patorreb, 2009).

As soluções para este problema, passariam pela substituição da caixilharia por uma caixilharia corretamente dimensionada tendo em conta a sua exposição e desenvolvimento em altura da fachada. A substituição do peitoril seria outra solução a ter em conta, e por fim, seria conveniente colocar silicone na ligação da caixilharia com o contorno (Patorreb, 2009).

As soluções para as infiltrações na cobertura plana, seria a substituição do sistema de impermeabilização da cobertura com telas reforçadas no remate com a platibanda que também deve ser substituída por uma platibanda em betão armado, em que a superfície interior deveria ser revestida por uma chapa de zinco (Patorreb, 2009).

A solução para as infiltrações através de fachadas, passa pela eliminação de fissuras na parte exterior do edifício incluindo impermeabilização, ventilação e aplicação de dispositivos de drenagem (Patorreb, 2009).

2.7.2. Condensações superficiais

As condensações de vapor de água, são uma das patologias mais frequentes nos edifícios, ocorrendo quando o ar entra em contacto com superfícies mais frias e a sua humidade absoluta atinge o limite de saturação para a temperatura em causa (Duarte, 2010).

O limite de saturação, é a quantidade máxima de vapor de água que o ar pode conter, sendo esta quantidade limitada e variável com a temperatura. A condensação, é a passagem da água do ar no estado gasoso em excesso para estado líquido (Mendonça, 2005).

Este tipo de problema é frequente principalmente nas instalações sanitárias de uma habitação, cujas principais patologias são o aparecimento de manchas de bolor em grande parte na zona entre a ligação exterior/teto. Isto acontece devido à insuficiência de ventilação no espaço, pois as casas de banho são compartimentos em que a produção de vapor é mais elevada devido à atividade humana.

A condensação pode ocorrer na envolvente devido a ausência ou insuficiência de aquecimento do ambiente interior, ausência ou deficiência do isolamento térmico, ventilação insuficiente e higroscopicidade inadequada dos revestimentos interiores (Patorreb, 2009).

Nos envidraçados, ocorrem condensações quando a temperatura superficial interior é inferior à temperatura do ponto de orvalho (Duarte, 2010).

As soluções para este problema na envolvente passam pela instalação eficiente do isolamento térmico, e assim não permitir que haja uma diminuição brusca de temperatura que cause condensações superficiais (Patorreb, 2009).

A solução para a condensação nos envidraçados, é a substituição do vidro simples por um vidro duplo e da caixilharia por outra com perfis com corte térmico (Patorreb, 2009).

Nas casas de banho, a melhor forma para prevenir esta patologia, é a instalação de sistemas de extração permanente do ar e reforço do aquecimento, e por fim, limpeza de superfícies com bolores com uma solução de 10% de hipoclorito de sódio e aplicação de um produto fungicida (Patorreb, 2009).

2.7.3. Eflorescências

As eflorescências, são manchas de cor branca que surgem devido à formação de carbonato de cálcio.

O fenómeno da eflorescência surge quando a cal se dissolve na água proveniente do solo ou existente no material, sendo transportada para a superfície do elemento e no processo de evaporação ficam depositados os sais (Patorreb, 2009).

As soluções para este problema passam pela remoção de manchas com solução de ácido clorídrico diluído a 10% (Patorreb, FEUP).

2.7.4. Humidade ascensional

A humidade ascensional, surge devido à ascensão capilar da humidade proveniente do terreno.

Quando o terreno está húmido e as paredes estão em contato com o mesmo, dá-se o fenómeno de migração da humidade, isto acontece quando os materiais apresentam elevada capilaridade ou quando não existe corte hídrico (Silva, 2009).

As patologias associadas são: aparecimento de manchas esverdeadas, manchas de humidade, rodapés degradados, destacamento de revestimento e pintura junto à base das paredes podendo, também refletir-se no pavimento (Patorreb, 2009).

As possíveis soluções são: secagem da fonte de alimentação da água (rotura de condutas/coletores de água ou esgotos e escoamento das águas pluviais), tratamento superficial do terreno, que acontece quando as águas pluviais são conduzidas para o edifício (criando valas drenantes nas zonas adequadas, impermeabilização superficial, correção do declive), rebaixamento do nível freático, inserindo drenos verticais ou poços, e por fim, drenagem do terreno recolhendo águas superficiais conduzindo-as a um sistema de esgotos (Patorreb, 2009).

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

3.1. Avaliação do conforto térmico

Para avaliação do conforto térmico, inicialmente foi colocado um equipamento no centro dos compartimentos mais solicitados, nomeadamente, o quarto, a cozinha e a sala. Foram feitas medições de 30 minutos em cada programa operativo (A e B) em que todas as aberturas se encontravam fechadas.

O equipamento utilizado foi o equipamento HD 32.1 Thermal Microclimate, Delta Ohm. Foi medida a temperatura do ambiente interior para verificar se esta se encontrava na temperatura regulamentar (20°C - 25°C), serve também para verificar se a humidade relativa está em condições que não cause aparecimento de bolores e condensações nos edifícios, recorrendo as normas EN ISO 7730:2005, EN 15251:2007 e EN 7726:1998.

A norma EN ISO 77826, permite orientar o utilizador para medição dos parâmetros essenciais de avaliação de conforto térmico. O programa de simulação A permite obter a temperatura de bolbo negro, temperatura de bolbo húmido de ventilação natural, temperatura ambiente, pressão atmosférica, humidade relativa e velocidade do ar. O programa operativo B permite obter a temperatura ambiente ao nível do tornozelo, cintura e peito (EN ISO 7726, 1998).

O índice PMV, representa o voto médio de um grupo de pessoas expostas ao mesmo ambiente segundo uma escala de sensação térmica, variando de muito frio a muito quente, enquanto o PPD representa a previsão do número de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico. Este índice é calculado a partir do índice de PMV. O cálculo do índice de PMV e PPD permitem avaliar as condições de conforto térmico, de acordo com as metodologias definidas nas normas EN ISO 7730:2005, ASHRAE 55:2010 e EN 15251:2007 (EN ISO 7730,2005; ASHRAE 55, 2010; EN 15251:2007).

A determinação dos índices PMV e PPD são feitos através do CBE Thermal Comfort Tool, em que os parâmetros que influenciam estes valores são: a temperatura ambiente, temperatura média de radiação, velocidade do ar, humidade relativa, atividade metabólica e vestuário dos ocupantes (CBE, 2013).

3.2. Avaliação das condições de iluminação

O conforto lumínico, foi avaliado através da medição da iluminância e do cálculo do Fator de luz do dia no quarto, na sala e na cozinha, usando luxímetros colocados no interior e exterior e um data logger para registo dos dados. A distribuição de luxímetros nos compartimentos foi definida de maneira a que representasse o melhor possível a luminosidade em forma retangular no interior do edifício. O luxímetro no exterior, foi posicionado na vertical sem obstrução. Está definido que o luxímetro exterior deve ser colocado na cobertura, mas devido ao facto da cobertura ser de difícil acesso, a medição foi efetuada num plano vertical próximo do envidraçado, com um ecrã de cor negra mate para evitar reflexão da luz.

O cálculo do Fator de Luz do Dia é dado pela equação 1.

$$FLD(\%) = \left(\frac{E_{int}}{E_{Vext}} \times 0,396 \right) \times 100 \quad (1)$$

Em que,

E_{int} – Iluminância interior num ponto do plano horizontal de um compartimento (lux);

E_{Vext} – Iluminância exterior simultânea (lux).

Os valores de FLD e a verificação dos requisitos recomendados, de acordo com as recomendações da CIE são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - FLD recomendados para os vários compartimentos

Compartimento	FLD recomendado (%)
Quarto	Quarto: $\geq 0,5\%$ a $3/4$ da profundidade do compartimento
Sala	Sala: $\geq 1\%$ a $1/2$ da profundidade do compartimento
Cozinha	Cozinha: $\geq 2\%$ a $1/2$ da profundidade do compartimento

A norma EN 12464-1, define critérios que conduzem a uma melhor qualidade de iluminação e consequente diminuição de consumo de energia e a norma EN 15251, define as condições de iluminação para conforto lumínico, assim sendo, estas normas serão essenciais para uma correta avaliação da iluminância do edifício (EN 12464-1, 2002; EN 15251, 2007).

3.3. Ensaio de avaliação da qualidade do ar interior

Os equipamentos utilizados para avaliar a qualidade do ar interior, foram: Sensor de partículas respiráveis (PM₁₀) (DUSTTRAK II), sensor de monóxido de carbono e dióxido de carbono (Testo 435), sensor de formaldeídos (Data Logger Model ZDL-300) e sensor de ozono (Data Logger Model ZDL-1200).

Os sensores foram colocados em 3 pontos de cada compartimento, fazendo-se medições de 5 minutos, com todas as aberturas fechadas, tal como referido na NT-SCE-02, esta nota técnica apresenta também os valores de concentração máxima de referência de poluentes, no interior de edifícios de serviço e residenciais (Tabela 5).

Tabela 5 - Concentrações máximas de referência de poluentes no interior do edifício (NT-SCE-02)

Parâmetros	Concentração máxima (mg/m ³)
CO	12,5
PM ₁₀	0,15
CHOH	0,1
O ₃	0,2

As concentrações medidas estão em ppm, mas estas devem ser convertidas em mg/m³. Os fatores de conversão de gases em partes de milhão para concentrações normalizadas estão a uma temperatura de 293K e á pressão de 101,3kPa (NT-SCE-02) (Tabela 6).

Tabela 6 - Fatores de conversão de gases em frações molares (NT-SCE-02)

Parâmetro	Fatores de conversão
Ozono (O ₃)	1ppm=2 mg/m ³
Formaldeído (CHOH)	1ppm=1,25 mg/m ³
Monóxido de carbono (CO)	1ppm=1,164 mg/m ³
Dióxido de carbono (CO ₂)	1ppm=1800 mg/m ³

Sendo assim, a conversão será feita através da Equação 2 (NT-SCE-02, versão draft, 2009) :

$$C_{\text{normalizada}} = C_{\text{medida}} \times \frac{P_{\text{medida}}}{101.3} \times \frac{293}{T_{\text{medida}}} \quad (2)$$

Em que,

C_{normalizada} - Concentração normalizada do poluente (mg/m³)

C_{média} – Concentração normalizada do poluente medido (mg/m³)

T_{medida} – Temperatura medida (k)

P_{medida} – Pressão atmosférica medida (kPa)

3.4. Ensaio de avaliação das condições de conforto acústico

É utilizado o sonómetro CEL Instruments, modelo CEL, para medição do nível sonoro contínuo equivalente ponderado (LAeq).

O equipamento, permite medir o nível sonoro contínuo equivalente da fachada exterior, na sala e no quarto e posteriormente comparar os valores obtidos com os regulamentares.

A norma NP 1730-1, indica que devem ser realizadas pelo menos 3 medições em cada compartimento. No caso de as medições não serem efetuadas em contínuo, é recomendado que a duração mínima das medições seja de 30 minutos e cada medição não seja inferior a 10 minutos. Deve ser interrompida a medição, caso ocorra algum ruído que não seja frequente (NP 1730-1,2006).

A norma EN 15251, recomenda o nível sonoro medido no quarto de 20 dB a 35 dB e na sala de 25dB a 40dB, durante o dia, enquanto no período noturno o nível sonoro medido deve ser inferior a 30dB (EN 15251, 2007).

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Decreto-Lei nº 96/2008 de 9 de Julho), estabelece os requisitos acústicos dos edifícios para melhorar a qualidade acústica. Estes requisitos acústicos, são valores limite atribuídos a edifícios habitacionais e mistos, unidades hoteleiras, edifícios comerciais e de serviço, partes similares em edifícios industriais, edifícios escolares e similares, edifícios de investigação, edifícios hospitalares, recintos desportivos, auditórios e salas (RRAE, 2008).

3.5. Programas de simulação

Para o estudo e análise do edifício relativamente ao comportamento térmico, acústico, lumínico e qualidade do ar interior, foram utilizados diferentes programas para otimizar a escolha das soluções construtivas de reabilitação.

O programa utilizado para a simulação do comportamento acústico, foi o Acoubat Sound V2.0, sendo este programa baseado num modelo elasto-dinâmico.

O Acoubat Sound é um programa de simulação computacional que é baseado no método de predição numérico, calcula a capacidade de isolamento de acordo com a EN12354 e ISO 717 na parte 1 e 2, em que a primeira é referente aos sons aéreos e a segunda é referente aos sons de percussão (Polli et al, 2007).

Este programa, apenas permite plantas com geometria retangular, assim sendo os compartimentos não são aceites com alturas e larguras diferentes (Polli et al, 2007), a Figura 9 representa um modelo ilustrativo do programa.

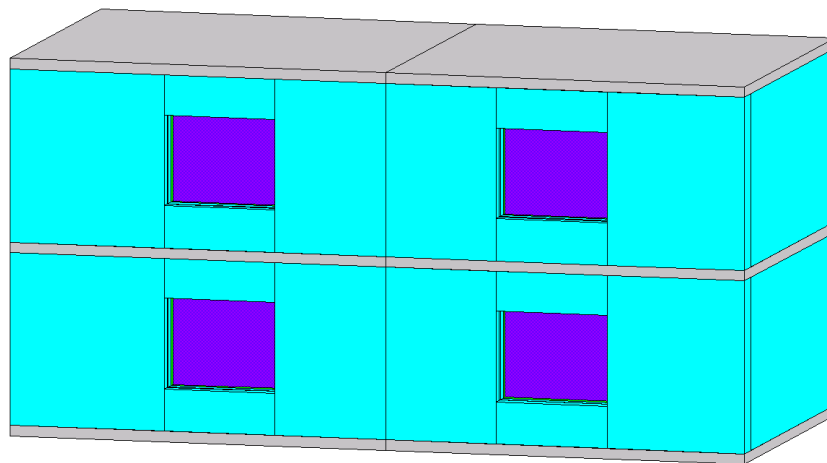


Figura 9 - Modelo de simulação do Acoubat sound

Este programa, avalia o impacto do som no edifício, possuindo uma base de dados que permite escolher a melhor solução acústica para edifícios multifamiliares, salas de aulas, auditórios, entre outros.

O Energy Plus, é um programa de simulação dinâmica que permite modelar o uso de energia e água nos edifícios e assim otimizar a utilização dos mesmos. A modelação de energia, inclui as necessidades de aquecimento, arrefecimento, iluminação, ventilação entre outros fluxos de energia. Permite ainda, prever as condições de conforto térmico de acordo com o estabelecido nas normas EN ISO 7730: 2005 e ASHRAE 55:2010 (EERE, 2003; EN ISO 7730, 2005; ASHRAE 55, 2010).

O DesignBuilder, é um programa de simulação que permite fazer uma modelação em 3D do edifício, tem integrado características do programa Energy Plus. Permite uma rápida modelação e é utilizado para avaliação do impacto da geometria, avaliação da eficiência energética, visualização de sistemas de sombreamento, simulação térmica de edifícios ventilados naturalmente, projetos de iluminação natural, cálculo de necessidades de

aquecimento e arrefecimento, visualização de desempenho térmico, e por fim, prever a energia anual e o conforto térmico (DesignBuilder, 2011)

Na Figura 10 é apresentada a visualização em 3D de um edifício no DesignBuilder

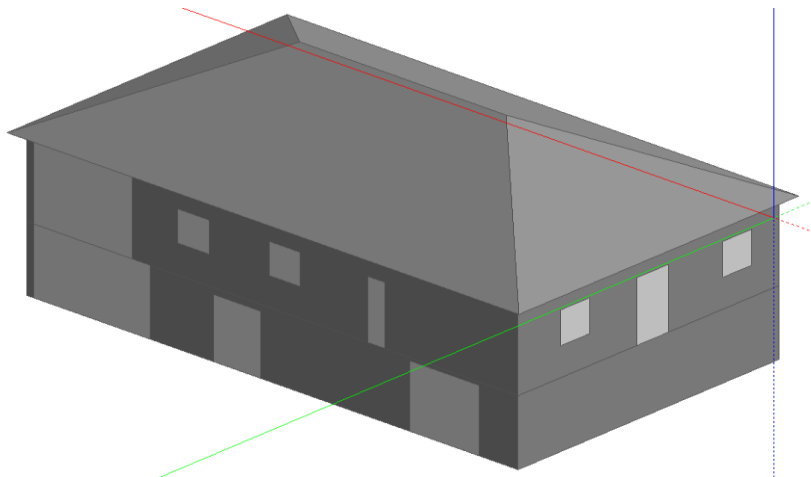


Figura 10- Modelo de simulação no Designbuilder

Este programa possibilita editar o modelo em tempo real permitindo um melhor controlo da simulação, avaliando a estética das fachadas, ventilação natural, modelos de iluminação natural, dimensionamento dos equipamentos AVAC.

As principais características do DesignBuilder são:

- Permite atribuir características aos elementos de construção;
- As características do edifício são alteradas de forma mais rápida e mais fácil;
- Os dados de simulação podem ser exportados dependendo das necessidades específicas do utilizador.

O DesignBuilder, pode simular o comportamento do edifício para o dia de projeto ou anualmente, podendo também fazer a verificação regulamentar com base no RCCTE (designbuilder, 2010).

O Radiance, é um programa de simulação que é integrado no autocad e tem uma base de dados que inclui bibliotecas de materiais, envidraçados, luminárias e mobiliário para poderem ser criados rapidamente modelos de iluminação realistas. Este programa tem como objetivo criar uma ferramenta de design, e assim, facilita a consideração de iluminação artificial sem desperdício de energia e estratégias de iluminação natural em projeto de construção (Figura 11) (desktop radiance, 1998).

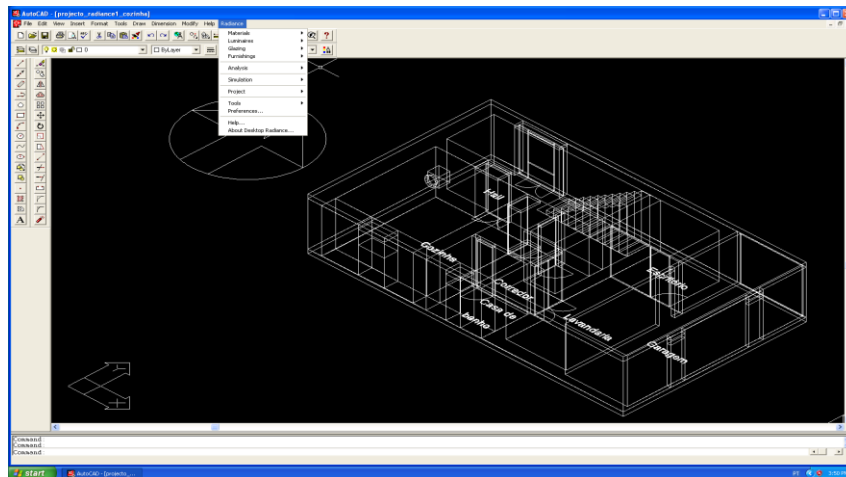


Figura 11 - Visualização do programa Radiance desktop (eetd, 2013)

Este programa calcula valores de radiação e irradiância espectral (iluminância e cor) do interior e exterior.

A avaliação da iluminância do edifício em estudo, passa pelas seguintes etapas:

- Criação de um modelo 3D;
- Atribuir materiais, envidraçados, luminárias e mobiliário aos elementos construtivos do edifício em estudo;
- Definir a orientação do edifício, a zona em estudo, a posição da câmera e pontos de referência;
- Simulação da zona em estudo utilizando a ferramenta de análise de imagem, obtendo os parâmetros lumínicos pretendidos.

Os resultados obtidos podem ser: valores de iluminância ou luminância, Fator de Luz do Dia, níveis de conforto visual, isolinhas e imagens de qualidade fotográfica (Silva, 2009).

3.6. Simulação da qualidade do ar interior

A simulação da qualidade do ar interior, deve seguir a metodologia de Fanger.

Segundo Fanger, a percepção da qualidade do ar é determinada através da percentagem de pessoas descontentes (PPD) e da percepção que os habitantes têm da qualidade do ar interior ao entrarem no compartimento, pois os poluentes podem ter dimensões inferiores aos limites do aparelho de medição, não sendo detetados por este (Equação 3 e equação 4) (Almeida & Silva, 2001).

$$PPD = 395 \times e^{-1,83 \cdot q^{0,25}} \quad \text{Para } q \geq 0,32 \text{ l/s/olf} \quad (3)$$

$$PPD = 100\% \quad \text{Para } q \leq 0,32 \text{ l/s/olf} \quad (4)$$

Em que,

PPD - percentagem de pessoas descontentes;

q - caudal de ventilação por unidade de carga de poluente;

olf - poluição gerada por uma pessoa padrão;

Na Tabela 7, são apresentados os níveis de qualidade do ar tendo em conta três níveis (A,B e C)

Tabela 7 - Níveis de qualidade do ar

Categoria	Percepção da qualidade do ar (insatisfação)	Caudal de ventilação (m³/h* pessoa padrão)	Caudal de ventilação (l/s* pessoa padrão)
A	15%	36	10
B	20%	25,2	7
C	30%	14,4	4

As Figuras 12 e 13, representam os gráficos que o Comité Europeu de Normalização (CEN) estabelece para os três níveis de insatisfação dos ocupantes.

