



ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE TRABALHO EM EDIFÍCIO INDUSTRIAL - OTA-ABRASIVOS

NUNO RICARDO GONÇALVES SILVA

outubro de 2019

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE TRABALHO EM EDIFÍCIO INDUSTRIAL - OTA-ABRASIVOS

Nuno Ricardo Gonçalves Silva
1170340

2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Engenharia Mecânica



ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE TRABALHO EM EDIFÍCIO INDUSTRIAL - OTA-ABRASIVOS

Nuno Ricardo Gonçalves Silva
1170340

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação da Engenheira Olga Sobral Castro.

2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Engenharia Mecânica

JÚRI

Presidente

Professor Francisco Gomes da Silva
Professor Coordenador, ISEP

Orientador

Professora Olga Sobral Castro
Professor Adjunto, ISEP

Arguente

Professora Ana Isabel Palmero Marrero
Professor Auxiliar, FEUP

PALAVRAS CHAVE

QAI, Ruído, Conforto térmico, simulação dinâmica, Reabilitação

RESUMO

O tema surge enquadrado com a necessidade da empresa OTA-Abrasivos avaliar as condições de trabalho dos seus funcionários, de modo a entender e solucionar os problemas sentidos no edifício onde realizam a sua atividade, transformação de abrasivos.

Este estudo visa a avaliação das condições de conforto térmico, da qualidade do ar interior e dos níveis de ruído no edifício de transformação de abrasivos.

Deste modo, é apresentada uma breve revisão bibliográfica relativamente a estas temáticas, assim como as exigências requeridas pela legislação portuguesa e europeia.

Para o estudo de cada um destes tópicos recorreu-se a aparelhos de medição e a um *software* de simulação dinâmica - o *Design Builder*.

A partir da medição dos parâmetros físico-químicos do ar interior, foi possível aferir que se verificam temperaturas inapropriadas ao longo do ano. A simulação dinâmica efetuada permitiu determinar a viabilidade de soluções de reabilitação. Sendo a medida de reabilitação mais vantajosa a combinação conjunta da aplicação de isolamento interior de 60 mm e painéis sandwich de 80 mm na cobertura. A aplicação desta medida leva a uma redução do consumo de energia elétrica para climatização de cerca de 32,5%. Verificou-se também que os valores medidos para as partículas suspensas no ar ultrapassam os estabelecidos pela legislação, tendo-se verificado uma variação máxima relativa ao limiar de proteção de 520% para o posto mais crítico. A causa principal deste facto reside na ineficiência do sistema de aspiração, dada a elevada quantidade de matéria sólida libertada no processo industrial. Sugere-se para a resolução deste problema que seja aumentada a potência e o número de postos de aspiração e que se utilize um sistema de ventilação mecânica com renovação de ar.

Pela análise dos níveis de ruído medidos no edifício, é possível concluir que neste campo não é necessário intervir, uma vez que os valores medidos estão abaixo dos limites impostos pela legislação.

KEYWORDS

IAQ, Noise, thermal comfort, dynamic simulation, rehabilitation

ABSTRACT

This topic comes in line with the necessity of the company OTA-Abrasivos evaluate the working conditions of its employees, in order to understand and solve the problems felt in the building where they perform their activity.

This study is made to evaluate the thermal comfort conditions from indoor air quality and noises levels in the abrasive transformation building.

This way, a brief bibliographic review is presented regarding these themes, as well as the requirements required by Portuguese and European legislation.

To study each one of these topics it was used measuring devices and dynamic simulation software - Design Builder.

From the measurement of the physicochemical parameters of indoor air, it was possible to see that inappropriate temperatures occur throughout the year. The dynamic simulation performed allowed to determine the viability of rehabilitation solutions. The most advantageous rehabilitation solution is the combination of 60 mm interior insulation and 80 mm sandwich panels on the roof. The application of this solution leads to a reduction in electricity consumption for the temperature control by an average of 32.5%. It was found that the measured values for airborne particles exceed the ones set by legislation, with a maximum relative variation to the protection of 520% for the most critical place.

The main reason for this happen, is the inefficiency of the suction system, as the amount of solid matter released in this industrial process is too high. To solve this problem it is suggested to increase the power and the number of suction stations and use a mechanical ventilation system with air renewal.

Analyzing the noise levels in the building it can be concluded that no intervention is necessary because the measurements made are below the limits imposed by the legislation.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

ASHRAE	<i>American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CPS40	Cobertura em painel sandwich com espuma rígida de 40mm
CPS80	Cobertura em painel sandwich com espuma rígida de 80mm
EPS	<i>Expanded Polystyrene</i> (Poliestireno expandido)
ETICS	<i>External Thermal Insulating Composite Systems</i>
ISEP	Instituto de Engenharia do Porto
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IVA	Imposto sobre o Valor Agregado
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
OTA	Organização Técnica de Abrasivos
PE40	Parede exterior com isolamento em poliestireno expandido de 40mm
PE60	Parede exterior com isolamento em poliestireno expandido de 60mm
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
PPD	<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i>
QAI	Qualidade do Ar Interior
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
VLE	Valores Limite de Exposição

Lista de Símbolos

Símbolo	Significado	Unidade
C	Convecção	W/m ²
CO	Monóxido de carbono	-
CO ₂	Dióxido de carbono	-
CO ₂ O	Formaldeído	-
COV _s	Compostos Orgânicos Voláteis	-
E	Evaporação	W/m ²
e	Espessura	m
GD	Número de graus-dias	°C
G _{Sul}	Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a Sul	kWh/m ²
HR	Humidade relativa	%
I _{cl}	Resistência térmica do vestuário	Clo

I_{Sol}	Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°)	kWh/m ²
$L^*A_{eq,T}$	Nível sonoro contínuo equivalente com protetor auditivo	dB
L_{At}	Nível de pressão sonora contínuo equivalente de toda a medição com ponderação frequencial A	dB
L_{CpeakT}	Nível de pico de pressão sonora do tempo de medição com ponderação frequencial C	dB
L_{Cpico}	Valores de pico	dB
$L_{EX,8h}$	Exposição pessoal diária ou semanal	dB
L_v	Duração da estação	-
M	Taxa de metabolismo	Met
R	Radiação	W/m ²
R	Resistência térmica	m ² °C/W
RE	Respiração	W/m ²
T_{ar}	Temperatura do ar	°C
$T_{m,ar}$	Temperatura média do ar	°C
T_r	Temperatura média radiante	°C
U	Variação de energia	W/m ²
U	Coeficiente transmissão térmica	W/m ² °C
$U_{máx}$	Coeficiente transmissão térmica máximo	W/m ² °C
V_{ai}	Velocidade instantânea do ar	m/s
V_{ar}	Velocidade do ar	m/s
$V_{m,ar}$	Velocidade média do ar	m/s
W	Trabalho	W/m ²
z	Altitude	m
ϵ	Emissividade	-
$\theta_{ext,i}$	Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento	°C
$\theta_{ext,v}$	Temperatura exterior média	°C
λ	Condutibilidade	m ² °C/W
ρ	Densidade	Kg/m ³

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – INTERAÇÃO TÉRMICA DO CORPO HUMANO COM O AMBIENTE [1].	31
FIGURA 2 - PERCENTAGEM DE PESSOAS INSATISFEITAS EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VOTO MÉDIO ESTIMADO [1].	35
FIGURA 3 - ZONAS DE CONFORTO DE VERÃO E INVERNO [1].	36
FIGURA 4 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DO ISOLAMENTO TÉRMICO EXTERIOR DE FACHADAS EM RELAÇÃO AO ISOLAMENTO INTERIOR [21].	50
FIGURA 5 - PAVIMENTOS SOBRE ESPAÇO EXTERIOR OU NÃO-AQUECIDO, ISOLAMENTO TÉRMICO INFERIOR [21].	51
FIGURA 6 - PAVIMENTOS SOBRE ESPAÇO EXTERIOR OU NÃO-AQUECIDO, ISOLAMENTO TÉRMICO SUPERIOR [21].	52
FIGURA 7 - PAVIMENTO SOBRE ESPAÇO NÃO-AQUECIDO, ISOLAMENTO TÉRMICO INTERMÉDIO [21].	52
FIGURA 8 - COBERTURA INCLINADA, ISOLAMENTO TÉRMICO DE ESTEIRA HORIZONTAL [21].	53
FIGURA 9 - COBERTURA INCLINADA, ISOLAMENTO TÉRMICO DAS VERTENTES [21].	53
FIGURA 10 - VALORES DO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA MÁXIMOS ADMISSÍVEIS PARA ENVOLVENTE OPACA E ENVIDRAÇADA DE EDIFÍCIOS DE COMÉRCIO E SERVIÇOS.	54
FIGURA 11 - VISTA DE FRENTE DO EDIFÍCIO.	58
FIGURA 12 - VISTA DE CIMA DO EDIFÍCIO.	58
FIGURA 13 - PLANTA DO EDIFÍCIO PISO 0.	59
FIGURA 14 - PLANTA DO EDIFÍCIO PISO 1.	59
FIGURA 15 - PORMENOR E CARACTERÍSTICAS DAS PAREDES EXTERIORES.	61
FIGURA 16 – PORMENOR E CARACTERÍSTICAS DAS PAREDES DIVISÓRIAS.	61
FIGURA 17 - PORMENOR E CARACTERÍSTICAS DO PAVIMENTO TÉRREO.	62
FIGURA 18 – PORMENOR E CARACTERÍSTICAS DO PAVIMENTO INTERIOR.	62
FIGURA 19 - DIMENSÕES DA PLACA DE FIBROCIMENTO.	63
FIGURA 20 - PORMENOR E CARACTERÍSTICAS DO TETO SOBRE O PISO 1.	64
FIGURA 21 - PORMENOR E CARACTERÍSTICAS DOS VÃO ENVIDRAÇADOS.	64
FIGURA 22 – ZONAS CLIMÁTICAS DE INVERNO E VERÃO.	68
FIGURA 23 -INTRODUÇÃO DE LOCALIZAÇÃO PARA NOVO PROJETO.	76
FIGURA 24 - REPRESENTAÇÃO DA GEOMETRIA DO EDIFÍCIO.	76
FIGURA 25 - SEPARADOR “ACTIVITY” NO DESIGN.	77
FIGURA 26 - DEFINIÇÃO DE ENVOLVENTE EM DESIGN BUILDER.	78
FIGURA 27 - SEPARADOR “CONSTRUCTION” NO DESIGN BUILDER.	78
FIGURA 28 - PROPRIEDADES GLOBAIS DA PAREDE INTERIOR DESIGN BUILDER.	79
FIGURA 29 - SEPARADOR “OPENNINGS” NO DESIGN BUILDER.	80
FIGURA 30 - SEPARADOR "LIGHTING" NO DESIGN BUILDER.	80
FIGURA 31 - SEPARADOR "HVAC" NO DESIGN BUILDER.	81
FIGURA 32 - SELEÇÃO DO PERÍODO DE SIMULAÇÃO DINÂMICA	82
FIGURA 33 - KIMO AQ 200 INDOOR AIR QUALITY METER.	87
FIGURA 34 - LOCALIZAÇÃO DOS DIVERSOS PONTOS DE MEDIÇÃO NO PISO 0 E 1.	88

FIGURA 35 - TEMPERATURAS REGISTRADAS NO DIA 7 DE MARÇO PARA OS VÁRIOS POSTOS DE MEDIÇÃO, NOS 3 PERÍODOS DO DIA SELECIONADOS.	89
FIGURA 36 - TEMPERATURAS REGISTRADAS NO DIA 12 DE MARÇO PARA OS VÁRIOS POSTOS DE MEDIÇÃO, NOS 3 PERÍODOS DO DIA SELECIONADOS.	89
FIGURA 37 - VALORES DE HUMIDADE REGISTRADOS NO DIA 7 DE MARÇO PARA OS VÁRIOS POSTOS DE MEDIÇÃO, NOS 3 PERÍODOS DO DIA SELECIONADOS.	90
FIGURA 38 - VALORES DE HUMIDADE REGISTRADOS NO DIA 12 DE MARÇO PARA OS VÁRIOS POSTOS DE MEDIÇÃO, NOS 3 PERÍODOS DO DIA SELECIONADOS.	90
FIGURA 39 - TEMPERATURAS REGISTRADAS NO DIA 29 DE MAIO PARA OS VÁRIOS POSTOS DE MEDIÇÃO, NOS 3 PERÍODOS DO DIA SELECIONADOS.	91
FIGURA 40 - TEMPERATURAS REGISTRADAS NO DIA 31 DE MAIO PARA OS VÁRIOS POSTOS DE MEDIÇÃO, NOS 3 PERÍODOS DO DIA SELECIONADOS.	91
FIGURA 41 - VALORES DE HUMIDADE REGISTRADOS NO DIA 29 DE MAIO PARA OS VÁRIOS POSTOS DE MEDIÇÃO, NOS 3 PERÍODOS DO DIA SELECIONADOS.	92
FIGURA 42 - VALORES DE HUMIDADE REGISTRADOS NO DIA 31 DE MAIO PARA OS VÁRIOS POSTOS DE MEDIÇÃO, NOS 3 PERÍODOS DO DIA SELECIONADOS.	92
FIGURA 43 - TEMPERATURAS REGISTRADAS NO DIA 16 DE JULHO PARA OS VÁRIOS POSTOS DE MEDIÇÃO, NOS 3 PERÍODOS DO DIA SELECIONADOS.	93
FIGURA 44 - TEMPERATURAS REGISTRADAS NO DIA 17 DE JULHO PARA OS VÁRIOS POSTOS DE MEDIÇÃO, NOS 3 PERÍODOS DO DIA SELECIONADOS.	93
FIGURA 45 - VALORES DE HUMIDADE REGISTRADOS NO DIA 17 DE JULHO PARA OS VÁRIOS POSTOS DE MEDIÇÃO, NOS 3 PERÍODOS DO DIA SELECIONADOS.	94
FIGURA 46 - VALORES OBTIDOS POR SIMULAÇÃO PARA A TEMPERATURA INTERIOR (°C).	96
FIGURA 47 - VALORES REAIS MEDIDOS PARA A TEMPERATURA INTERIOR (°C).	96
FIGURA 48 - VALORES OBTIDOS ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO PARA HUMIDADE RELATIVA	97
FIGURA 49 - VALORES REAIS MEDIDOS PARA HUMIDADE RELATIVA	97
FIGURA 50 - EXTRATO DA FATURA DE ELETRICIDADE PARA PERÍODO DE 16 MARÇO A 15 DE ABRIL	99
FIGURA 51 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA AO LONGO DO DIA PARA OS MESES NÃO CRÍTICOS.	100
FIGURA 52 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA AO LONGO DO DIA PARA OS MESES CRÍTICOS DE INVERNO.	101
FIGURA 53 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA AO LONGO DO DIA PARA OS MESES CRÍTICOS DE VERÃO.	101
FIGURA 54 - TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA DE TODO O EDIFÍCIO.	103
FIGURA 55 - CARGA TÉRMICA DE ARREFECIMENTO PARA UM DIA TÍPICO DO MÊS DE JUNHO.	104
FIGURA 56 - CARGA TÉRMICA DE ARREFECIMENTO PARA UM DIA TÍPICO DO MÊS DE JULHO.	105
FIGURA 57 - CARGA TÉRMICA DE ARREFECIMENTO PARA UM DIA TÍPICO DO MÊS DE AGOSTO.	105
FIGURA 58 - CARGA TÉRMICA DE ARREFECIMENTO PARA UM DIA TÍPICO DO MÊS DE SETEMBRO.	105
FIGURA 59 - GRÁFICO COMPARATIVO DAS CARGAS DE ARREFECIMENTO PARA OS MESES MAIS CRÍTICOS.	106
FIGURA 60 - PROPRIEDADES DEFINIDAS PARA O SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO PADRÃO.	107
FIGURA 61- GRÁFICO REPRESENTATIVOS DOS GANHOS TÉRMICOS INTERNOS	108
FIGURA 62 - SOLUÇÃO DE CONTRA FACHADA INTERIOR EM PANO DE ALVENARIA.	109
FIGURA 63 - PORMENOR E CARACTERÍSTICAS DAS PAREDES EXTERIORES COM ISOLAMENTO.	110
FIGURA 64 - CARACTERÍSTICAS DA PLACA ISOTÉRMICA.	112

FIGURA 65 - COMBINAÇÕES ENTRE AS VÁRIAS MEDIDAS DE REABILITAÇÃO.	114
FIGURA 66 – EXCERTO DA TABELA DE GERAÇÃO DE CALOR METABÓLICO PARA DIVERSAS ATIVIDADES (ANEXO 6)	118
FIGURA 67 - RESULTADOS DO SOFTWARE PARA O DIA 1 DE MAIO	120
FIGURA 68 - SIMULAÇÃO NA FERRAMENTA CBE <i>THERMAL COMFORT TOOL</i> . ¹	120
FIGURA 69 - APARELHO DE MEDIAÇÃO QAI, PARTÍCULAS SUSPENSAS NO AR.	121
FIGURA 70 - APARELHO DE MEDIAÇÃO QAI, DIÓXIDO DE CARBONO.	121
FIGURA 71 - LOCALIZAÇÃO DOS DIVERSOS PONTOS DE MEDIÇÃO NO PISO 0 E 1.	122
FIGURA 72 - VALORES DE PARTÍCULAS SUSPENSAS NO AR (PM _{2,5}) PARA OS VÁRIOS POSTOS DE MEDIÇÃO, NOS 3 PERÍODOS DO DIA SELECIONADOS.	123
FIGURA 73 - VALORES DE PARTÍCULAS SUSPENSAS NO AR (PM ₁₀) PARA OS VÁRIOS POSTOS DE MEDIÇÃO, NOS 3 PERÍODOS DO DIA SELECIONADOS.	123
FIGURA 74 - VALORES DE DIÓXIDO DE CARBONO PARA OS VÁRIOS POSTOS DE MEDIÇÃO, NOS 3 PERÍODOS DO DIA SELECIONADOS	124
FIGURA 75 - SONÓMETRO CESVA SC420	127
FIGURA 76 - LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS DE MEDIÇÃO DE RUÍDO PISO 0 E 1	128
FIGURA 77 - NÍVEIS DE RUÍDO REGISTRADOS NO ARMAZÉM DIA 1.	129
FIGURA 78 - NÍVEIS DE RUÍDO REGISTRADOS NO ESCRITÓRIO DIA 1.	129
FIGURA 79 - NÍVEIS DE RUÍDO REGISTRADOS NO ESCRITÓRIO DIA 2.	130
FIGURA 80 - NÍVEIS DE RUÍDO REGISTRADOS NO ARMAZÉM DIA 2.	130

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 . ESCALA DE SENSAÇÃO TÉRMICA [1].	34
TABELA 2 – DESCRIÇÃO DA APLICABILIDADE DAS CATEGORIAS UTILIZADAS PARA CLASSIFICAÇÃO DE CONFORTO.	39
TABELA 3 - FATORES E FONTES QUE AFETAM A QUALIDADE DO AR INTERIOR E O CONFORTO [14].	43
TABELA 4 – LIMIAR DE PROTEÇÃO E MARGEM DE TOLERÂNCIA PARA OS POLUENTES FÍSICO-QUÍMICOS [19].	44
TABELA 5 - CONDIÇÕES DE REFERÊNCIA PARA OS POLUENTES MICROBIOLÓGICOS [19].	45
TABELA 6 - CLASSIFICAÇÃO DA QAI EM FUNÇÃO DO NÍVEL DE DIÓXIDO DE CARBONO [16].	45
TABELA 7 – ÁREAS CORRESPONDENTES AO PISO 0.	59
TABELA 8 – ÁREAS CORRESPONDENTES AO PISO 1.	60
TABELA 9 - CARACTERÍSTICAS DA COBERTURA.	63
TABELA 10 - DENSIDADE OCUPACIONAL: PISO 0.	66
TABELA 11 - DENSIDADE OCUPACIONAL: PISO 1.	66
TABELA 12 - DENSIDADE DOS EQUIPAMENTOS: PISO 0.	67
TABELA 13 - DENSIDADE DOS EQUIPAMENTOS: PISO 1.	67
TABELA 14 - TABELA NUTS III (DESPACHO N.º 15793-F DE 2013).	69
TABELA 15 - VALORES DE REFERÊNCIA E DECLIVES PARA AJUSTES EM ALTITUDE [26].	69
TABELA 16 - VALORES DE REFERÊNCIA E DECLIVES PARA AJUSTES EM ALTITUDE [26].	70
TABELA 17 - CRITÉRIO PARA DETERMINAÇÃO DE ZONA CLIMÁTICA DE INVERNO.	70
TABELA 18 - CRITÉRIOS PARA DETERMINAÇÃO DA ZONA CLIMÁTICA DE VERÃO.	70
TABELA 19 - DADOS CLIMÁTICOS DO CASO EM ESTUDO.	71
TABELA 20 – CARACTERÍSTICAS DA LOCALIZAÇÃO SELECIONADA PARA SIMULAÇÃO	83
TABELA 21 – SÍNTESE DAS CARATERÍSTICAS DO AMBIENTE INTERIOR	84
TABELA 22 - TABELA COMPARATIVA ENTRE OS VALORES DE TEMPERATURA OBTIDOS.	96
TABELA 23 - TABELA COMPARATIVA ENTRE VALORES DE HUMIDADE RELATIVA OBTIDOS	97
TABELA 24 - VALORES SIMULADOS PELO <i>SOFTWARE</i> .	98
TABELA 25 - VALORES REAIS DE CONSUMO DE ELETRICIDADE PARA PERÍODO DE 16 MARÇO A 15 DE ABRIL.	98
TABELA 26 - CONSUMO ELÉTRICO (KWH) PARA O EDIFÍCIO NO ESTADO ATUAL NO PERÍODO DE 16 MARÇO A 15 DE ABRIL.	99
TABELA 27 - VALORES DE TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA DE TODO O EDIFÍCIO.	104
TABELA 28 - CONSUMO ELÉTRICO DE AQUECIMENTO, ARREFECIMENTO E OUTROS CONSUMOS ELÉTRICOS.	107
TABELA 29 - CARACTERÍSTICAS DAS DIFERENTES SIMULAÇÕES.	110
TABELA 30 - VARIAÇÃO DAS NECESSIDADES ENERGÉTICAS APÓS INTERVENÇÃO NAS PAREDES EXTERIORES COM ISOLAMENTO DE 40MM.	111
TABELA 31 - VARIAÇÃO DAS NECESSIDADES ENERGÉTICAS APÓS INTERVENÇÃO NAS PAREDES EXTERIORES COM ISOLAMENTO DE 60MM.	111
TABELA 32 - CARACTERÍSTICAS DAS PLACAS ISOTÉRMICAS.	112

TABELA 33 - CARACTERÍSTICAS DAS DIFERENTES SIMULAÇÕES PARA O PAINEL ISOTÉRMICO.	113
TABELA 34 - VARIAÇÃO DAS NECESSIDADES ENERGÉTICAS APÓS INTERVENÇÃO NA COBERTURA (40MM).	113
TABELA 35 - VARIAÇÃO DAS NECESSIDADES ENERGÉTICAS APÓS INTERVENÇÃO NA COBERTURA (80MM).	113
TABELA 36 - VARIAÇÃO DAS NECESSIDADES ENERGÉTICAS, COMBINAÇÕES POSSÍVEIS COM PE40.	115
TABELA 37 - VARIAÇÃO DAS NECESSIDADES ENERGÉTICAS, COMBINAÇÕES POSSÍVEIS COM PE60.	115
TABELA 38 - CUSTO/M ² PARA CADA MEDIDA DE REABILITAÇÃO.	116
TABELA 39 - CUSTO ASSOCIADO À APLICAÇÃO DAS VÁRIAS MEDIDAS PROPOSTAS.	116
TABELA 40 - POUPANÇA ENERGÉTICA ANUAL E RETORNO DE INVESTIMENTO	117
TABELA 41 - RESISTÊNCIA TÉRMICA DAS PEÇAS DE VESTUÁRIO UTILIZADAS PELOS OPERÁRIOS [9]	119
TABELA 42 - TABELA DE VALORES QAI E RESPETIVA VALIDAÇÃO	125
TABELA 43 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MEDIDOS E LIMITES EXIGIDOS PELA LEGISLAÇÃO.	131

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	23
1.1	Enquadramento.....	23
1.2	Objetivos.....	24
1.3	A Empresa analisada – OTA (Organização Técnica de Abrasivos).....	24
1.4	Estrutura da Dissertação.....	25
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	29
2.1	Conforto térmico	29
2.1.1	Noção de conforto térmico.....	29
2.1.2	Metabolismo Humano	30
2.1.3	Parâmetros que influenciam o conforto térmico	32
2.1.3.1	Parâmetros Ambientais	32
2.1.3.2	Parâmetros Individuais.....	33
2.1.3.2.1	Índices de PMV e PPD.....	34
2.1.3.2.2	Zonas de conforto de verão e inverno ASHRAE.....	36
2.1.4	Importância do ambiente térmico na indústria.....	37
2.1.5	Classes de ambiente térmico	37
2.1.5.1	Ambientes térmicos frios	37
2.1.5.2	Ambientes térmicos quentes	38
2.1.5.3	Ambientes térmicos moderados	38
2.1.6	Categorias definidas para classificação de ambientes térmicos.....	39
2.1.7	Ganhos Internos.....	40
2.1.8	Cargas térmicas.....	41
2.1.8.1	Carga térmica de aquecimento ambiente	41
2.1.8.2	Carga térmica de arrefecimento ambiente	41
2.2	Qualidade do ar interior	42
2.2.1	Legislação nacional para poluentes do ar interior (Portaria nº353-A/2013 e Decreto lei nº118/13).....	44
2.3	Ruído.....	46
2.3.1	Legislação Portuguesa sobre o ruído	46
2.4	Edifícios.....	48
2.4.1	Problemas energéticos na envolvente dos edifícios.....	48
2.4.1.1	Pontes térmicas.....	48
2.4.2	Reabilitação energética de edifícios	49