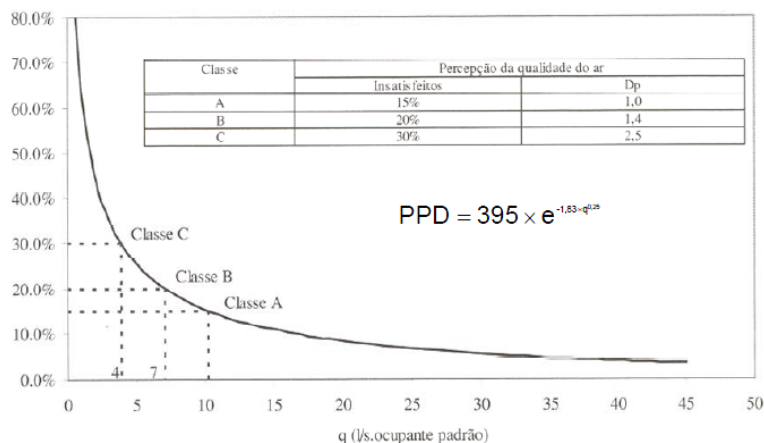


Figura 12- Percepção da qualidade do ar (Almeida & Silva, 2001)

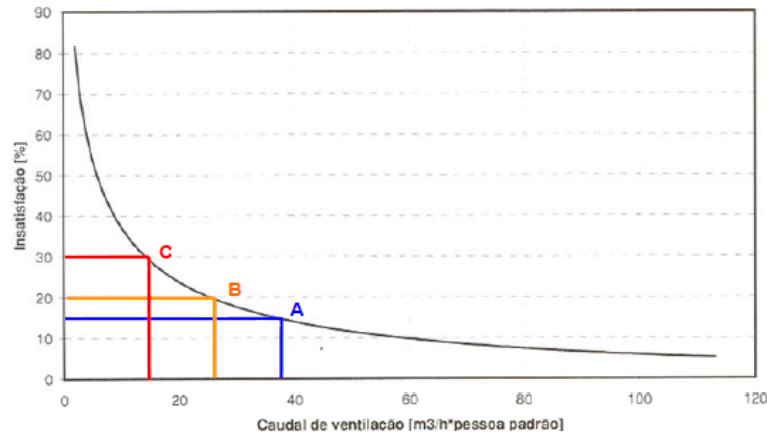


Figura 13 - Insatisfação causada por uma pessoa padrão (Almeida & Silva, 2001)

Na Figura 14, é apresentado um gráfico com a variação da percentagem de pessoas descontentes em função da concentração de CO₂ acima da exterior.

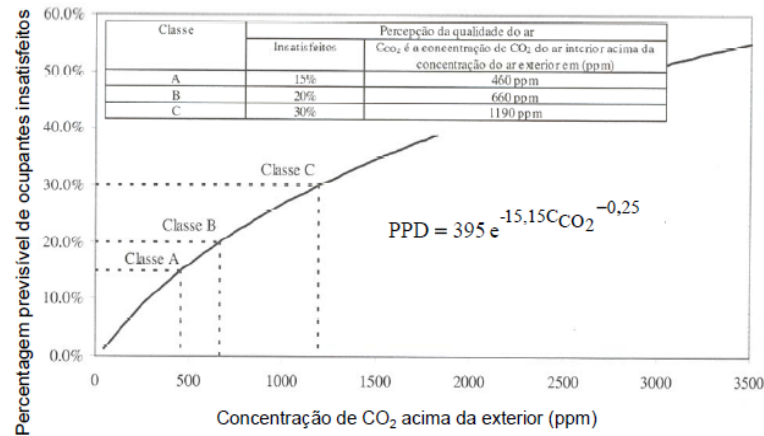


Figura 14 - Concentração de CO₂ acima do exterior (PPM) (Almeida & Silva, 2001)

A percentagem de pessoas descontentes é dada pela equação 5.

$$PPD = 395 e^{-15,15C_{CO_2}^{-0,25}} \tag{5}$$

Na Figura 15, é apresentada a relação entre a percentagem de pessoas descontentes (PPD) e a percepção da qualidade do ar interior (Ci).

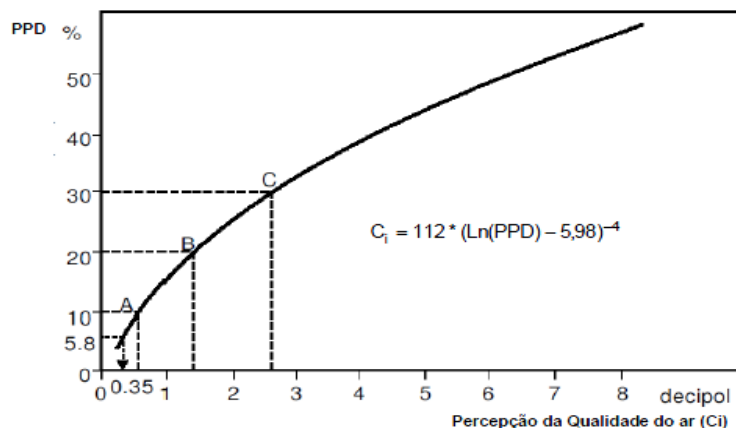


Figura 15 - Percentagem de pessoas descontentes em função da percepção da qualidade do ar interior (Almeida & Silva, 2001)

A percepção da qualidade do ar interior é dada pela equação 6.

$$C_i = 112 \times (\ln(PPD) - 5,98)^{-4} \tag{6}$$

Na tabela 8, apresenta-se a emissividade olfativa de pessoas/objetos.

Tabela 8 - Emissão olfativa de objetos/materiais

Pessoa/objeto	Emissão olfativa (olf)
Pessoa sentada (1 met)	1 olf
Pessoa ativa (4 met)	5 olf
Pessoa ativa (6 met)	11 olf
Fumador (sem estar a fumar)	6 olf
Fumador	25 olf
Atleta	30 olf
Mármore	0,01 olf/m ²
Linóleo	0,2 olf/m ²
Fibra sintética	0,4 olf/m ²
Borracha	0,6 olf/m ²

A carga de poluição sensorial num espaço, é obtida através da adição das cargas sensoriais das fontes existentes (ocupantes e materiais do edifício) e cargas de poluentes negativos, que é o caso dos sistemas de ventilação. Nas Tabelas 9 e 10 apresenta-se a carga poluente sensorial emitida pelos ocupantes e pelos materiais de um edifício, respetivamente.

Tabela 9 - Carga sensorial de poluentes emitidos pelos ocupantes

Atividade	Carga de poluição sensorial (olf/ocupante)	CO ₂ (l/h.ocupante)	CO (l/h.ocupante)	Vapor de água (g/h.ocupante)
Sedentária (1 a 1,2 met)				
0% Fumadores	1	19		50
20% Fumadores	2	19	0,011	50
40% Fumadores	3	19	0,021	50
Exercício físico				
Fraco (3 met)	4	50		200
Médio (6 met)	10	100		430
Alto (10 met)	20	170		750
Crianças (infantário e escola)				
3 a 6 anos (2,7 met)	1,2	18		90
14 a 16 anos (1 a 1,2 met)	1,3	19		50

Tabela 10 - Carga sensorial de poluentes emitidos pelos materiais do edifício

	Carga sensorial de poluição (olf/m ² pavimento)	
	Valor médio	Gama de valores
Edifício existentes		
Escritório	0,6	0 a 3
Escolas (sala de aula)	0,3	0,12 a 0,54
Infantários	0,4	0,20 a 0,74
Auditório	0,3	0,13 a 1,32
Edifícios novos (sem fumadores)		
Edifício com materiais pouco poluentes (low-polluting)	0,1	
Edifícios não low-polluting	0,2	

A taxa de ventilação é necessária para o conforto em locais com ocupação frequente, este valor pode ser calculado pela equação 7.

$$Q_c = 10 \times \frac{G_c}{C_{c,i} - C_{c,o}} \times \frac{1}{\epsilon_v} \quad (7)$$

3.7. Descrição do edifício

O edifício em estudo, é uma habitação unifamiliar construída em 1890 e restaurada em 1999, localizada em Ponte de Lima

Este edifício está localizado nas proximidades de uma estrada municipal (M536) e um caminho em que o tráfego automóvel é pouco significativo.

A habitação tem uma geometria retangular, uma área total habitável de 234,8 m² e é composta por dois andares que inclui hall de entrada, cozinha, três casas de banho, três quartos, uma sala, um escritório, uma garagem, uma lavandaria, uma despensa e dois anexos, sendo um deles utilizado para atividades agrícolas e o outro é uma cozinha tradicional.

As medições foram feitas nos compartimentos mais utilizados (cozinha, sala comum e num quarto) em que todos eles se encontravam mobilados.

A Figura 16, apresenta a localização do edifício em estudo.



Figura 16 - Localização do edifício em estudo

A habitação representada na Figura 17, tem 4 frentes, estando a fachada principal orientada a norte. A iluminação natural do edifício não é prejudicada por nenhum elemento exterior.

O agregado familiar desta habitação, é de 5 pessoas, mas nos dias úteis apenas é ocupado por 4 pessoas. Nenhum dos habitantes é fumador.

As janelas do edifício são abertas nos quartos durante a manhã, maioritariamente na estação do verão.

A habitação, possui um sistema de extração mecânica numa das casas de banho, que é acionado quando é ligada a luz do compartimento e um extrator na cozinha que funciona de forma pontual.

Na Figura 17 e 18, é apresentada a vista geral da habitação e as plantas da habitação (rés do chão e andar).



Figura 17 - Vista geral da habitação

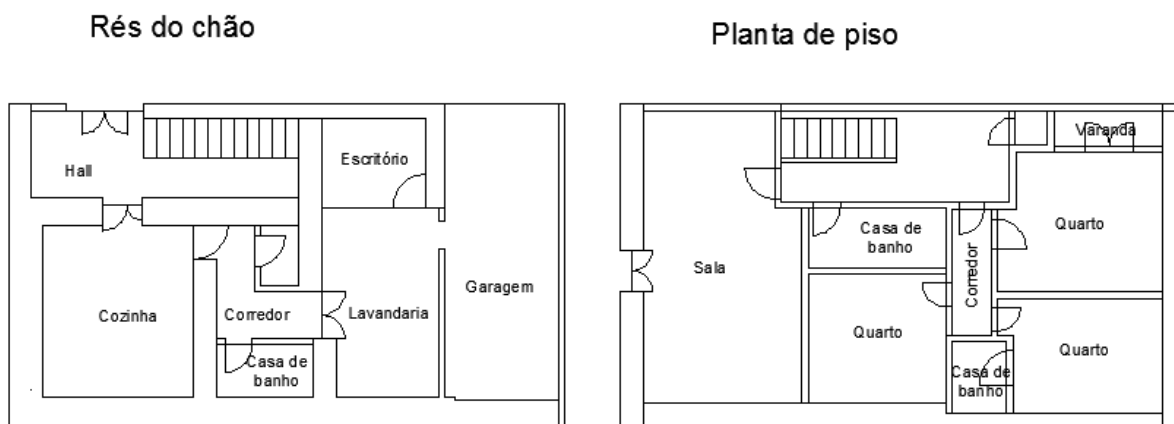


Figura 18 - Planta da habitação

3.7.1. Soluções construtivas

Até 1999, a solução construtiva das fachadas tanto exteriores como interiores eram em pedra, as lajes de piso eram em madeira, a lajes de piso térreo era em terra, o telhado era constituído por um suporte de madeira ripado onde assentava a telha cerâmica, as caixilharias eram constituídas em madeira kambala e o envidraçado de vidro simples com portadas exteriores, cortinas transparentes e reposteiros pelo interior nos quartos e na sala.

Em 1999, a habitação foi sujeita a obras de ampliação e reconstrução em que foram utilizados outro tipo de elementos construtivos. As fachadas interiores e exteriores constituídas por pedra não sofreram alterações, enquanto os novos compartimentos foram construídos com alvenaria de tijolo vazado. As novas paredes exteriores, são constituídas por tijolo de 11cm + tijolo de 15cm com caixa-de-ar de 3 cm e poliestireno expandido (EPS) preenchendo parcialmente a caixa-de-ar (2 cm) e reboco tradicional. As paredes divisórias, são constituídas por tijolo de 11cm e reboco tradicional com exceção das casas de banho e cozinha, em que são revestidos por revestimento cerâmico pelo interior e reboco tradicional pelo exterior. À laje de piso térreo foi acrescentada gravilha, argamassa e revestimento cerâmico enquanto a laje de piso foi alterada para uma laje aligeirada com revestimento cerâmico na parte superior e madeira na parte inferior, excluindo a garagem e lavandaria que são revestidas por reboco tradicional na parte inferior.

Relativamente ao telhado, o suporte de madeira ripado foi substituído por vigotas pré-esforçadas de betão e ripas em argamassa, onde assenta a telha cerâmica.

As janelas da fração já existentes, foram substituídas por se apresentarem degradadas, mantendo-se a solução construtiva anterior, madeira de pinho na caixilharia e vidro simples. Na Tabela 11 são apresentadas as características dos vãos envidraçados.

Tabela 11 - Características dos vãos envidraçados

Compartimento	Sala	Quarto	Cozinha
Altura	2,05 / 1,07 / 1,07 / 1,07 m	2 / 1,07 m	0,7 m
Largura	1 / 0,90 / 0,90 / 0,90 m	1,10 / 0,90 m	0,87 m
Orientação	Oeste / Sul / Oeste / Oeste	Norte / Este	Sul
Área	4,94 m ²	3,16 m ²	0,61 m ²
Superfície Relativa de Área Envidraçada - SRAE	17,31%	21,94%	3,57%
Razão Envidraçado Parede - REP	16,19%	18,84%	15,72%
Tipo de vidro	Simple	Simple	Simple
Aparência/Textura	Limpo/liso	Limpo/liso	Fosco
Cor	Incolor	Incolor	Incolor
Sombreamento	Portadas, Reposteiro e cortina branca	Cortina branca e Reposteiro	Cortina Branca

3.7.2. Sistema de climatização

O edifício possui um sistema de climatização, constituído por radiadores de água com fluido térmico, situados: um em cada quarto, um no corredor entre os quartos, um no corredor do

rés-do-chão, um no hall das escadas, um na casa de banho de piso, dois na sala e um na cozinha.

O radiador do hall das escadas está representado na Figura 19.



Figura 19 - Radiador de aquecimento

A geração de calor é assegurada por um termoacumulador com capacidade máxima de 200L (Figura 20).



Figura 20 - Termoacumulador

O sistema de aquecimento da caldeira comum, que funciona a gás/óleo de aquecimento, a fogão de lenha ou a eletricidade. A Figura 21 apresenta a caldeira comum e o fogão de lenha.



Figura 21 - Caldeira comum e fogão a lenha

3.8. Soluções estudadas

O estudo do projeto de reabilitação, foi feito através da seleção de soluções construtivas com isolamento térmico, variando a espessura e a localização do material de isolamento.

Os materiais de isolamento térmico estudados são o poliestireno extrudido (XPS) e o poliestireno expandido (EPS).

Para cada um dos materiais de isolamento referidos, foram estudadas as espessuras de 20mm, 40mm, 60mm, 80mm e 100mm de forma a escolher a espessura mais adequada economicamente e para minimizar os consumos energéticos.

3.8.1. Paredes

As paredes exteriores do edifício, são constituídas por pedra, excluindo a zona que foi ampliada (quartos e garagem).

A fachada exterior pode ser reforçada com isolamento térmico pelo interior ou exterior. Na Figura 22 são apresentadas as duas soluções construtivas.

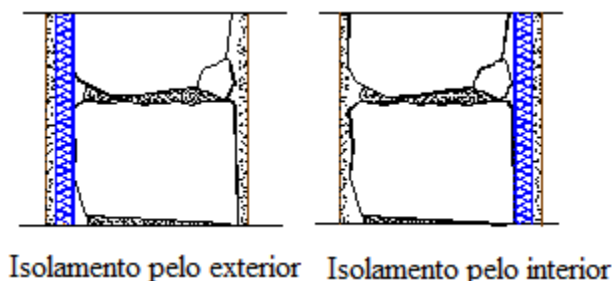


Figura 22 - Localização do isolamento de paredes exteriores em pedra

Para as paredes em alvenaria de tijolo, as possíveis soluções construtivas são as apresentadas na Figura 23. Como se trata de reabilitação de edifícios, apenas será estudado o isolamento pelo interior e pelo exterior para que não haja demolição e reconstrução de elementos já existentes.

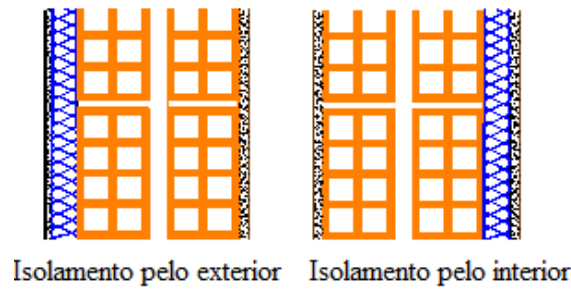


Figura 23 - Localização do isolamento de paredes exteriores em alvenaria de tijolo

3.8.2. Cobertura

A laje de cobertura do edifício é aligeirada, tendo como solução construtiva o reboco pela parte interior e exterior e abobadilhas cerâmicas com vigotas pré-esforçadas.

Para melhorar as condições de isolamento, foi estudada a influência dos diversos tipos de materiais de isolamento, com as várias espessuras, no desempenho térmico da cobertura escolhendo a mais conveniente. O isolamento térmico, foi colocado sobre a laje de esteira, visto que o sótão não é habitável (Figura 24).

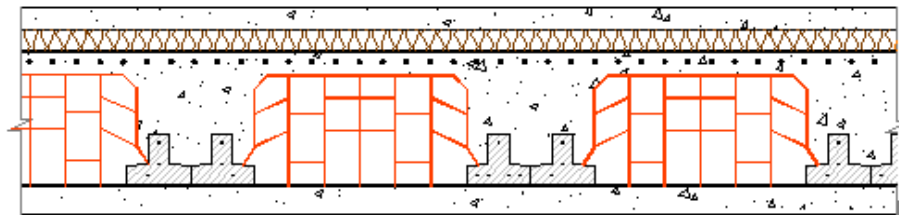


Figura 24 - laje de cobertura com isolamento

3.8.3. Envidraçados

A eficiência do envidraçado, é muito importante para o desempenho térmico de um edifício, permitindo ganhos ou perdas térmicas dependendo da estação do ano. O envidraçado, influencia a qualidade da iluminação natural, a qualidade do ar interior e reduz a qualidade acústica.

O correto dimensionamento dos sistemas de sombreamento do edifício, pode evitar custos de energia desnecessários, deixando que haja incidência de radiação no inverno e protegendo os envidraçados dos raios solares no verão (ecoedp, 2013).

Para melhorar a eficiência térmica do edifício, foi estudada a utilização de envidraçados com caixilharia em alumínio e vidro duplo, sendo esta a situação mais utilizada em Portugal (Figura 25).

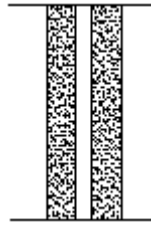


Figura 25 - Exemplo de envidraçado

3.9. Período de retorno de investimento

O período de retorno de investimento foi calculado para as soluções acima descritas, variando a espessura.

O primeiro passo, foi calcular o custo de exploração através da equação 9

$$\text{Custo de exploração} = \frac{N_{ic}}{\eta_i} \cdot \text{Ap. Custo } i \quad (9)$$

Em seguida, foi calculado o custo de investimento tendo em conta os materiais utilizados e a mão-de-obra do técnico através de preços já definidos (orçamento, 2013).

Por fim, o período de retorno de investimento, é dado pela equação 10

$$\text{Periodo de retorno de investimento} = \frac{\Delta \text{Custo de investimento}}{\Delta \text{Custo de exploração}} \quad (10)$$

CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE UM EDIFÍCIO

4.1. Consumos

O edifício em estudo, é climatizado através de duas fontes de energia distintas, a lenha e gasóleo de aquecimento. Foi determinado o consumo energético para aquecimento do edifício através do fogão e da caldeira.

Através da densidade e do volume da fonte de energia, obteve-se a massa e através das características do fogão e do queimador da caldeira, é determinado o consumo de energia.

4.1.1. Lenha

A lenha de eucalipto é uma das fontes de energia utilizada durante o ano, servindo de sistema de aquecimento ambiente dos compartimentos e aquecimento das águas quentes sanitárias.

Durante o ano foram utilizadas 3 cargas de lenha com 2,65 m³ cada.

A lenha de eucalipto, tem uma densidade de 750kg/m³ em secagem natural, visto ser uma madeira densa (ITE50, 2006). Na equação 8 é apresentada fórmula da densidade em que ρ é a densidade, m é a massa e V o volume.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (8)$$

As características do fogão do edifício em estudo, são representadas na Tabela 12, em que o consumo de lenha máximo é de 3,65 kg/h e a potência térmica nominal é de 11 kW.

Tabela 12 - Características do fogão de lenha do edifício (Iacunza, 2013)

Referencia	Lis 5T	Lis 7T	Lis 8T
Potencia térmica nominal (Real)Kw	9	10	11
Depresión óptima de la chimeneaPa	12	12	12
Dimensiones del hogar de combustión			
• Anchuramm	220	240	240
• Fondomm	420	400	400
• Altura útilmm	270	300	300
Dimensiones de los leños cm	30	30	30
Volumen de calefacción.(45w/m ³)m ³	200	222	244
Dimensiones útiles del horno			
• Anchura mm	280	370	420
• Altura mm	420	420	400
• Fondo mm	430	420	420
Capacidad del cenicero l	5	5	5
Pesokg	184	200	214
Caudal de humos g/s	11.4		14.1
Temperatura de humos aguas abajo del collarín C°	240		260
Rendimiento a la Pot. Ter. Nominal%	77		76
Concentración CO medida al 13% de O ₂%	0.29		0.27
Consumo leña (haya) a máxima potenciakg/h	2.94		3.65
Diámetro salida de humosmm	150	150	150

Os valores dos diversos parâmetros para o cálculo do consumo de energia do fogão, são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Consumo de energia (Lenha)

Densidade (kg/m ³)	750
Volume (m ³)	7,95
Massa (Kg)	5962,5
Potência térmica nominal (kW)	11
Consumo de lenha (kg/h)	3,65
Horas de consumo (h)	1633,56
Consumo de energia (kW.h)	17969,18

Durante o ano, foram consumidos 17969,18 kW.h pelo fogão de lenha quando utilizadas 3 cargas de lenha.

4.1.2. Gasóleo de aquecimento

Na estação de arrefecimento, foram abastecidos 400L que gasóleo para aquecimento das águas sanitárias.

O gasóleo de aquecimento, tem uma densidade de 875 kg/m³ (BP, 2005)

O consumo do queimador de uma caldeira, é dado por kg/h de gasóleo durante o período de funcionamento. Como a caldeira tem uma elevada inercia térmica, pode passar longos períodos de tempo sem que o queimador de gasóleo esteja em funcionamento, sendo assim, a potência pode ser máxima ou mínima.

A curva de funcionamento e a potência máxima e mínima do queimador é apresentada na Figura 26.

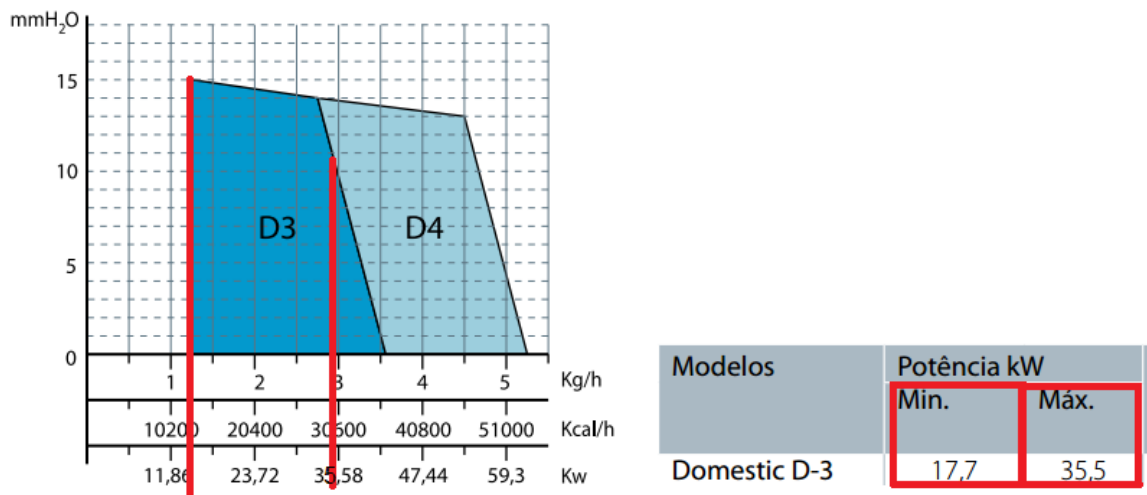


Figura 26 - Curva de funcionamento e potência máxima e mínima do queimador

Os valores dos diversos parâmetros para o cálculo do consumo de energia do queimador da caldeira, são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Consumo de energia (caldeira)

	Potência mínima	Potência máxima
Densidade (kg/m ³)	875	
Volume (m ³)	0,4	
Massa (Kg)	350	
Potência térmica nominal (kW)	17,7	35,5
Consumo de gasóleo (kg/h)	1,25	2,9
Horas de consumo (h)	280	120,69
Consumo de energia (kW.h)	4956	4284,48

Durante o ano, foram consumidos 4956 kW.h para potência mínima e 4284,48 kW.h para potência máxima, pela caldeira, quando utilizados 400L de gasóleo.

Os resultados obtidos são valores elevados, mas são esperados para o edifício em estudo, visto ter soluções construtivas com um elevado coeficiente de transmissão térmica. Sendo assim, as trocas de calor com o exterior são elevadas, aumentando assim o consumo de energia.

4.2. Patologias existentes

O edifício em estudo apresenta patologias não estruturais, tendo como principais problemas os que estão associados à humidade.

No edifício em estudo, as principais patologias estão associadas a problemas de eflorescências, condensações superficiais, infiltrações e rotura de canalizações.

4.2.1. Eflorescências

O edifício em estudo, apresenta problemas de eflorescências no hall de entrada e na lavandaria (Figura 27).

Neste caso, é observada uma extensa mancha branca na pedra, na parte inferior da parede. Este fenómeno acontece devido à ascensão capilar de sais dissolvidos em água e quando a água evapora os sais ficam depositados originando esta patologia.



Figura 27 - Eflorescência no hall e lavandaria

A técnica adotada para resolver este problema, é a utilização de uma solução com ácido clorídrico diluído a 10%, embora esta prática poderá danificar a superfície atingida.

4.2.2. Condensações superficiais

As condensações superficiais estão presentes nas casas de banho e quartos da habitação (Figura 28).

A anomalia em causa, é representada por manchas negras no teto das casas de banho.

Esta patologia acontece principalmente no inverno, quando a superfície interior da envolvente do espaço tem temperaturas inferiores à temperatura do ponto de orvalho (Almeida & Silva, 2001).



Figura 28 - Condensações em casas de banho

Para resolver esta anomalia, são consideradas as seguintes soluções:

- Ventilação dos compartimentos, visto que as casas de banho são espaços pouco ventilados, em que apenas numa casa de banho existe uma pequena janela e noutra um extrator que não se encontra em funcionamento;
- Reforço de isolamento térmico, é outra solução que deve ser tida em conta visto que, quanto maior for o isolamento térmico das paredes exteriores, maior será a temperatura superficial interior e menor será a probabilidade de condensação.

O quarto principal apresenta manchas negras de bolor na parte superior da parede, ou seja, na separação da solução construtiva de tijolo com a solução construtiva em pedra (Ponte térmica), como mostra a Figura 29.



Figura 29 – Vista pelo interior e exterior do quarto

Esta patologia, acontece no inverno quando as superfícies internas da parede exterior estão a temperaturas inferiores à do ponto de orvalho e assim formam-se as condensações superficiais (Mendonça, 2005).

A solução de reabilitação para este caso é a limpeza da superfície com uma solução que contenha 10% de hipoclorito de sódio e posterior aplicação de impermeabilizante na superfície da pedra.

4.2.3. Infiltrações

A Figura 30, mostra a zona da garagem que apresenta largas manchas negras e em muitas zonas, apresenta destacamentos da tinta na fachada.

Os problemas de infiltrações na garagem, acontecem devido à má ligação entre o anexo e a garagem, pois a água da chuva acumula-se na junta provocando infiltração na fachada.



Figura 30 - Vista interior e exterior da fachada exterior da garagem

A Figura 31, apresenta as pedras da fachada exterior do hall de entrada mais escuras.

Esta anomalia, acontece devido à má ligação entre as escadas e a fachada exterior do hall de entrada. A ausência de impermeabilização e de rufos, faz com que haja uma elevada penetração de águas da chuva na fachada, isto deve-se ao facto das escadas não permitirem escoamento de águas.

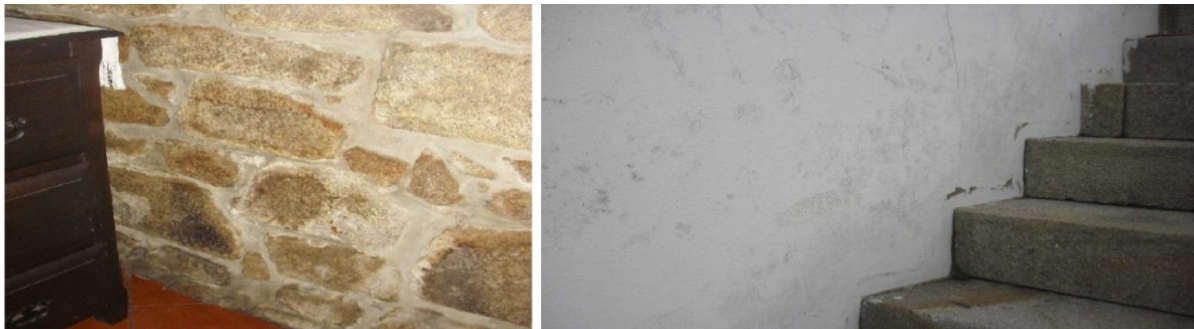


Figura 31 - Vista interior e exterior da fachada exterior do hall de entrada

A solução que se aplica a estes dois casos é a colocação de rufos ou caleiras e impermeabilizante para impedir a infiltração das águas da chuva e também melhorar a vedação preenchendo as fissuras com argamassa obstruindo a passagem das águas de precipitação.

Na Figura 32, é apresentada uma mancha alongada existente no teto do corredor do rés-do-chão.

A patologia, acontece devido à rotura de um cano localizado na casa de banho de piso, situada acima do corredor, infiltrando-se a água até o teto de piso inferior degradando o revestimento de madeira.



Figura 32 - Teto do corredor do rés-do-chão

A solução para a reabilitação desta anomalia é tratar a rotura da canalização e posteriormente, substituir o revestimento degradado por um novo revestimento.

CAPÍTULO 5 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR DO EDIFÍCIO

No presente capítulo, são apresentados os resultados dos ensaios realizados in situ no edifício em estudo.

Os parâmetros que influenciam o conforto e saúde dos ocupantes são: o conforto térmico, o conforto lumínico, o conforto acústico e a qualidade do ar interior. Estes parâmetros, foram avaliados de acordo com a EN 15251.

5.1. Avaliação do comportamento higrotérmico do edifício

Os compartimentos analisados para avaliação do comportamento higrotérmico foram: a sala, o quarto e a cozinha, sendo estes locais os mais frequentados na habitação.

A medição na estação de aquecimento, foi efetuada no dia 20 de Maio de 2013 pelas 14h30. O tempo apresentava-se céu encoberto com temperatura exterior de 17°C.

A medição na estação de arrefecimento, foi efetuada no dia 8 de Julho de 2013 pelas 16h. O tempo apresentava-se céu limpo com temperatura exterior de 36°C.

As medições tiveram duração de 30 minutos em cada um dos programas operativos (A e B).

As atividades metabólicas correspondem a uma atividade sedentária neste compartimentos, logo o valor da atividade metabólica é de 1,2met.

Na estação de verão, a roupa que os ocupantes utilizaram foi: roupa interior leve, camisola de manga curta, calças ou saia leves, meias e sapatos correspondendo a uma resistência térmica de 0,5 clo.

Na estação de inverno, a roupa que os ocupantes utilizaram foi: roupa interior, camisola de algodão e manga comprida, calças, casaco, meias grossas e sapatos correspondendo a uma resistência térmica de 1 clo..

5.1.1. Quarto

A Figura 33, apresenta os valores da temperatura ambiente e da humidade relativa registados durante o período de medição de 30 minutos cada programa operativo (A e B).

Tendo em conta os resultados de condições higrotérmicas no quarto, pode-se concluir que a temperatura ambiente é de 21°C na estação de aquecimento e de 31°C na estação de arrefecimento. A temperatura para condições de inverno, está de acordo com a temperatura definida no RCCTE (20°C), enquanto a temperatura para condições de verão difere 5°C da temperatura de referência definida no RCCTE (25°C).

Na estação de aquecimento, a humidade relativa é de 52,66% estando esta dentro dos valores de referência 30% e 70% (Figura 33).

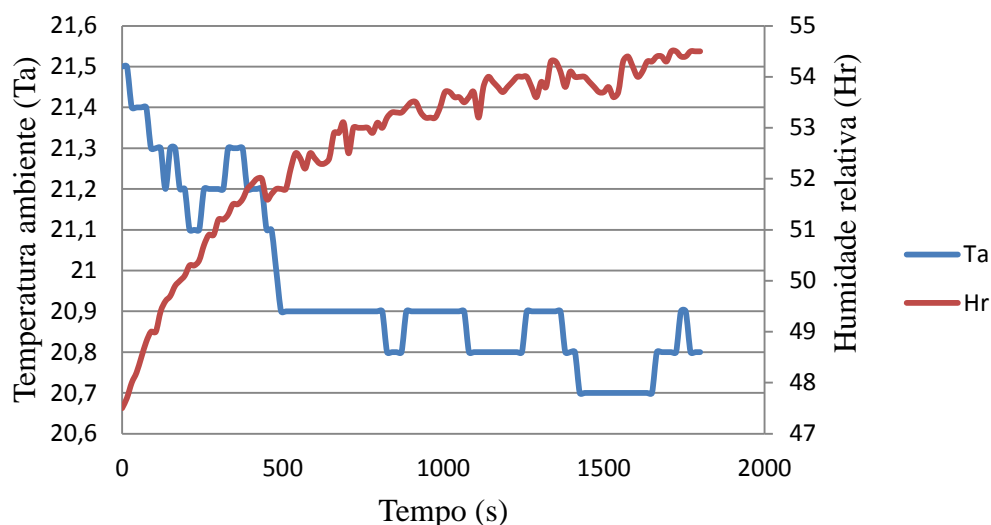


Figura 33 - Condições higrométricas num dos quartos do edifício (Inverno)

A tabela 15, apresenta os valores mínimos, médios e máximos da temperatura ambiente, temperatura de bolbo negro, temperatura média de radiação, velocidade do ar e humidade relativa, medidos no quarto através do equipamento HD32.1 Thermal Microclimate.

Tabela 15 - Resultados das medições do conforto térmico no quarto (Inverno)

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	20,7	20,95	21,5
Temperatura do bolbo negro (°C)	20,7	21,14	22,5
Temperatura média de radiação (°C)		21,24	
Velocidade do ar (m/s)	0	0,01	0,06
Humidade relativa (%)	47,5	52,66	54,5
Vestuário (Clo)		1	
Metabolismo (met)		1,2	
Temperatura resultante (°C)		21,13	
PMV		-0,07	
PPD (%)		5,00	

Desde modo, é possível concluir que os ocupantes nestas condições de temperatura se encontram em estado neutro (PMV=-0,07) e a percentagem de pessoas descontentes é de 5%, cumprindo a norma ASHRAE Standard 55-2010, EN 15251 e EN ISO 7730 (Figura 34).

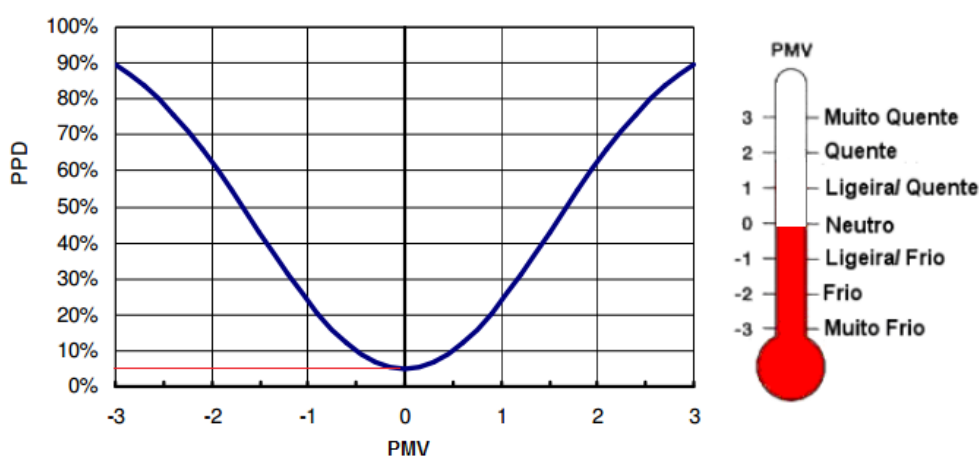


Figura 34 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) no quarto (Inverno)

Na estação de arrefecimento, a humidade relativa é de 50,22% estando esta dentro dos valores de referência 30% e 70% (Figura 35).

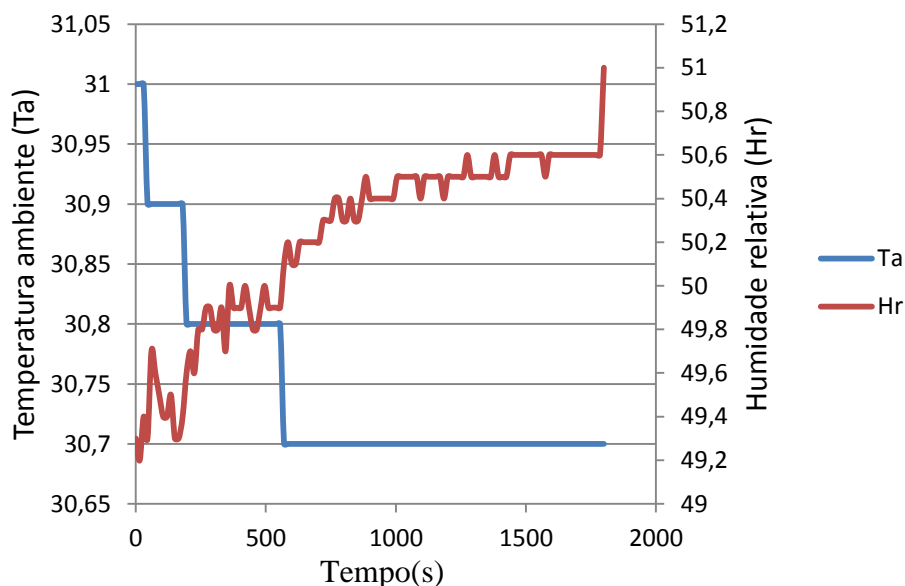


Figura 35 - Condições higrométricas num dos quartos do edifício (Verão)

A Tabela 16, apresenta os valores mínimos, médios e máximos da temperatura ambiente, temperatura de bolbo negro, temperatura média de radiação, velocidade do ar e humidade relativa medidos no quarto através do equipamento HD32.1 Thermal Microclimate.

Tabela 16 - Resultados das medições do conforto térmico no quarto (Verão)

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	30,7	30,7	31
Temperatura do bolbo negro (°C)	30,8	30,99	31,7
Temperatura média de radiação (°C)		31,07	
Velocidade do ar (m/s)	0	0	0,01
Humidade relativa (%)	49,2	50,22	51
Vestuário (Clo)		0,5	
Metabolismo (met)		1,2	
Temperatura resultante (°C)		30,93	
PMV		1,95	
PPD (%)		62%	

Desde modo, é possível concluir que os ocupantes nestas condições de temperatura se encontram em estado quente (PMV=1,95) e a percentagem de pessoas descontentes é de 62%, não cumprindo a norma ASHRAE Standard 55-2010, EN 15251 e EN ISO 7730. A Figura 36 apresenta os valores acima referidos.

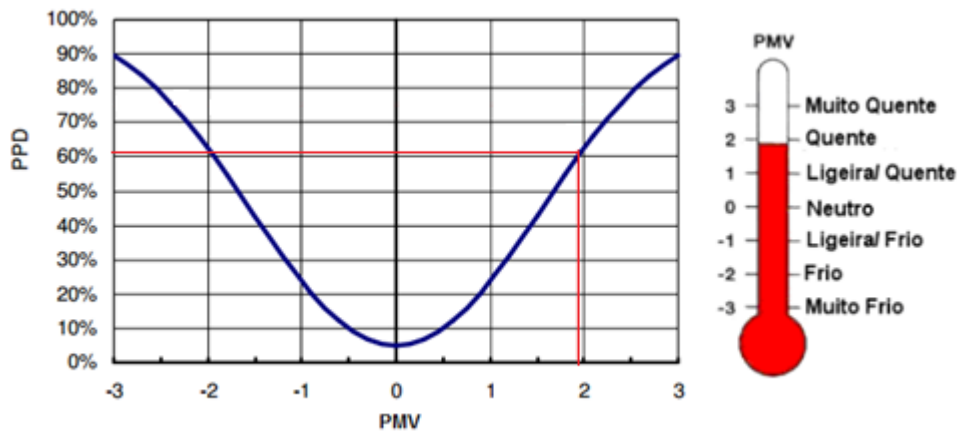


Figura 36 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) no quarto (Verão)

5.1.2. Sala

A Figura 37, apresenta os valores da temperatura ambiente e da humidade relativa, registados durante o período de medição de 30 minutos cada programa operativo (A e B).

Tendo em conta os resultados de condições higrotérmicas na sala, verificou-se que a temperatura ambiente é de 21°C na estação de aquecimento e de 32°C na estação de arrefecimento. A temperatura para condições de inverno, está de acordo com a temperatura definida no RCCTE (20°C), enquanto a temperatura para condições de verão difere 7°C da temperatura de referência definida no RCCTE (25°C).

Na estação de aquecimento, a humidade relativa é de 50,54% estando esta dentro dos valores de referência 30% e 70%.

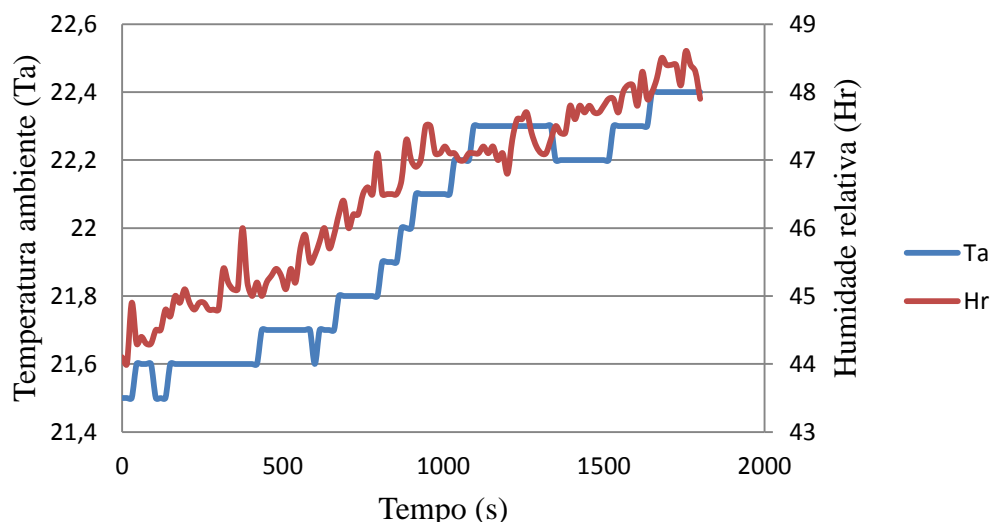


Figura 37 - Condições higrométricas na sala do edifício (Inverno)

A Tabela 17, apresenta os valores mínimos, médios e máximos da temperatura ambiente, temperatura de bolbo negro, temperatura média de radiação, velocidade do ar e humidade relativa medidos no quarto através do equipamento HD32.1 Thermal Microclimate.