2.4.2.1	Paredes exteriores.....	49
2.4.2.1.1	Soluções de isolamento pelo exterior	50
2.4.2.1.2	Soluções de isolamento pelo interior	51
2.4.2.1.3	Soluções de isolamento térmico na caixa de ar de paredes duplas	51
2.4.2.2	Pavimentos.....	51
2.4.2.3	Cobertura inclinada	52
2.4.2.3.1	Isolamento da esteira horizontal.....	52
2.4.2.3.2	Isolamento das vertentes	53
2.4.2.4	Vãos envidraçados.....	54
2.4.3	Requisitos mínimos da envolvente opaca em edifícios de comércio e serviços.....	54
3	METODOLOGIA.....	57
3.1	Metodologia Geral.....	57
3.2	Apresentação do caso de estudo.....	57
3.2.1	Caracterização geométrica	58
3.2.2	Caracterização construtiva.....	60
3.2.3	Infraestrutura Energética.....	65
3.2.4	Sistema de Climatização	65
3.2.5	Ocupação	65
3.2.6	Iluminação.....	65
3.2.7	Equipamentos	66
3.2.8	Zoneamento climático	68
4	SIMULAÇÃO DINÂMICA – <i>DESIGN BUILDER</i>.....	75
4.1	Procedimento Básico	75
4.2	Modelação em <i>Design Builder</i> , dados de entrada (<i>inputs</i>).....	82
4.2.1	Ambiente exterior (ficheiro climático).....	82
4.2.2	Parâmetros de caracterização construtiva (<i>input</i>).....	83
4.2.3	Ambiente interior (<i>input</i>).....	84
5	RESULTADOS.....	87
5.1	Parâmetros ambientais recolhidos	87
5.1.1	Parâmetros de caracterização ambiental interior	87
5.1.2	Apresentação e análise dos valores medidos	88
5.2	Ambiente térmico.....	95
5.2.1	Validação de parâmetros estimados pelo <i>software</i>	95
5.2.2	Simulação e análise anual da temperatura registada no edifício	99
5.2.2.1	Soluções/recomendações	102

5.2.3	Simulação das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento ambiente	103
5.2.3.1	Carga térmica de aquecimento ambiente	103
5.2.3.2	Carga térmica de arrefecimento ambiente	104
5.2.4	Diagnóstico elétrico considerando a climatização do edifício	106
5.2.4.1	Consumo elétrico global	107
5.2.4.2	Ganhos térmicos internos	108
5.3	Medidas para reabilitação energética do edifício	108
5.3.1	Isolamento térmico da envolvente opaca	109
5.3.2	Isolamento térmico na cobertura	111
5.3.3	Vãos envidraçados	114
5.3.4	Combinação das medidas de reabilitação propostas.....	114
5.3.5	Análise económica	115
5.3.5.1	Custo do investimento	116
5.3.5.2	Custo da energia e retorno de investimento.....	117
5.4	Análise de parâmetros individuais.....	118
5.4.1	Taxa de Metabolismo.....	118
5.4.2	Resistência térmica do vestuário	118
5.4.3	Elementos e ferramentas necessárias ao estudo	119
5.4.4	Exemplo	119
5.5	Resultados relativos à qualidade do ar interior.....	121
5.5.1	Apresentação do estudo realizado	121
5.5.2	Apresentação e análise dos valores medidos	123
5.5.3	Recomendações para controlo da qualidade do ar interior	126
5.6	Resultados relativos ao ruído	127
5.6.1	Apresentação do estudo realizado	127
5.6.2	Apresentação e análise dos valores medidos	128
6	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS.....	137
6.1	CONCLUSÕES	137
6.2	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS.....	139
7	BIBLIOGRAFIA	143
8	ANEXOS.....	147
8.1	ANEXO 1 – Fotografias dos Instrumentos de Medição.....	147
8.2	ANEXO 2 – Ficha Técnica do instrumento KIMO AQ200.....	149

8.3	ANEXO 3 – Especificações da sonda usada no KIMO AQ200.....	150
8.4	ANEXO 4 – Especificações gerais DustTrak DRX Aerosol Monitor 8534	151
8.5	ANEXO 5 – Especificações gerais do Cesva SC420	152
8.6	ANEXO 6 – Tabela de geração típica de calor metabólico para diversas atividades...	154
8.7	ANEXO 7 – Tabela de valores de isolamento do vestuário	155

INTRODUÇÃO

- 1.1 Enquadramento
- 1.2 Objetivos
- 1.3 A Empresa analisada – OTA (Organização Técnica de Abrasivos)
- 1.4 Estrutura da Dissertação

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Esta dissertação foi realizada com o intuito de analisar as condições de trabalho numa nave fabril, de modo a identificar problemas e possíveis soluções para a resolução dos mesmos. Dado que a atividade laboral é aquela em que se despende a maior parte do tempo, é essencial que as condições de trabalho sejam as melhores possível, pois manter os colaboradores satisfeitos é uma peça chave para o crescimento de uma empresa.

Se as condições de trabalho forem satisfatórias, isto fará com os colaboradores se sintam motivados, o que possibilitará o alcance de grandes resultados. Por outro lado, caso se verifiquem boas condições não haverá dificuldade em atrair mão de obra qualificada. Tudo isto culmina num crescimento do lucro empresarial e no consequente crescimento da empresa.

O tema surge enquadrado com a necessidade da empresa OTA-Abrasivos, localizada na zona industrial do Porto, melhorar as condições de trabalho dos seus funcionários, dado que existe algum descontentamento por parte dos mesmos. A OTA-Abrasivos é uma empresa que se dedica à transformação de produtos abrasivos, encontra-se no mercado desde a década de 70 e tem vindo a crescer ao longo dos últimos anos. Como este crescimento não pode continuar sem que os seus funcionários operem nas melhores condições, é crucial a identificação dos problemas e o estudo da viabilidade de algumas soluções.

Uma vez que as principais problemáticas apontadas pelos trabalhadores são o excesso de pó no ar, as altas e baixas temperaturas sentidas ao longo do ano e o excesso de ruído, esta dissertação irá incidir sobre estas temáticas.

1.2 Objetivos

O objetivo primordial desta dissertação incidirá sobre a análise das condições de trabalho de um edifício de comércio e serviços. Esta análise foi baseada num trabalho de campo efetuado com equipamento de medição para variáveis de temperatura, humidade relativa, qualidade do ar interior e ruído. Toda esta análise teve em consideração parâmetros ambientais mínimos exigidos e valores limite impostos pela legislação para as várias abordagens. Tudo isto para que o estudo seja o mais abrangente possível e para que se melhorem as condições de trabalho.

Além disto, foi também efetuada simulação dinâmica para a identificar os principais problemas do edifício e apontar soluções para a sua resolução ou minimização.

Por outro lado, e uma vez que se trata de uma empresa em crescimento e com cada vez mais colaboradores é crucial a elaboração deste estudo, para que os responsáveis da empresa possam tomar medidas de modo a potenciar o seu crescimento e promover o bem-estar dos seus funcionários.

1.3 A Empresa analisada – OTA (Organização Técnica de Abrasivos)

A OTA (Organização Técnica de Abrasivos) é uma empresa que se dedica à importação e transformação de produtos abrasivos. Foi fundada em 1973, mas foi apenas em 1986 que transferiu as suas atividades para as instalações na zona industrial do Porto, onde ainda se encontra à data da escrita desta dissertação.

Os produtos comercializados pela OTA podem ser divididos em 6 principais categorias: cintas, rolos, discos, folhas, lamelas e mós. Sendo que dentro de cada categoria existem várias opções mediante o objetivo.

O edifício do tipo armazém germinado, situado na zona industrial do grande Porto, apresenta alguns problemas ao nível da sua envolvente, por este motivo foi escolhido como tema para o desenvolvimento desta dissertação.

1.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está organizada em 5 capítulos, de modo a melhor se compreender todos os tópicos aqui abordados. No capítulo 1 é realizado o enquadramento, definidos os objetivos da dissertação e a estrutura da mesma. No capítulo 2 é apresentada a revisão de literatura relativa aos pontos abordados ao longo do trabalho, de modo a explicitar e apresentar todos os conceitos necessários à melhor compreensão e análise dos tópicos abordados. O capítulo 3 explica a metodologia geral e apresenta o caso de estudo selecionado. No capítulo 4 é exposto o procedimento básico para a realização da simulação dinâmica. Por último, o capítulo 5 onde é realizada a apresentação e análise de resultados obtidos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Conforto térmico
- 2.2 Qualidade do ar interior
- 2.3 Ruído
- 2.4 Edifícios

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conforto térmico

2.1.1 Noção de conforto térmico

Conforto térmico é o estado de espírito que expressa a satisfação do indivíduo com o ambiente térmico [1]. Deste modo, e à semelhança de outras noções de conforto, o conforto térmico demonstra-se de difícil definição, dado que está dependente da satisfação de determinadas condições fisiológicas quantificáveis e de fatores subjetivos que variam de indivíduo para indivíduo.

O conforto térmico depende também de ações comportamentais tomadas conscientemente ou inconscientemente pelo ser humano para reduzir o desconforto, ações estas tais como mudanças de vestuário, localização, abertura de janelas entre outras [1].

De um modo geral existe conforto térmico quando as temperaturas corporais são mantidas dentro de limites muito próximos, oscilando entre 36,1°C e 37,2°C, sendo 32°C o limite inferior e 42°C o limite superior para sobrevivência [2] quando o teor de humidade é baixo e o esforço fisiológico do corpo é reduzido, ou seja, quando o aparelho termorregulador praticamente não controla o aumento das perdas ou a redução dos ganhos de calor através de processos como a vasoconstrição, o arrepio, a vasodilatação e a exsudação [3].

Ao longo de todo o planeta Terra as condições térmicas são diversas, embora se constate que para condições semelhantes o ser humano opte por temperaturas muito idênticas [1].

Com a evolução da ciência no decorrer das últimas décadas têm sido desenvolvidos vários modelos matemáticos para prever a reação do corpo humano face ao meio que o rodeia em termos térmicos, fisiológicos e psicológicos.

Pode então aferir-se que o conforto térmico é algo bastante subjetivo e que depende de indivíduo para indivíduo. Estudos realizados por Fanger [4] revelam que um indivíduo está em conforto térmico se existir neutralidade térmica e se não existir desconforto térmico localizado, isto é, se a temperatura da pele e a taxa de secreção de suor estiverem dentro dos limites aceitáveis para a atividade que este desenvolve. Estudos estes que serviram de base à norma ISO 7730 [5] que define conforto térmico como o estado de espírito de um indivíduo que reflete o seu grau de satisfação com o ambiente térmico que o rodeia [6].

2.1.2 Metabolismo Humano

As atividades metabólicas que o corpo humano realiza traduzem-se maioritariamente em calor que tem de ser dissipado e regulado para que as temperaturas corporais estejam dentro de limites aceitáveis, e o corpo não fique sujeito a fenómenos de hipertermia e hipotermia, ou seja, perdas de calor insuficientes ou excessivas, fenómenos que levam a graves problemas de saúde [1].

É possível quantificar o calor produzido pelo corpo humano, sendo que um adulto em repouso produz cerca de 100 W. Grande parte deste calor é transferido para o meio ambiente e por isso é importante quantificar estes valores por área de pele, ou seja, 58 W/m² que é 1 Met, unidade de medida utilizada para este tipo de variável [1].

Através de recetores na pele e no hipotálamo o corpo humano é capaz de realizar a sua própria regulação térmica, ou seja, estes mecanismos desencadeiam uma ordem no cérebro que faz com que o corpo atue no sentido gerar ou libertar calor consoante a situação a que esteja sujeito.

O corpo humano é um sistema termodinâmico aberto onde se observa a 1ª lei da termodinâmica (lei da conservação da energia), com transformação interna de energia que interage termicamente com o meio que o circunda [6].

Para que o corpo humano mantenha o seu equilíbrio térmico é necessário que a variação de energia com o tempo seja nula, Fanger [4] definiu uma equação geral que caracteriza a relação entre a energia produzida pelo organismo humano e as diferentes formas de dissipação de calor, como se pode observar na equação 1:

$$\text{Equação 1: } U = M - W - C - E - RE$$

Em que:

U- Variação de energia (W/m^2);

M- Metabolismo (W/m^2);

W- Trabalho (W/m^2);

C- Convecção (W/m^2);

R- Radiação (W/m^2);

E- Evaporação (W/m^2);

RE- Respiração (W/m^2).

Na figura 1 estão representadas as interações térmicas entre o corpo humano e o ambiente envolvente, onde estão sintetizados os processos de dissipação de calor.

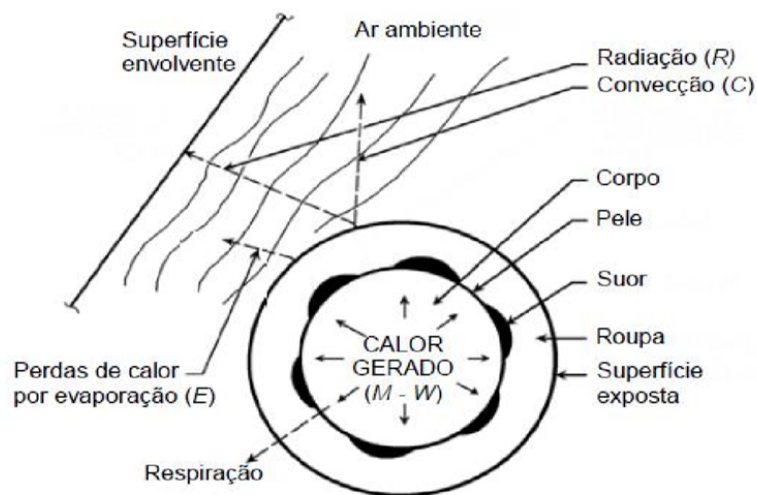


Figura 1 – Interação térmica do corpo humano com o ambiente [1].

Para que o corpo humano mantenha a sua temperatura corporal constante, são desencadeadas ordens no cérebro para que exista equilíbrio, isto é, os músculos esqueléticos tremem para produzir calor, existem variações do fluxo sanguíneo (vasodilatação e vasoconstrição), metabolismo de gordura e transpiração.

Por outro lado, existem outros parâmetros que permitem controlar a temperatura corporal, nomeadamente, tipo e quantidade de vestuário, postura adotada e ajuste de variáveis ambientais como a temperatura, a velocidade do ar, a temperatura das superfícies circundantes e a humidade relativa [7].

2.1.3 Parâmetros que influenciam o conforto térmico

Dado que a manutenção da temperatura do corpo humano tem por base a neutralidade térmica, então a sensação de conforto térmico depende de inúmeros parâmetros que podem ser agrupados em 2 classes, os individuais e os ambientais.

2.1.3.1 Parâmetros Ambientais

A temperatura do ar, T_{ar} [°C], a temperatura média radiante, T_{mr} [°C], a velocidade do ar, V_{ar} [m/s] e a humidade relativa, HR [%], são os parâmetros ambientais utilizados para o estudo de conforto térmico [4].

A temperatura do ar, T_{ar} , representa a temperatura de bolbo seco, ou seja, a temperatura em redor do corpo Humano, uma da variável importantíssima para determinação de conforto térmico [8].

A temperatura média radiante, T_{mr} , define-se como sendo a temperatura uniforme superficial de um espaço imaginário negro, no qual um ocupante troca a mesma quantidade de calor por radiação que no espaço real não uniforme [9]. Na Prática é a temperatura média ponderada de todas as superfícies que envolvem um indivíduo, paredes, envidraçados, mobiliário e outros ocupantes, que trocam calor por radiação com este mesmo indivíduo. Esta temperatura pode ser calculada ou medida através de um termómetro de bolbo negro [6].

A velocidade do ar, V_{ar} , é uma variável definida pela sua magnitude e direção. Para qualquer ponto no espaço varia com o tempo. O fluxo de ar pode ser descrito pela velocidade média, $V_{m,ar}$, que é a média das velocidades instantâneas num dado intervalo de tempo, e pelo desvio padrão das velocidades, SD, dado pela equação 2 [8]:

$$\text{Equação 2: } SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_{ai} - v_{m,ar})^2}$$

Onde:

v_{ai} = Velocidade instantânea do ar

Deve ter-se em atenção esta variável, dado que a existência de correntes de ar promove o desconforto e faz com que um indivíduo necessite de um aumento de temperatura corporal para se sentir confortável.

A humidade relativa, HR, é a medida do grau de saturação do ar em água, varia entre 0 e 100%, ou seja, quando assume o valor zero o ar é seco, quando HR=100% o ar está saturado. Para ambientes térmicos moderados, a humidade relativa do ar tem pouca influência sobre a sensação de calor, a menos que a pele esteja húmida [6].

2.1.3.2 Parâmetros Individuais

Os parâmetros individuais que influenciam o conforto térmico são a atividade física/metabolismo, M [Met], e a resistência térmica do vestuário, I_{cl} [Clo].

A atividade metabólica gera calor no interior do corpo humano, ou seja, sempre que se respira ou se realiza atividade muscular voluntária produz-se calor, estando assim a atividade metabólica dependente do tipo de atividade efetuada [6].

A unidade utilizada para caracterizar a atividade metabólica é o Met, que corresponde ao calor libertado por unidade de área superficial do corpo de um indivíduo em descanso, 100 W, o que equivale a 1 Met = 58,2 W/m² para um indivíduo com 1,73 m e 70 kg, superfície média 1,7 m² [9]. Para outras atividades pode ser consultada a tabela de ASHRAE 55 [9] presente em anexo, de frisar que esta tabela só é válida para adultos e para uma atividade constante e inalterável. Caso se realizem várias atividades, e se estas em conjunto não durarem mais de uma hora, deve ser realizada uma média ponderada das atividades em função do tempo que cada uma delas foi exercida, o valor obtido deve ser considerado como sendo o valor correspondente à taxa de metabolismo.

Por outro lado, o vestuário é algo que permite diminuir as perdas de calor do corpo humano, o que representa um fator importante para o conforto térmico. A unidade utilizada para caracterizar o efeito de isolamento proporcionado pela roupa é o Clo.

Sendo que 1 Clo é o equivalente a uma resistência térmica de 0,155 m²°C/W [6]. Na tabela de ASHRAE 55 [9], presente em anexo, é possível consultar os valores de resistência térmica das diferentes peças de vestuário.

2.1.3.2.1 Índices de PMV e PPD

Os Índices PMV (*Predicted Mean Vote*, ou índice do voto médio estimado) e PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) foram desenvolvidos por Fanger [4] na sequência dos seus estudos realizados relativamente ao conforto térmico.

O PMV é um índice que prevê o valor médio de avaliações subjetivas de um grande grupo de pessoas num determinado ambiente. Este índice é composto por 7 pontos de sensação térmica, como podem ser consultados na tabela 1, fundamentados pela equação de balanço térmico do corpo humano [5].

Tabela 1 . Escala de sensação térmica [1].

+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Ligeiramente quente
0	Neutro
-1	Ligeiramente frio
-2	Frio
-3	Muito Frio

A partir do índice PMV foi desenvolvido o índice que estima a percentagem de pessoas insatisfeitas [5], sendo o cálculo do índice PPD realizado a partir da equação 3:

$$\text{Equação 3: } PPD = 100 - 95^{(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)}$$

Na figura 2 pode verificar-se a evolução do índice PPD em função dos valores atribuídos ao PMV, de acordo com a equação 3.

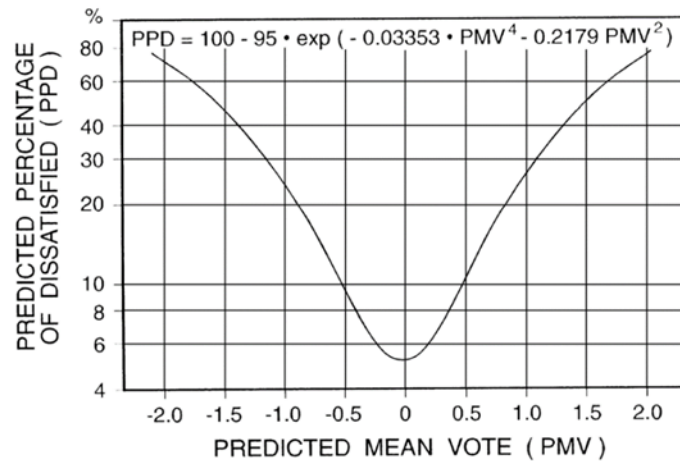


Figura 2 - Percentagem de pessoas insatisfeitas em função do índice de voto médio estimado [1].

Pela análise da figura 2 é possível constatar que num ambiente termicamente neutro, é provável existirem 5% de insatisfeitos. Fanger [4] refere que os indivíduos que apresentaram sensações térmicas de +1 e -1 não foram considerados como insatisfeitos para a elaboração do índice PPD [3], dado que não apresentam uma situação de desconforto bem definida. Por outro lado, a simetria da curva da figura 2 revela que a sensação de insatisfação com o ambiente térmico segue o mesmo padrão quer o motivo seja o frio ou o calor [3].

Esta questão da análise do conforto térmico através destes índices foi adotada ao longo das últimas décadas por diversos documentos normativos, destacando-se a norma ISO 7730 [5] que ainda hoje se baseia nestes conceitos [3].

A norma ISO 7730 [5] define que num ambiente térmico de qualidade a percentagem de pessoas insatisfeitas deve ser inferior a 10%, embora sejam aceitáveis ambientes térmicos que gerem até 20% de insatisfeitos, sempre que não se exija grande rigor ao nível do controlo das condições térmicas [6].

Contudo, vários autores consideram a utilização dos índices PMV e PPD limitada a ambientes térmicos estáveis e similares às condições da câmara de climatização utilizada na experiência realizada por Fanger [10]. Outros estudos acrescentam que a avaliação de alguns espaços com base nestes índices é ilusória, já que ignora divergências entre as pessoas, erros de cálculo ou de medição, falhas inerentes às

fórmulas de cálculo e variáveis que não são consideradas [10], por exemplo assumir como preferencial a sensação térmica neutra ($PMV = 0$).

2.1.3.2.2 Zonas de conforto de verão e inverno ASHRAE

Estudos efetuados periodicamente por ASHRAE Standard 55 [9] especificam condições ou zonas de conforto onde 80% das pessoas sedentárias ou ligeiramente ativas se encontram num ambiente termicamente aceitável. ASHRAE Standard 55 especifica zonas de verão e inverno apropriadas para níveis de isolamento de vestuário de verão 0,5 Clo e inverno 0,9 Clo, considerando uma atividade física sedentária 1 Met, como pode ser observado na figura 3:

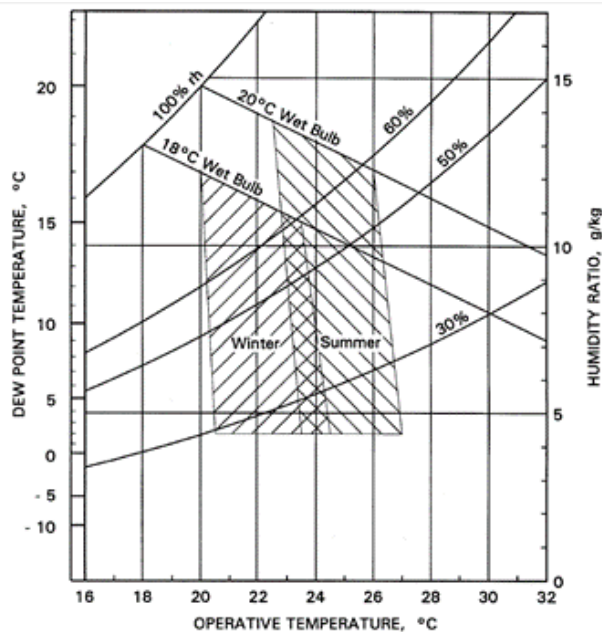


Figura 3 - Zonas de conforto de verão e inverno [1].

Na região média de ambas as zonas um indivíduo com o vestuário apropriado à estação do ano a que se encontra, sentirá uma sensação térmica neutra ou algo próximo desta realidade. Perto do limite da zona mais quente um indivíduo sentirá cerca de +0,5 no índice PMV, assim como um indivíduo próximo do limite da zona fria sentirá -0,5 no índice PMV. Para outros níveis de vestuário as temperaturas-fronteira podem ser diminuídas em 0,6 K por cada 0,1 Clo de incremento e vice-versa. De igual modo, as temperaturas-fronteira podem ser diminuídas em 1,4 K por cada Met de incremento acima de 1,2 Met.

2.1.4 Importância do ambiente térmico na indústria

A melhoria das condições de trabalho associada às preocupações com o conforto térmico no interior dos edifícios influencia o bem-estar, a saúde e o nível de produtividade dos trabalhadores.

Dado o tempo de permanência dos indivíduos dentro deste tipo de edifícios ser bastante significativo, é essencial levar a cabo medidas para garantir níveis de conforto adequados.

A garantia de bem-estar e saúde dos trabalhadores deve ser uma das principais preocupações das empresas. É crucial dar especial atenção a fatores que possam causar desconforto aos colaboradores para que assim se consiga otimizar o seu desempenho e salvaguardar a sua integridade física e psicológica. O ambiente térmico é um dos fatores mais significativos quando se pretende melhorar as condições de trabalho e a qualidade de vida dos operários [11].

É extramente importante perceber as tarefas que se desempenham, e em que ambiente, para que se possa determinar a influência dos fatores ambientais em cada indivíduo e no seu bem-estar.

2.1.5 Classes de ambiente térmico

2.1.5.1 Ambientes térmicos frios

Os parâmetros que mais contribuem para um ambiente térmico frio são a temperatura seca do ar, a velocidade do ar e a temperatura radiante. A humidade relativa não tem uma influência preponderante em ambientes frios [11].

Neste tipo de ambientes o corpo humano tenta adaptar-se levando a uma deficiente circulação sanguínea, postura rígida com enregelamento dos membros e redução da força, destreza e atividade motora. Fatores estes que levam a um aumento do risco de acidentes de trabalho e diminuição de produtividade [12].

Existe um conjunto de medidas que podem ser tomadas para prevenção/proteção dos indivíduos sujeitos a ambientes térmicos frios [11][12]:

- Instalação de sistemas de aquecimento bem dimensionados e adequados;

- Implementação do uso de vestuário de trabalho quente;
- Uso de equipamentos de proteção individual adequados e adaptados às baixas temperaturas;
- Fomentar a ingestão de alimentos ricos em calorias;
- Redução do tempo de tarefa;
- Aumento do tempo e da frequência da pausa para repouso;
- Rotatividade do pessoal;

A ISO 15743 [13] apresenta ferramentas práticas e questionários para a avaliação do risco e identificação de problemas como o frio no trabalho.

2.1.5.2 Ambientes térmicos quentes

Para este tipo de ambientes o organismo tem um comportamento diferente daquele que é adotado em ambientes frios, aumenta a frequência cardíaca, tenta manter a homeotermia do corpo, aumenta a temperatura corporal e a sudorese. Por outro lado, e tal como em ambientes frios, está provado que há diminuição da agilidade mental e da produtividade [12][14].