Tabela 17- Resultados das medições do conforto térmico na sala (Inverno)

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	20,7	20,78	20,9
Temperatura do bolbo negro (°C)	20	20,25	21,2
Temperatura média de radiação (°C)		21,1	
Velocidade do ar (m/s)	0	0,001	0,08
Humidade relativa (%)	48,8	50,54	52
Vestuário (Clo)		1	
Metabolismo (met)		1,2	
Temperatura resultante (°C)		20,98	
PMV		-0,22	
PPD (%)		6,00	

Desde modo, é possível concluir que os ocupantes sob estas condições de temperatura se encontram em estado neutro (PMV=-0,22) e a percentagem de pessoas descontentes é de 6%, cumprindo a norma ASHRAE Standard 55-2010, EN 15251 e EN ISO 7730 (Figura 38).

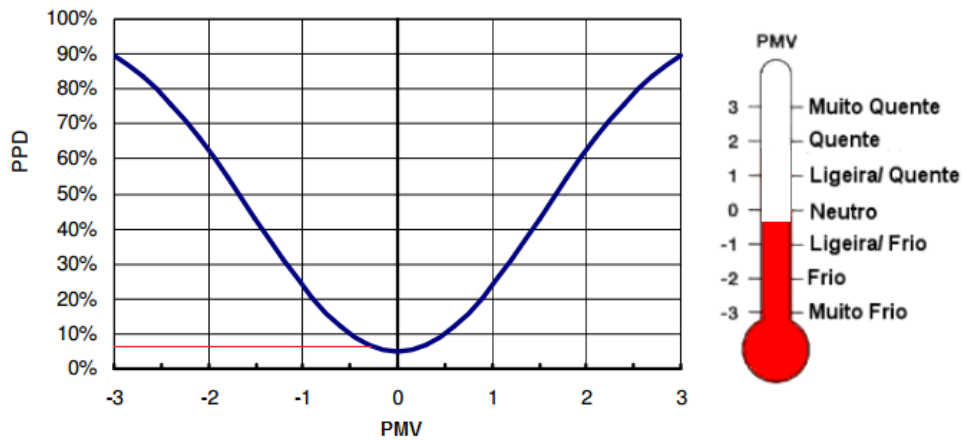


Figura 38 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) na sala (Inverno)

A Figura 39, apresenta os valores da temperatura ambiente e da humidade relativa registados durante o período de medição de 30 minutos cada programa operativo (A e B).

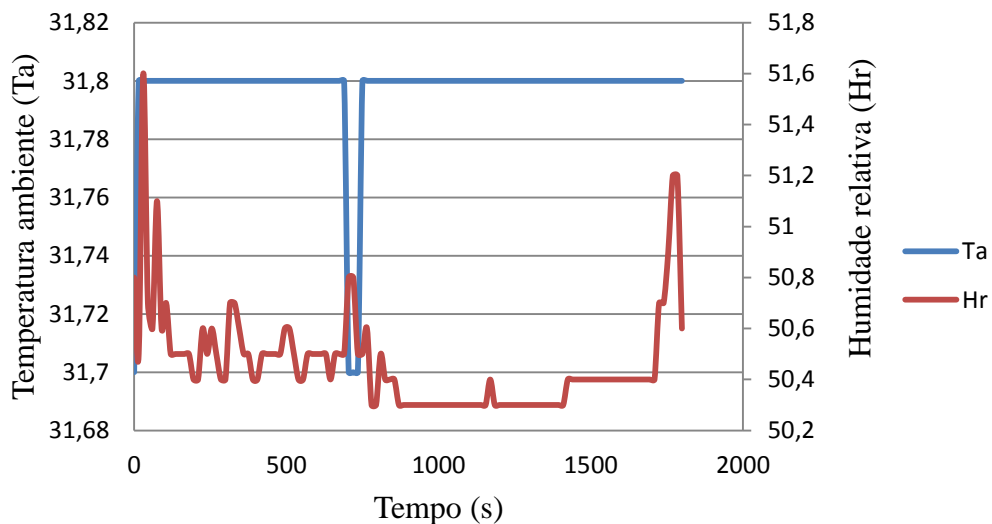


Figura 39 - Condições higrométricas num dos quartos do edifício (Verão)

A Tabela 18, apresenta os valores mínimos, médios e máximos da temperatura ambiente, temperatura de bolbo negro, temperatura média de radiação, velocidade do ar e humidade relativa medidos no quarto através do equipamento HD32.1 Thermal Microclimate.

Na estação de aquecimento, a humidade relativa é de 50,46% estando esta dentro dos valores de referência 30% e 70%.

Tabela 18 - Resultados das medições do conforto térmico na sala (Inverno)

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	31,7	31,8	31,8
Temperatura do bolbo negro (°C)	31,7	31,78	31,8
Temperatura média de radiação (°C)		31,78	
Velocidade do ar (m/s)	0	0	0,07
Humidade relativa (%)	50,3	50,46	51,6
Vestuário (Clo)		0,5	
Metabolismo (met)		1,2	
Temperatura resultante (°C)		31,79	
PMV		2,23	
PPD (%)		72%	

Desde modo, é possível concluir que os ocupantes sob estas condições de temperatura se encontram em estado quente (PMV=2,23) e a percentagem de pessoas descontentes é de 72%, não cumprindo a norma ASHRAE Standard 55-2010, EN 15251 e EN ISO 7730. A Figura 40 apresenta os valores acima referidos.

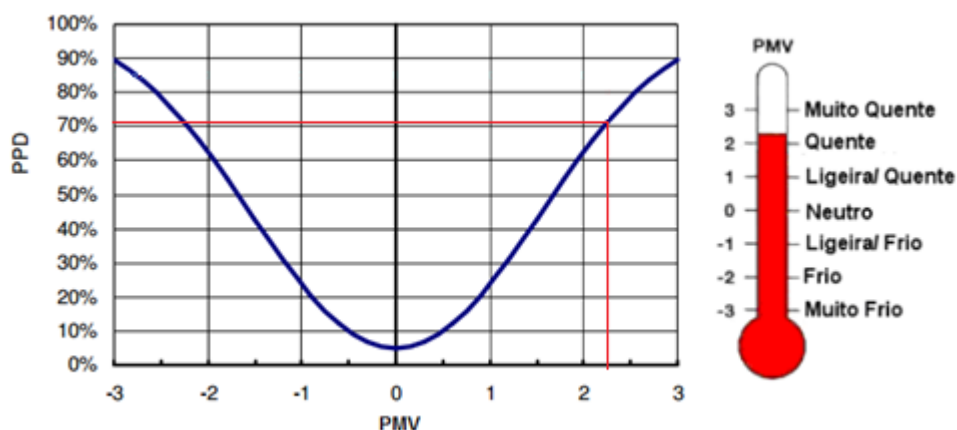


Figura 40 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) na sala (verão)

5.1.3. Cozinha

A Figura 41, apresenta os valores da temperatura ambiente e a humidade relativa durante o período de medição.

Tendo em conta os resultados de condições higrotérmicas na sala, pode-se concluir que a temperatura ambiente é de 22°C na estação de aquecimento e de 31°C na estação de arrefecimento. A temperatura para condições de inverno está de acordo com a temperatura

definida no RCCTE (20°C), enquanto a temperatura para condições de verão difere 6°C da temperatura de referência definida no RCCTE (25°C).

Na estação de aquecimento, a humidade relativa é de 46,51% estando esta dentro dos valores de referência 30% e 70%.

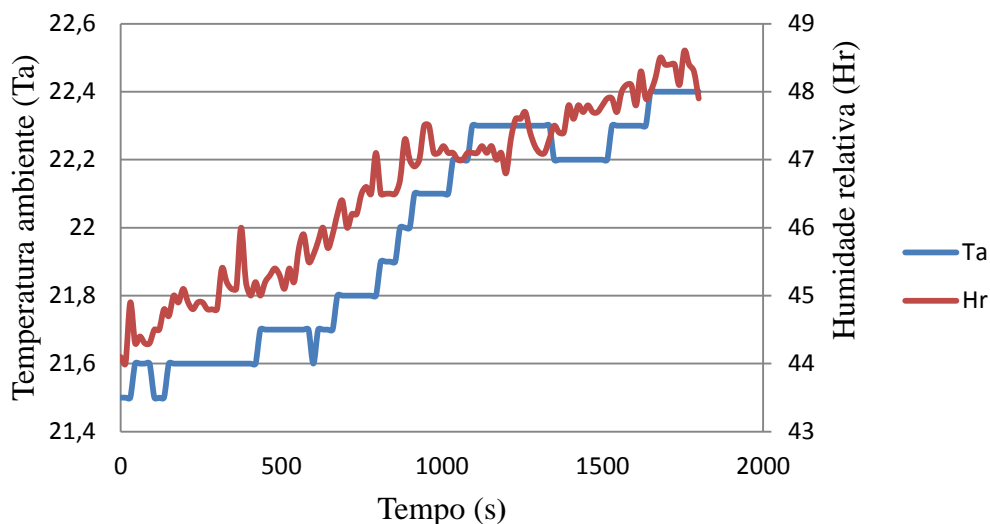


Figura 41 - Condições higrotérmicas na cozinha do edifício (Inverno)

A Tabela 19, apresenta os valores mínimos, médios e máximos da temperatura ambiente, temperatura de bolbo negro, temperatura média de radiação, velocidade do ar e humidade relativa medidos no quarto através do equipamento HD32.1 Thermal Microclimate.

Tabela 19 - Resultados das medições do conforto térmico na cozinha (inverno)

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	21,5	21,97	22,4
Temperatura do bolbo negro (°C)	21,7	22,27	22,7
Temperatura média de radiação (°C)		22,39	
Velocidade do ar (m/s)	0	0,013	0,26
Humidade relativa (%)	44	46,51	48,6
Vestuário (Clo)		1	
Metabolismo (met)		1,2	
Temperatura resultante(°C)		22,23	
PMV		0,14	
PPD (%)		5,00	

Desde modo, é possível concluir que os ocupantes sob estas condições de temperatura se encontram em estado neutro ($PMV=0,14$) e a percentagem de pessoas descontentes é de 5%, cumprindo a norma ASHRAE Standard 55-2010, EN 15251 e EN ISO 7730 (Figura 42).

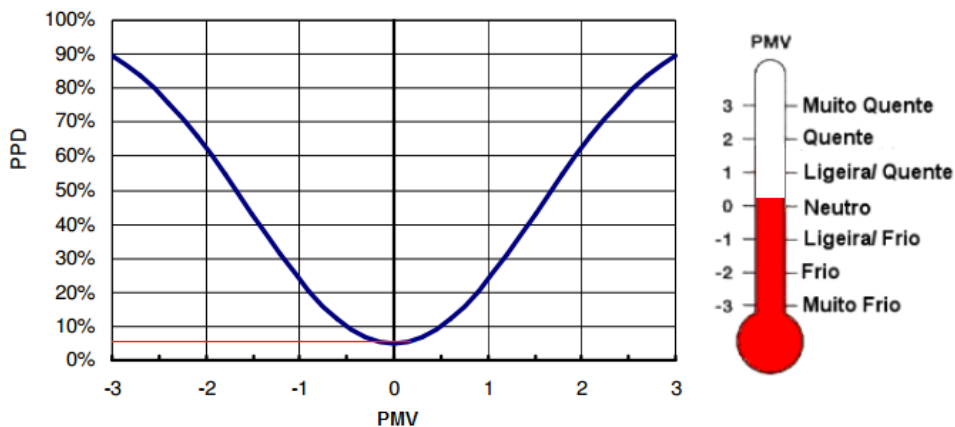


Figura 42 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) na sala (Inverno)

A Figura 43, apresenta os valores da temperatura ambiente e da humidade relativa registados durante o período de medição de 30 minutos cada programa operativo (A e B).

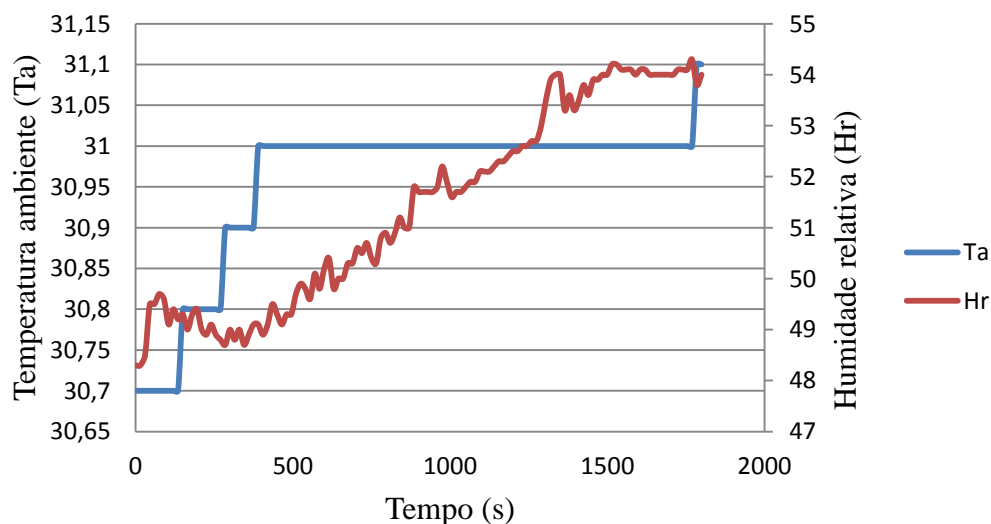


Figura 43 - Condições higrotérmicas na cozinha do edifício (Verão)

A Tabela 20, apresenta os valores mínimos, médios e máximos da temperatura ambiente, temperatura de bolbo negro, temperatura média de radiação, velocidade do ar e humidade relativa medidos no quarto através do equipamento HD32.1 Thermal Microclimate.

Na estação de arrefecimento, a humidade relativa é de 51,41% estando esta dentro dos valores de referência 30% e 70%.

Tabela 20 - Resultados das medições do conforto térmico na cozinha (Verão)

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	30,7	30,96	31,1
Temperatura do bolbo negro (°C)	30,8	30,94	32,2
Temperatura média de radiação (°C)		30,91	
Velocidade do ar (m/s)	0	0	0,17
Humidade relativa (%)	48,3	51,41	54,3
Vestuário (Clo)		0,5	
Metabolismo (met)		1,2	
Temperatura resultante(°C)		30,93	
PMV		1,98	
PPD (%)		62%	

Desde modo, é possível concluir que os ocupantes sob estas condições de temperatura se encontram em estado neutro (PMV=1,98) e a percentagem de pessoas descontentes é de 62%, não cumprindo a norma ASHRAE Standard 55-2010, EN 15251 e EN ISO 7730. A Figura 44 apresenta os valores acima referidos. Como é apresentado na Figura 44.

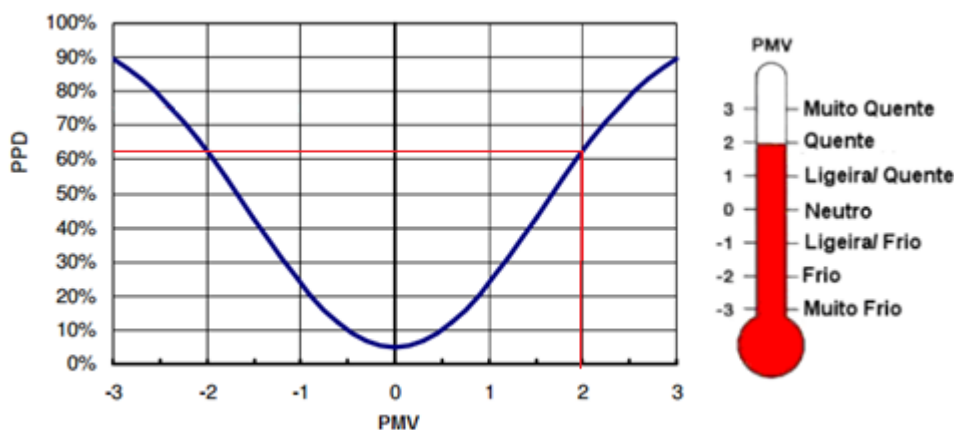


Figura 44 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) na sala (Verão)

5.2. Avaliação in situ da qualidade do ar interior

A avaliação da QAI dos edifícios, foi realizada através da medição de alguns poluentes químicos (Monóxido de carbono (CO), Dióxido de carbono (CO₂), partículas suspensas no ar com diâmetro interior a 10µm (PM₁₀), Formaldeídos (CHOH) e Ozono (O₃)) nos

compartimentos mais solicitados (Sala, quarto e cozinha), fazendo 3 medições. No quarto as medições foram feitas sucessivamente na cadeira, na cama e na mesa, enquanto na cozinha foram feitas na banca, no fogão e na mesa, e por fim na sala, as medições foram feitas na janela, na mesa e no sofá.

A avaliação da QAI foi feita de acordo com o RSECE, este define as concentrações máximas que são essenciais para saber se os valores de ensaios, estão dentro dos valores regulamentados.

5.2.1. Monóxido de Carbono (CO)

A Figura 45, apresenta os gráficos com a representação das concentrações de monóxido de carbono no quarto.

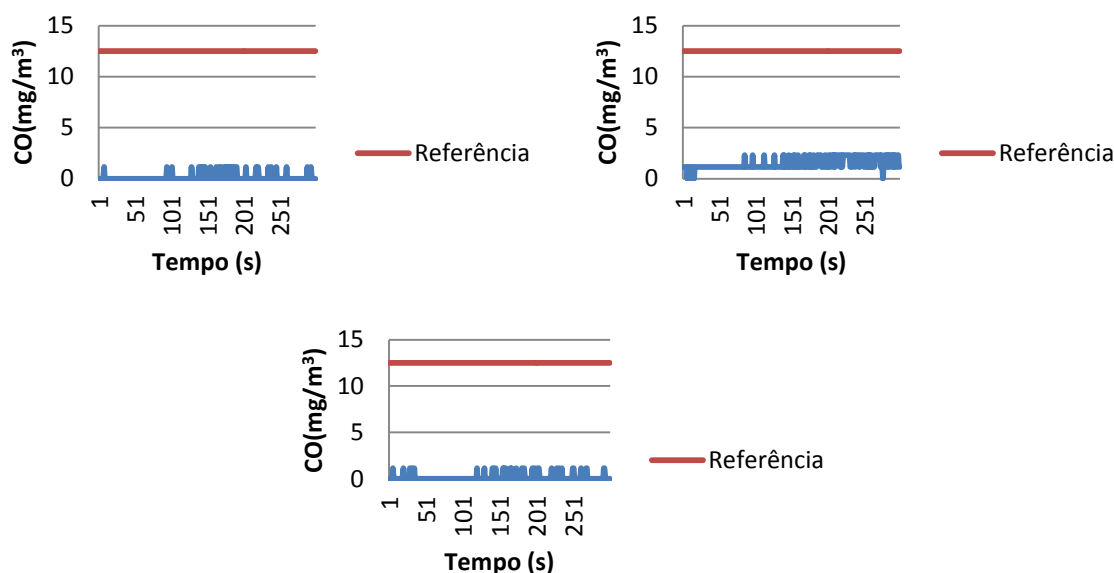


Figura 45 - Concentração de CO no quarto

Neste compartimento, as 3 medições encontram-se dentro do limite de referência, sendo assim pode-se concluir que os valores de concentração de CO no quarto são aceitáveis.

A Figura 46, apresenta os gráficos das concentrações de monóxido de carbono na sala.

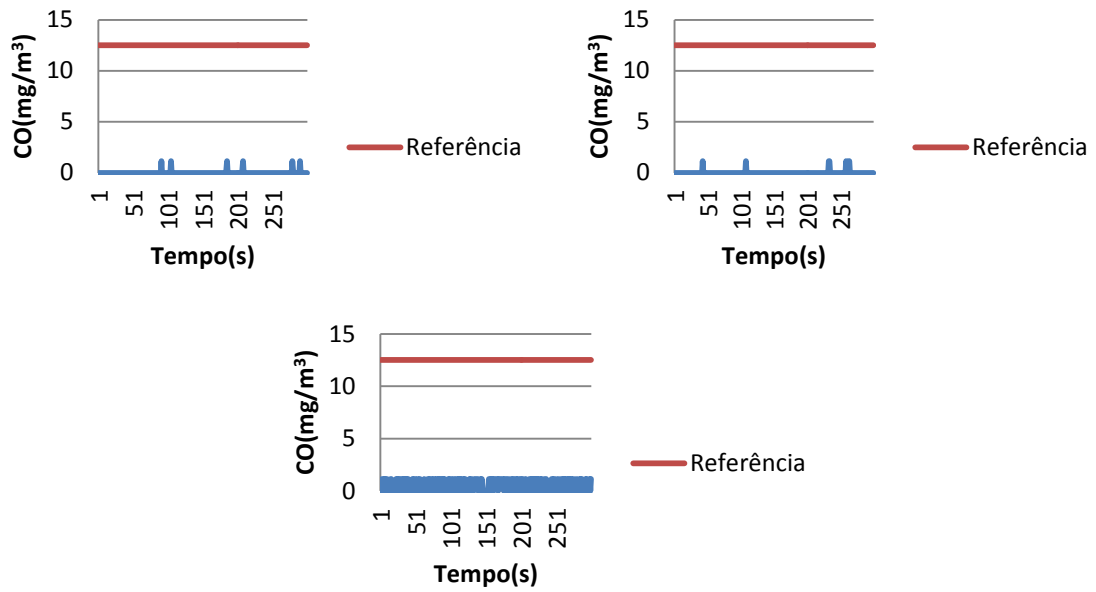


Figura 46 - Concentração de CO na sala

Neste compartimento, as 3 medições encontram-se dentro dos valores de referência, sendo assim pode-se concluir que os valores de concentração de CO na sala são aceitáveis.

A Figura 47, apresenta os gráficos das concentrações de monóxido de carbono na cozinha.