Existe um conjunto de medidas que podem ser tomadas para prevenção/proteção dos indivíduos sujeitos a ambientes térmicos quentes [11][12]:

- Instalação de sistemas de arrefecimento bem dimensionados e adequados;
- Ventilação adequada;
- Reposição hídrica adequada;
- Ingestão de alimentação rica em sal;
- Redução do tempo das tarefas;
- Aumento das pausas para repouso;
- Rotatividade do pessoal;

2.1.5.3 Ambientes térmicos moderados

Em ambientes térmicos moderados o balanço térmico é nulo, assim sendo o organismo realiza uma produção de calor metabólico equilibrada pela perda de calor sensível, pelas perdas de calor respiratório e pela perspiração insensível, caso se considere que a transferência de calor para o corpo ocorra de um modo agradável [11]. Para este tipo

de ambientes a homeotermia é assegurada pelo corpo humano até determinados limites, através de alterações fisiológicas vegetativas e comportamentais.

2.1.6 Categorias definidas para classificação de ambientes térmicos

A norma europeia EN15251 [15] qualifica os ambientes em 4 categorias que representam as diferentes exigências para o conforto térmico de acordo com o tipo de edifício em estudo. Estas baseiam-se na sensação de conforto dos ocupantes e no grau de exigência dos mesmos. A tabela 2 mostra as categorias definidas pela norma.

Tabela 2 – Descrição da aplicabilidade das categorias utilizadas para classificação de conforto.

Categoria	Explicação
I	Alto nível de expectativa, é recomendada para espaços ocupados por pessoas muito sensíveis e frágeis com necessidades especiais, como deficientes, doentes, crianças muito pequenas e idosos.
II	Nível normal de expectativa, deve ser utilizada para novas construções e renovações.
III	Moderado nível de expectativa, pode ser utilizada para os edifícios existentes.
IV	Valores fora dos critérios para as categorias anteriores. Esta categoria só deverá ser aceite para uma parte limitada do ano.

A norma EN15251 relaciona cada categoria de conforto, com o tipo de construção e expectativa dos ocupantes. À medida que a categoria diminui (IV para a I), mais apertado é o controlo, o que implica uma utilização de energia mais elevada. Assim sendo, a categoria I é a mais exigente, e é utilizada apenas em locais ocupados por pessoas frágeis como doentes, crianças e idosos. A categoria II, é definida como a norma a ser aplicada, devendo ser utilizada em todas as novas construções, categoria muito utilizada. Para edifícios já existentes, o ideal também seria aplicar a categoria II, contudo, isso poderia levar a grandes alterações dos edifícios, logo aplica-se a categoria III. Para a categoria IV não são impostos requisitos, apenas é dito que se atinge a categoria quando os valores estão fora dos critérios das categorias anteriores [15].

2.1.7 Ganhos Internos

A libertação de calor sob a forma sensível e/ou latente, no interior de um espaço, devido a uma determinada fonte de calor designa-se por ganho interno. Estes ganhos traduzem-se num aumento de temperatura e/ou humidade do ar interior [6].

Os ganhos internos são considerados indesejáveis para o período de arrefecimento, dado que a parcela de energia que representam terá de ser eliminada pelos sistemas de climatização. Por outro lado, em período de aquecimento representam um ganho útil, dado que a parcela energia que representam pode ser utilizada para aquecimento do espaço, o que constitui uma redução da energia a despender pelo sistema de aquecimento.

Compreende-se por ganhos internos as seguintes fontes de energia:

- Ocupação humana e/ou de animais;
- Iluminação;
- Equipamentos que libertem calor (como por exemplo: motores elétricos, aparelhos de cozinha, entre outros);
- Ganhos solares provenientes dos envidraçados.

Para a determinação destes ganhos por norma consideram-se valores de referência para o tipo de espaço/edifício em estudo, tendo em consideração o tipo de equipamentos utilizados, os índices de ocupação, os níveis de iluminação e ainda fatores de carga e de utilização. Os valores de referência aqui citados devem ser baseados em pesquisas ou medições realizadas a uma série de edifícios de determinadas tipologias, ou valores empíricos baseados na experiência e considerados como boa prática [6]. Podem ser consultadas tabelas com estes valores em ASHRAE [1] e em EN 13779 [16].

É importante uma correta avaliação dos ganhos internos. Uma sobreavaliação destes leva a um aumento da potência de arrefecimento, como conseguinte um aumento dos custos. Por outro lado, uma subavaliação pode traduzir-se numa temperatura ambiente acima do pretendido, quando se está a efetuar o arrefecimento do espaço/edifício [6].

2.1.8 Cargas térmicas

2.1.8.1 Carga térmica de aquecimento ambiente

A carga térmica de aquecimento ambiente corresponde à estimativa de perdas de calor num edifício/espço no período de inverno. Tem como finalidade definir a capacidade de aquecimento requerida para um determinado espaço/edifício [6].

É realizado o balanço das perdas de calor para as condições mais desfavoráveis de temperatura exterior, ou seja, durante o período noturno sem se contabilizar os ganhos solares e os ganhos internos.

O valor da carga térmica de um determinado espaço/edifício é determinado através do somatório das perdas de calor pela envolvente e pela ventilação e/ou infiltração, de acordo com a equação 4 [6]:

$$\text{Equação 4: } CT_{\text{inverno}} = Q_{\text{envolvente}} + Q_{\text{ventilação}}$$

A parcela da carga térmica devida à envolvente ($Q_{\text{envolvente}}$) é dada pela equação 5 [6]:

Equação 5:

$$Q_{\text{envolvente}} = Q_{\text{envolvente exterior}} + Q_{\text{envolvente interior}} + Q_{\text{envolvente em contacto solo}}$$

A parcela da carga térmica devida à renovação de ar ($Q_{\text{ventilação}}$) é dada pela equação 6 [6]:

$$\text{Equação 6: } Q_{\text{ventilação}} = Q_{\text{ventilação latente}} + Q_{\text{ventilação sensível}}$$

Em aquecimento, normalmente a parcela do calor latente é nula, a menos que haja humificação.

2.1.8.2 Carga térmica de arrefecimento ambiente

A carga térmica de arrefecimento ambiente corresponde à estimativa dos ganhos de calor num edifício/espço em período de verão, tendo por objetivo determinar a capacidade de arrefecimento requerida para o respetivo espaço/edifício [6].

O balanço dos ganhos de calor é realizado para as condições mais desfavoráveis de temperatura do ar exterior, ou seja, quando há radiação solar, contabilizando assim os ganhos solares e ainda os ganhos internos.

Os ganhos de calor englobam os ganhos instantâneos de calor com origem interna e podem ser distinguidos em calor sensível e calor latente.

O calor sensível é o calor absorvido pelos materiais sem resultar numa mudança de estado, é diretamente adicionado ao espaço por condução, radiação ou convecção. Assim sendo o calor sensível instantâneo não é igual à carga térmica sensível do espaço, devido à capacidade de armazenamento dos materiais.

O calor latente é o ganho de calor que ocorre sempre que há adição de vapor de água ao ar do espaço, quer por fontes internas, isto é, pessoas e equipamentos, quer por fontes externas, isto é, ventilação e/ou infiltração.

A carga térmica total de arrefecimento de um espaço/edifício é resultado da soma das cargas térmicas sensível e latente, de acordo com a equação 7 [6]:

$$\text{Equação 7: } CT_{\text{verão}} = CT_{\text{sensível}} + CT_{\text{latente}}$$

Pode afirmar-se então que a componente sensível se reflete na temperatura do ar e a componente latente no teor de humidade.

2.2 Qualidade do ar interior

A qualidade do ar é um fator extremamente relevante para a saúde e para a produtividade de funcionários caso esteja em questão o ambiente industrial. Uma adequada qualidade do ar interior (QAI) promove o conforto dos ocupantes de um edifício, bem como, um ar ambiente livre de odores e de níveis perigosos de contaminantes. Caso um ambiente não apresente contaminantes em concentração potencialmente perigosa para a saúde, e caso 80% ou mais dos indivíduos não mostrem desagrado, a qualidade do ar interior é considerada aceitável [17]. A manutenção de QAI pressupõe a manutenção de gases e outros contaminantes abaixo de níveis aceitáveis.

O ar ambiente interior de um edifício resulta da interação da sua localização, do clima, do sistema de ventilação do edifício, do número de ocupantes e das fontes de contaminação (mobiliário, fontes de humidade, processos de trabalho e atividades e poluentes exteriores). Alguns destes fatores e fontes estão listados na tabela 3 [18].

Tabela 3 - Fatores e fontes que afetam a Qualidade do Ar Interior e o Conforto [14].

Fator	Fonte
Temperatura e valores extremos de humidade	Colocação impropria dos dispositivos de medição (termostatos), deficiente controlo de humidade, incapacidade do edifício de compensar extremos climáticos, número de equipamentos instalados e a densidade de ocupação.
Dióxido de carbono	Número de pessoas e queima de combustíveis fósseis (gás, aquecedores, etc.).
Monóxido de carbono	Emissões de veículos (garagem, entradas de ar) e fumo derivado da queima de tabaco.
Formaldeído	Madeira prensada, contraplacado não selado, isolamento de espuma de ureia-formaldeído, tecidos, cola, carpetes, mobiliário e papel químico.
Partículas	Fumo, entradas de ar, papel, isolamento de tubagens, resíduos de água, carpetes, filtros de HVAC e falta de limpeza.
Compostos Orgânicos (COV)	Fotocopiadoras e impressoras, computadores, carpetes, mobiliário, produtos de limpeza, fumo, tintas, adesivos, calafetagem, perfumes, laca e solventes.
Ventilação inadequada (ar exterior insuficiente, deficiente circulação)	Medidas de poupança de energia e manutenção, má conceção do projeto de sistema HVAC, operação deficiente de funcionamento, alteração do sistema de funcionamento do HVAC pelos ocupantes, conceção desajustada dos espaços em avaliação.
Matéria microbiana	Água estagnada em sistemas de HVAC, materiais molhados e húmidos, desumidificadores, condensadores das torres de arrefecimento e torres de refrigeração.

Os indicadores gerais seguintes ajudam a chamar a atenção para fontes de poluentes [18]:

- Odores;
- Falta de condições sanitárias;
- Pó ou partículas;
- Problemas de humidade, crescimento visível de fungos;
- Presença de substâncias químicas.

2.2.1 Legislação nacional para poluentes do ar interior (Portaria nº353-A/2013 e Decreto lei nº118/13)

Os limiares de proteção para os poluentes físico-químicos e as condições de referência para os parâmetros microbiológicos a considerar são os previstos respetivamente nas tabelas 4 e 5 [19]:

Tabela 4 – Limiar de proteção e margem de tolerância para os poluentes físico-químicos [19].

Poluentes	Unidade ¹	Limiar de proteção ²	Margem de tolerância ³
Partículas em suspensão (fração PM_{10})	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	50	100
Partículas em suspensão (fração $PM_{2,5}$)	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	25	100
Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVs)	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	600	100
Monóxido de carbono (CO)	$[\text{mg}/\text{m}^3]$	10	-
	[ppmv]	9	-
Formaldeído (CO_2O)	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	100	-
	[ppmv]	0,08	-
Dióxido de carbono (CO_2)	$[\text{mg}/\text{m}^3]$	2250	30
	[ppmv]	1250	
Radão	$[\text{Bq}/\text{m}^3]$	400	-

¹ As concentrações $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e mg/m^3 referem-se às condições ambientais com temperatura do ar igual a 20°C e pressão igual a 1 atm.

² Os limiares de proteção indicados dizem respeito a uma média de 8 horas.

³ Aplicável a edifícios existentes e novos sem sistema mecânico de ventilação.

Tabela 5 - Condições de referência para os poluentes microbiológicos [19].

	Matriz	Unidade	Condições de referência
Bactérias <i>Legionella</i> <i>spp</i>	Ar	[UFC/m ³]	Concentração de bactérias totais no interior inferior à concentração no exterior, acrescida de 350 UFC/m ³ .
	Água	[UFC/L]	Concentração inferior a 100 UFC/L, excepto no caso da pesquisa em tanques de torres de arrefecimento em que deve verificar-se uma concentração inferior a 1000 UFC/L. Ausência de <i>Legionella pneumophila</i> .
Fungos	Ar	[UFC/m ³]	Concentração de fungos no interior inferior á detetada no exterior.

Um bom indicador do nível da qualidade do ar interior é o CO₂, dado tratar-se de um bio efluente que em reduzidas concentrações não constitui perigo. Este está diretamente relacionado como nível de ocupação e com a atividade metabólica, logo a sua concentração aumenta com estes fatores. Assim sendo a QAI pode ser avaliada pela concentração de CO₂ que o ar interior apresenta acima da concentração do ar exterior [6].

A partir da EN 13779 [16] é possível consultar os níveis standards de qualidade do ar interior para espaços com ocupação em função da concentração de CO₂, tabela 6.

Tabela 6 - Classificação da QAI em função do nível de dióxido de carbono [16].

Classificação da Qualidade do Ar Interior em função do nível de CO ₂ (EN 13779)				
Classificação	Concentração de CO ₂ acima do ar exterior (ppm)	Concentração de CO ₂ acima do ar exterior por defeito (ppm)	Concentração de CO ₂ do ar exterior (ppm)	Concentração de CO ₂ do ar interior (ppm)
IDA 1 ⁴	<400	350	350-400	700
IDA 2 ⁵	400-600	500	350-400	850-900
IDA 3 ⁶	600-1000	800	350-400	1150-1200
IDA 4 ⁷	>1000	1200	350-400	1550-1600

⁴ Ar interior de elevada qualidade.

⁵ Ar interior de qualidade média.

⁶ Ar interior de qualidade moderada.

⁷ Ar interior de baixa qualidade.

2.3 Ruído

Proporcionar conforto acústico consiste em minimizar o ruído e manter a satisfação dos indivíduos que ocupam um determinado espaço. O ruído define-se como o som indesejado e incomodo que interfere com a atividade diária dos indivíduos [10].

A perceção de conforto acústico num espaço depende de aspetos pessoais e das características das ondas sonoras. As atividades desenvolvidas no interior dos edifícios e a operação e condicionamento dos equipamentos são os principais responsáveis pela geração de ruído interior [10].

Por vezes a poluição acústica é esquecida, embora afete milhares de trabalhadores diariamente expostos ao ruído. A exposição a curto prazo ao ruído excessivo em níveis elevados poderá causar a perda de audição temporária, que pode durar entre alguns segundos e alguns dias. A exposição prolongada ao ruído pode provocar perda auditiva permanente [20].

2.3.1 Legislação Portuguesa sobre o ruído

O Decreto-Lei n.º 182/2006, de 6 de setembro [20], relativo às prescrições mínimas de segurança e de saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (ruído), é aplicável a todas as atividades dos setores privado, cooperativo e social, da administração pública central, regional e local, dos institutos públicos e das demais pessoas coletivas de direito público, bem como a trabalhadores por conta própria. Este decreto vem definir que não é permitida, em situação alguma, a exposição pessoal diária ou semanal de trabalhadores a níveis de ruído iguais ou superiores a 87 dB(A) ou a valores de pico iguais ou superiores a 140 dB(C), sendo estes valores definidos como os Valores Limite de Exposição (VLE) ao ruído, em cuja determinação se passa a considerar a atenuação dos protetores auditivos. Esta consideração significa que se for possível medir os níveis de ruído no interior do canal auditivo, utilizando um protetor auditivo conveniente, a exposição do trabalhador nunca deverá ser igual ou superior ao nível sonoro contínuo equivalente ($L_{EX,8h}$) a 87 dB(A) ou a valores de pico (L_{Cpico}) iguais ou superiores a 140 dB(C).

O Decreto-Lei 182/2006, de 6 de setembro, considera também valores de ação inferiores e valores de ação superiores, ou seja, níveis de exposição diária ou semanal ou os níveis de pressão sonora de pico que em caso de ultrapassagem implicam a tomada de medidas preventivas adequadas à redução do risco para a segurança e saúde dos trabalhadores.

São então considerados três níveis de intervenção:

- Valores de ação inferiores: $L_{EX,8h} = 80$ dB(A) e $L_{Cpico} = 135$ dB(C);
- Valores de ação superiores: $L_{EX,8h} = 85$ dB(A) e $L_{Cpico} = 137$ dB(C);
- Valores limite de exposição: $L_{EX,8h} = 87$ dB(A) e $L_{Cpico} = 140$ dB(C).

2.4 Edifícios

2.4.1 Problemas energéticos na envolvente dos edifícios

Muitos dos parâmetros que influenciam o conforto térmico são causados em parte pela envolvente do edifício. À medida que os anos passam os edifícios vão-se degradando e se não existir manutenção os problemas associados à envolvente acabam por se agravar. Estes problemas levam a consumos energéticos inadequados, o que acarreta custos.

Em seguida são enunciados aspetos negativos dos edifícios que mais afetam o desempenho térmico dos mesmos, nomeadamente [21]:

- Insuficiente isolamento térmico nos elementos da envolvente opaca;
- Existência de pontes térmicas;
- Presença de humidade, afetando o desempenho energético e a durabilidade;
- Baixo desempenho térmico dos vãos envidraçados e portas;
- Falta de proteção solar adequada nos vãos envidraçados;
- Ventilação não controlada, as correntes de ar são um dos principais causadores de desconforto térmico, ou seja, levam a maiores necessidades de aquecimento no inverno, ou pelo contrário, a ventilação insuficiente leva a um aumento da humidade relativa no inverno e sobreaquecimento no verão.

2.4.1.1 Pontes térmicas

As pontes térmicas são pontos localizados na envolvente do edifício onde há maior perda de calor em relação às restantes áreas dos elementos da envolvente. As pontes térmicas podem classificar-se como pontes térmicas lineares ou planas [22]. As pontes térmicas planas são decorrentes de heterogeneidades inseridas em zonas correntes dos elementos de envolvente, tais como, vigas, pilares e caixas de estore. As pontes térmicas lineares são decorrentes de intersecções entre paredes interiores com paredes exteriores, bem como em torno de janelas e portas [23].

2.4.2 Reabilitação energética de edifícios

As medidas de eficiência energética a aplicar na envolvente dos edifícios já existentes podem realizar-se através de [21]:

- Reforço da proteção térmica;
- Controlo das infiltrações de ar;
- Recurso a tecnologias solares passivas.

A proteção térmica de um edifício pode realizar-se através do melhoramento do isolamento térmico dos elementos da envolvente, ou seja, paredes exteriores, pavimentos sobre espaços exteriores ou não aquecidos, coberturas e vãos envidraçados, sendo que para estes últimos é essencial o controlo dos ganhos solares através dos mesmos, para isso devem ser colocadas proteções solares adequadas por forma a otimizar os ganhos em relação às necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício.

Os vãos envidraçados não devem ser esquecidos uma vez que possuem um peso significativo no balanço térmico global dos edifícios, podendo ser responsáveis no inverno por cerca de 35 a 40% das perdas térmicas totais dos edifícios e no verão podem provocar um elevado nível de sobreaquecimento [21].

2.4.2.1 Paredes exteriores

O reforço do isolamento térmico das paredes exteriores pode ser realizado através de 3 opções [21]:

- Isolamento térmico exterior;
- Isolamento térmico interior;
- Isolamento térmico em caixa de ar (apenas para paredes duplas).

Estas opções têm como principal vantagem a diminuição do consumo de energia e o aumento do conforto térmico.

No caso de paredes constituídas apenas por um só pano (paredes simples), o reforço do isolamento térmico pode ser realizado pelo exterior ou pelo interior. Por norma a melhor solução é optar-se pelo isolamento térmico pelo exterior, uma vez que as

vantagens de isolamento pelo exterior superam os inconvenientes quando comparado com o isolamento interior, como pode comprovar-se na figura [21].

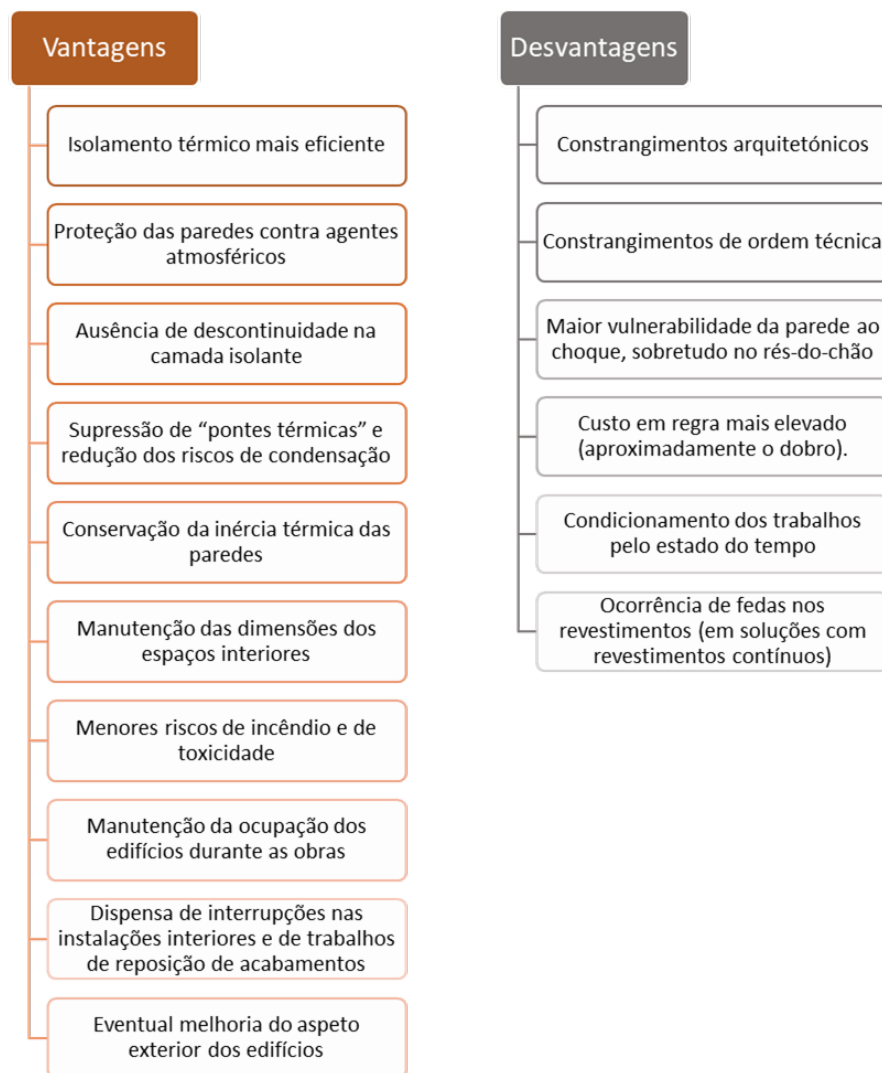


Figura 4 - Vantagens e desvantagens do isolamento térmico exterior de fachadas em relação ao isolamento interior [21].

2.4.2.1.1 Soluções de isolamento pelo exterior

Existem três tipos principais de soluções para isolamento térmico exterior [21]:

- Revestimentos independentes com interposição de um isolante térmico no espaço de ar;
- Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior, ETICS (*external thermal insulating composite systems with rendering*);
- Revestimentos isolantes, por exemplo, revestimentos pré-fabricados isolantes descontínuos e rebocos isolantes.

2.4.2.1.2 Soluções de isolamento pelo interior

Existem inúmeras soluções para o isolamento térmico pelo interior, as mais comuns são a utilização de painéis isolantes pré-fabricados e a execução de uma contra fachada no lado interior, ou seja, um pano de alvenaria ou forro contínuo constituído por placas de gesso cartonado ou outro material fixado com uma estrutura secundária [21].

2.4.2.1.3 Soluções de isolamento térmico na caixa de ar de paredes duplas

O reforço do isolamento das paredes duplas é realizado através da incorporação de materiais isolantes soltos ou de espumas injetadas na caixa de ar, mantendo assim o aspeto interior e exterior da parede inalterado, este método permite também reduzir ao mínimo as operações de reposição dos respetivos paramentos, que ficam limitados à vedação dos furos de injeção [21].

2.4.2.2 Pavimentos

O pavimento é um elemento muito relevante quando se aborda a questão da eficiência energética de um edifício. Este pode estar em contacto com espaços exteriores, espaços interiores não aquecidos, espaços não aquecidos e não ventilados ou pisos térreos.

Mediante a localização do pavimento, existem três tipos diferentes de reforço do isolamento térmico [21]:

- Isolamento térmico inferior;
- Isolamento térmico intermédio;
- Isolamento térmico superior.

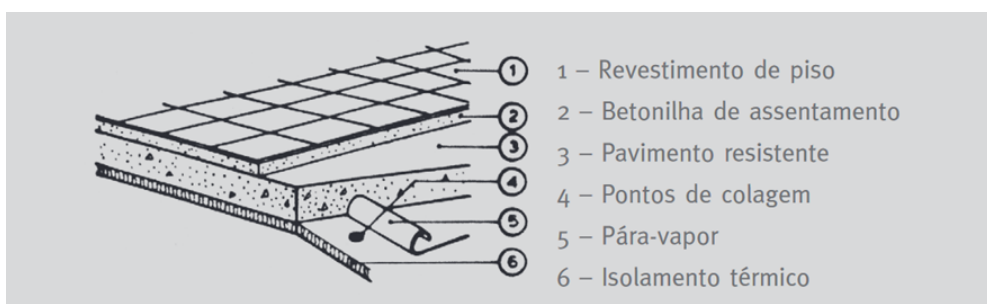


Figura 5 - Pavimentos sobre espaço exterior ou não-aquecido, isolamento térmico inferior [21].

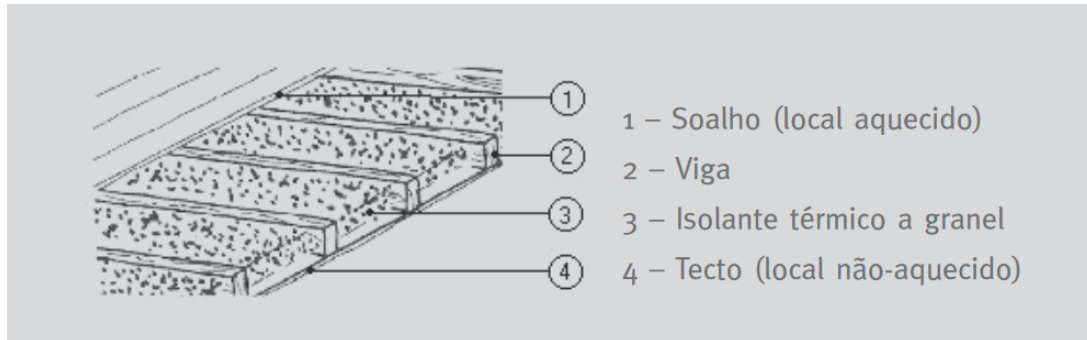


Figura 7 - Pavimento sobre espaço não-aquecido, isolamento térmico intermédio [21].