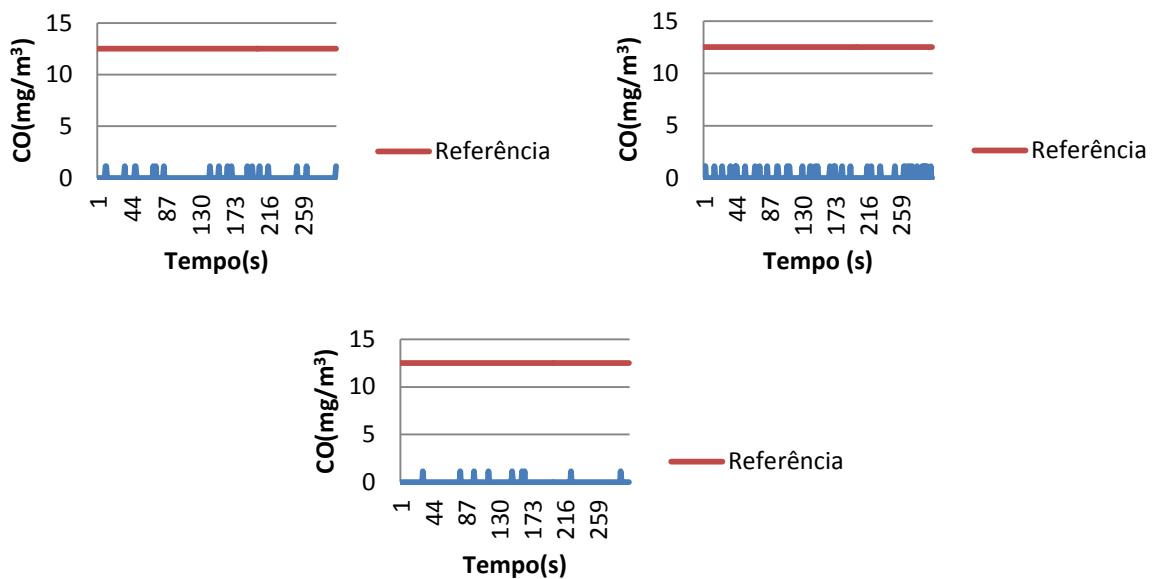


Figura 47 - Concentração de CO na cozinha

No compartimento em análise, conclui-se que os valores medidos se encontram dentro dos valores de referência, onde a medição junto ao fogão (segunda medição) é a que tem valores mais elevados devido a processos de combustão.

5.2.2. Formaldeído (CHOH)

Em nenhum dos compartimentos, foi verificado presença de formaldeídos, sendo assim o gráfico correspondente a concentração de formaldeídos é apresentado na Figura 48.

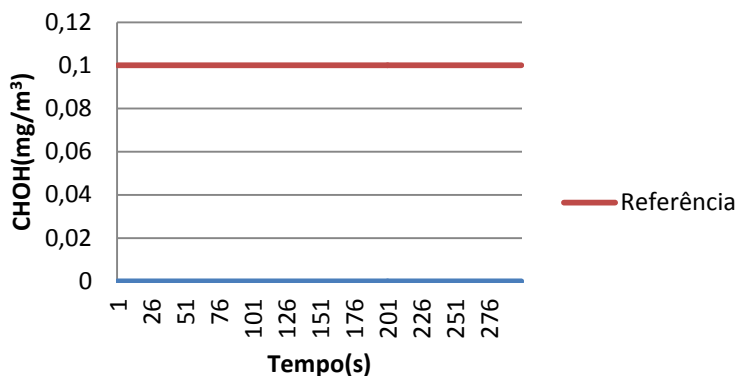


Figura 48 - Concentração de CHOH nos compartimentos

5.2.3. Ozono (O₃)

As concentrações de ozono no quarto são apresentadas na Figura 49.

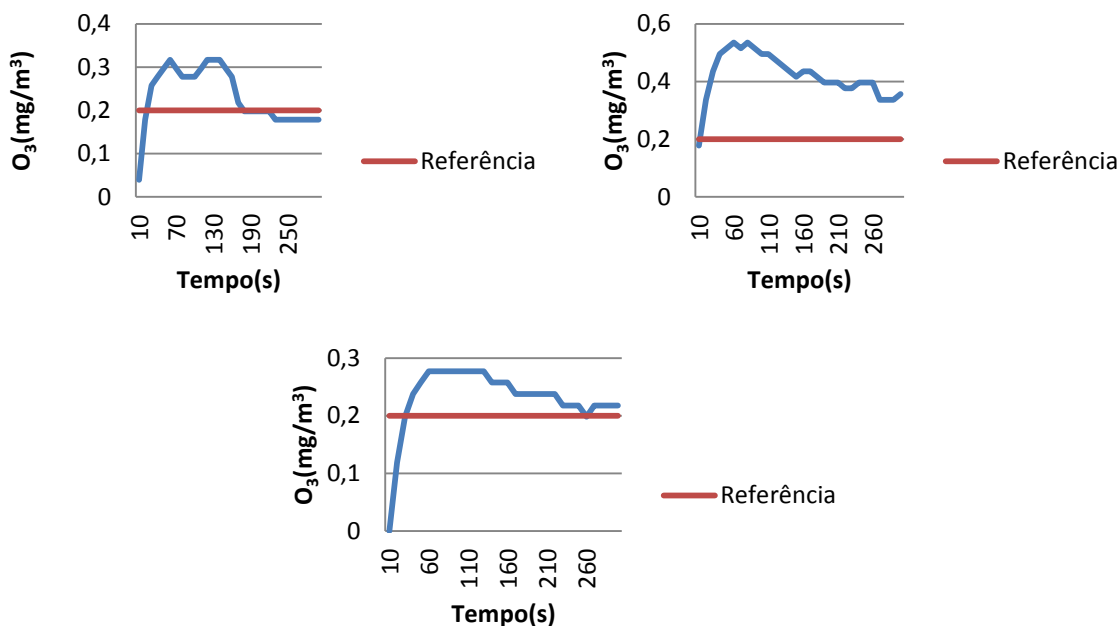


Figura 49 - Concentração de ozono no quarto

A concentração de ozono no quarto, ultrapassa os valores de referência concluindo que existe excesso de ozono presente neste compartimento. Um fator que pode influenciar estes valores elevados será o posicionamento da caldeira de gásóleo que se encontra sob o quarto, podendo dar origem a reações ionizantes.

Na Figura 50, são apresentadas as concentrações de ozono na sala.

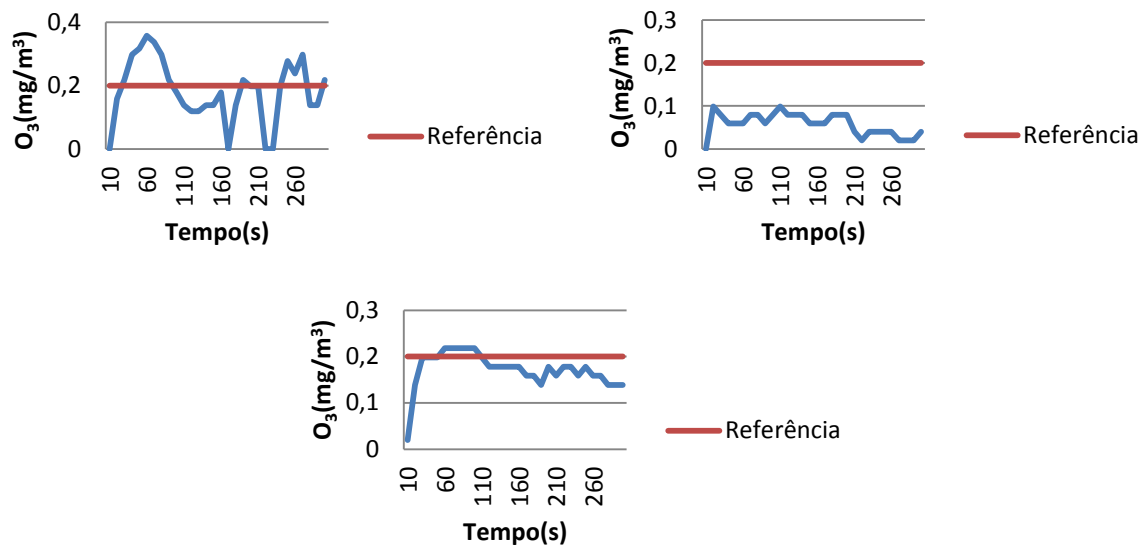


Figura 50 - Concentração de ozono na sala

Neste compartimento, as medições efetuadas junto a janela e ao sofá apresentam valores que ultrapassam a concentração de referência, sendo assim, é necessário melhorar as condições de ventilação do edifício. Visto que o edifício se situa na proximidade da estrada, a abertura das janelas deve ser feita em períodos em que o tráfego rodoviário é menor.

Na Figura 51, são apresentadas as concentrações de ozono na cozinha. Estas concentrações estão dentro dos valores de referência.

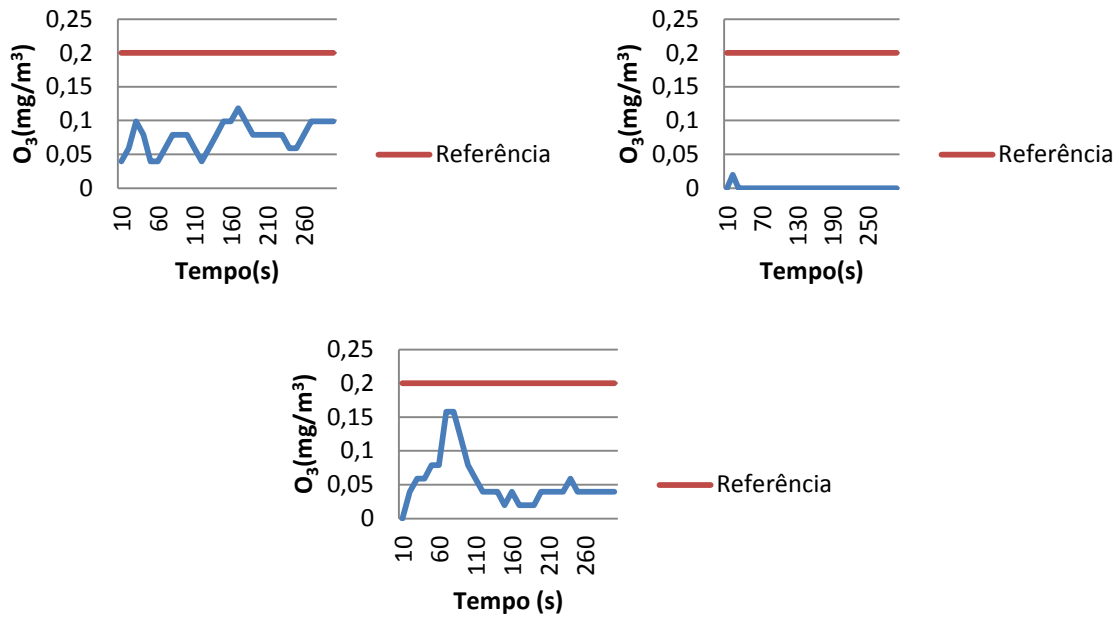


Figura 51 - Concentração de ozono na cozinha

5.2.4. Partículas suspensas no ar (PM₁₀)

A Figura 52 apresenta a concentração de PM₁₀ no quarto, sendo este o compartimento com menor concentração de partículas. Estas concentrações estão dentro dos valores de referência.

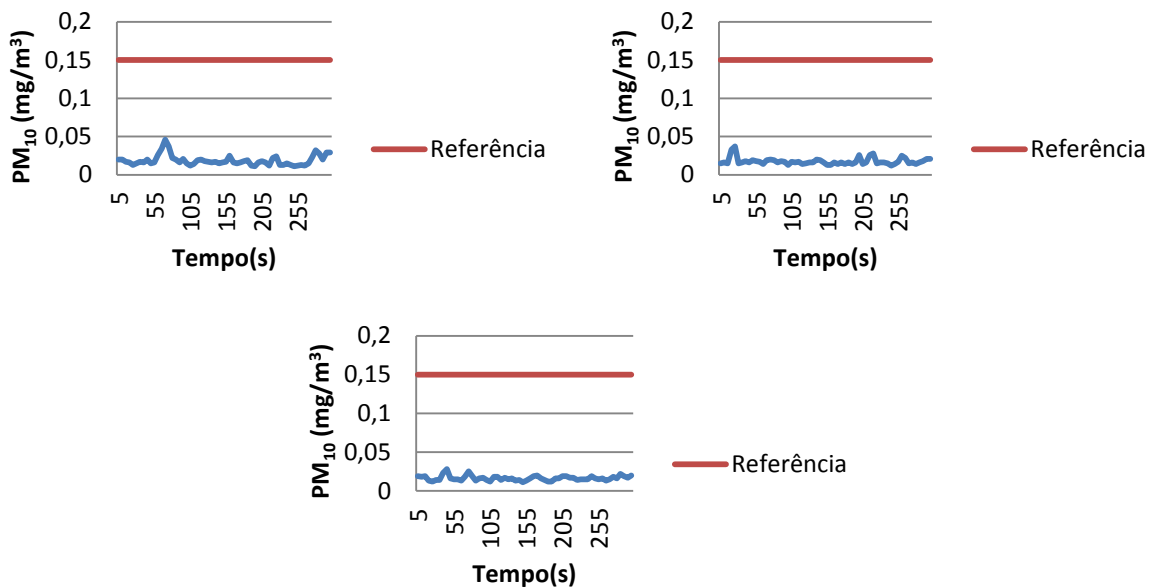


Figura 52 - Concentração de PM₁₀ no quarto

A Figura 53, apresenta as concentrações de PM₁₀ na sala. Os valores medidos encontram-se dentro dos valores de referência.

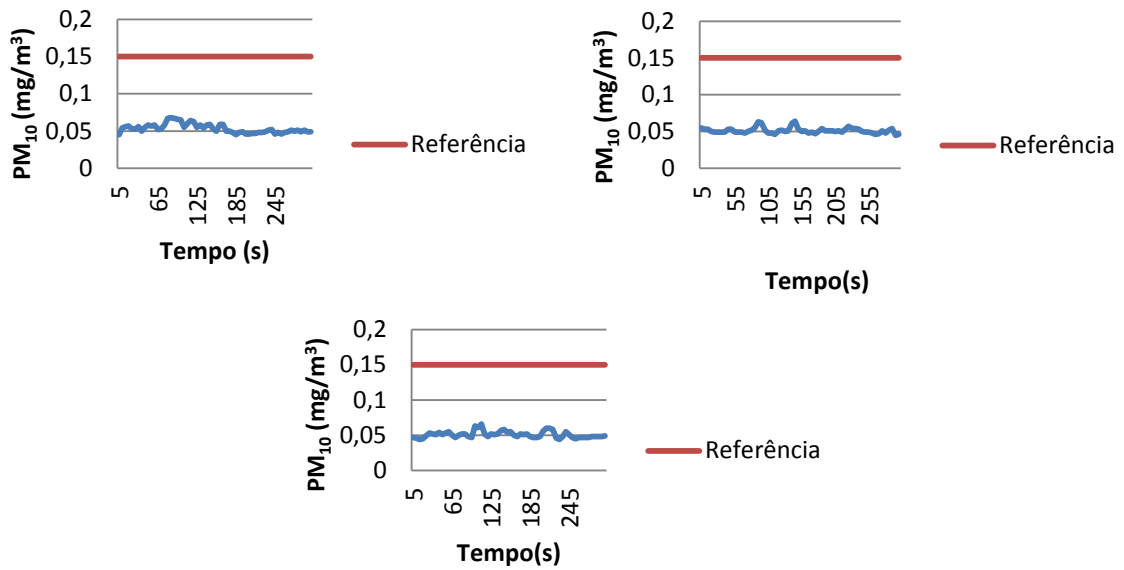


Figura 53 - Concentração de PM₁₀ na sala

A Figura 54, apresenta as concentrações de PM₁₀ na cozinha. Os valores medidos encontram-se dentro dos valores de referência.

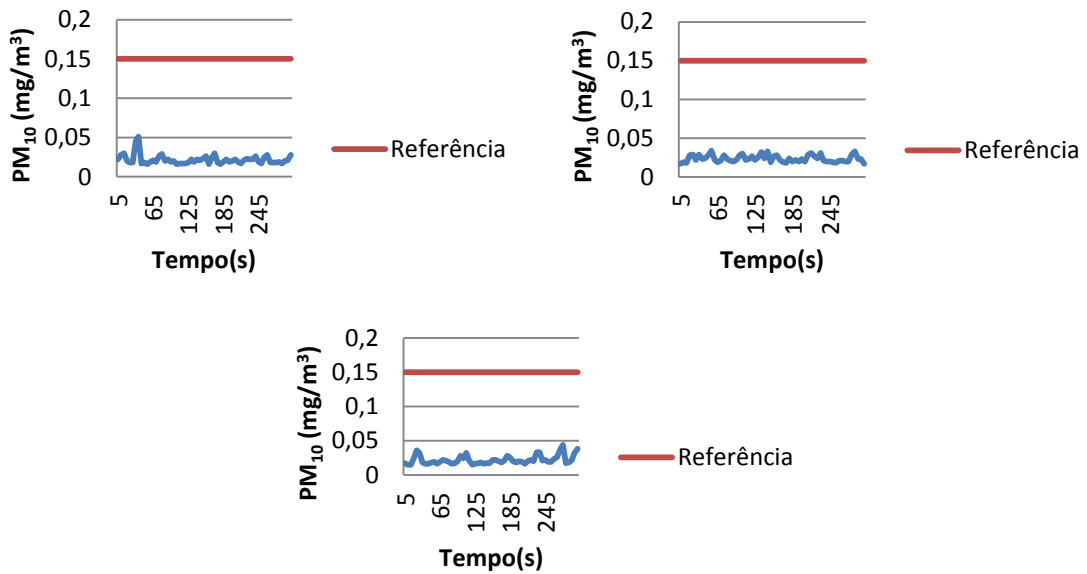


Figura 54 - Concentração de PM₁₀ na cozinha

5.2.5. Dióxido de Carbono (CO₂)

As concentrações de dióxido de carbono no quarto são apresentadas na Figura 55. Estas concentrações são superiores aos valores de referência com exceção da medição efetuada na cama.

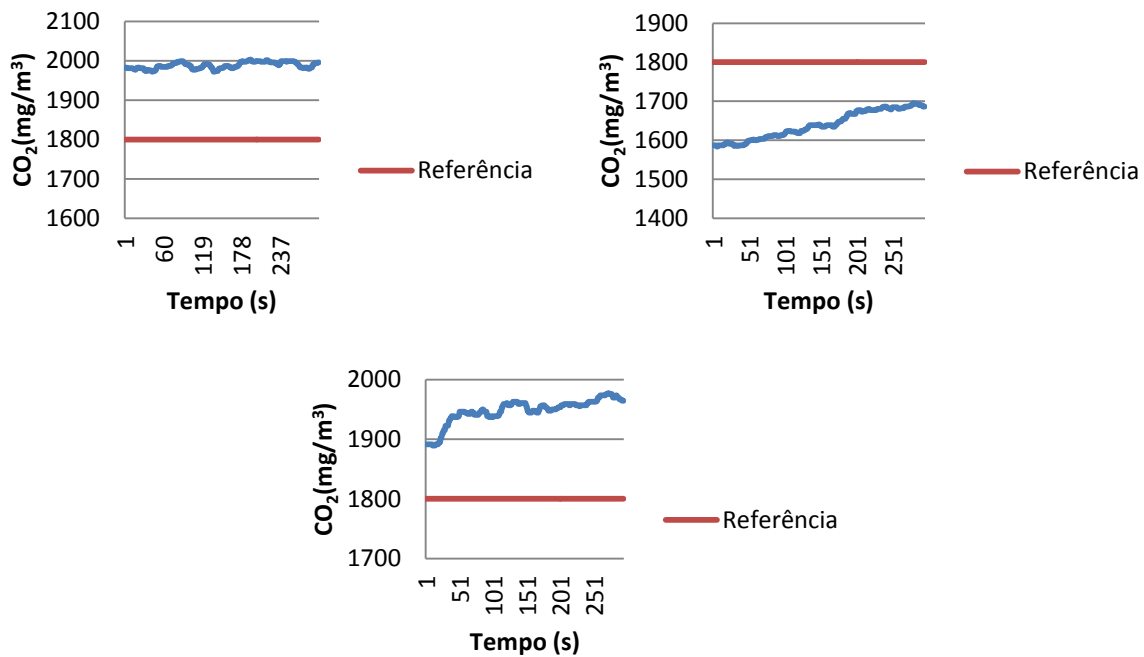


Figura 55 - Concentração de CO₂ no quarto

Na Figura 56, são apresentadas as concentrações de dióxido de carbono existente na sala. Estas concentrações são inferiores aos valores de referência com exceção da medição efetuada na janela.

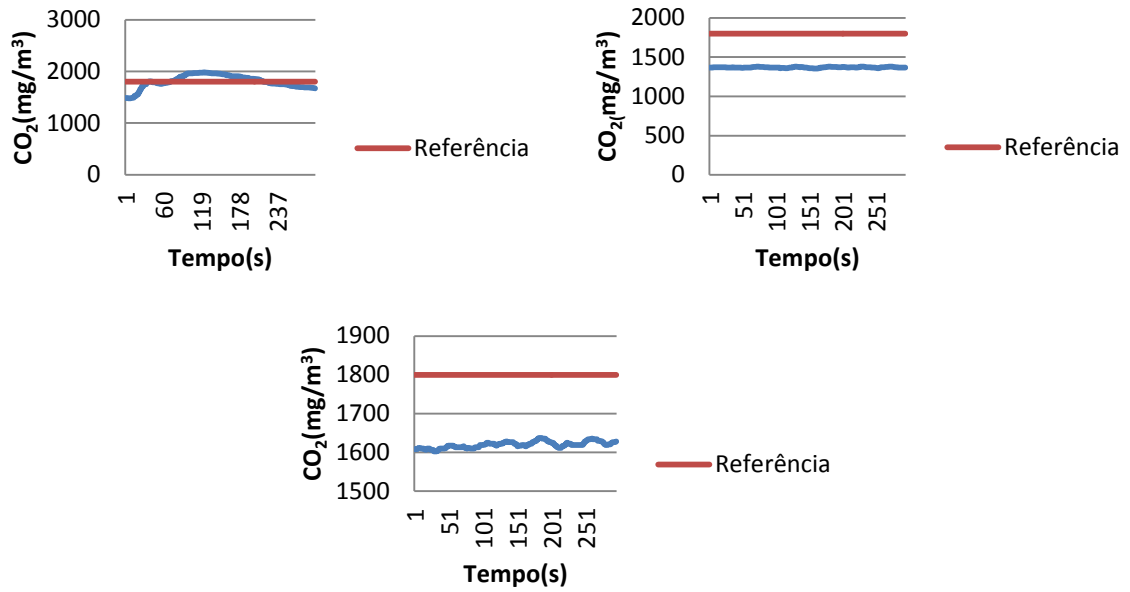


Figura 56 - Concentração de CO₂ na sala

As concentrações de dióxido de carbono na cozinha, são apresentadas na Figura 57. Estas concentrações são superiores aos valores de referência.

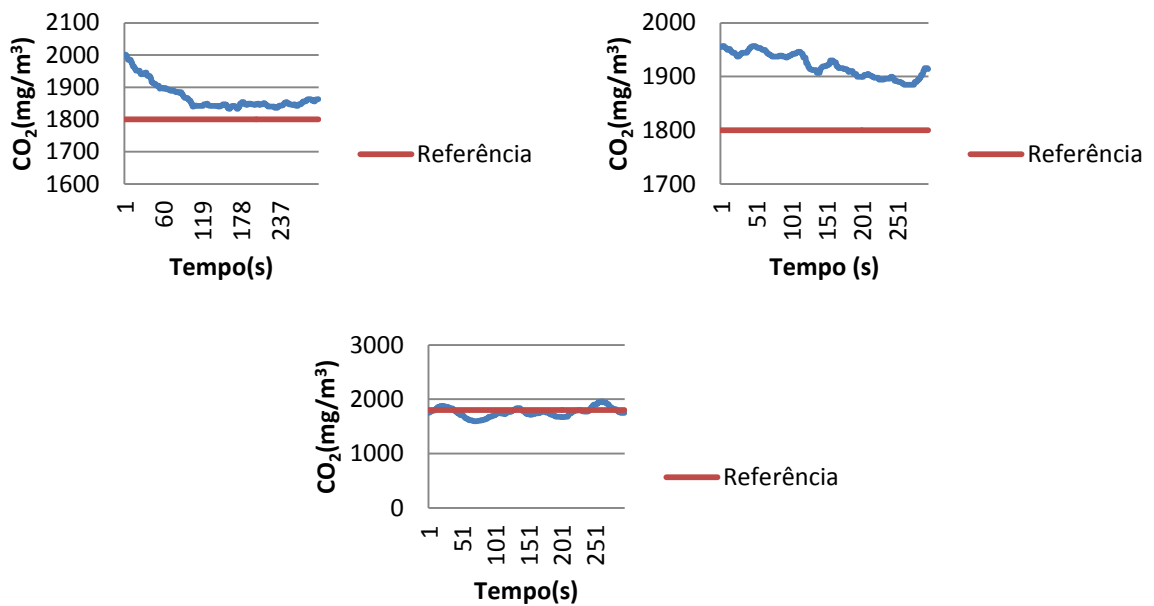


Figura 57 - Concentração de CO₂ na cozinha

A concentração de CO₂ que apresenta valores mais elevados, é o quarto e a cozinha visto serem os compartimentos mais ocupados e a ventilação nestes ser reduzida, diminuindo a dissolução de poluentes.

A sala é o compartimento que é menos utilizado, sendo assim, a concentração de CO₂ é menor embora em certos períodos ultrapasse os valores limite definidos no regulamento, isto deve-se ao facto da janela estar voltada para a estrada onde circulam veículos que emitem poluentes.

Humidade relativa/Temperatura

Na estação de aquecimento, a temperatura ambiente dos compartimentos é: 21°C no quarto, 21°C na sala e 22°C na cozinha. A humidade relativa dos compartimentos é: 53% no quarto, 51 % na sala e 47% na cozinha.

No verão, a temperatura ambiente dos compartimentos é: 31°C no quarto, 32°C na sala e 31°C na cozinha. A humidade relativa dos compartimentos é: 50% no quarto, 50 % na sala e 51% na cozinha.

5.3. Avaliação do comportamento lumínico

As medições do desempenho lumínico, foram realizadas in situ medindo os valores da iluminância interior e exterior, permitindo a cálculo posterior do Fator de Luz do Dia.

A fachada principal (envidraçados das escadas do primeiro piso, um dos quartos e hall de entrada) é voltada a norte e possui uma varanda não obstruída, permitindo a entrada da iluminação natural. A fachada voltada a sul inclui os envidraçados da sala e de dois quartos.

As medições foram realizadas no dia 29 de Maio, dia de céu encoberto.

Quarto

O compartimento em análise, é estudado através dos pontos apresentados na Figura 58.

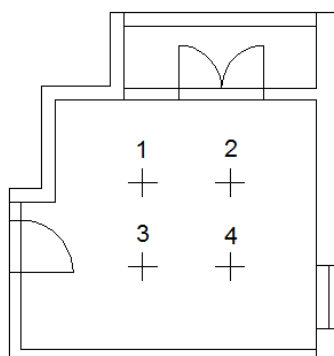


Figura 58 - Planta do quarto com representação da malha de medição de iluminância

As Tabelas 21 e 22, apresentam os valores da iluminância medida no exterior e no interior simultaneamente e os respetivos Fatores de Luz do Dia para a situação de verão e inverno.

Tabela 21 - Iluminância e FLD no quarto (Inverno)

		Exterior	Interior	FLD
Janela	1	3114	55,18	0,70
	2	3229	47,06	0,58
	3	3535	77,38	0,87
	4	4068	45,5	0,44
Porta	1	5228	94,04	0,71
	2	5056	64,08	0,50
	3	4640	64,22	0,55
	4	4684	58,66	0,50

Tabela 22 - Iluminância e FLD no quarto (Verão)

		Exterior	Interior	FLD
Janela	1	3871	36,32	0,37
	2	4011	22,06	0,22
	3	4028	41,86	0,41
	4	4484	21,86	0,19
Porta	1	5108	40,18	0,31
	2	5465	29,7	0,22
	3	5583	39,7	0,28
	4	5678	26,28	0,18

Na estação de aquecimento, o fator de luz do dia no quarto $\frac{3}{4}$ da profundidade do compartimento é superior a 0,5%, sendo assim, cumpre o valor regulamentar.

Na estação de arrefecimento, o valor do fator de luz do dia é mais baixo que o valor recomendado, devido ao facto das proteções estarem ativadas.

Sala

A Figura 59, apresenta a planta do compartimento estudado e a respetiva malha de pontos onde foi medida a iluminância interior e exterior. Neste compartimento, existe um envidraçado orientado a Sul e quatro envidraçados orientados a Oeste, sendo estudado apenas um dos envidraçados voltados a Oeste.

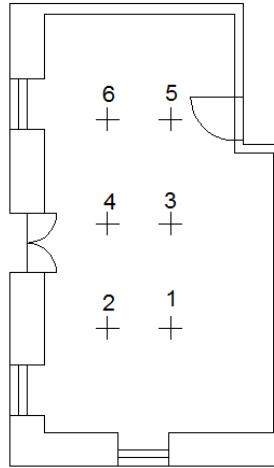


Figura 59 - Planta da sala com representação da malha de medição de iluminância

As tabelas 23 e 24, apresentam os valores da iluminância medidas no exterior e interior simultaneamente e os respectivos Fatores de Luz do Dia para a situação de verão e inverno.

Tabela 23 - Iluminância e FLD na sala (Inverno)

		Exterior	Interior	FLD
Janela	1	5868	78,5	0,53
	2	5241	79	0,60
	3	5020	71,2	0,56
	4	5064	63,02	0,49
	5	5048	41,8	0,33
	6	4776	78,92	0,65
Porta	1	4450	71	0,63
	2	4950	84,68	0,68
	3	5681	52,34	0,36
	4	5141	61,94	0,48
	5	4146	32,8	0,31
	6	4788	53,74	0,44

Tabela 24 - Iluminância e FLD na sala (Verão)

		Exterior	Interior	FLD
Janela	1	3137	25,06	0,32
	2	3450	26,58	0,31
	3	4074	13,54	0,13
	4	3565	16,6	0,18
	5	3095	13,36	0,17
	6	3404	23,56	0,27
Porta	1	3013	22,54	0,30
	2	3128	21,82	0,28
	3	3390	12,16	0,14
	4	2799	16,84	0,24
	5	2898	11,88	0,16
	6	2743	22,28	0,32

Na estação de aquecimento, o Fator de Luz do Dia na sala, a meio do compartimento, é inferior a 1%, sendo assim, não cumpre o valor regulamentar.

Na estação de arrefecimento, o valor do Fator de Luz do Dia é mais baixo que o valor recomendado devido ao facto das proteções estarem ativadas.

Cozinha

A planta da cozinha e a respetiva malha de medição é apresentada na Figura 60.

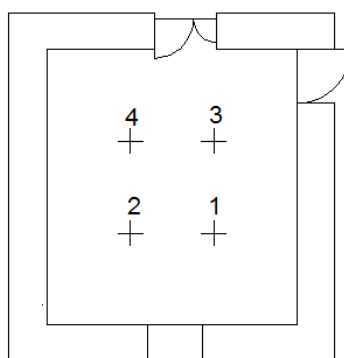


Figura 60 - Planta da cozinha com representação da malha de medição de iluminância

A Tabela 25, apresenta os valores da iluminância medidos no exterior e interior simultaneamente. A situação de verão é igual á situação de inverno, visto que a única proteção existente é uma cortina transparente.

Tabela 25 - Iluminância e FLD na cozinha (Verão e Inverno)

		Exterior	Interior	FLD
Janela	1	2998	16,9	0,22
	2	2575	14,02	0,22
	3	2623	3,42	0,05
	4	2921	2,98	0,04

O Fator de Luz do Dia na cozinha a meio da profundidade do compartimento é inferior a 2%, sendo assim, não cumpre o valor regulamentar.

5.4. Avaliação do comportamento acústico

Para efetuar a avaliação do desempenho acústico, foi realizada a medição in situ do nível sonoro contínuo equivalente ponderado, que caracteriza as condições acústicas. Todas as medições são realizadas com base na norma NP1730-1 e EN 15251.

Foram realizadas três medições em cada período de referência (diurno, entardecer e noite) devido ao facto dos compartimentos serem situados a beira da estrada e do caminho em que o tráfego difere dependendo da hora do dia.

Os compartimentos em análise são aqueles em que é essencial o conforto acústico (Quartos e Sala de estar).

Período diurno

O período diurno, pode ser considerado o mais ruidoso visto que há maior circulação de tráfego e outros ruídos exteriores. As três medições no compartimento foram efetuadas entre as 7 e as 20 horas (Tabela 26).

Tabela 26 - Valores de LAeq em dB(A) (período diurno)

	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média
Quarto	25,8	26,9	32,9	28,5
Sala	30,7	33,8	38,4	34,3

O nível sonoro contínuo equivalente ponderado do quarto, cumpre as condições regulamentares da EN 15251, em que o valor deve estar compreendido entre 20 e 35 dB. Os valores de L_{Aeq} da sala, também estão dentro dos valores regulamentares, sendo eles 25 a 40 dB.

Período entardecer

O período diurno, pode ser considerado pouco ruidoso visto que, há menor frequência de tráfego e poucos ruídos exteriores. As três medições no compartimento foram efetuadas entre as 20 e as 23 horas (Tabela 27).

Tabela 27 - Valores de LAeq em dB(A) (período de entardecer)

	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média
Quarto	30,1	24	22,4	25,5
Sala	29,3	25,9	30,2	28,5

O nível sonoro contínuo equivalente ponderado do quarto, cumpre as condições regulamentares da EN 15251, em que o valor deve estar compreendido entre 20 e 35 dB. Os valores de L_{Aeq} da sala também estão dentro dos valores regulamentares, sendo eles 25 a 40 dB.

Período noturno

O período diurno, pode ser considerado pouco ruidoso visto que, a frequência de tráfego e ruído exterior é pouca ou nenhuma. As três medições no compartimento foram efetuadas entre as 23 e as 7 horas (Tabela 28).

Tabela 28 - Valores de LAeq em dB(A) (período noturno)

	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média
Quarto	23,9	21,4	20	21,8
Sala	24,5	28,7	23	25,4

O nível sonoro contínuo equivalente ponderado do quarto, cumpre as condições regulamentares da EN 15251, em que o valor deve ser inferior a 30dB. Os valores de L_{Aeq} da sala também estão dentro dos valores regulamentares, sendo eles 25 a 40 dB.

CAPÍTULO 6 - SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO, ACÚSTICO, LUMÍNICO E QUALIDADE DO AR INTERIOR

Neste capítulo, são apresentados os resultados das simulações realizadas em relação ao consumo energético do edifício e condições térmicas interiores, desempenho lumínico, desempenho do isolamento acústico e ventilação.

6.1. Simulação do comportamento térmico

Os principais fatores que influenciam o comportamento térmico de um edifício são: as soluções construtivas, tipo de envidraçado, orientação e a sua área.

É necessário conhecer a influência que cada um destes fatores tem sobre o edifício.

6.1.1. Análise de resultados

Para o estudo das diversas soluções, faz-se variar um parâmetro de cada vez e assim comparar os valores com a solução base. Inicialmente, apenas foi variado o isolamento das fachadas exteriores, em seguida o envidraçado e por fim o isolamento na laje de cobertura. O consumo de energia de aquecimento para a solução base é de $106,68\text{kWh/m}^2$ ano, com o reforço de isolamento, este valor tende a diminuir.

6.1.1.1. Reforço do isolamento térmico das fachadas exteriores

O estudo do reforço do isolamento térmico, foi feito tendo em conta dois sistemas de isolamento térmico: Sistema ETICS de isolamento exterior de fachadas e Sistema de isolamento interior das fachadas (Tabela 29).

Tabela 29 - Combinações para a envolvente exterior

Sistema (ETICS ou XPS pelo interior)	Localização do isolamento (Interior e exterior)	Espessura (mm)
ETICS	Exterior	20
ETICS	Exterior	40
ETICS	Exterior	60
ETICS	Exterior	80
ETICS	Exterior	100
XPS	Interior	20
XPS	Interior	40
XPS	Interior	60
XPS	Interior	80
XPS	Interior	100

O sistema de isolamento ETICS, funciona como um revestimento de isolamento térmico (EPS) que é fixo à fachada exterior (pedra) através de cola e fixação mecânica. O revestimento é feito através de um reboco delgado, aplicado em várias camadas de ligante misto, armado com uma ou várias redes de fibra de vidro e protegido por um ligante sintético (Plastimar, 2011).

O sistema de isolamento pelo interior, é colocado através de uma estrutura resistente de aço galvanizado sobre o qual se aparafusa pela face interior uma placa de poliestireno extrudido (XPS) revestido com gesso cartonado (Pladur, 2012).

Na Figura 61, são apresentados os consumos de necessidade de energia de aquecimento do edifício com aplicação do sistema ETICS.

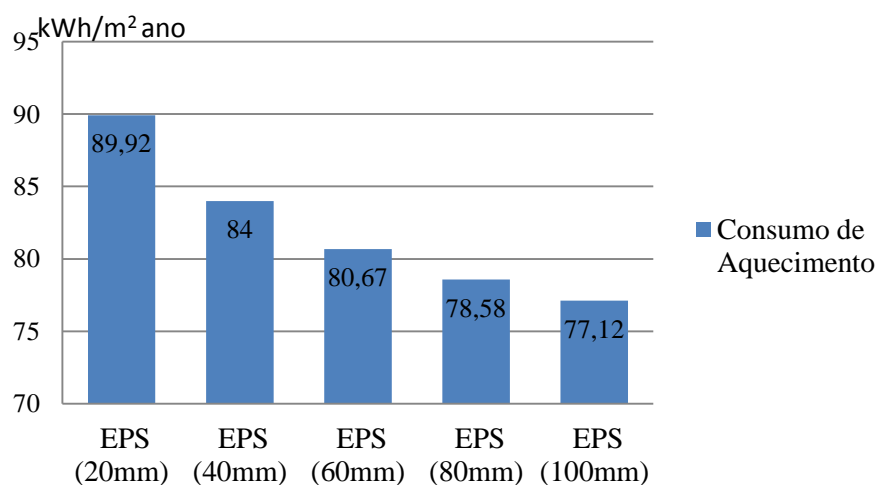


Figura 61 - Consumo de energia da solução com sistema ETICS

A Figura 62, mostra o consumo energético na estação de aquecimento para o sistema de isolamento com XPS pelo interior, revestido por gesso cartonado

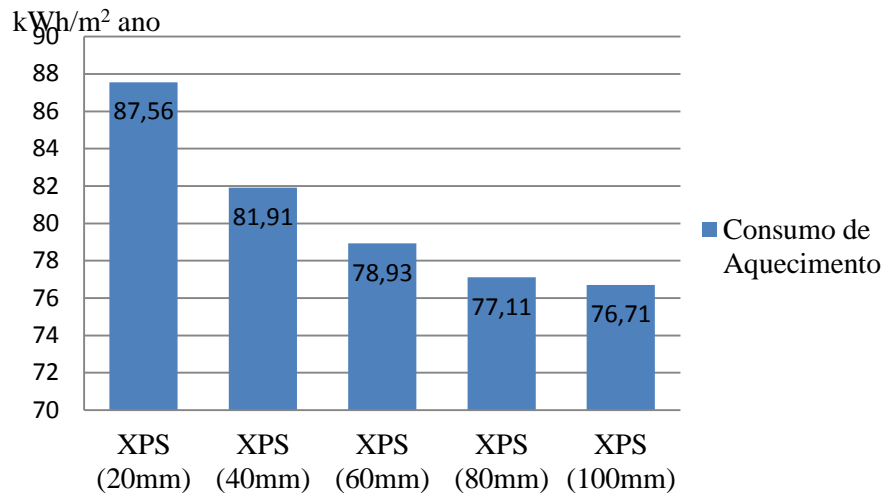


Figura 62 - Consumo de energia com XPS pelo interior

Na estação de aquecimento, a solução construtiva que mais diminui as perdas de energia é a correspondente á utilização de poliestireno extrudido (XPS) com 100mm de espessura colocado pelo interior. A colocação do XPS de 100mm reduz o consumo de energia em 28%.

A solução que menos diminui as perdas, é a colocação de poliestireno expandido pelo exterior (EPS) com 20mm de espessura, esta colocação reduz os consumos em 16%.

6.1.1.2. Variação das características dos envidraçados

É importante estudar a troca de calor pelos envidraçados, visto que influencia o nível energético do edifício. Foram estudados envidraçados com caixilharia de alumínio com corte térmico e vidro duplo (3mm+13mm+3mm) para evitar elevadas trocas de calor com o exterior, obtendo um consumo energético de aquecimento de 105,99 kWh/m² ano

A solução estudada, reduz o consumo de energia em relação á solução existente de 1%.

Este valor é muito baixo devido aos poucos envidraçados existentes no edifício. Sendo assim, não é estudada a substituição dos envidraçados do edifício existente devido ao facto de não ser compensatório a longo prazo.

6.1.1.3. Reforço de isolamento térmico da laje de cobertura

A laje de cobertura, pode ser reforçada com poliestireno expandido (EPS) e poliestireno extrudido (XPS). Foram estudadas as várias espessuras dos isolamentos térmicos (Tabela 30)

Tabela 30 - Combinações para a laje de cobertura

Isolamento (EPS e XPS)	Localização do isolamento	Espessura (mm)
EPS	Exterior	20
EPS	Exterior	40
EPS	Exterior	60
EPS	Exterior	80
EPS	Exterior	100
XPS	Exterior	20
XPS	Exterior	40
XPS	Exterior	60
XPS	Exterior	80
XPS	Exterior	100

Na Figura 63, são apresentadas as necessidades energéticas de aquecimento, quando é colocado sobre a laje de cobertura o EPS.

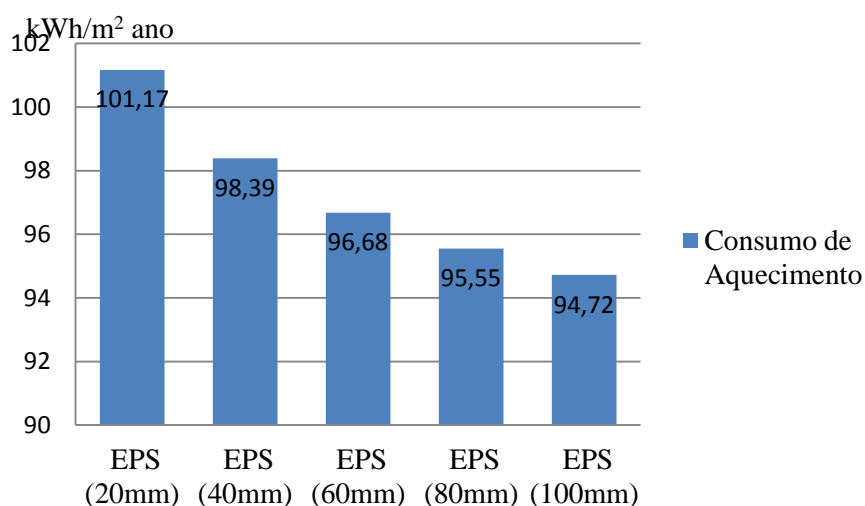


Figura 63 - Consumo de energia com EPS na cobertura

A Figura 64, mostra as necessidades de energia de aquecimento, para o estudo de XPS pelo exterior da laje de cobertura.