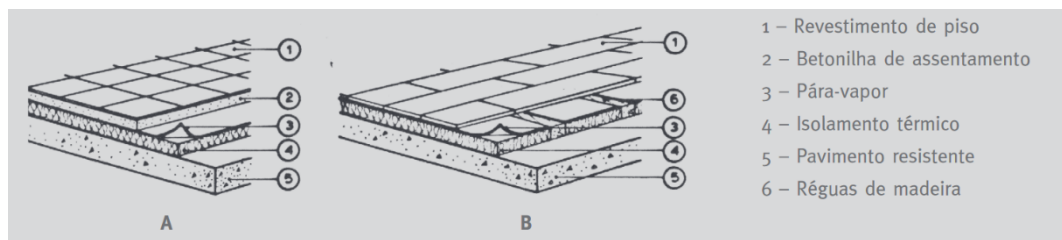


Figura 6 - Pavimentos sobre espaço exterior ou não-aquecido, isolamento térmico superior [21].

2.4.2.3 Cobertura inclinada

De todos os elementos construtivos a cobertura é o que está sujeito a maiores amplitudes térmicas, uma vez que se encontra sujeito às mais adversas situações meteorológicas. O isolamento térmico de uma cobertura é considerado uma intervenção de eficiência energética prioritária, uma vez que alterações a este nível levam a resultados positivos imediatos, nomeadamente em termos da diminuição das necessidades energéticas [21].

No momento de reforçar o isolamento térmico de uma cobertura é necessário ter em atenção se se está perante um isolamento de esteira horizontal (caso o espaço imediatamente a seguir a cobertura não seja utilizado) ou um isolamento das vertentes (caso o espaço imediatamente a seguir a cobertura seja utilizado).

2.4.2.3.1 Isolamento da esteira horizontal

Quando o espaço debaixo da cobertura não é utilizado para realizar nenhuma atividade é aconselhável que o isolamento térmico seja aplicado sobre a esteira horizontal, como pode ser visualizado na figura 8. Esta solução é bastante vantajosa, uma vez que permite

reduzir a quantidade de isolante, logo acarreta menos custos. Na figura 8 é possível verificar a aplicação deste isolamento de 3 modos possíveis e diferentes.

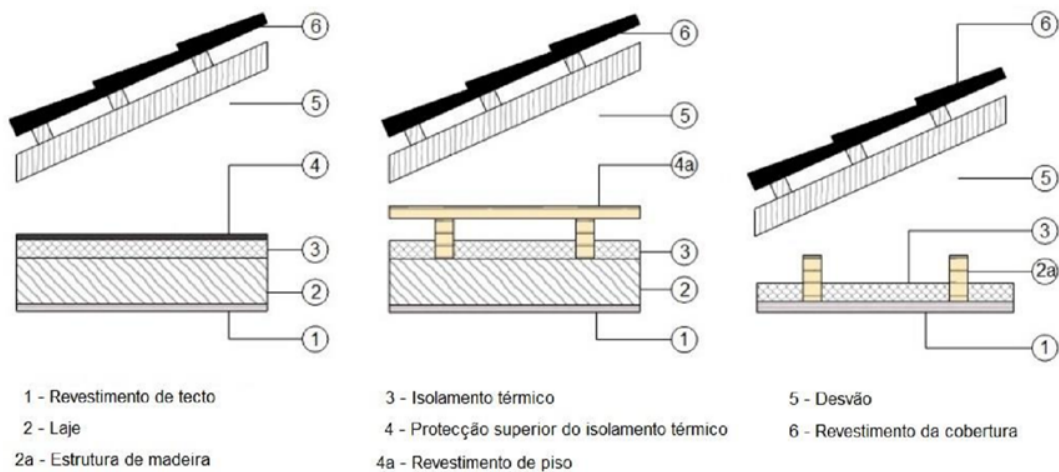


Figura 8 - Cobertura inclinada, isolamento térmico de esteira horizontal [21].

2.4.2.3.2 Isolamento das vertentes

Quando o espaço debaixo da cobertura é utilizado para realizar determinada atividade é aconselhável que o isolamento térmico seja aplicado segundo as vertentes da cobertura. Nestes casos é uma boa prática aplicar o isolamento térmico sobre a estrutura da cobertura, para que se possa garantir a existência de uma lâmina de ar entre o isolamento e o revestimento exterior, e a não degradação dos materiais. Na figura 9 é possível verificar a aplicação deste tipo de isolamento.

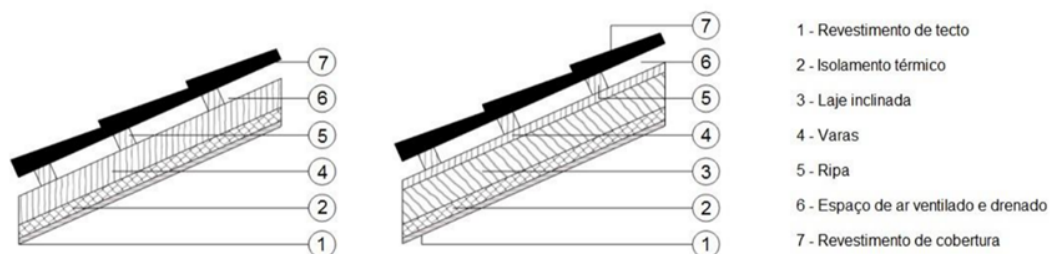


Figura 9 - Cobertura inclinada, isolamento térmico das vertentes [21].

2.4.2.4 Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados são elementos muito importantes num edifício, um bom isolamento destes leva a redução das infiltrações de ar não controladas, a melhoria da ventilação natural, aumento dos ganhos de captação solar no inverno e o reforço da proteção solar durante o verão. Como será espectável, melhorias neste tipo de elementos trará melhores condições de conforto térmico, melhor qualidade do ar interior e claro menores necessidades de consumo de energia [24].

2.4.3 Requisitos mínimos da envolvente opaca em edifícios de comércio e serviços

A legislação portuguesa [25] impõem requisitos mínimos de coeficiente transmissão térmica ($U_{máx}$) para a envolvente opaca e envidraçada de edifícios de comércio e serviços, na figura 10 estão expostos todos esses valores.

$U_{máx}$ [W/(m ² .°C)]	Zona Climática					
Portugal Continental						
Zona corrente da envolvente:	Com a entrada em vigor do presente regulamento			A partir de 31 de dezembro de 2015		
	I1	I2	I3	I1	I2	I3
Elementos opacos verticais exteriores ou interiores	1,75	1,60	1,45	0,70	0,60	0,50
Elementos opacos horizontais exteriores ou interiores	1,25	1,00	0,90	0,50	0,45	0,40
Vãos envidraçados exteriores (portas e janelas) (U_w)	-	-	-	4,30	3,30	3,30
Regiões Autónomas						
Zona corrente da envolvente:	Com a entrada em vigor do presente regulamento			A partir de 31 de dezembro de 2015		
	I1	I2	I3	I1	I2	I3
Elementos opacos verticais exteriores ou interiores	1,75	1,60	1,45	1,40	0,90	0,50

Figura 10 - Valores do coeficiente de transmissão térmica máximos admissíveis para envolvente opaca e envidraçada de edifícios de comércio e serviços.

Metodologia

- 3.1 Metodologia Geral
- 3.2 Apresentação do caso de estudo

3 METODOLOGIA

3.1 Metodologia Geral

Neste Capítulo será apresentada a metodologia para o desenvolvimento dos objetivos deste trabalho.

Seguidamente será apresentado o caso de estudo, onde será descrito o edifício, o tipo de atividade aí desenvolvido, a sua caracterização construtiva e geométrica e os parâmetros de envolvente exterior.

Serão expostos no capítulo 4 os dados que foram recolhidos relativamente à qualidade do ar interior, parâmetros ambientais (temperatura e humidade), parâmetros individuais (vestuário e tipo de atividade) e níveis de ruído. Será utilizado o *software Design Builder* para a determinação das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento para a situação atual do edifício. Posteriormente realizar-se-ão as mesmas simulações tendo em conta as alterações que poderiam ser efetuadas ao edifício com o intuito de melhorar a sua envolvente.

Por fim será analisada toda a informação exposta e apontar-se-ão soluções para os diversos problemas detetados nas medições e nos cálculos efetuados.

3.2 Apresentação do caso de estudo

O edifício que será analisado trata-se de uma nave fabril na zona industrial do grande Porto, mais precisamente na Rua António da Silva Marinho, 157. O edifício está inserido num complexo de armazéns germinados. A fachada do armazém está voltada a noroeste.



Figura 12 - Vista de cima do edifício.



Figura 11 - Vista de frente do edifício.

No edifício labora uma empresa de transformação de abrasivos, a OTA – Organização técnica de abrasivos Lda, fundada a 6 de junho de 1973 pelo seu sócio maioritário Feliciano Duarte.

A empresa é constituída por 15 funcionários a operar na zona de transformação, por 4 vendedores e 4 funcionários a laborar na zona dos escritórios.

É realizada essencialmente a transformação da matéria-prima abrasiva em cintas de banda estreita e banda larga, rolos e discos abrasivos.

A nave fabril é composta por dois pisos, o piso 0 diz respeito à zona de produção e o piso 1 aos escritórios. O piso 1 não cobre toda a zona de produção por isso em grande parte do armazém só existe o piso 0.

O piso 0 contempla a zona de produção, 2 salas de arrumos, balneário, casa de banho, refeitório, escritório do encarregado e hall de entrada para a zona de produção e para o piso 1.

O piso 1, a 4,0 metros do solo, é composto por 2 salas de arrumos, 2 casas de banho, sala da administração, sala da gerência, sala dos vendedores e o respetivo hall de acesso às zonas indicadas.

3.2.1 Caracterização geométrica

O edifício fabril possui uma área de implantação de 625 m², sendo que o piso 0 engloba toda esta área e o piso 1 apenas 168 m². O pé direito do piso 0 é 4 metros na zona coberta pelo piso 1 e 8,6 metros na restante área. Já no piso 1 o pé direito é 2,6 metros.

Nas figuras 13 e 14 é possível visualizar as plantas do piso 0 e do piso 1, estando expostas posteriormente as respectivas áreas nas tabelas 8 e 9.

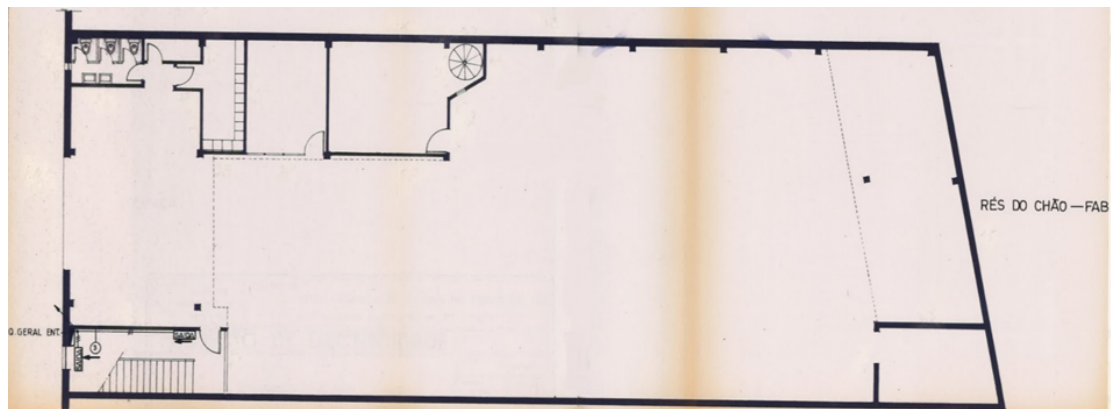


Figura 13 - Planta do edifício piso 0.

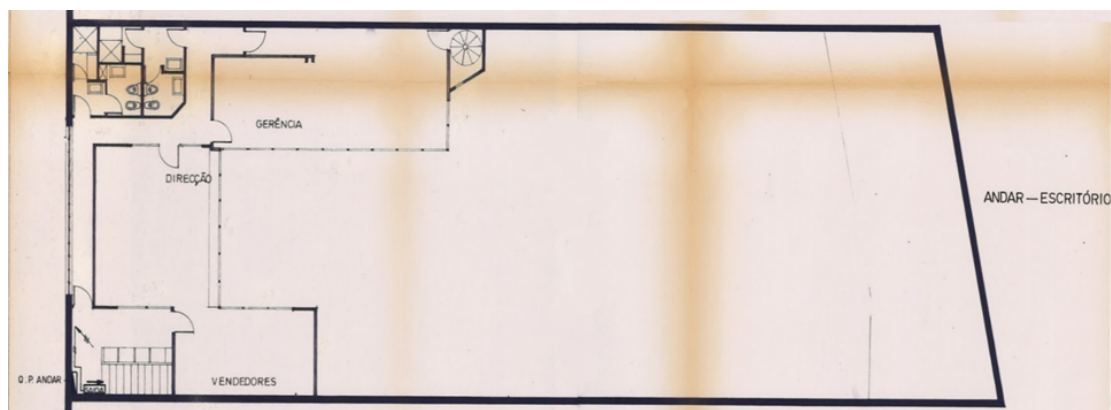


Figura 14 - Planta do edifício piso 1.

Tabela 7 – Áreas correspondentes ao piso 0.

Piso 0	Área (m ²)
Arrumos	16,3
Balneários funcionários	11,8
Balneário encarregado	1,5
Casa de banho	7,0
Hall de entrada	17,5
Refeitório	16,5
Zona de produção	516,1
Escritório encarregado	38,5
Total	625,2

Tabela 8 – Áreas correspondentes ao piso 1.

Piso 1	Área (m ²)
Administração	33,6
Arrumos escritório	3,8
Arrumos Limpeza	2,0
Casa de banho senhoras	6,3
Casa de banho homens	7,1
Gerência	55,2
Hall casa de banho homens	3,8
Hall casa de banho senhoras	3,9
Hall entrada	32,9
Vendedores	19,8
Total	168,4

3.2.2 Caracterização construtiva

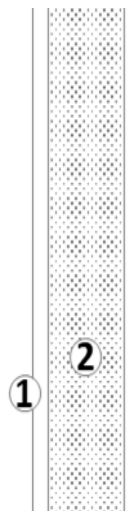
Neste ponto serão descritas as características construtivas do edifício na sua situação atual. Descrever-se-á as propriedades dos seguintes elementos construtivos: paredes exteriores, paredes interiores, pavimentos, coberturas e vãos envidraçados.

Dado o ano e o tipo de construção o edifício não possui qualquer tipo de isolamento térmico.

Serão referidos os elementos construtivos do edifício referenciando a sua tipologia e características de acordo com os dados que serão introduzidos no programa de simulação dinâmica – *Design Builder*.

Paredes exteriores

A parede exterior do edifício é constituída por um pano de alvenaria (bloco) com 20 cm de espessura. A face interior e exterior da parede é revestida com reboco tradicional de argamassa de cal, figura 15.

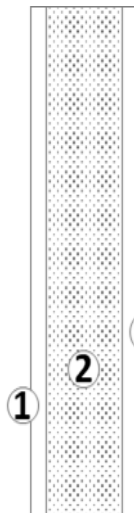


Parede Exterior (Piso 0 e 1)	Espessura e (m)	Condutibilidade λ (W/m°C)	Resistência Térmica R ($m^2\text{°C/W}$)	Densidade ρ (kg/m^3)
			0,040	
1 Revs. exterior (reboco)	0,020	0,720	0,028	1760
2 Pano de alvenaria (bloco)	0,200	0,850	0,235	1650
3 Revs. interior (reboco)	0,020	0,720	0,028	1760
			0,130	
Espessura Total (m)	0,240			
Resistência térmica total – R ($m^2\text{°C/W}$)			0,461	
Coeficiente de transmissão Térmica – U ($W/m^2\text{°C}$)			2,170	

Figura 15 - Pormenor e características das paredes exteriores.

Paredes divisórias

As paredes divisórias do edifício industrial são compostas por um pano simples de alvenaria de tijolo cerâmico com 11 cm de espessura, revestido em ambas as faces por reboco tradicional de argamassa de cal, figura 16.



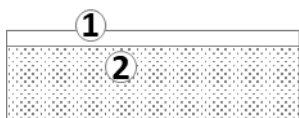
Parede Exterior (Piso 0 e 1)	Espessura e (m)	Condutibilidade λ (W/m°C)	Resistência Térmica R ($m^2\text{°C/W}$)	Densidade ρ (kg/m^3)
			0,130	
1 Revs. exterior aderente (reboco)	0,015	0,720	0,021	1760
2 Pano de alvenaria (tijolo)	0,110	0,300	0,367	1000
3 Revs. interior (reboco)	0,015	0,720	0,021	1760
			0,130	
Espessura Total (m)	0,140			
Resistência térmica total – R ($m^2\text{°C/W}$)			0,668	
Coeficiente de transmissão Térmica – U ($W/m^2\text{°C}$)			1,496	

Figura 16 – Pormenor e características das paredes divisórias.

Pavimento

Pavimento térreo

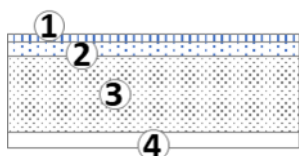
O pavimento em contacto com o solo, ou seja, o pavimento do piso 0, é constituído por uma camada de laje de betão e betonilha, figura 17.



Parede Exterior (Piso 0 e 1)	Espessura e (m)	Condutibilidade λ (W/m°C)	Resistência Térmica R ($m^2°C/W$)	Densidade ρ (kg/m^3)
			0,040	
1 Betonilha de regularização	0,050	0,410	0,122	1200
2 Laje de betão	0,200	1,130	0,177	2000
			0,170	
Espessura Total (m)	0,250			
Resistência térmica total – R ($m^2°C/W$)			0,509	
Coefficiente de transmissão Térmica – U ($m^2°C/W$)			1,965	

Figura 17 - Pormenor e características do pavimento térreo.

Pavimento interior



Parede Exterior (Piso 0 e 1)	Espessura e (m)	Condutibilidade λ (W/m°C)	Resistência Térmica R ($m^2°C/W$)	Densidade ρ (kg/m^3)
			0,100	
1 Revestimento do piso (madeira)	0,020	0,150	0,133	700
2 Camada de regularização	0,050	0,410	0,122	1200
3 Laje aligeirada	0,180	0,420	0,429	1250
4 Revs. Argamassa de cal	0,020	0,350	0,057	950
			0,170	
Espessura Total (m)	0,270			
Resistência térmica total – R ($m^2°C/W$)			1,011	
Coefficiente de transmissão Térmica – U ($m^2°C/W$)			0,989	

Figura 18 – Pormenor e características do pavimento interior.

O pavimento interior, ou seja, o pavimento do piso 1, é composto por uma laje aligeirada, revestida inferiormente por reboco tradicional de argamassa de cal e superiormente por uma camada de regularização e revestimento em madeira, figura 18.

Cobertura

A cobertura inclinada do edifício é composta por placas de fibrocimento sem amianto, figura 19, com as seguintes características, tabela 10.

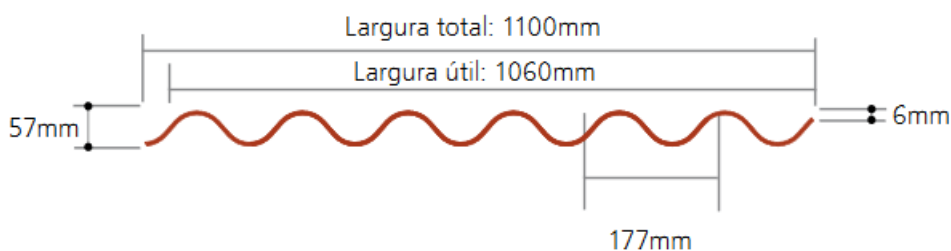


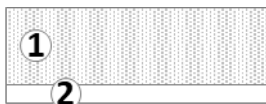
Figura 19 - Dimensões da placa de fibrocimento.

Tabela 9 - Características da cobertura.

Cobertura	Espessura e (m)	Condutibilidade λ (W/m°C)	Resistência Térmica R (m ² °C/W)	Densidade ρ (kg/m ³)
Exterior			0,040	
Placa de fibrocimento	0,006	0,950	0,006	1750
Interior			0,100	
Espessura Total (m)	0,006			
Resistência térmica total – R (m ² °C/W)			0,146	
Coefficiente de transmissão Térmica – U (m ² °C/W)			6,855	

Teto sobre o piso 1

O teto sobre o piso 1 é constituído por placas de lã de vidro (60 cm x 60 cm) e uma camada superior de lã de rocha, como exposto na figura 20.



Parede Exterior (Piso 0 e 1)	Espessura e (m)	Condutibilidade λ (W/m°C)	Resistência Térmica R ($m^2°C/W$)	Densidade ρ (kg/m^3)
			0,040	
1 Camada de lã de rocha	0,050	0,040	1,250	100
2 Placa de lã de vidro	0,015	0,036	0,417	100
			0,100	
Espessura Total (m)	0,015			
Resistência térmica total – R ($m^2°C/W$)			1,807	
Coeficiente de transmissão Térmica – U ($m^2°C/W$)			0,553	

Figura 20 - Pormenor e características do teto sobre o piso 1.

Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados são constituídos por caixilharia de ferro e vidro simples incolor, figura 21.



Vãos envidraçados

- 1 Vidro simples incolor 6 mm
- 2 Caixilharia ferro

Espessura Total (m)	0,270
Fator de transmissão solar	0,881
Coeficiente de transmissão térmica do vidro – U ($W/m^2 °C$)	5,778

Figura 21 - Pormenor e características dos vão envidraçados.

3.2.3 Infraestrutura Energética

Toda a energia recebida na nave fabril é sob a forma de energia elétrica, energia esta que é utilizada para a iluminação e para os equipamentos, nomeadamente todos os equipamentos utilizados para a transformação de abrasivos. A potência contratada à empresa que fornece a energia é de 41,41 kW.

3.2.4 Sistema de Climatização

O edifício não possui qualquer tipo de sistema de climatização no piso 0. No piso 1 a sala da direção, dos vendedores e da gerência é climatizada através de aparelhos de ar condicionado (*Split*).

3.2.5 Ocupação

A ocupação permanente da nave fabril é de cerca de 20 pessoas, sendo que todas elas permanecem no edifício desde as 8 h até às 17:30 h de segunda a sexta, estando encerrado aos sábados e domingos. Relativamente à densidade ocupacional, constata-se que a ocupação do edifício é cerca de 0,0248 ocupantes/m². Este valor foi obtido através do quociente entre o número de funcionários da empresa e o valor total da área do edifício, piso 0 e piso 1.

3.2.6 Iluminação

A iluminação do edifício é realizada através de 3 tipos de lâmpadas e de painéis led. Estão instaladas lâmpadas de halogénio de 20 W, fluorescentes compactas de 58 W e fluorescentes tubulares de 39 W. Existem também instalados painéis led (60 cm x 60 cm) de 48 W.

No edifício existe um total de 106 lâmpadas e 4 painéis led, ou seja, um total de potência instalada de 4307 W. Como seria de esperar as lâmpadas fluorescentes tubulares e as compactas são as que mais contribuem para esta potência, cerca de 77% as tubulares e 13% as compactas. Na tabela 11 e 12 é podem consultar-se as respetivas densidades de iluminação (W/m²) para todos as divisões da nave fabril.

Tabela 10 - Densidade ocupacional: piso 0.

Piso 0	Densidade de iluminação (W/m^2)
Arrumos	2,4
Balneário dos funcionários	6,6
Balneário encarregado	13,3
Casa de banho	11,1
Hall de entrada	4,5
Refeitório	0,8
Zona de produção	3,8
Escritório encarregado	2,0

Tabela 11 - Densidade ocupacional: piso 1.

Piso 1	Densidade de iluminação (W/m^2)
Administração	5,7
Arrumos escritório	5,3
Arrumos Limpeza	10,0
Casa de banho senhoras	3,2
Casa de banho homens	2,8
Gerência	17,0
Hall casa de banho homens	5,3
Hall casa de banho senhoras	5,1
Hall entrada	6,6
Vendedores	23,6

Para efeitos de simulação determinou-se uma média ponderada com a área de cada espaço para estes valores, sendo o resultado obtido $5,37 W/m^2$.

3.2.7 Equipamentos

Como não é só a iluminação a contribuir para o consumo elétrico, mas também os equipamentos, foi realizado um levantamento do consumo de todos os equipamentos existentes na nave fabril. Através deste foi possível aferir a densidade de equipamentos em todas as divisões do edifício, permitindo assim uma simulação o mais realista possível.

Em termos absolutos, o edifício possui um total de 25 equipamentos, contabilizando uma potência de 42500 W, que quando comparada com a potência de iluminação representa cerca de 90,8%. De notar que só a potência dos equipamentos é superior à potência contratada, o que não constitui um problema pois os equipamentos nunca estão todos a ligados em simultâneo. Nas tabelas 13 e 14 pode ser consultada a densidade dos equipamentos por compartimento.

Tabela 12 - Densidade dos equipamentos: piso 0.

Piso 0	Densidade dos equipamentos (W/m^2)
Refeitório	315,2
Zona de produção	66,0
Escritório encarregado	11,7

Tabela 13 - Densidade dos equipamentos: piso 1.

Piso 1	Densidade dos equipamentos (W/m^2)
Administração	83,5

Os valores apresentados na tabela 13 e 14 resultam do quociente entre a soma da potência de todos os equipamentos de um determinado compartimento e a área do mesmo. Apenas os compartimentos referenciados nas tabelas possuem equipamentos elétricos.

3.2.8 Zoneamento climático

Antes de se realizar o estudo da nave fabril é necessário definir os parâmetros climáticos para encontrar a zona climática de arrefecimento (verão) e a zona climática de aquecimento (inverno). No que diz respeito á divisão climática do País, o regulamento divide-o em três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3)[6], figura 22.

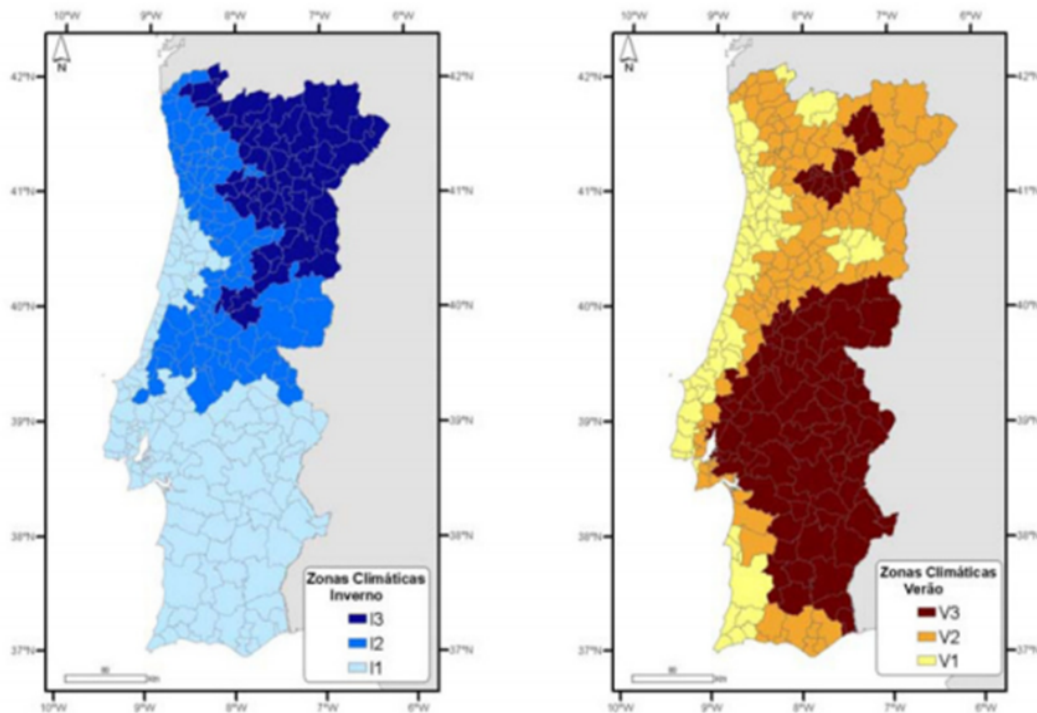


Figura 22 – Zonas climáticas de inverno e verão.

Através do Despacho n.º 15793-F/2013 [26], é possível obter os dados necessários para a determinação dos parâmetros climáticos.

Primeiramente verifica-se a qual NUTS III (nomenclatura das unidades territoriais para fins estatísticos) pertence o edifício em estudo, situado no Porto.

Recorrendo à tabela presente no despacho obtém-se o Grande Porto como NUTS III, como é comprovado na tabela 15.

Tabela 14 - Tabela NUTS III (Despacho n.º 15793-F de 2013).

NUTS III	Municípios
Grande Porto	Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Santo Tirso, Trofa, Valongo, Vila do Conde, Vila Nova de Gaia

Os valores dos parâmetros climáticos X associados a um determinado local, são obtidos a partir de valores de referência X_{REF} para cada NUTS III e ajustados com base na altitude desse local, z .

Através da fórmula $X = X_{REF} + a(z - z_{REF})$ e recorrendo à tabela presente no despacho nº15793-F de 2013, a qual consta no excerto apresentado na tabela 16 e na tabela 17, calculam-se os parâmetros acima referenciados.

Para o cálculo da zona climática de aquecimento é necessário o cálculo de quatro parâmetros:

GD - Número de graus-dias, na base de 18°C, correspondente à estação convencional de aquecimento;

M - Duração da estação de aquecimento;

$\theta_{ext,i}$ - Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento;

G_{Sul} - Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a Sul, [kWh/m^2].

Tabela 15 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude [26].

	Z	M	GD		$\theta_{ext,i}$		G_{Sul}	
	REF	REF	a	REF	a	REF	a	
	m	meses	mês/km	°C	°C/km	°C	°C/km	por mês
Grande Porto	94	6,2	2	1250	1600	9,9	-7	130

Em relação ao cálculo da zona climática de arrefecimento, os parâmetros a serem calculados são os seguintes:

L_v - Duração da estação = 4 meses = 2928 horas.

$\theta_{ext,v}$ - Temperatura exterior média, [°C].

I_{Sol} - Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°) para os quatro pontos cardeais e colaterais, [kWh/m^2].

Tabela 16 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude [26].

Z	$\theta_{ext,v}$		I_{Sol}									
			kWh/m ² acumulados de junho a setembro									
REF	REF	a	0°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°
m	$^\circ C$	$^\circ C/km$		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Grande Porto	94	20,9	0	800	220	350	490	425	490	490	490	345

As zonas climáticas de inverno são definidas a partir do número de graus-dia (GD) na base de $18^\circ C$, correspondente à estação de aquecimento, conforme a tabela 18.

Tabela 17 - Critério para determinação de zona climática de inverno.

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 \leq GD \leq 1800$	$GD \geq 1800$
Zona	I1	I2	I3

As zonas climáticas de verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ($\theta_{ext,v}$) conforme a tabela 19.

Tabela 18 - Critérios para determinação da zona climática de verão.

Critério	$\theta_{ext,v} \leq 20^\circ C$	$20^\circ C \leq \theta_{ext,v} \leq 22^\circ C$	$\theta_{ext,v} \geq 22^\circ C$
Zona	V1	V2	V3

Os cálculos dos parâmetros climáticos do caso em estudo são apresentados resumidamente na tabela 20.

Tabela 19 - Dados climáticos do caso em estudo.

Designação	Dados
Concelho	Porto
Altitude (m)	20
Nº de Graus-Dias (°C)	1132
Temperatura média do ar exterior no verão (°C)	20,9
Zona Climática de Inverno	I1
Zona Climática de Verão	V2

SIMULAÇÃO DINÂMICA

Design Builder

- 4.1 Procedimento Básico
- 4.2 Modelação em *Design Builder*, dados de entrada (inputs)

4 SIMULAÇÃO DINÂMICA – *DESIGN BUILDER*

O *Energy Plus* é um programa de simulação dinâmica desenvolvido pelo departamento de Energia dos Estados Unidos para avaliação do desempenho energético de edifícios. Dada a sua versatilidade pode ser utilizado com diferentes interfaces e ferramentas de análise de resultados. O programa permite desenvolver estudos de eficiência energética em edifícios existentes ou em fase de projeto. Para facilitar a introdução de dados foi utilizado o *software Design Builder*, embora o *Energy Plus* permita o desenvolvimento de projetos sem a utilização de outras ferramentas. O *Design Builder* permite numa primeira fase que seja feita toda a modelação geométrica e implementação de dados, e posteriormente em simultâneo com o *Energy Plus* que sejam realizados todos os cálculos necessários para a simulação pretendida. Este *software* oferece uma elevada quantidade de bibliotecas com pré-definições que facilitam a implementação de dados no programa. Com este *software*, é possível obter dados sobre os consumos energéticos, as emissões de dióxido carbono, o conforto dos ocupantes, bem como o estado do edifício em análise, de acordo com os respetivos regulamentos de construção nacionais e padrões de certificação [24].

Seguidamente, são descritos os diversos passos para utilização do programa, com vista à simulação dinâmica de um edifício fabril na zona industrial do Porto.

4.1 Procedimento Básico

A realização de um estudo de simulação dinâmica com recurso ao *Design Builder* divide-se em 3 partes:

- Modelação geométrica;
- Definição das características técnicas;
- Simulação dinâmica.

Para o desenvolvimento de um novo projeto no *Design Builder* primeiramente introduz-se a localização, como está exemplificado na figura 23. O *software* possui as características típicas de enumeradas regiões, nomeadamente temperaturas, condições climáticas, período das estações de aquecimento e arrefecimento, entre outras.

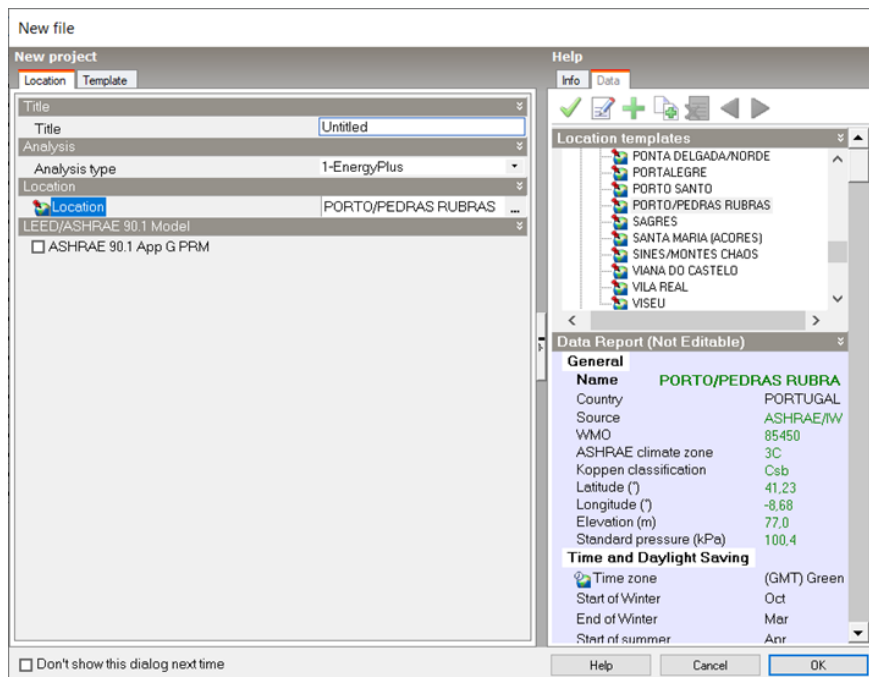


Figura 23 -Introdução de localização para novo projeto.

Posteriormente é introduzida toda a geometria do edifício que será analisado, ou seja, será criada toda a envolvente exterior e interior e definida a localização de vãos envidraçados e portas.

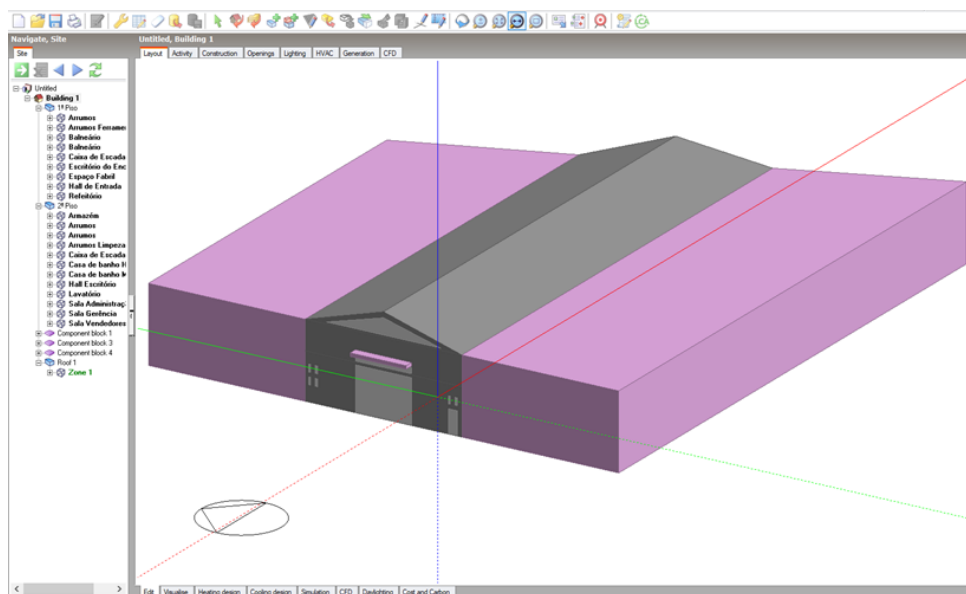


Figura 24 - Representação da geometria do edifício.

Depois de concluído o modelo geométrico, realiza-se a identificação de cada compartimento e posteriormente atribui-se a cada um a atividade aí desenvolvida, a realização deste passo é extremamente importante pois a atividade desenvolvida em cada compartimento influenciará diretamente os ganhos térmicos internos. Para isto o *Design Builder* possui um separador designado de atividade, com uma variada lista de *templates* pré-definidos com as características gerais das diversas atividades. Ao atribuir a uma determinada zona uma atividade, o *software* associa automaticamente a este espaço fatores de iluminação, ocupação, temperatura e equipamentos, como pode ser comprovado na figura 25.

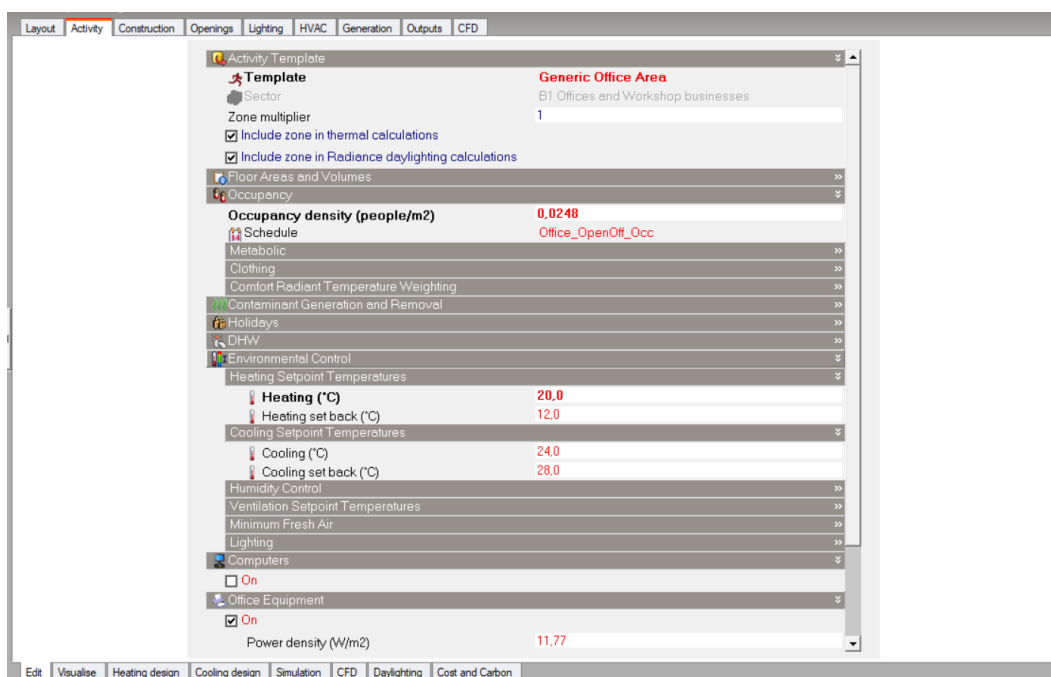


Figura 25 - Separador "activity" no Design.

Em seguida é necessário definir as características construtivas da envolvente opaca do edifício, dado que estas terão um grande impacto nas necessidades de aquecimento e arrefecimento. Para o efeito é necessário preencher o separador construção, separador este que possui *templates* pré-definidos e uma lista de materiais de construção para se criar um *template* idêntico ao projeto em estudo. Caso não exista um determinado material na lista disponibilizada é possível introduzir novos materiais.



Figura 27 - Separador “construction” no Design Builder.

Na figura 26 é possível visualizar a caracterização construtiva de uma parede interior, pode observar-se a definição das diferentes camadas do elemento e os respetivos materiais constituintes.

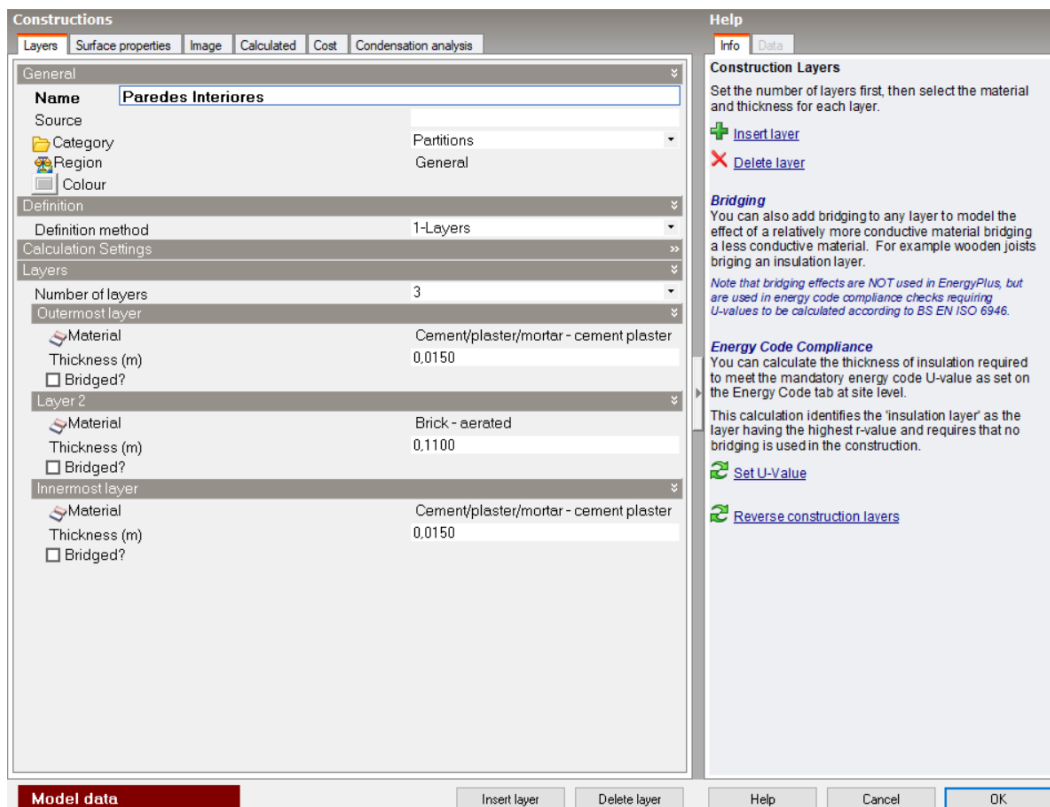


Figura 26 - Definição de envolvente em Design Builder.

É também possível consultar as propriedades globais da solução construtiva, nomeadamente o coeficiente de transmissão térmica, a densidade e a resistência térmica, figura 28.

Edit construction - Paredes interiores

Constructions

Layers | Surface properties | Image | **Calculated** | Cost | Condensation analysis

Inner surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	2.152
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5.540
Surface resistance (m ² -K/W)	0.130
Outer surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	2.152
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5.540
Surface resistance (m ² -K/W)	0.130
No Bridging	
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	5.143
R-Value (m ² -K/W)	0.454
U-Value (W/m²-K)	2.200
With Bridging (BS EN ISO 6946)	
Thickness (m)	0.1400
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)	159.2640
Upper resistance limit (m ² -K/W)	0.454
Lower resistance limit (m ² -K/W)	0.454
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	5.143
R-Value (m ² -K/W)	0.454
U-Value (W/m²-K)	2.200

Model data

Help

Info | Data

Calculated Data

This tab provides further information on the heat transmission properties of the construction.

This data is used in Simple calculation method such as SBEM and generally NOT in Energy simulations.

Exceptions are window frame U-values and use fixed CIBSE convective heat transfer coefficient below).

U-values are shown including and excluding the of surface resistance and are calculated with and without bridging effects.

Note that the outer surface resistance depends on exposure to wind (on the Location tab at Site level).

Convective heat transfer coefficients

The convective heat transfer coefficients displayed in EnergyPlus when the 'CIBSE' Inside/Outside convection algorithm is selected. Otherwise EnergyPlus uses its own convection algorithm the simulation options and the transmission data displayed here is not used.

Help | Cancel | OK

Figura 28 - Propriedades globais da parede interior *Design Builder*.

O passo seguinte é a caracterização dos vãos envidraçados. Tal como nos parâmetros anteriores o *Design Builder* possui um separador para o efeito, neste são disponibilizados diversos modelos pré-definidos, ou pode criar-se um novo modelo de envidraçado consoante os requisitos do projeto em estudo. Pode também selecionar-se o tipo de sistema de sombreamento e um plano de utilização.

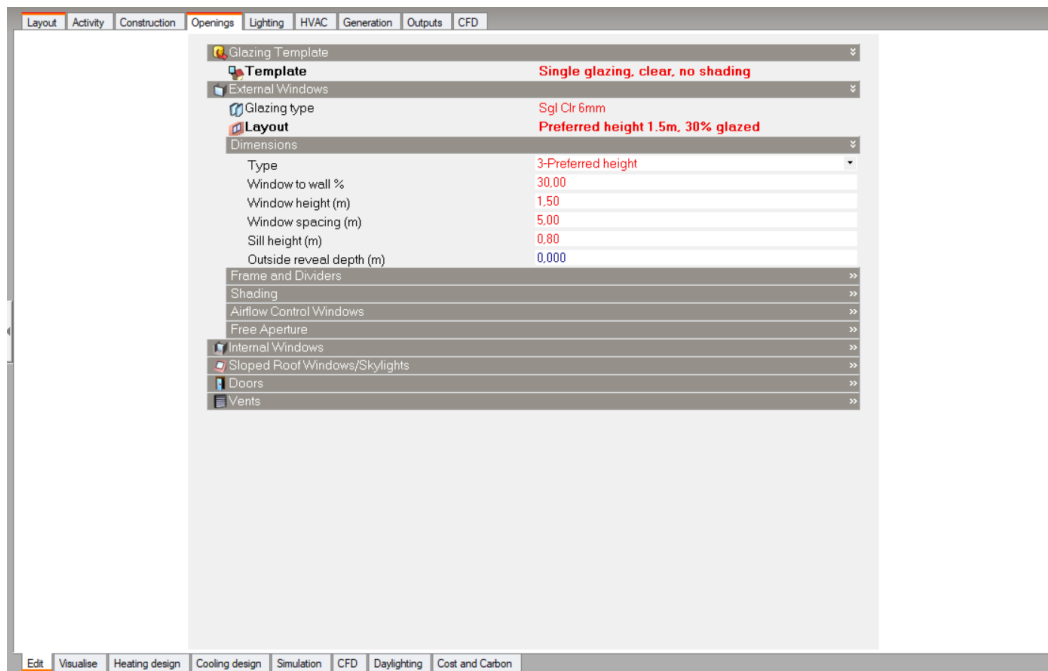


Figura 29 - Separador "Openings" no Design Builder.

Para finalizar a modelação falta ainda definir os parâmetros referentes à iluminação e ao sistema AVAC.

Para a iluminação, mais uma vez o *software* dispõe de um separador designado de iluminação que possui *templates* pré-definidos que podem ser seleccionados consoante a zona a que se destinam.

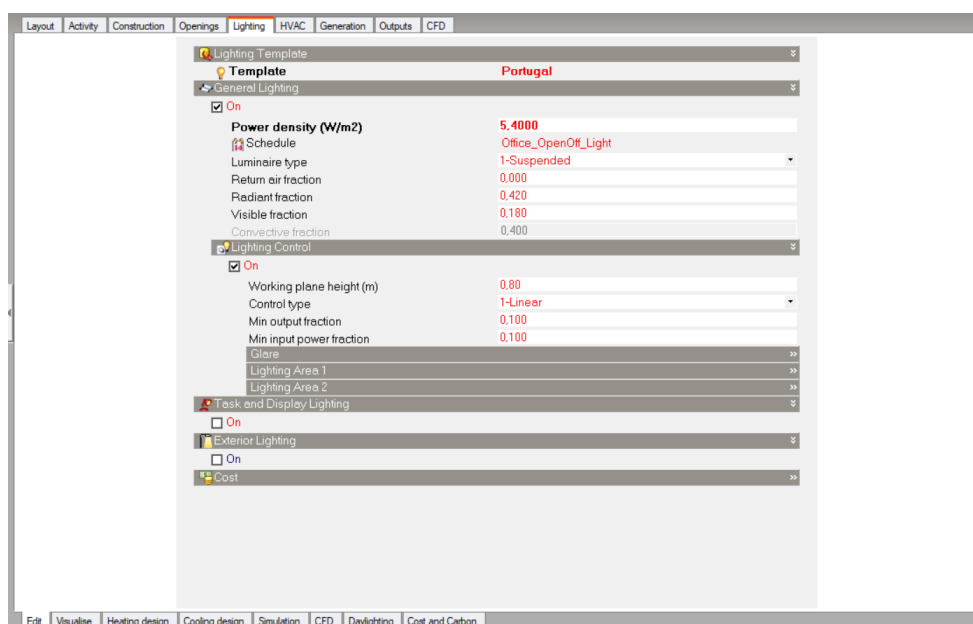


Figura 30 - Separador "lighting" no Design Builder.

Quanto à definição do sistema AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) instalado no edifício, existe o separador AVAC onde podem ser definidos os parâmetros de ventilação, aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias. O *design Builder* dispõe de uma lista de *templates* de onde pode ser selecionado o modelo para Portugal, quando este é selecionado o *software* define um sistema AVAC típico de um edifício deste país. De salientar que caso necessário todos os parâmetros podem ser alterados para que o modelo se aproxime o mais possível da realidade.



Figura 31 - Separador "HVAC" no *Design Builder*.

Após todos estes separadores devidamente preenchidos, o desempenho energético do edifício pode ser determinado através de simulações dinâmicas para o período de tempo pretendido. São sugeridos alguns períodos de simulação, nomeadamente anual, semana típica de verão, verão completo, entre outros, figura 32.

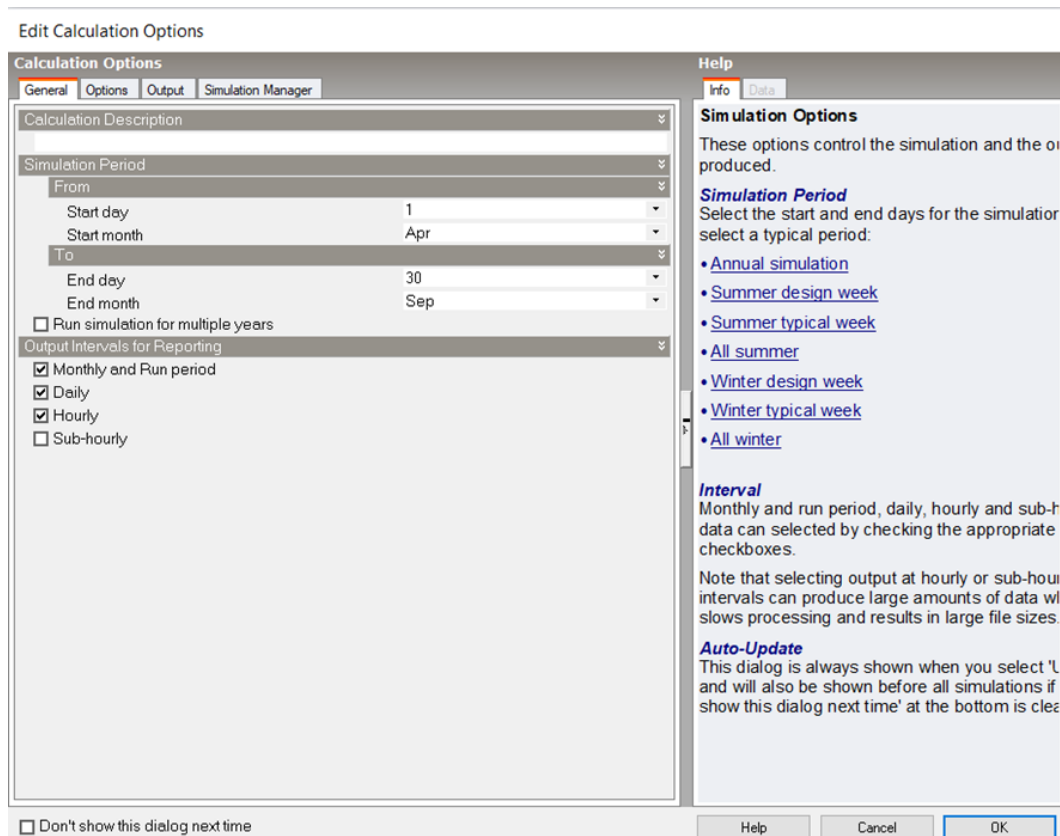


Figura 32 - Seleção do período de simulação dinâmica

4.2 Modelação em *Design Builder*, dados de entrada (*inputs*)

Para a realização de todas as simulações considerou-se apenas uma zona térmica, uma vez que o conjunto de espaços considerados possui um conjunto de similaridades em termos de perfil de utilização, climatização, ventilação mecânica e similaridades no que diz respeito a exposição solar. Esta consideração permitiu a realização de um cálculo dinâmico simplificado.