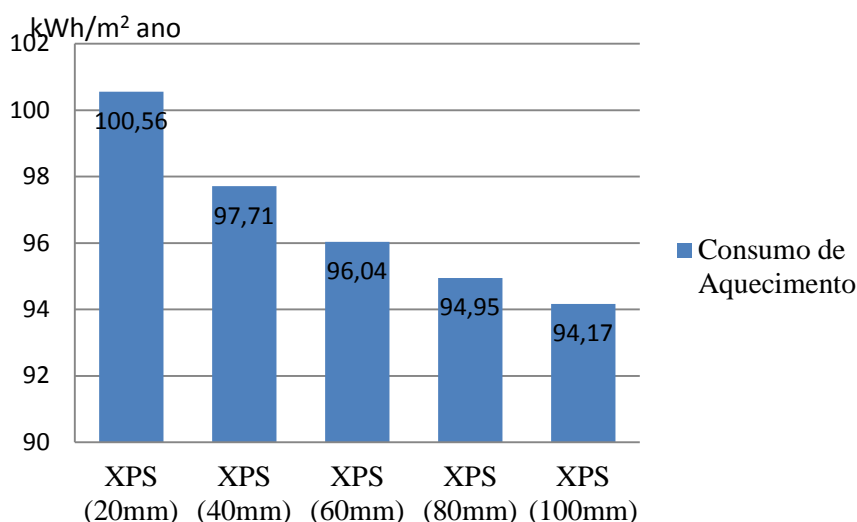


Figura 64 - Consumo de energia com XPS pelo exterior

Na estação de aquecimento, a solução construtiva que mais diminui as perdas de energia, é a correspondente á utilização de poliestireno extrudido (XPS) com 100mm de espessura. A colocação do XPS de 100mm reduz o consumo de energia em 12%.

A solução que menos diminui as perdas, é a colocação de poliestireno expandido pelo exterior (EPS) com 20mm de espessura, esta colocação reduz os consumos em 5%.

6.1.2. Análise económica

A escolha do tipo de isolamento mais adequado para o edifício em estudo, foi feita tendo em conta o menor consumo possível, em conjunto com a solução economicamente mais viável. Sendo assim, é necessário calcular o período de retorno de investimento das soluções.

O custo da solução inicial é 0 para a solução existente. No custo de execução está incluído o custo dos materiais utilizados (EPS ou XPS, fixações mecânicas, colas, perfis metálicos, fibra de vidro, ligante sintético e gesso cartonado) e mão-de-obra dos técnicos. Na Tabela 31 e 32, são apresentados os valores do custo final de investimento do reforço da fachada exterior e da cobertura, respetivamente.

Tabela 31 - Custo de investimento no reforço do isolamento térmico da cobertura

		Fachada exterior		
		Custo de execução (€/m²)	Área (m²)	Custo final (€)
Exterior	EPS (20mm)		195,67	
	EPS (40mm)	38,74	195,67	7580,26
	EPS (60mm)	41,26	195,67	8073,34
	EPS (80mm)	44,24	195,67	8656,44
	EPS (100mm)	46,47	195,67	9092,78
Interior	XPS (20mm)		189,41	
	XPS (40mm)	39,04	189,41	7394,57
	XPS (60mm)	41,69	189,41	7896,50
	XPS (80mm)	45,21	189,41	8563,23
	XPS (100mm)	47,41	189,41	8979,93

Tabela 32 - Custo de investimento no reforço do isolamento térmico da cobertura

		Cobertura		
		Custo de execução (€/m²)	Área (m²)	Custo final (€)
EPS (20mm)			113,54	
EPS (40mm)	5,25		113,54	596,09
EPS (60mm)	7,39		113,54	839,06
EPS (80mm)	9,36		113,54	1062,73
EPS (100mm)	11,34		113,54	1287,54
XPS (20mm)			113,54	
XPS (40mm)	6,71		113,54	761,85
XPS (60mm)	9,45		113,54	1072,95
XPS (80mm)	12,20		113,54	1385,19
XPS (100mm)	14,93		113,54	1695,15

As Tabelas 33 e 34, apresentam os valores do período de retorno de investimento para a cobertura e Fachada exterior, respetivamente.

Tabela 33 - Período de retorno de investimento da cobertura com isolamento

		Consumo (kWh/m ²)	Ap (m ²)	Δ Custo de exploração (€)	Δ Custo de investimento (€)	Período de retorno de investimento (anos)
Solução base		106,68	132,2	1849,68		
Exterior	EPS (40mm)	98,39	132,2	1705,94	596,09	4,1
	EPS (60mm)	96,68	132,2	1676,29	839,06	4,8
	EPS (80mm)	95,55	132,2	1656,70	1062,73	5,5
	EPS (100mm)	94,72	132,2	1642,31	1287,54	6,2
	XPS (40mm)	97,71	132,2	1694,15	761,85	4,9
	XPS (60mm)	96,04	132,2	1665,20	1072,95	5,8
	XPS (80mm)	94,95	132,2	1646,30	1385,19	6,8
	XPS (100mm)	94,17	132,2	1632,77	1695,15	7,8

Tabela 34 - Período de retorno de investimento da fachada com isolamento

		Consumo (kWh/m ²)	Ap (m ²)	Δ Custo de exploração (€)	Δ Custo de investimento (€)	Período de retorno de investimento (anos)
Solução base		106,68	132,2	1849,68		
Interior	XPS (40mm)	81,91	132,2	1420,20	7394,57	17,2
	XPS (60mm)	78,93	132,2	1368,53	7896,50	16,4
	XPS (80mm)	77,11	132,2	1336,98	8563,23	16,7
	XPS (100mm)	76,71	132,2	1330,04	8979,93	17,3
Exterior	EPS (40mm)	84	132,2	1456,44	7580,26	19,3
	EPS (60mm)	80,67	132,2	1398,70	8073,34	17,9
	EPS (80mm)	78,58	132,2	1362,47	8656,44	17,8
	EPS (100mm)	77,12	132,2	1337,15	9092,78	17,7

6.1.3. Análise de resultados

Tendo em conta os valores obtidos para o reforço de isolamento da fachada exterior, verifica-se que o isolamento com menor período de retorno de investimento é o XPS com 60mm de espessura, colocado pelo interior, enquanto o EPS com 40mm de espessura apresenta o período de retorno de investimento mais elevado.

Nas fachadas exteriores, os períodos de retorno de investimento são próximos em todos os isolamentos estudo, sendo assim, o isolamento colocado pelo interior é excluído pois a colocação de isolamento interior implicaria custos adicionais para remoção dos armários

embutidos, loiças sanitárias e extração das tomadas de eletricidade, e também é incómodo para os habitantes do edifício e reduz a área útil. Em termos de eficiência energética seria também menos eficaz, visto ser um edifício existente e as paredes divisórias serem possíveis causadoras de pontes térmicas.

A solução construtiva adotada é a utilização do Poliestireno expandido (EPS) com 60mm de espessura na fachada exterior pelo exterior e na cobertura, pois a discrepância do período de retorno de investimento em relação ao EPS com 80mm e 100mm é baixo tanto na colocação do isolamento na fachada exterior, como na cobertura, assim como as necessidades de consumo energético na estação de aquecimento.

O período de retorno de investimento, deve ser de 4 a 5 anos, entretanto os valores da aplicação do sistema ETICS na fachada exterior ultrapassa os valores referidos, apresentando um período de retorno de 17,9 anos. O edifício em estudo tem cerca de 123 anos de existência, quando é reabilitado, a vida útil do edifício é alargada.

6.2. Simulação do comportamento acústico

A simulação do comportamento acústico, foi feita com base no programa Acoubat Sound. Para criação do edifício, foi definida a geometria dos compartimentos em que dois são horizontais e dois verticais (Figura 65). Os compartimentos estudados, são o quarto e a sala de estar, visto serem os espaços em que o ruído deve ser o mínimo possível sendo estes locais de descanso e concentração.

O programa em causa, só permite definir geometria de compartimentos retangulares, sendo assim foi mantido o volume do compartimento e dimensões das paredes (Figura 65).

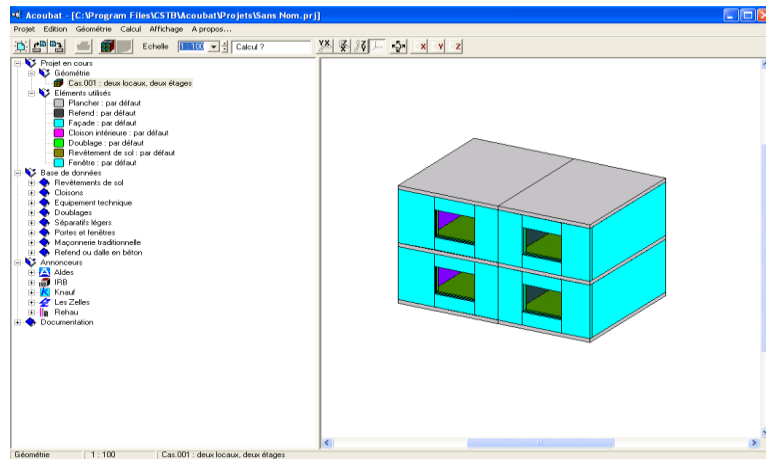


Figura 65 - Geometria dos compartimentos para avaliação do comportamento acústico

Para o edifício em causa, foi estudada a capacidade da fachada exterior isolar os sons aéreos do meio emissor (exterior) para o meio recetor (compartimento), $D_{2m,nT,w}$ (dB).

Na Figura 66 e na Figura 67, apresenta-se os valores do índice de isolamento sonoro, para os sons de condução aérea na sala e no quarto para a situação existente.

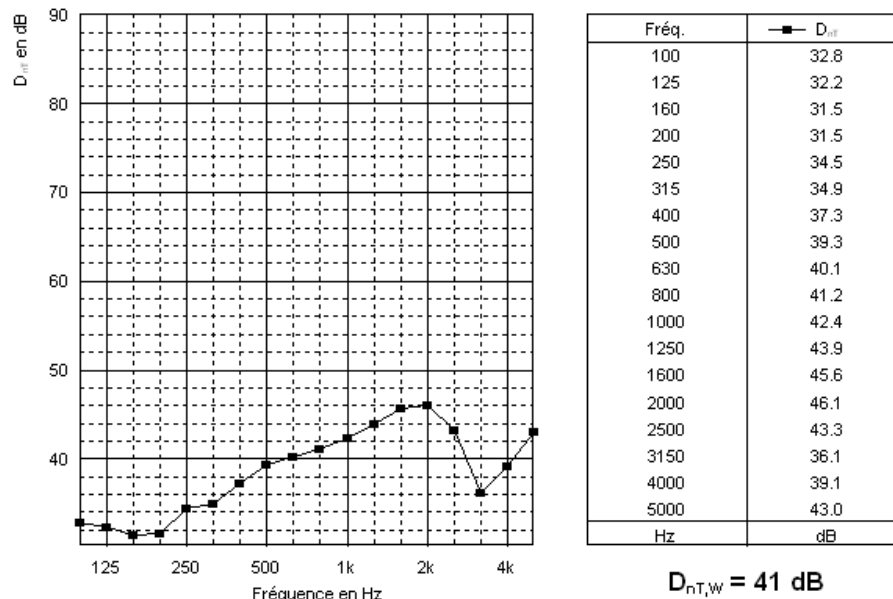


Figura 66 - Capacidade da fachada exterior do quarto isolar os sons aéreo

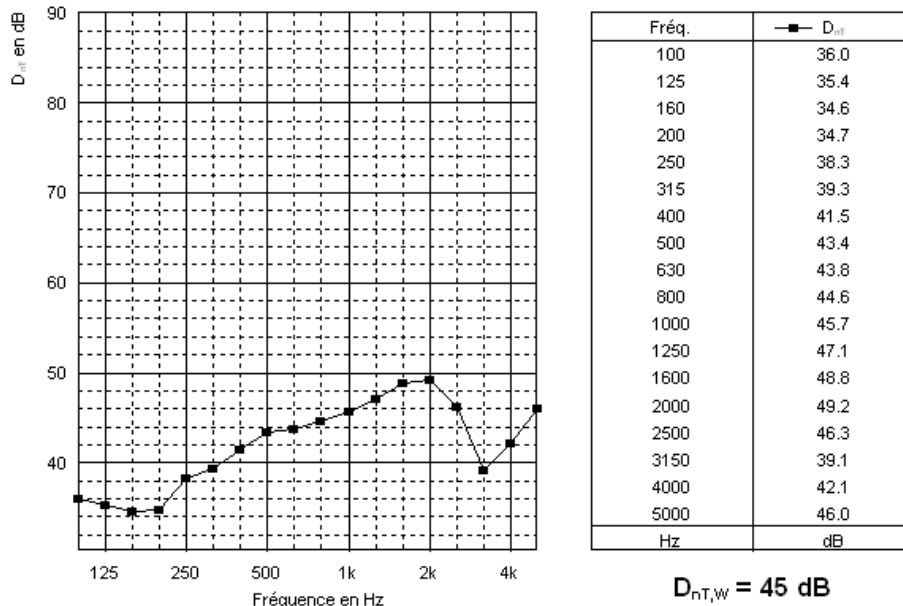


Figura 67 - Capacidade da fachada exterior da sala isolar os sons aéreo

A fachada exterior, que tem melhor capacidade de isolamento sonora a sons aéreos, é a fachada constituída por granito e reboco que corresponde ao compartimento da sala, ou seja, a solução construtiva com maior massa.

No capítulo 4.3.2, foi definido que a solução mais viável em termos de reabilitação térmica, é a aplicação do poliestireno expandido (EPS) com 60mm pelo exterior. O programa Acoubat Sound V2.0, apenas permitir o estudo do isolamento pelo interior, sendo assim os dados são apresentados na Figura 68 e 69, respetivamente.

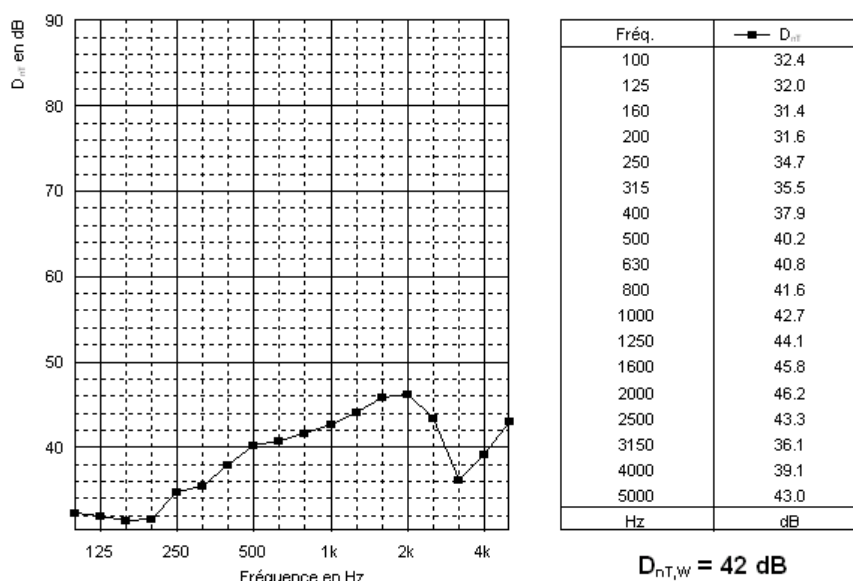


Figura 68 - Capacidade da fachada exterior do quarto com isolamento isolar os sons aéreo

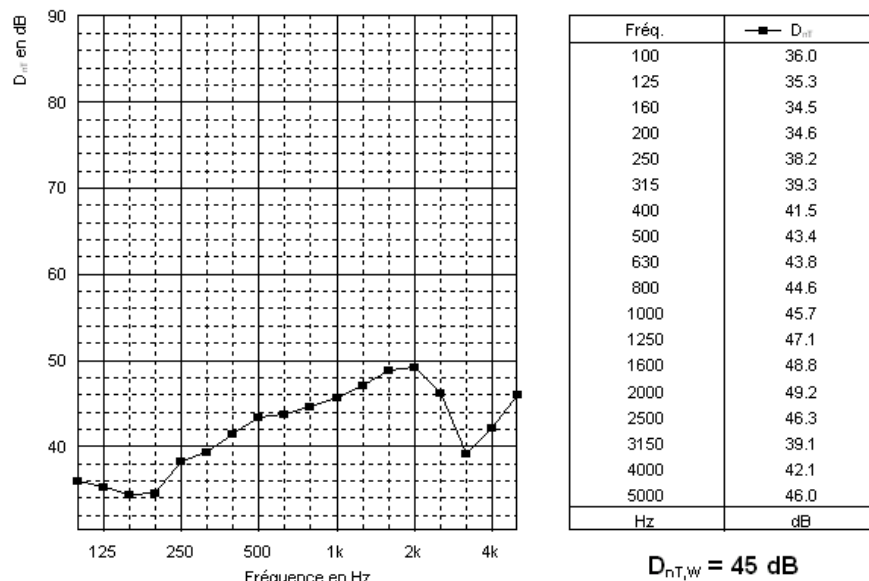


Figura 69 - Capacidade da fachada exterior da sala com isolamento isolar os sons aéreo

A diferença de capacidade de isolamento das fachadas exteriores da sala e do quarto com e sem o sistema ETICS, é mínima, assim sendo o EPS é um material sem capacidade de absorção, visto que o isolamento acústico do edifício não é melhorado.

6.3. Simulação do comportamento lumínico

A simulação do comportamento lumínico, foi feita utilizando o programa Desktop Radiance, avaliando assim a qualidade de iluminação natural no quarto, sala e cozinha. O dia estudado, foi o mais desfavorável em termos de condições de iluminação, 21 de Dezembro.

As características dos elementos dos compartimentos são as seguintes:

- Refletância das paredes interiores e do teto: 85,77% (Cor branca)
- Refletância do pavimento: 18,31% (Cor vermelho-acastanhado)
- Refletância do vidro: 12% (Vidro simples)
- Modelo do céu: Céu encoberto padrão (CIE)

Na Figura 70 apresenta-se a distribuição de iluminância na sala com envidraçados voltados a sul e a oeste.

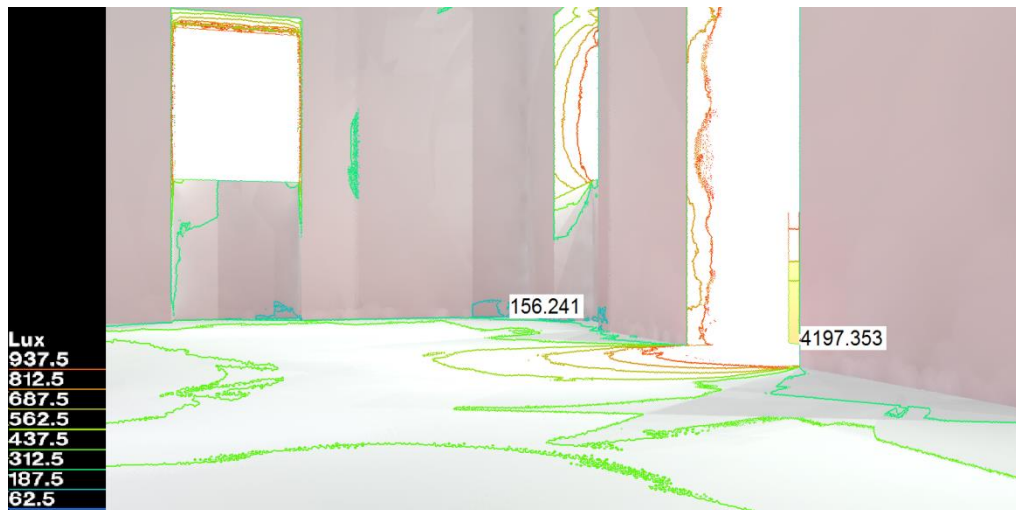


Figura 70 - Iluminância da sala (lux)

Na Figura 71 apresenta-se a distribuição do fator de luz do dia na sala.

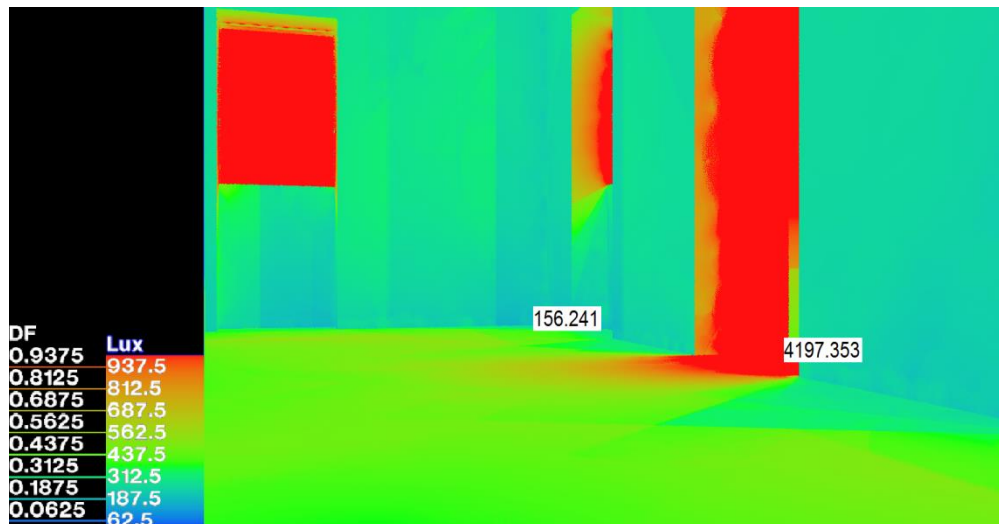


Figura 71 - Fator de luz do dia na sala (%)

Na sala, a iluminância apresenta valores que variam entre 437,5 lux e 562,5 lux. Os valores de iluminância recomendados para uma sala, são de 100 lux a 200 lux, sendo assim os valores previstos são superiores aos recomendados e o valor do fator de luz do dia a meio da profundidade do compartimento é cerca de 0,5625, não cumprindo os 1% recomendados.