4.2.1 Ambiente exterior (ficheiro climático)

No *Design Builder* o clima exterior é definido a partir da escolha da localização do edifício, que corresponde a um ficheiro de dados climatéricos predefinido. O programa possui uma coleção de dados de diferentes países criados a partir de informação disponibilizada pela *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning*

Engineers (ASHRAE), sendo também possível definir um clima personalizado. Estas bases de dados são criadas a partir de medições reais, recolhidas ao longo de vários anos diferentes e compiladas de modo a tentar criar um ano representativo.

Os dados climatéricos horários referentes a locais em Portugal são fornecidos pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG). O modelo correspondente a cada localização possui as seguintes informações:

- Localização geográfica (latitude, longitude, altitude);
- Fuso horário (fuso horário, hora de inverno/hora de verão);
- Dados climatéricos (temperatura do ar, temperatura ponto de orvalho, humidade relativa, pressão atmosférica, radiação solar, velocidade e direção do vento, precipitação média anual, graus-dia de aquecimento).

Os dados climatéricos escolhidos para simulação dizem respeito à localização de Pedras Rubras, Porto, Portugal. Este local e o respetivo clima possuem as características presentes na tabela 20:

Tabela 20 – Características da localização selecionada para simulação

Latitude	41,23°
Longitude	-8,68°
Altitude	73,0 m
Graus dia aquecimento (base 18°C)	1491°C
Temperatura mínima de inverno	0°C
Temperatura máxima de verão	32°C

4.2.2 Parâmetros de caracterização construtiva (*input*)

Todos os dados relativos à caracterização construtiva dos elementos da envolvente, presentes no capítulo 3, foram inseridos no separador construção do *software Design Builder*. Foram definidos os tipos de materiais constituintes e as respetivas espessuras. Todas estas variáveis foram reajustadas de acordo com as alterações sugeridas pelas medidas de reabilitação.

4.2.3 Ambiente interior (*input*)

Na tabela 21 seguem os dados de entrada introduzidos nos separadores atividade, iluminação e AVAC para as respetivas simulações. A tabela constitui uma síntese aos dados definidos no capítulo 3 (metodologia) e capítulo 5 (resultados).

Tabela 21 – Síntese das características do ambiente interior

Ambiente interior	
Densidade ocupacional	0,0248 ocupantes/m ²
Densidade de iluminação	Média ponderada 5,37 W/m ²
Densidade de equipamentos	Refeitório 315,2 W/m ² Zona de Produção 66,0 W/m ² Escritório encarregado 11,7 W/m ² Sala administração 83,5 W/m ²
Sistema AVAC	Para o edifício no estado atual não existe sistema AVAC Para simulação dinâmica definiu-se sistema AVAC padrão que garantisse as temperaturas de <i>setpoint</i>
Temperaturas de <i>setpoint</i>	Para o edifício no estado atual as temperaturas não foram definidas Para simulação dinâmica com sistema AVAC: - Temperatura de <i>setpoint</i> de aquecimento: 20°C - Temperatura de <i>setpoint</i> de arrefecimento: 24°C

RESULTADOS

- 5.1 Parâmetros ambientais recolhidos
- 5.2 Ambiente térmico
- 5.3 Medidas para reabilitação energética do edifício
- 5.4 Análise de parâmetros individuais
- 5.5 Resultados relativos à qualidade do ar interior
- 5.6 Resultados relativos ao ruído

5 Resultados

Neste capítulo são apresentados os dados que foram recolhidos relativamente à qualidade do ar interior, aos parâmetros ambientais, aos parâmetros individuais e aos níveis de ruído. Será utilizado o *software Design Builder* para a realização de simulações anuais e determinação de cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento.

Posteriormente à análise dos dados recolhidos e simulados apontar-se-ão possíveis soluções para os problemas encontrados.

5.1 Parâmetros ambientais recolhidos

O conhecimento dos valores reais de alguns parâmetros de caracterização interior é extremamente importante para o estudo da nave fabril, uma vez que permite ter uma noção real do ambiente interior do edifício. Esta noção será oportuna para validar os resultados simulados no *software*.

5.1.1 Parâmetros de caracterização ambiental interior

Os parâmetros ambientais referentes ao conforto térmico recolhidos foram, a temperatura do ar, T_{ar} [°C], e a humidade relativa, HR [%].

A figura 33 mostra o multifunções (CO₂, CO, T_{ar} , HR) utilizado para efetuar as medições, em anexo podem ser consultadas as características do mesmo.



Figura 33 - Kimo AQ 200 Indoor Air Quality Meter.

Em todas as medições o equipamento foi colocado a uma altura de 0,6 m do pavimento, de acordo com a norma ISO 7726 [8].

Em relação ao posicionamento do equipamento, este esteve distribuído ao longo de 7 postos diferentes do armazém, de modo a abranger todas as diferenças de temperatura, dado ser um espaço de grande dimensão.

Existiu a preocupação de manter o equipamento longe de fontes de calor ativas para que os valores obtidos fossem o mais próximo possível da realidade. Na figura 34 pode observar-se a localização dos diferentes pontos de medição.

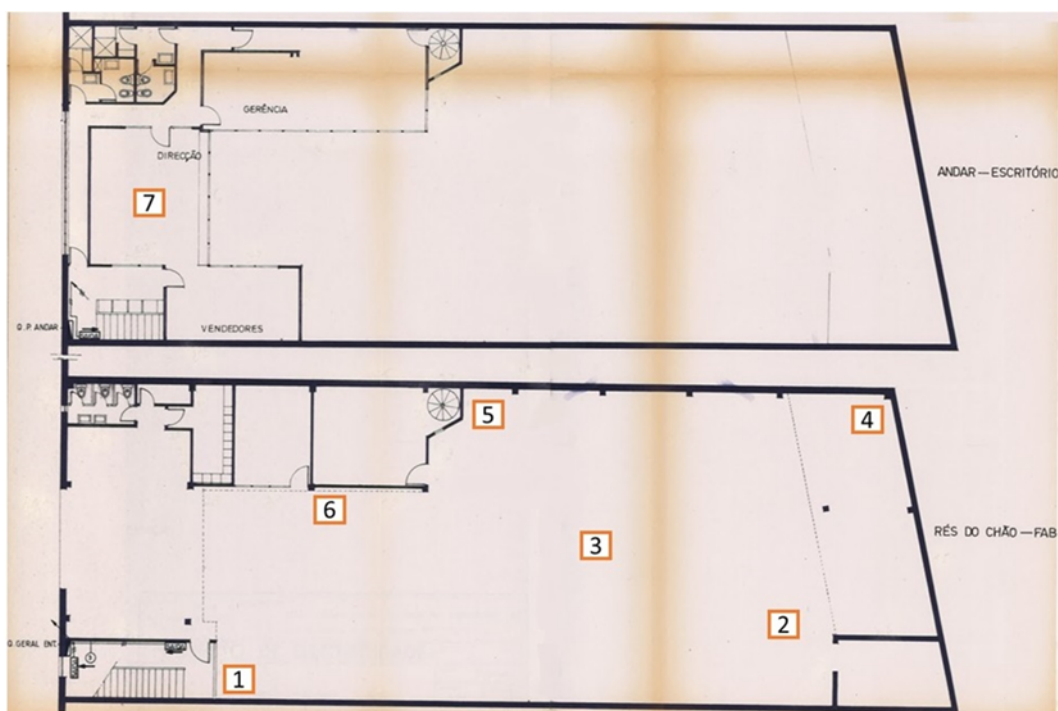


Figura 34 - Localização dos diversos pontos de medição no piso 0 e 1.

A localização destes postos não foi escolhida de forma aleatória, no armazém (piso 0) foram eleitos os postos onde os operários passam maior parte do dia, isto é, nas zonas de transformação, no escritório (piso 1) só foram recolhidos valores na divisão ocupada pela direcção, dado que o compartimento dos vendedores e da gerência nem sempre é utilizado e quando é ocupado é durante um curto período de tempo.

5.1.2 Apresentação e análise dos valores medidos

Foram realizadas medições em 3 estações do ano diferentes, inverno, primavera e verão, em cada uma das estações foram recolhidos dados em 2 dias aleatórios, sendo

que em cada um desses dias o levantamento se realizou em 3 momentos distintos, ao início da manhã (entre as 8:00 e 8:30 h), na pausa para almoço (entre o 12:00 e o 12:30 h) e no final do dia (entre as 17:00 e 17:30 h).

Nos dias 7 e 12 do mês de março foram recolhidos os dados relativos à estação de inverno para os 7 postos de medição.

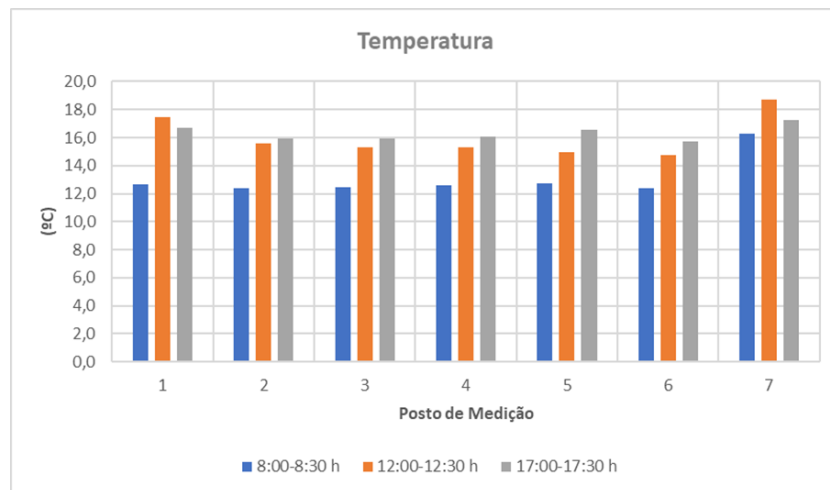


Figura 35 - Temperaturas registadas no dia 7 de março para os vários postos de medição, nos 3 períodos do dia selecionados.

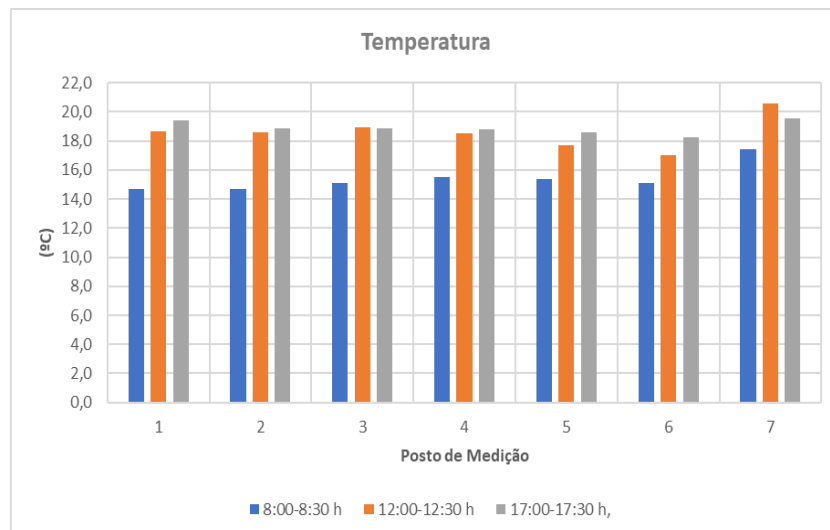


Figura 36 - Temperaturas registadas no dia 12 de março para os vários postos de medição, nos 3 períodos do dia selecionados.

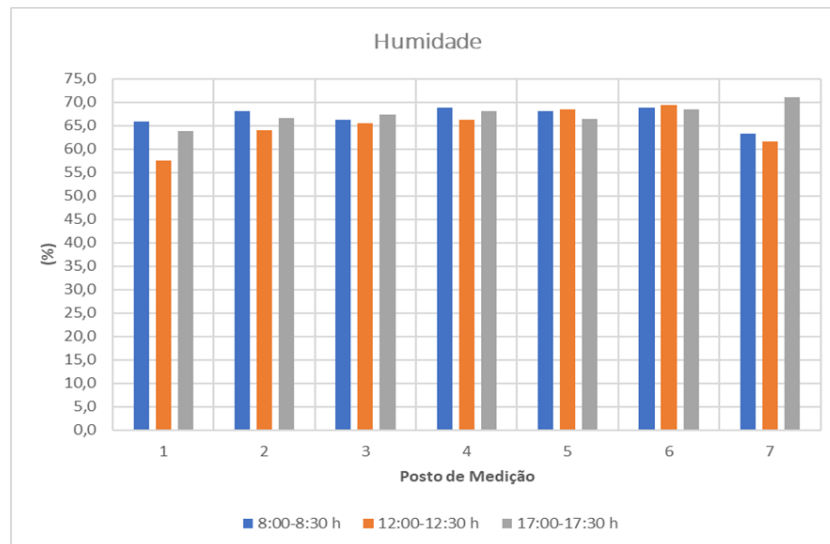


Figura 37 - Valores de humidade registados no dia 7 de março para os vários postos de medição, nos 3 períodos do dia selecionados.

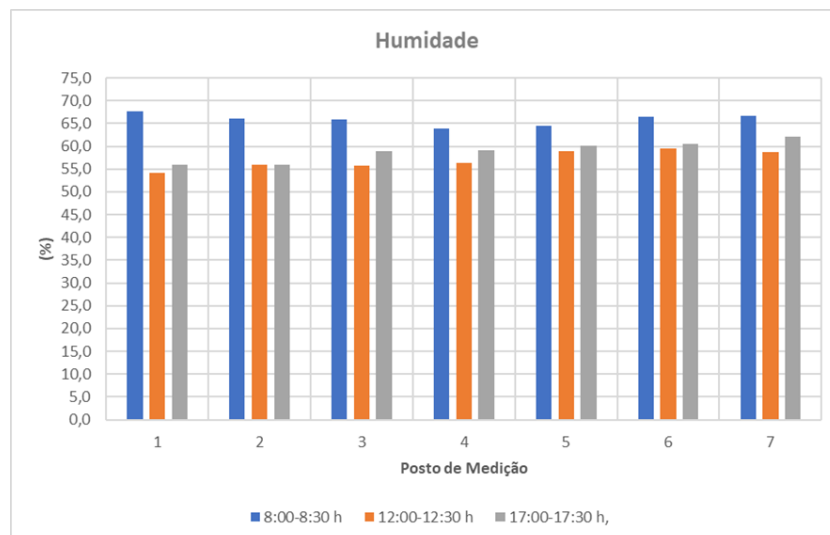


Figura 38 - Valores de humidade registados no dia 12 de março para os vários postos de medição, nos 3 períodos do dia selecionados.

Pela análise dos gráficos relativos à temperatura verifica-se em todos os postos um aumento significativo da temperatura ao longo do dia, sendo que em praticamente todos os casos a maior variação de temperatura se regista entre o início da manhã e o meio dia. O valor mais baixo registado no armazém ronda os 12°C e o mais alto os 19°C. Os valores medidos no piso 1 são ligeiramente superiores, sendo que se regista para os 2 dias o pico de temperatura ao meio-dia.

Relativamente aos valores de humidade relativa verifica-se em quase todos os postos um valor máximo ao início da manhã, sendo que este tende a diminuir ao longo do dia.

Para a estação de inverno registou-se o valor máximo de 69% e o valor mínimo de 54% de humidade relativa.

Nos dias 29 e 31 do mês de maio foram recolhidos os dados relativos à estação de primavera para os 7 postos de medição.

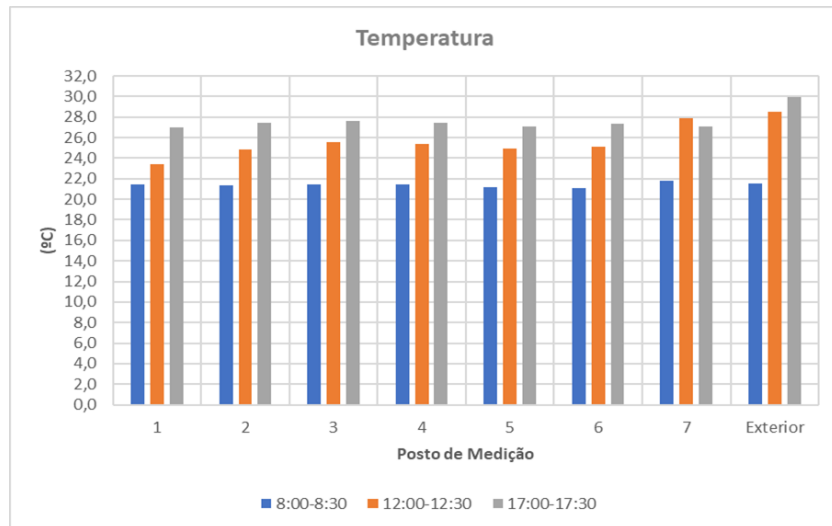


Figura 39 - Temperaturas registadas no dia 29 de maio para os vários postos de medição, nos 3 períodos do dia selecionados.

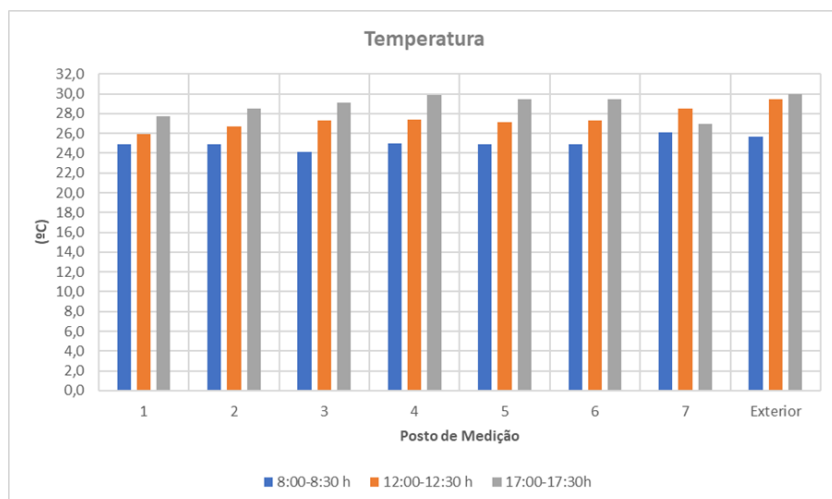


Figura 40 - Temperaturas registadas no dia 31 de maio para os vários postos de medição, nos 3 períodos do dia selecionados.

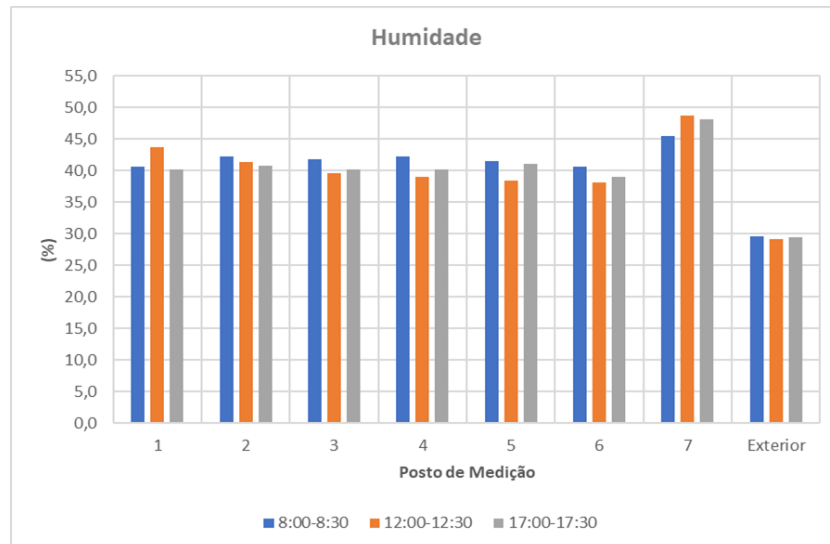


Figura 41 - Valores de humidade registados no dia 29 de maio para os vários postos de medição, nos 3 períodos do dia selecionados.

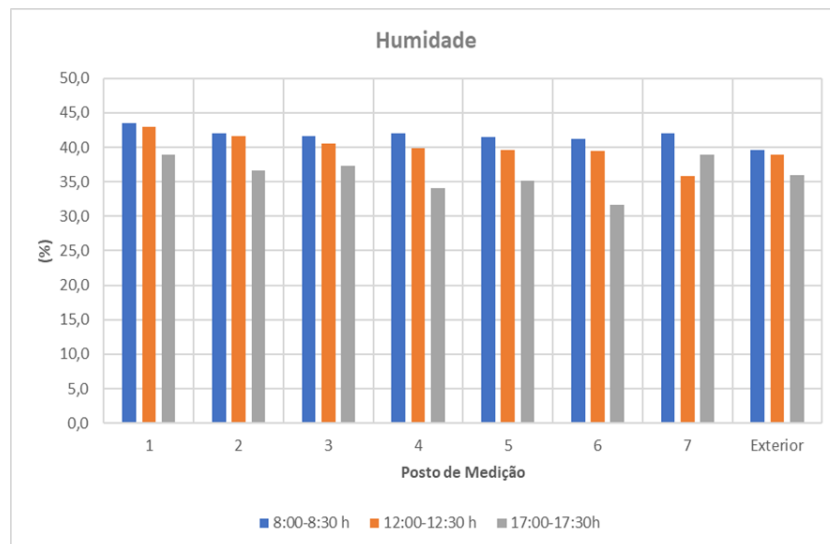


Figura 42 - Valores de humidade registados no dia 31 de maio para os vários postos de medição, nos 3 períodos do dia selecionados.

Pode constatar-se pela análise dos gráficos relativos à temperatura que esta aumenta em todos os postos de medição do armazém ao longo do dia, as variações de temperatura entre o início da manhã e o meio dia, e entre o meio dia e o fim da tarde são bastante semelhantes, verifica-se um aumento de temperatura praticamente constante. Registou-se o valor máximo de 30°C e mínimo de 21°C nos postos medidos no armazém. No piso 1 verifica-se também um aumento de temperatura ao longo do dia, sendo que os valores registados são muito próximos dos medidos no armazém.

Relativamente à humidade relativa no armazém, registaram-se algumas discrepâncias nos 2 dias em que foram efetuadas medições, no dia 29 os valores medidos ao longo do dia foram muito semelhantes, mas no dia 31 registou-se um valor de pico ao início da manhã e este veio a diminuir ao longo do dia. No piso 1 registaram-se valores de pico em diferentes momentos nos 2 dias medidos, no dia 29 o valor de pico registou-se ao meio dia e no dia 31 ao início da manhã.

Nos dias 16 e 17 do mês de julho foram recolhidos os dados relativos à estação de verão para os 7 postos de medição.

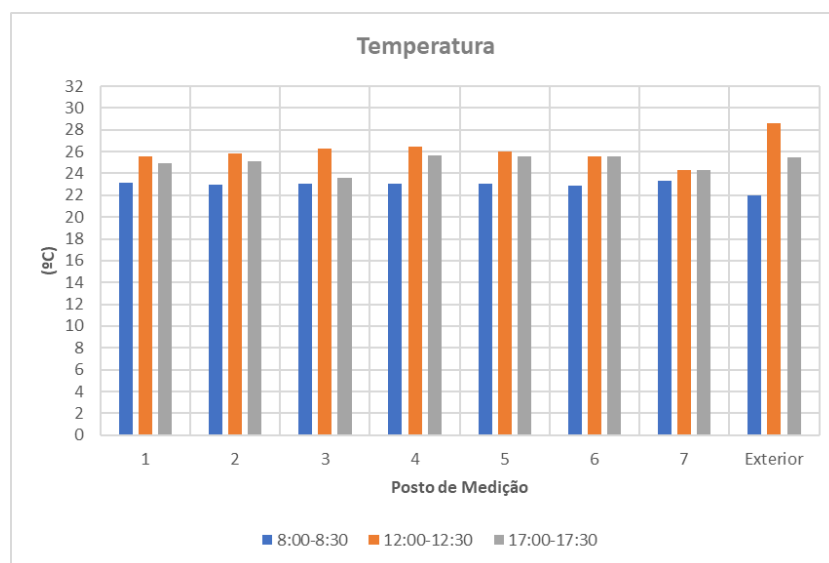


Figura 43 - Temperaturas registadas no dia 16 de julho para os vários postos de medição, nos 3 períodos do dia selecionados.

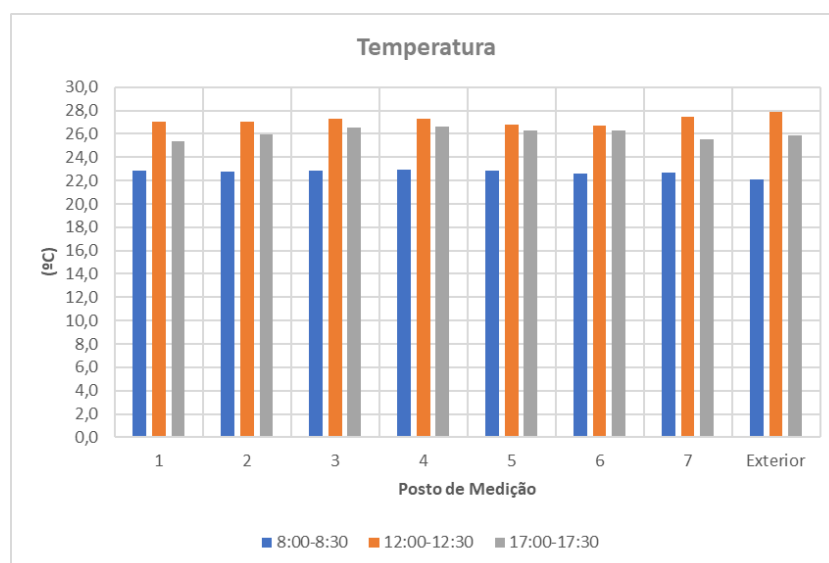


Figura 44 - Temperaturas registadas no dia 17 de julho para os vários postos de medição, nos 3 períodos do dia selecionados.

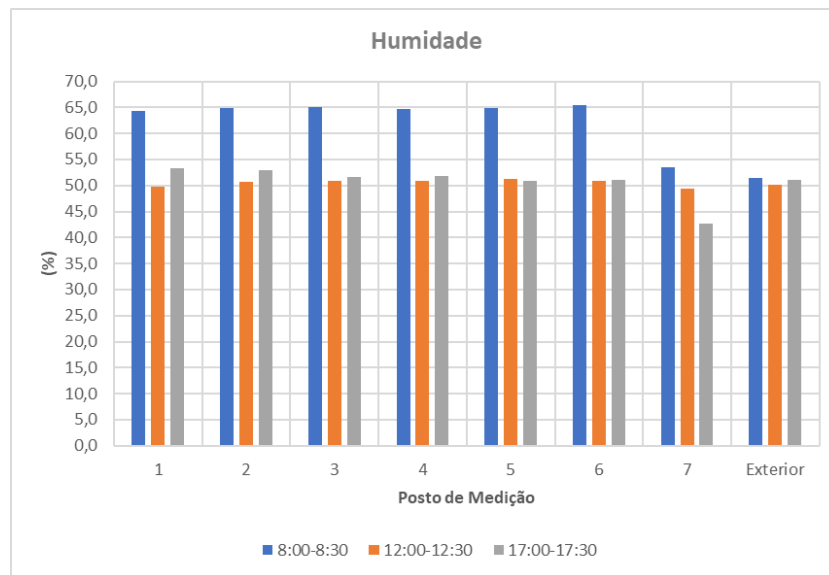


Figura 45 - Valores de humidade registados no dia 17 de julho para os vários postos de medição, nos 3 períodos do dia selecionados.

Pode constatar-se pela análise dos gráficos relativos à temperatura que existe um pico ao meio dia e que ao longo do período da tarde a temperatura baixa ligeiramente. Verificam-se variações de temperatura mais acentuadas entre o início da manhã e o meio dia do que entre o meio dia e o fim da tarde. Registou-se o valor máximo de 27°C e mínimo de 22°C nos postos medidos no armazém. No piso 1 verifica-se o mesmo comportamento do que no piso 0.

Relativamente à humidade relativa no armazém, não se registam praticamente discrepâncias nos 2 dias em que foram efetuadas medições, ao início da manhã mediuse um valor de humidade relativa elevado mas este diminui gradualmente até ao meio dia, entre o meio dia e o final da tarde não se registaram grandes variações.

De notar que os valores máximos de temperatura medidos no período de verão são mais baixos do que os medidos no período de primavera, isto deve-se ao facto de na semana em que foram realizadas as medições de verão não se registarem picos de temperatura, e no período em que foram realizadas as de primavera Portugal estava sujeito a uma vaga de calor.

5.2 Ambiente térmico

5.2.1 Validação de parâmetros estimados pelo *software*

Para se realizar a validação dos dados estimados pelo *software*, isto é, verificar se o modelo introduzido no mesmo se aproxima ou não da realidade, foram realizadas comparações entre os valores de temperatura e humidade relativa estimados no *Design Builder* e os valores medidos na nave fabril. Foi também comparado o gasto de energia elétrica real (dado esta ser a única fonte de energia do edifício) com o obtido através de simulação. Para isto todas as propriedades e características do edifício foram projetadas no *software* e posteriormente realizadas simulações.

Para a comparação entre os parâmetros ambientais utilizaram-se os dados recolhidos no dia 29 de maio e realizou-se uma simulação para este mesmo dia.

Nas figuras 46 e 48 pode observar-se os valores obtidos para a temperatura e humidade relativa através de simulação no *software*. Os valores resultantes da medição efetuada pelo multifunções (CO₂, CO, T, HR) estão expostos nas figuras 47 e 49.

Nas tabelas 21 e 22 pode ver-se a comparação entre os valores simulados e os reais para 3 momentos do dia, tendo em consideração a incerteza do aparelho de medida KIMO AQ200, que neste caso para temperatura é $\pm 0,4\%$ da leitura $\pm 0,3^\circ\text{C}$ e para a humidade relativa é $\pm 1,8\% \text{HR}$.

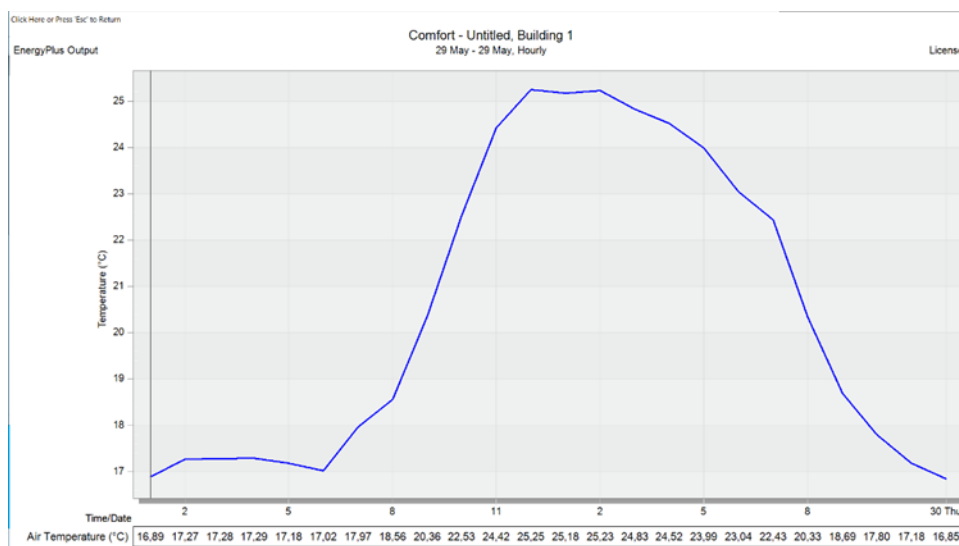


Figura 46 - Valores obtidos por simulação para a temperatura interior (°C).

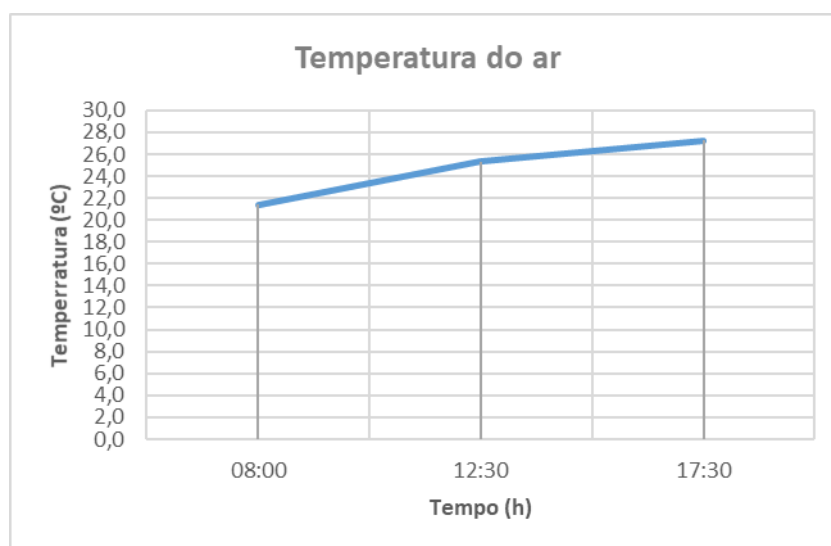


Figura 47 - Valores reais medidos para a temperatura interior (°C).

Tabela 22 - Tabela comparativa entre os valores de temperatura obtidos.

	8:00 h	12:30 h	17:30 h
Temperatura Real (°C)	21,4 ± 0,38	25,3 ± 0,40	27,3 ± 0,40
Temperatura Simulada (°C)	18,56	25,2	23,5
Diferença (%)	11	1	12

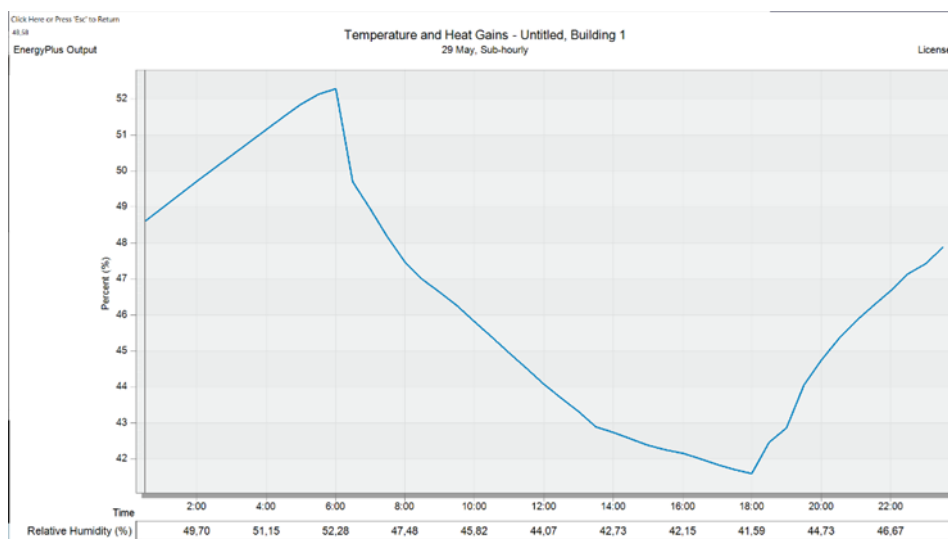


Figura 48 - Valores obtidos através da simulação para humidade relativa

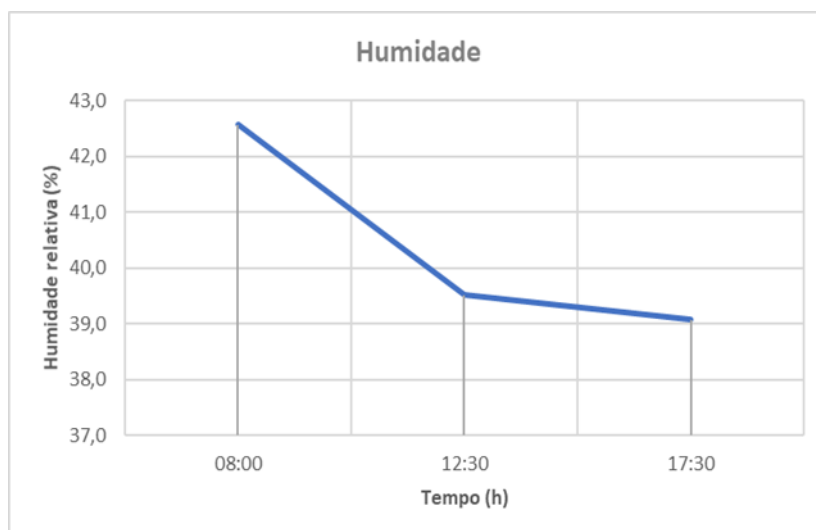


Figura 49 - Valores reais medidos para humidade relativa

Tabela 23 - Tabela comparativa entre valores de humidade relativa obtidos

	8:00 h	12:30 h	17:30 h
Humidade relativa real (%)	42,6 ± 0,77	39,5 ± 0,71	39,1 ± 0,70
Humidade relativa simulada (%)	47,48	43,7	41,6
Diferença (%)	8	7	4

Verifica-se que os valores de temperatura obtidos pelo *software* estão ligeiramente desfasados dos valores reais, embora esta discrepância não seja muito significativa. Relativamente aos valores de humidade relativa obtidos no *design builder* estes são próximos dos valores medidos na nave fabril. Se se considerar uma discrepância aceitável de 10% pode validar-se os resultados do *software*, dado que apenas se registam ligeiros desfasamentos acima deste valor.

Por outro lado, realizou-se também a comparação entre o gasto energético real, recolhido na fatura correspondente ao período de 16 março a 15 de abril, e o valor obtido por simulação para este mesmo período. Na tabela 23 é possível visualizar os valores obtidos através da simulação, o *software* não só indica o consumo elétrico total estimado, como faz distinção do consumo associado à iluminação e aos equipamentos. Por sua vez na tabela 24 estão discriminados os valores reais retirados da fatura correspondente ao período considerado, figura 50.

Tabela 24 - Valores simulados pelo *software*.

Eletricidade (kWh)	
Equipamento	347,2
Iluminação	3570,6
Total	3917,8

Tabela 25 - Valores reais de consumo de eletricidade para período de 16 março a 15 de abril.

Eletricidade (kWh)	
Ativa em horas de ponta	822
Ativa em horas cheiras	2659
Ativas em horas de vazio normais	152
Ativas em horas de super vazio	86
Total	3719

CLIENTE		DADOS DO PAGAMENTO POR BANCO:	
OTA - ORG. TECNICA DE ABRASIVOS, LDA			
MORADA: RUA ANTÓNIO SILVA MARINHO 157 - 4100-064			
PORTO (PORTO)			
NIF: 500208859			
NUMERO DA FATURA:	DATA DE EMISSAO:	FORMA DE PAGAMENTO:	DJ
05 1901/00123073	2019-05-14	NÃO DOMICILIADO	
SERVIÇOS / RUBRICAS	PERÍODO	UNIDADE/BASE	
SERVIÇOS EM RUA ANTÓNIO SILVA MARINHO 157 - 4100-064 PORTO (PORTO)			
Elettricidade e Serviços 1344555			
Ativa em horas ponta	16-03-2019 / 31-03-2019	344 kWh	
	01-04-2019 / 15-04-2019	478 kWh	
Ativa em horas chelas	16-03-2019 / 31-03-2019	1.255 kWh	
	01-04-2019 / 15-04-2019	1.404 kWh	
Ativa em horas de vazio normal	16-03-2019 / 31-03-2019	78 kWh	
	01-04-2019 / 15-04-2019	74 kWh	
Ativa em horas de super vazio	16-03-2019 / 31-03-2019	48 kWh	
	01-04-2019 / 15-04-2019	38 kWh	
Reativa Fornecida Vazio	16-03-2019 / 31-03-2019	19 kVArh	
	01-04-2019 / 15-04-2019	17 kVArh	
Reativa Consumida Fora Vazio (Escalão 1)	16-03-2019 / 31-03-2019	180 kVArh	
	01-04-2019 / 15-04-2019	168 kVArh	
Reativa Consumida Fora Vazio (Escalão 2)	16-03-2019 / 31-03-2019	180 kVArh	

Figura 50 - Extrato da fatura de eletricidade para período de 16 março a 15 de abril

Tabela 26 - Consumo elétrico (kWh) para o edifício no estado atual no período de 16 março a 15 de abril.

	Valor Real (kWh)	Valor Simulado (kWh)	Diferença (%)
Gasto de Eletricidade	3719	3917,8	5

Mais uma vez é possível concluir que os valores obtidos por simulação são muito próximos dos valores reais, tabela 25.

Dada a proximidade de valores obtidos pela comparação dos parâmetros acima indicados pode concluir-se que o modelo de simulação dinâmica se aproxima bastante da realidade.

5.2.2 Simulação e análise anual da temperatura registada no edifício

Uma vez que um dos objetivos desta dissertação é expor e alertar para os picos de temperatura que se fazem sentir no interior da nave fabril, será realizada uma análise das temperaturas sentidas ao longo de todo o ano através de simulação no *software Design Builder*.

Para isto realizou-se uma simulação para um dia típico de cada mês, onde se pode verificar a evolução da temperatura ao longo do dia. Será realizada a análise em 3 pontos diferentes, considerando os meses mais críticos de inverno, os mais críticos de verão e os meses onde não se registam picos de temperatura, ou seja, temperaturas muito elevadas ou temperaturas muito baixas.

Para a realização deste estudo considerou-se uma temperatura máxima e mínima aceitável, respetivamente 26°C e 16°C. Para a determinação destas temperaturas os

funcionários foram inquiridos sobre qual a temperatura máxima e mínima em que realizariam as suas tarefas minimamente confortáveis a nível térmico. Para os funcionários é fácil saber quais as temperaturas na nave fabril pois existem pelo menos 3 aparelhos de medição de temperatura e humidade relativa distribuídos pela nave fabril, o que permite aos trabalhadores ter uma pequena noção das temperaturas sentidas ao longo dos dias e das estações do ano.

Numa primeira fase serão analisados os meses não críticos, ou seja, março, abril, maio e outubro. Na figura 51 podemos verificar a verde a temperatura máxima aceitável e a vermelho a mínima.

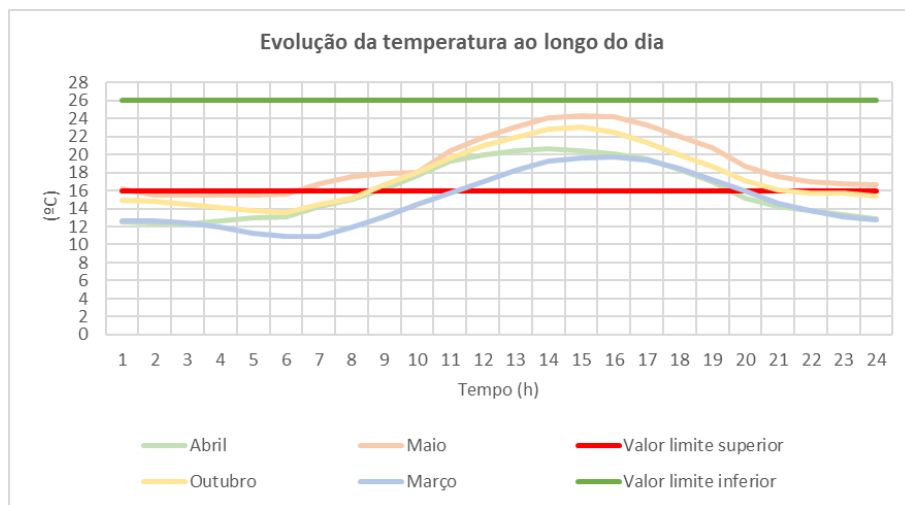


Figura 51 - Variação da temperatura ao longo do dia para os meses não críticos.

Pela análise do gráfico e considerando o horário de trabalho (entre as 8:00 h e as 17:30 h), pode concluir-se que apenas no mês de março seria necessário climatizar o armazém, e só no período da manhã. Nos restantes meses as temperaturas para o horário de trabalho estão entre o valor máximo e mínimo aceitável.

Para os meses críticos de inverno, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro pode observar-se a evolução das temperaturas na figura 52.

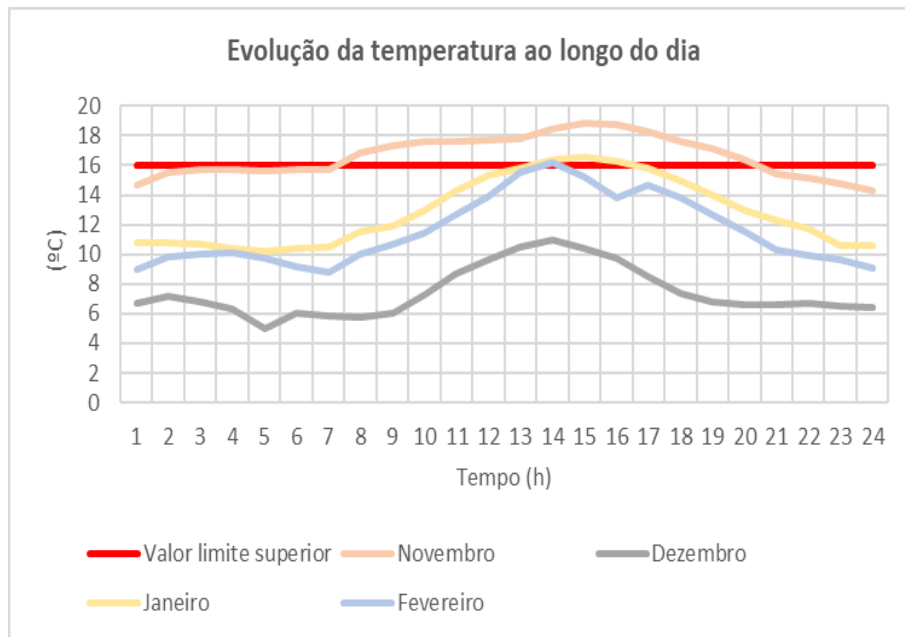


Figura 52 - Variação da temperatura ao longo do dia para os meses críticos de inverno.

Mais uma vez, e tendo em consideração o período de trabalho pode aferir-se que não é necessário climatizar os espaços no mês de novembro. Para os restantes meses, e como seria de esperar, as temperaturas estão abaixo do limite aceitável. Para os meses de fevereiro e janeiro as temperaturas estão próximas do limite, o que permite concluir que não seria necessária uma grande quantidade de energia para atingir o valor aceitável. No mês de dezembro registam-se temperaturas substancialmente baixas.

Por fim os meses críticos de verão, junho, julho, agosto e setembro.

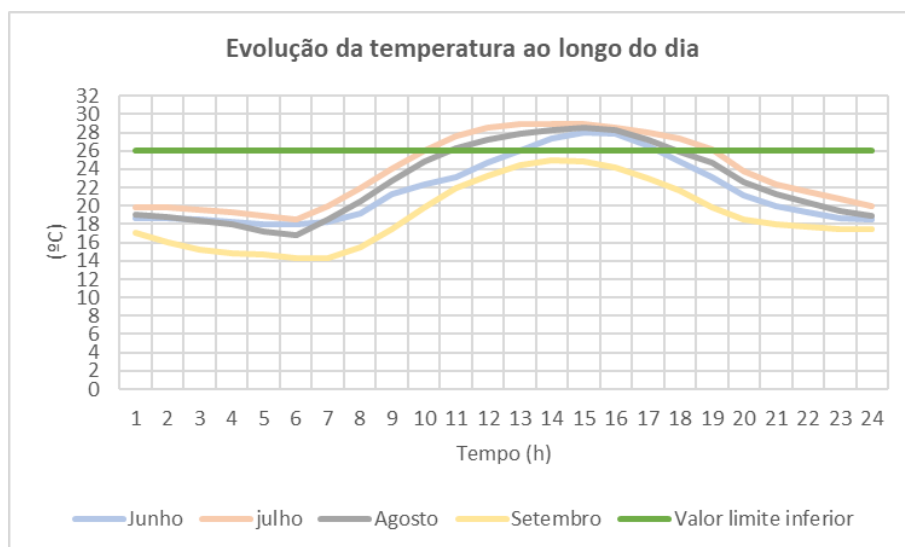


Figura 53 - Variação da temperatura ao longo do dia para os meses críticos de verão.

Pela observação da figura 53 é possível verificar que no mês de setembro não é necessário impor medidas para que as temperaturas estejam dentro dos limites. Em junho as temperaturas no período da tarde afastam-se do aceitável. Os meses de julho e agosto são os mais críticos, o que leva a que seja necessário implementar medidas.

Por fim pode concluir-se que para se atingirem temperaturas aceitáveis apenas seria necessário climatizar o edifício durante 5 meses críticos do ano, julho, agosto, dezembro, janeiro e fevereiro. Por outro lado, as temperaturas máximas e mínimas sentidas nestes meses não se afastam muito dos valores definidos como aceitáveis, o que permite aferir que o gasto de energia para se poder trabalhar em condições razoáveis não seria um valor extremamente elevado. Claro que dimensionar um sistema de climatização para se trabalhar em condições razoáveis não é o mais correto, e por isso posteriormente serão realizadas simulações com os parâmetros ambientais bem definidos para que se possa operar na nave fabril em condições de conforto térmico ideais.

5.2.2.1 Soluções/recomendações

Para a resolução dos picos de temperatura registados no tópico anterior poderão ser tidas em conta essencialmente as seguintes abordagens:

- Instalação de sistemas de aquecimento e arrefecimento adequados e bem dimensionados, de modo a garantir temperaturas de *set-point* constantes, como será simulado posteriormente nesta dissertação;
- Instalação de sistemas de aquecimento e arrefecimento *low-cost* e subdimensionados, isto porque provavelmente seriam uma solução para garantir a temperatura mínima e máxima aceitável definida no ponto anterior;
- Instalação de sistemas de ventilação e exaustão;
- Melhoramento do isolamento térmico da nave fabril, através do revestimento do telhado e das paredes exteriores, simulado posteriormente nesta dissertação;
- Uso de vestuário de trabalho adequado, posteriormente serão demonstrados quais os elementos e as ferramentas necessárias para um correto dimensionamento deste parâmetro.

5.2.3 Simulação das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento ambiente

O *Design Builder* permite dimensionar a potência ideal a instalar em qualquer edifício, de modo a satisfazer as necessidades de aquecimento e arrefecimento existentes, de acordo com os *set-points* estabelecidos para as condições de funcionamento normal do edifício.

5.2.3.1 Carga térmica de aquecimento ambiente

Para a determinação da carga térmica de aquecimento definiu-se uma temperatura de *set-point* de 20°C, e que não existiria qualquer tipo de equipamento a realizar ventilação e controlo de humidade relativa.

Como foi referido no capítulo 2 o valor da carga térmica de aquecimento de um determinado edifício resulta do somatório das perdas de calor pela envolvente e pela ventilação e/ou infiltração. Na figura 54 pode observar-se um esquema representativo dos diferentes componentes que contribuem para a carga térmica de aquecimento, na tabela 26 podem ser consultados os respetivos valores para estas variáveis.