A sala necessita de um sistema de iluminação artificial para complementar com a iluminação natural.

Na Figura 72, apresenta-se a distribuição de iluminância na cozinha com envidraçado voltado a sul.

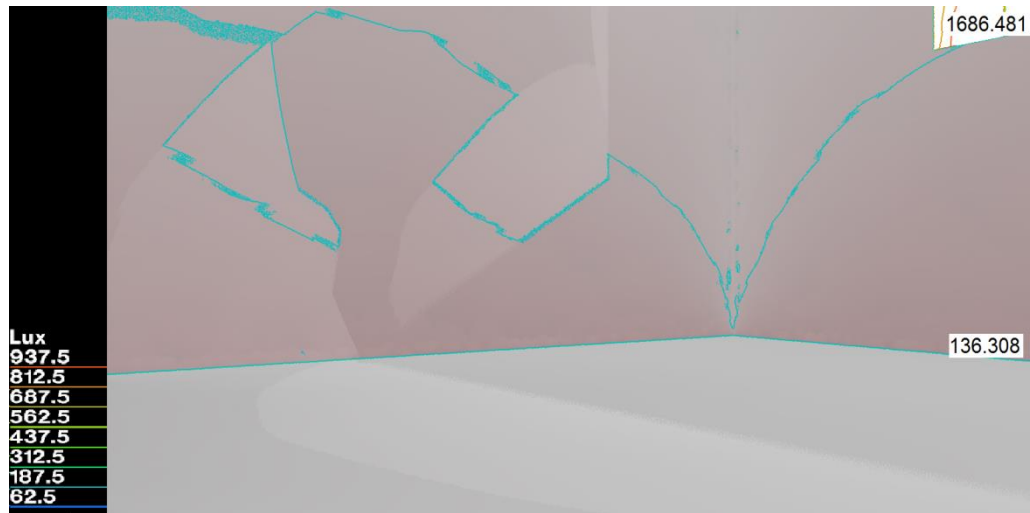


Figura 72 - Iluminância da cozinha

Na Figura 73 apresenta-se a distribuição do fator de luz do dia na cozinha.

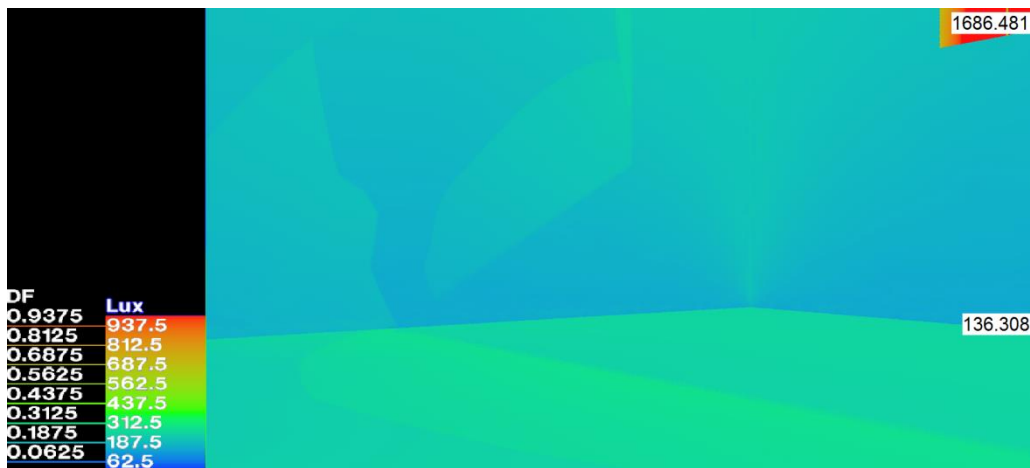


Figura 73 - Fator de luz do dia na cozinha (%)

A cozinha, apresenta valores de iluminância compreendida entre 62,5 lux e 187,5 lux. Os valores recomendados para este tipo de compartimento, são de 200 lux, assim sendo os valores obtidos são inferiores aos valores recomendados e o valor do fator de luz do dia a 3/4 da profundidade do compartimento, é cerca de 0,3125% não cumprindo os 2 % recomendados.

A cozinha, tem uma iluminação natural insuficiente. Isto deve-se à elevada espessura da fachada, que conseqüentemente diminui a amplitude de iluminação natural. É necessário complementar a iluminação natural, com um sistema de iluminação artificial adequada.

Na Figura 74, apresenta-se a distribuição de iluminância no quarto, com envidraçados voltados a norte e a este.

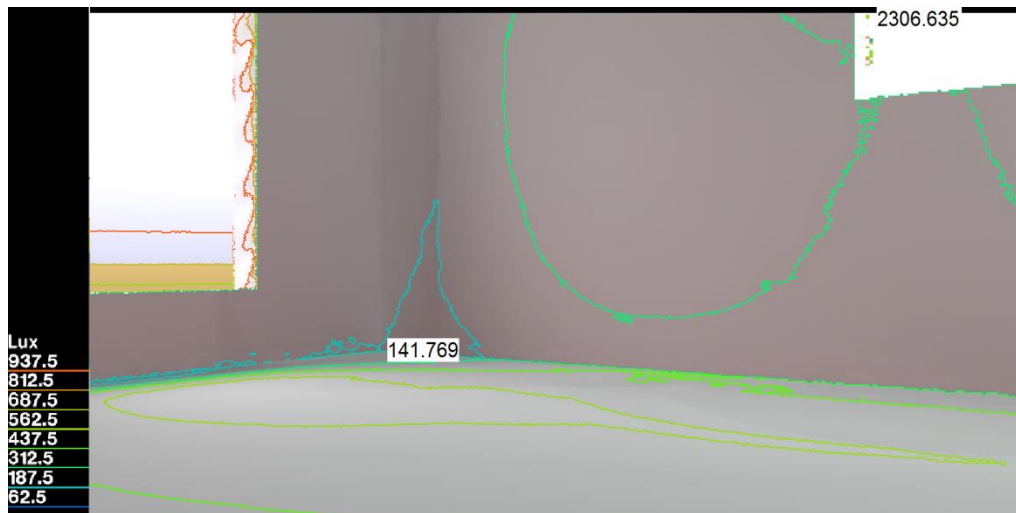


Figura 74 - Iluminância do quarto

Na Figura 75, apresenta-se a distribuição do fator de luz do dia na sala.

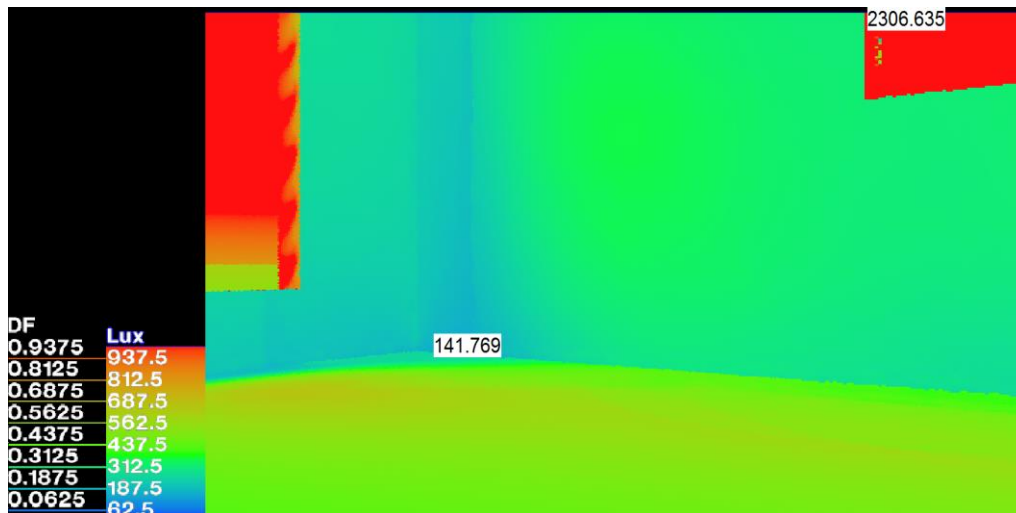


Figura 75 - Fator de luz do dia no quarto

O quarto, apresenta valores de iluminância de 437,5 lux a 687,5 lux. Os valores recomendados para um quarto é de 300 lux, sendo assim os valores obtidos estão acima dos valores recomendados e o valor do fator de luz do dia a 3/4 da profundidade do compartimento é cerca de 0,5625, cumprindo os 0,5% recomendados.

6.4. Simulação da qualidade do ar interior

A simulação da qualidade do ar interior, é essencial para a avaliação das condições a que os ocupantes estão sujeitos. Assim sendo, é seguida uma metodologia que dará resultado a valores conclusivos.

O edifício em estudo, tem 203,36 m² de área útil e é não low-polluting.

O edifício tem 4 habitantes nos dias úteis e 5 no fim de semana, sendo assim o número de ocupantes é de 4,29. Nenhum destes habitantes é fumador.

Como o edifício em estudo é antigo, pode ser considerado de classe B, sendo assim o $C_{c,i}$ é 1,4. O edifício encontra-se localizado numa aldeia em que a qualidade do ar exterior é boa, logo o $C_{c,o}$ é 0,1.

Os compartimentos em análise, são de fácil ventilação pois têm janelas posicionadas de forma a permitir uma boa ventilação, sendo assim, o $\varepsilon_v = 0,7$.

O primeiro passo para a avaliação da qualidade do ar interior, é o cálculo da carga sensorial e o cálculo da taxa de ventilação para assegurar o conforto.

A carga sensorial depende dos ocupantes e dos poluentes emitidos pelos materiais de construção. A carga sensorial dos ocupantes, é influenciada pela quantidade de ocupantes do edifício e se estes são fumadores ou não. A Tabela 35, apresenta o valor da carga sensorial.

Tabela 35 - Valor da carga sensorial

	Carga sensorial (olf/m ²)
Ocupantes	0,02
Edifício não low-polluting	0,2
Total	0,22

O cálculo da taxa de ventilação para assegurar o conforto, é feito através da equação 7 do capítulo 3, obtendo o valor apresentado na equação 11.

$$Q_c = 10 \times \frac{0,220}{1,4 - 0,1} \times \frac{1}{0,7} = 2,421 / (\text{s} \cdot \text{m}^2) \quad (11)$$

O cálculo da percentagem de pessoas descontentes (PPD), é feito através da equação 5 do capítulo 3.

A concentração de CO₂ acima da concentração do exterior, é de 975,383 ppm, sendo este valor a média dos valores medidos nos três compartimentos em análise. Obtendo assim, o valor apresentado na equação 12.

$$PPD = 395 \cdot e^{-15,15,975,383^{-0,25}} = 26,26\% \quad (12)$$

O cálculo da perceção da qualidade do ar (C_i) é realizado através da equação 6 do capítulo 3, obtendo o valor apresentado na equação 13.

$$C_i = 112 \times (\ln(26,26) - 5,98)^{-4} = 2,07 \text{ decipol} \quad (13)$$

Para uma taxa de ventilação de $2,42 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$, num edifício de classe B e materiais não pouco poluentes a percentagem de pessoas descontentes é de 26,26% e a relação entre a perceção da qualidade do ar interior é de 2,07 decipol.

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

7.1. Principais conclusões

A presente dissertação, foi elaborada através da realização de pesquisa bibliográfica, de medição in situ e de programas de simulação, tal como referido na metodologia. É de realçar que os programas de simulação, foram utilizados com base numa pesquisa aprofundada.

Numa primeira abordagem e com base no conteúdo de informação do estado de arte, é visível um conjunto de informação que necessita de ser tida em conta, sendo esta a base para todo o trabalho desenvolvido. De uma forma geral, é notório que Portugal tem uma grande quantidade de edifícios vagos, sendo necessário proceder a obras de reabilitação tanto estruturais como não estruturais.

Assim sendo, é necessário inverter tendências, reabilitando os edifícios existentes de modo a diminuir consumos energéticos e aumentar a eficiência energética, tendo em especial atenção a qualidade do ambiente interior.

O estudo de um edifício já existente com diversas patologias, permite ter um conhecimento mais aprofundado das condições existentes, nomeadamente dos consumos energéticos e da qualidade do ambiente interior, possibilitando definir soluções construtivas mais eficazes e viáveis economicamente.

Foram estudadas as patologias visíveis no edifício e foram definidas soluções para resolver problemas de eflorescências, condensações superficiais e infiltrações existentes.

O estudo do comportamento térmico do edifício, foi feito através do programa Designbuilder tendo sido previstos os consumos energéticos do edifício, com as soluções construtivas base existentes. A solução construtiva adotada para reforçar o isolamento térmico foi o sistema ETICS, com EPS de 60mm, visto ser a espessura mais conveniente em termos económicos e em termos de consumos energéticos.

Em termos acústicos, o EPS é um material sem capacidade de absorção acústica, sendo assim, este material não aumenta a capacidade de isolamento acústico do edifício.

O estudo do comportamento lumínico, foi realizado através do programa Desktop Radiance, tendo-se concluído que dos compartimentos estudados, tanto a cozinha como a sala não cumprem os valores recomendados.

Por fim, o estudo da Qualidade do ar interior, foi realizado com base no critério de Fanger, verificando-se que a percentagem de pessoas descontentes (PPD) é de 26,26%, correspondendo a uma perceção da qualidade do ar interior de 2,07decipol. Para um edifício de classe B, é expetável que a PPD seja de 20% , ou seja, neste caso, como a PPD ultrapassa este limite, verifica-se que a situação é intermédia entre a classe B e classe C, sendo necessário melhorar as condições existentes no edifício.

As medições de avaliação da qualidade do ambiente interior, foram realizadas através de equipamentos, e posteriormente, foram comparadas com os valores recomendados pelas normas. Quanto ao comportamento higrotérmico, no inverno, todos os compartimentos analisados cumprem as normas ASHRAE Standard 55-2010, EN 15251 e EN ISO7730, já no verão, nenhum dos compartimentos cumpre as normas referidas. Sendo assim, conclui-se que na estação de inverno, os ocupantes encontram-se em conforto térmico, enquanto que no verão, os ocupantes estão em desconforto térmico.

As concentrações de poluentes presentes no edifício, o monóxido de carbono (CO), formaldeído (CHOH), cumprem os valores de referência. A concentração de dióxido de carbono (CO₂) e do ozono (O₃), são superiores aos valores de referência. Sendo assim, conclui-se que os compartimentos com poluentes que ultrapassam os valores de referência, devem ser ventilados para que estes poluentes sejam diluídos.

Com relação aos ensaios de avaliação das condições de iluminação natural, pode-se concluir que a sala e a cozinha não cumprem os valores definidos pela CIE relativamente à iluminância, sendo necessário recorrer a sistemas de iluminação artificial.

Por fim, os ensaios acústicos que foram realizados em três períodos de referência, cumprem as condições da norma EN 15251.

7.2. Perspetivas futuras

As perspetivas futuras para este assunto, devem passar pelo estudo de edifícios com diversas soluções construtivas e assim obter diferentes consumos energéticos e nível sonoro contínuo equivalente dos elementos construtivos.

Outro dos desenvolvimentos futuros é estudar edifícios com outras tipologias, ou seja, estudo de edifícios com área útil diferente.

Deve-se estudar novos materiais e soluções de reforço de isolamento térmico para que seja conhecido o comportamento dos diversos materiais a nível térmico e acústico, e assim associar estes materiais a outros edifícios.

Por fim, Aprofundar em termos de pesquisa os diversos programas de simulação existentes para que assim se torne mais fácil a utilização dos mesmos.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ADENE- Legislação Nacional, Agência para a Energia, Certificação Energética e Ar interior Edifícios. Disponível em <http://www.adene.pt/>

AECOPS – **O mercado da reabilitação, Enquadramento, relevância e perspectivas**, 2009

Afonso, João Filipe dos Santos – **Estudo do comportamento térmico de edifícios antigos**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Fernando Pessoa: 2009

Agência Portuguesa do Ambiente – Disponível em 2013 -
<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=500> .
Acedido em 16/02/2013

Aguiar et al – **Estudo de um edifício de habitação multifamiliar com anomalias não estruturais**. Departamento de Engenharia Civil, 2006

Almeida & Silva – **Física das construções**. Departamento de engenharia Civil, 2001.

Amaral, Manuel António Pinto da Silva – **Sistemas de ventilação natural e mistos em edifícios de habitação**, Departamento de Engenharia Civil: 2008

ASHRAE 55:2010 – **Thermal Environmental Conditions for Human**, 2010

Building Energy Software Tools Directory - Disponível em 14/09/2011 -
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ - Acedido em
26/02/2013

BP – Gasóleo de aquecimento - http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/portugal - Acedido em 10/10/2013

Chaves, F. – **Inovação na indústria da caixilharia. Faculdade de engenharia da Universidade do Porto**, 2004.

CIE- Comissão internacional de iluminação

Coberturas em telhas cerâmicas-
http://ftc.civil.uminho.pt/Textos_files/construcoes/cp2/Cap.%20IV%20-%20Coberturas%20em%20Telhas%20Cer%C3%A2micas.pdf – Acedido em 12/11/2013

Confederação Portuguesa da construção e do imobiliário – Disponível em 23 de Novembro 2012 - <http://www.cpci.pt/archives/996> acedido em 06/02/2013

Decreto – Lei 34/2008 de 9 de Junho- **“Regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios (RRAE)”** *In Diário da república, I série – A, n.110, 9 de Junho de 2008.*

Decreto – Lei 80/2006 de 4 de Abril- **“Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE)”**. *In Diário da república, I série – A, n.67, 4 de Abril de 2006.* Lisboa, 2006.

DesignBuilder – Disponível em 13/11/2011- http://www.bs2011.org/BS2011_DBA_flyer.pdf.
Acedido em 26/02/2013

Desktop Radiance - <http://radsite.lbl.gov/deskrad/>- Acedido em 29/11/2013

Diretiva – 2010/31/EU – **“The European Parliament and of the council”** , 19 de Maio de 2010.

Domusa - http://www.mundagua.com/images/catalogos/catalogo_176.pdf - Acedido em 10/09/2013

Duarte, João Pedro Sequeira Rodrigues Ferreira – **Condensações superficiais interiores.** Departamento de Engenharia Civil: 2010

EN 12464-1 – **Lighting of work places**, 2002

EN 15251- **Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics**, 2007

EN 7726- **Ergonomics of the thermal environment. Instruments for measuring physical quantities**, 2001

EN ISO 717- **Acoustics- Rating of sound insulation in buildings and of building elements**, 1996.

EN ISO 7730 – **Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**, 2005

EnergyPlus Energy Simulation Software – Disponível em 4/02/2013 - <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>. Acedido em 26/02/2013

Esteves, Gustavo Miguel Gomes Ferraz- **Avaliação das condições de conforto térmico no interior de edifícios e do Nível de isolamento térmico da envolvente**. Departamento de Engenharia Civil, 2011

Ferreira, Maria Amaro Matoso Aguiar – **A eficiência energética na reabilitação de edifícios**. Departamento de Ciências e engenharia do Ambiente, Universidade Nova De Lisboa: 2009

Freitas et al – **Metodologias de diagnóstico e intervenção na reabilitação de edifícios**. Departamento de Engenharia Civil

<http://www.cie.co.at/> acedido a 10/09/2013

INE – Instituto Nacional de Estatística. **Boletim mensal de estatística**, 2012

INE – Instituto Nacional de Estatística. **Necessidade de reparação – Censos 2011** - <http://www.ine.pt>. Acedido em 25/01/2013

INE – Instituto Nacional de Estatística. Parque habitacional em Portugal – Evolução na última década 2001-2011 - <http://www.ine.pt>. Acedido em 25/01/2013

INE – Instituto Nacional de Estatística. **Parque habitacional em Portugal: Evolução na última década**, 2011.

ITE 50 – **Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006

Lacunza - http://www.lacunza.net/pdf/ft_cocina_lis.pdf - Acedido em 10/09/2013

Mendonça, Luís Viegas - **Condensações em Edifícios**, Inspeção de edifícios: 2005

Nota técnica NT-SCE-02 – **Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE**, 2002.

NP 1730-1 – **Acústica. Descrição e medição do ruído ambiente. Parte 1: Grandezas fundamentais e procedimentos**, 1996

NP EN ISO 140-5 – **Acústica Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção**, 1998.

Orcamento - <http://orcamentos.eu/tabelas-de-precos-online/> - Acedido em 28/10/2013

PATORREB – Grupo de estudos da patologia da construção – 2008 - <http://www.patorreb.com/pt/> .Acedido em 29/01/2013

Pereira, Bruno Elói Faria – **A crise na construção e a reabilitação como solução**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Fernando Pessoa: 2012

Pimentel, António Fraga – **Reabilitação de edifícios tradicionais**. Universidade Fernando Pessoa: 2005

Pladur – Pladur uralita - <http://www.pladur.com/pt-pt/particulares/descubra-pladur/Paginas/solucoes-pladur.aspx> - Acedido em 12/10/2013

Plastimar - <http://www.plastimar.pt/index.php?id=69> – Acedido em 12/11/2013

Polli, Taiana & Viveiros, Elvira B. – **Quando o preço não faz diferença: A relação entre o custo do imóvel e o conforto acústico**. Encontro Nacional Latino Americano de conforto no Ambiente Construído, 2007

Quercus, Associação Nacional de conservação da Natureza – **Projecto EcoFamílias**, 2008

Rodrigues, Maria da Conceição Brito Pinto – **Eficiência energética no setor residencial**. Departamento de engenharia mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia: 2011

Santos, Joana Carvalho- **Avaliação da qualidade do ar interior em jardins-de-infância**. Departamento de Engenharia e Higiene Ocupacionais, Faculdade de engenharia da universidade do Porto, 2010.

Silva, Sandra Maria Gomes – **A sustentabilidade e o conforto das construções**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho: 2009

Tuna, José Miguel Rodrigues – **Caracterização *in-situ* de eflorações e de outros compostos salinos em paramentos**. Departamento de Engenharia Civil, 2001