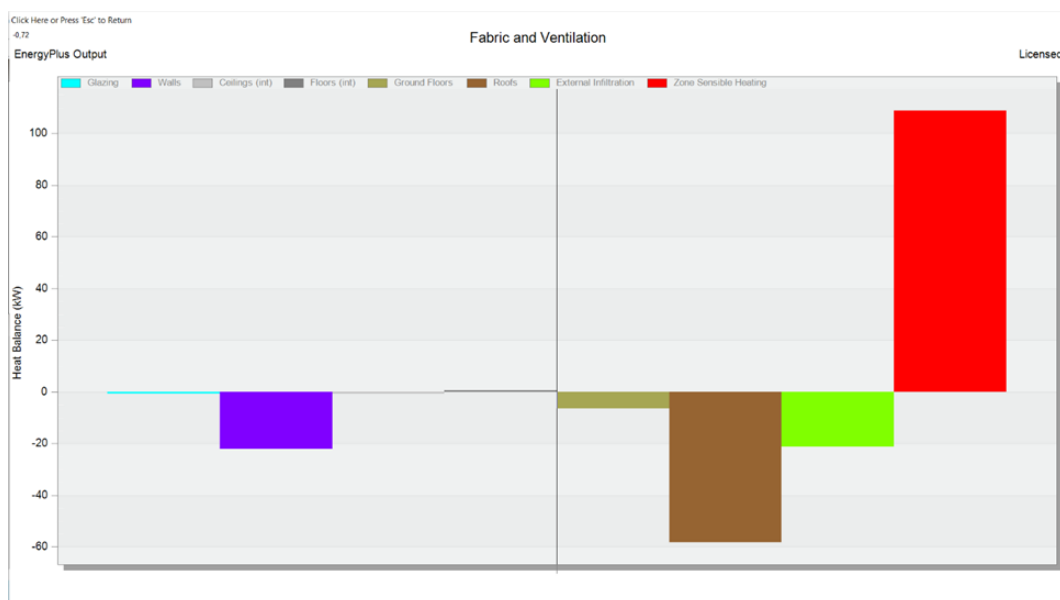


Figura 54 - Transferência de energia de todo o edifício.

Tabela 27 - Valores de transferência de energia de todo o edifício.

	Perdas de calor [kW]
Envidraçados	-0,72
Paredes	-22,14
Tetos	-0,70
Pisos internos	0,70
Pisos térreos	-6,51
Infiltração Externa	-21,27
Cobertura	-58,32
Carga Térmica de Aquecimento	108,97

Pode concluir-se que existe perda de calor por toda a envolvente do edifício. As maiores perdas de energia devem-se à cobertura e às paredes do edifício. Na barra a vermelho é possível verificar a carga térmica para aquecimento, cerca de 108,97 kW.

5.2.3.2 Carga térmica de arrefecimento ambiente

A carga térmica total de arrefecimento de um espaço/edifício é resultado da soma das cargas térmicas sensível e latente, para a determinação desta definiu-se uma temperatura de *set-point* de 24°C, e que não existiria qualquer tipo de equipamento para realizar o controlo de humidade e a ventilação. Definiu-se também que só seria necessário climatizar o edifício durante o horário de trabalho (8:00 h às 17:30 h), pois não faz sentido estar o sistema ligado fora deste horário, uma vez que ninguém se encontra dentro do edifício. Nas figuras 55,56,57 e 58 é possível visualizar a carga térmica de arrefecimento num dia típico do mês de junho, julho, agosto e setembro respetivamente.

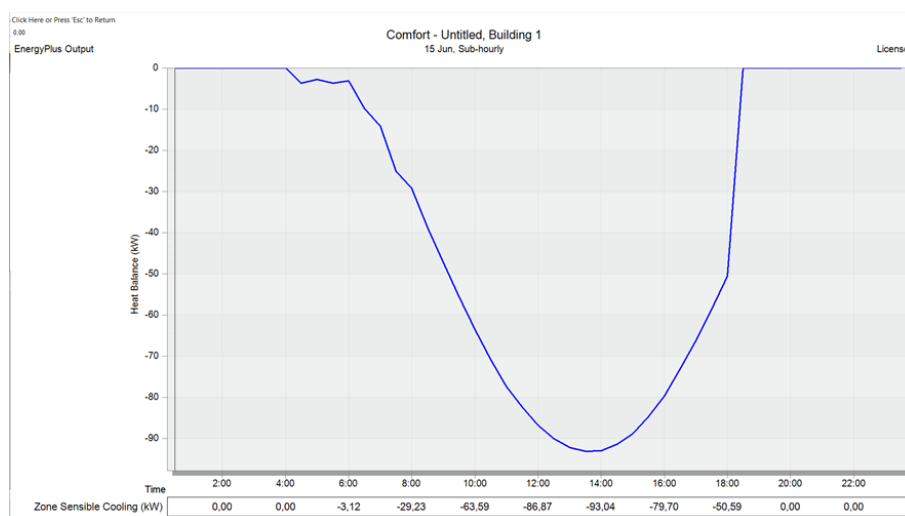


Figura 55 - Carga térmica de arrefecimento para um dia típico do mês de junho.

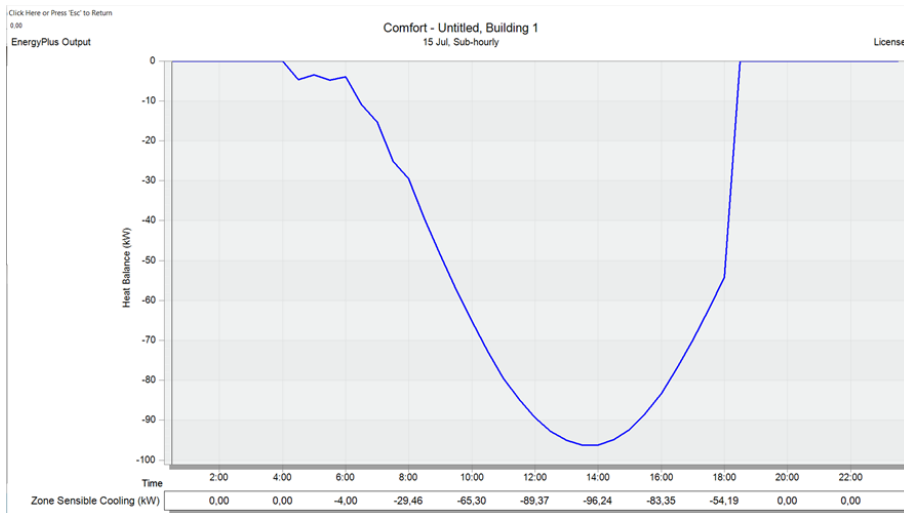


Figura 56 - Carga térmica de arrefecimento para um dia típico do mês de julho.

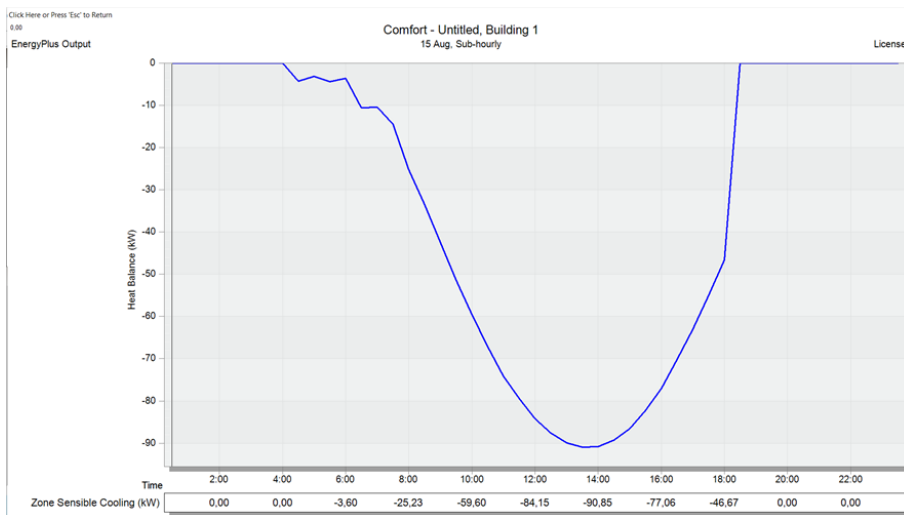


Figura 57 - Carga térmica de arrefecimento para um dia típico do mês de agosto.

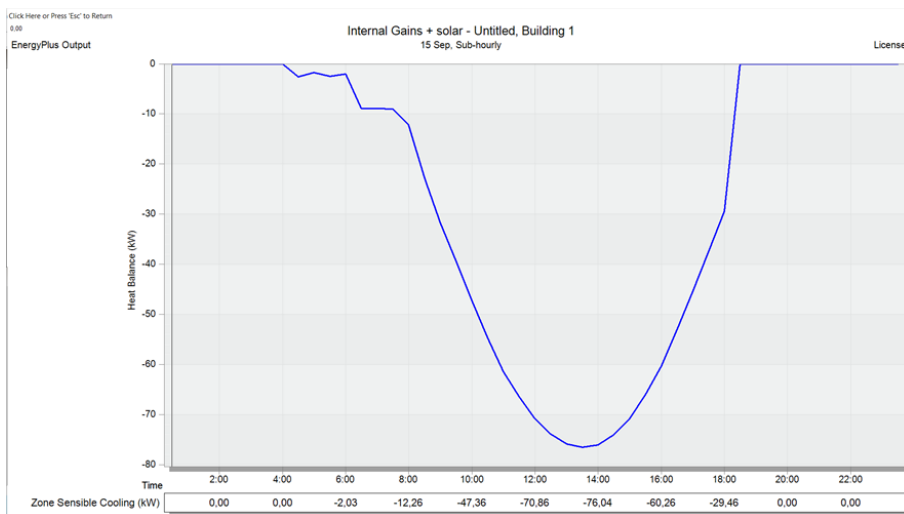


Figura 58 - Carga térmica de arrefecimento para um dia típico do mês de setembro.

Na figura 59 é possível visualizar um gráfico comparativo das cargas térmicas expostas anteriormente nas figuras 55,56,57 e 58.

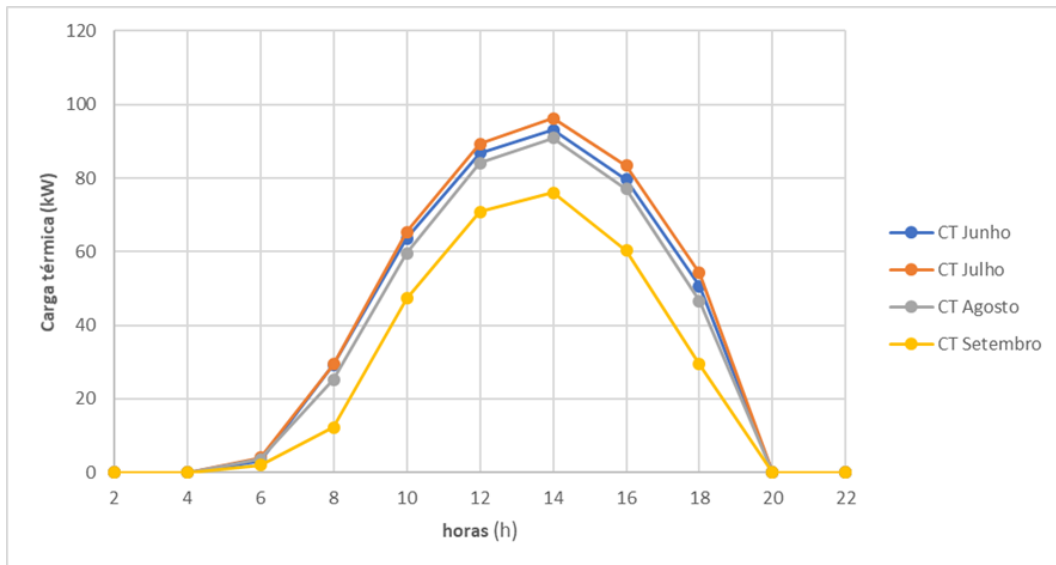


Figura 59 - Gráfico comparativo das cargas de arrefecimento para os meses mais críticos.

Pode constatar-se pela análise da figura 60 que os valores mais elevados se registam no mês de julho e os mais baixos no mês de setembro. O valor de pico (96,24 kW) para a carga térmica de arrefecimento regista-se às 14 h do mês de julho.

5.2.4 Diagnóstico elétrico considerando a climatização do edifício

Neste Capítulo será apresentado o diagnóstico elétrico realizado através do *software* de simulação dinâmica *Design Builder* para o edifício no seu estado atual, mas considerando uma solução de climatização típica para este tipo de edifícios e para as condições climáticas de Portugal. Todas as propriedades e características do edifício foram projetadas no *software*, posteriormente realizaram-se simulações energéticas anuais. O objetivo principal será determinação dos consumos globais elétricos, de aquecimento e arrefecimento. Para este diagnóstico foram tidas as mesmas considerações aquando da determinação das cargas térmicas, ou seja, considerou-se que para aquecimento e arrefecimento a temperatura de *set-point* no horário de trabalho (8:00 h e 17:30 h) seria respetivamente, 20°C e 24°C. Não se definiu condições de humidificação e desumidificação, nem a utilização de um equipamento de ventilação mecânica. Considerou-se também que todos os espaços seriam climatizados. Na figura 60 é possível ver as propriedades definidas para o sistema de climatização padrão.

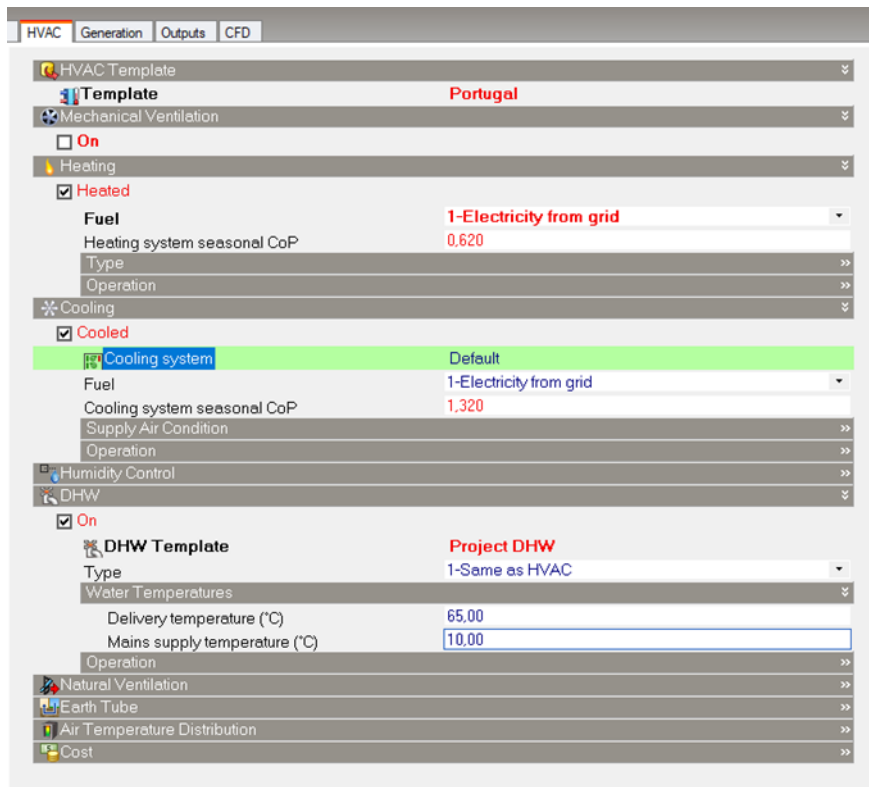


Figura 60 - Propriedades definidas para o sistema de climatização padrão.

5.2.4.1 Consumo elétrico global

O valor correspondente ao consumo elétrico global estimado é 192035,6 kWh/ano, este valor representa uma simulação dinâmica para o período de um ano e para o edifício no seu estado atual.

Relativamente aos consumos elétricos específicos para aquecimento e arrefecimento foram obtidos os valores presentes na tabela 27.

Tabela 28 - Consumo elétrico de aquecimento, arrefecimento e outros consumos elétricos.

	Energia Total [kWh/ano]	Necessidades Globais (%)
Consumo elétrico de aquecimento	108172,6	56,3
Consumo elétrico de arrefecimento	35031,3	18,2
Outros consumos elétricos (Iluminação+Equipamentos)	48831,7	25,4
Total	192035,6	100

Observando a tabela 27 verifica-se que aproximadamente 75% dos consumos elétricos globais do edifício dizem respeito a necessidades de aquecimento e arrefecimento. Como seria de esperar as outras necessidades como a iluminação e os equipamentos não têm um peso tão elevado, embora bastante significativo.

5.2.4.2 Ganhos térmicos internos

A figura 61 representa os ganhos internos do edifício, os valores obtidos são resultado da simulação dinâmica para o edifício no seu estado atual e no período de um ano.

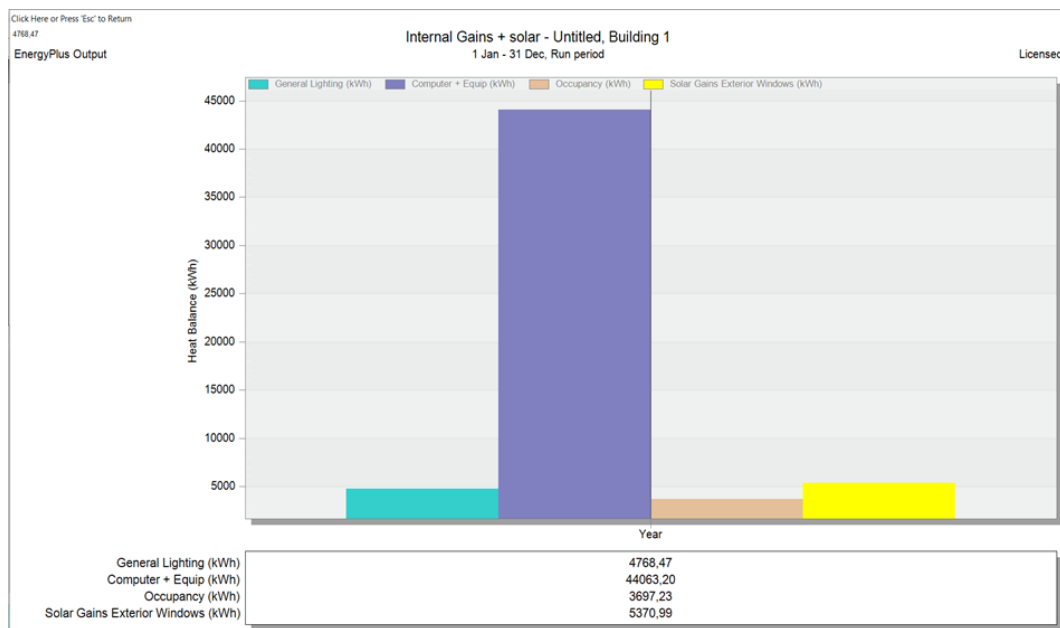


Figura 61- Gráfico representativos dos ganhos térmicos internos

Pode verificar-se pela análise da figura 61 que os equipamentos são responsáveis pela maior parte dos ganhos térmicos internos do edifício. A iluminação, a ocupação e os ganhos solares através dos envidraçados tem um contributo muito reduzido quando comparado com o dos equipamentos.

5.3 Medidas para reabilitação energética do edifício

Neste ponto serão aplicadas algumas das medidas de reabilitação enunciadas no capítulo 2, consecutivamente serão realizadas simulações no *software* com o objetivo de determinar se estas medidas trarão ou não vantagens energéticas para o edifício em estudo. Esta análise será realizada através da análise do consumo elétrico.

5.3.1 Isolamento térmico da envolvente opaca

O isolamento das paredes exteriores pode ser realizado através de 3 tipos de aplicações diferentes, através de isolamento térmico pelo exterior, pelo interior ou na caixa de ar de paredes duplas. O edifício em questão não possui paredes duplas, logo a aplicação de isolamento na caixa de ar está fora de questão, por outro lado, dado ser um edifício germinado, na maior parte das paredes exteriores não é possível realizar isolamento pelo exterior, assim sendo a única hipótese será realizar o isolamento pelo interior.

Tal como foi referenciado no capítulo 2 a melhor solução para se realizar o isolamento interior é a aplicação de painéis isolantes pré-fabricados ou a aplicação de uma contra fachada (pano de alvenaria) no lado interior da parede.

Neste trabalho será realizado o estudo para a aplicação de um pano de alvenaria leve, idêntico ao esquema apresentado na figura 62. Optou-se por esta solução uma vez que se trata de um edifício industrial, onde se exige que os materiais utilizados sejam resistentes para que não se danifiquem caso sejam sujeitos a impactos fortes.

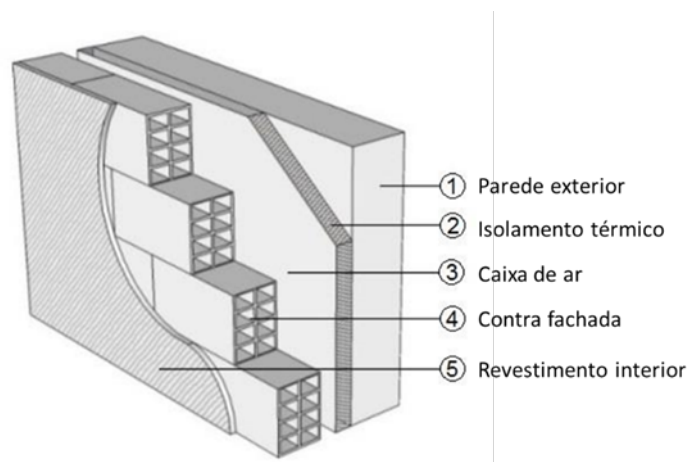
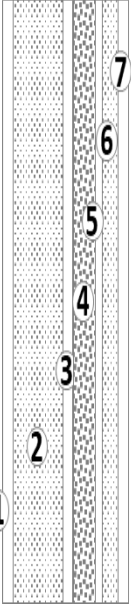


Figura 62 - Solução de contra fachada interior em pano de alvenaria.

Deste modo, foram alteradas as características construtivas das paredes exteriores para as representadas na figura 63.



Parede Exterior (Piso 0 e 1)	Espessura e (m)	Condutibilidade λ (W/m°C)	Resistência Térmica R (m ² °C/W)	Densidade ρ (kg/m ³)
			0,040	
1 Revs. exterior (reboco)	0,020	0,720	0,028	1760
2 Pano de alvenaria (bloco)	0,200	0,850	0,235	1650
3 Revs. interior (reboco)	0,020	0,720	0,028	1760
4 Isol. térmico EPS	X	0,040	R	45
5 Caixa de ar	0,015		0,170	
6 Pano de alvenaria (tijolo)	0,070	0,300	0,233	1000
7 Revs. interior (reboco)	0,020	0,720	0,028	1760
			0,130	
Espeçura Total (m)	Y			
Requisitos mínimos exigidos – U_{max} (W/m ² °C)			0,700	

Figura 63 - Pormenor e características das paredes exteriores com isolamento.

Com o objetivo de avaliar o impacto desta medida com diferentes espessuras de isolamento térmico, realizou-se a análise tendo em consideração duas situações diferentes.

A tabela 28 apresenta as diferentes espessuras de poliestireno expandido utilizadas no estudo, é também possível observar os valores da resistência térmica (m²°C/W) e do coeficiente de transmissão térmica U (W/m²°C).

Tabela 29 - Características das diferentes simulações.

Simulações	Poliestireno expandido	
	40 mm	60 mm
Espessura EPS (m)	0,040	0,060
Espessura total (m)	0,385	0,405
Resistência térmica total (m ² °C/W)	1,892	2,392
Coeficiente de transmissão térmica (W/m ² °C)	0,528	0,418
Cumpra ou não cumpra requisitos mínimos exigidos	✓	✓

Nas tabelas 29 e 30 estão apresentados os resultados referentes às simulações acima indicadas, nas quais se podem consultar os valores referentes aos consumos elétricos após a reabilitação do edifício.

Tabela 30 - Variação das necessidades energéticas após intervenção nas paredes exteriores com isolamento de 40mm.

	Poliestireno expandido 40 mm [kWh/ano]	Diferença face ao estado atual (%)
Consumo elétrico de Aquec. + Arref.	136710,1	-4,5
Outros consumos elétricos (Iluminação+Equipamentos)	48831,7	-
Total	185541,8	-3,4

Tabela 31 - Variação das necessidades energéticas após intervenção nas paredes exteriores com isolamento de 60mm.

	Poliestireno expandido 60 mm [kWh/ano]	Diferença face ao estado atual (%)
Consumo elétrico de Aquec. + Arref.	136091,2	-5,0
Outros consumos elétricos (Iluminação+Equipamentos)	48831,7	-
Total	184922,9	-3,7

Como é possível constatar pela análise das tabelas 29 e 30, a aplicação de isolamento nas paredes exteriores é uma mais valia para o edifício, constitui uma redução que pode chegar aos 5,0% nas necessidades de aquecimento e arrefecimento com o isolamento mais espesso, e que se traduz numa redução das necessidades globais de aproximadamente 3,7%. Pode concluir-se que quanto maior a espessura do isolamento menores serão as necessidades energéticas.

5.3.2 Isolamento térmico na cobertura

A cobertura inclinada do edifício é composta por placas de fibrocimento sem amianto, trata-se de uma estrutura metálica com uma cobertura inclinada. Dada a inexistência de esteira horizontal o isolamento apenas pode ser realizado nas vertentes.

Uma vez que as placas de fibrocimento já se encontram bastante danificadas, a solução seria a substituição destas por painéis isotérmicos (painéis *sandwich*), figura 64. Este tipo de painel já possui isolamento incluído em poliuretano ou lã de rocha. A aplicação

deste tipo de material tem inúmeras vantagens, nomeadamente o excelente isolamento térmico, facilidade e rapidez de aplicação, perfeita continuidade do isolamento e durabilidade.

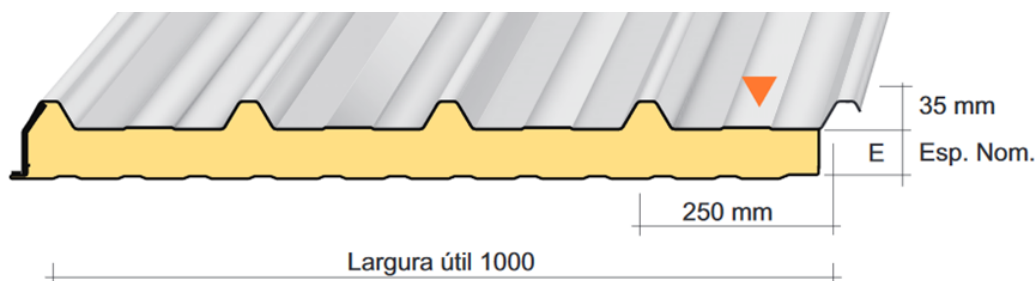


Figura 64 - Características da placa isotérmica.

Tabela 32 - Características das placas isotérmicas.

Cobertura	Espessura e (m)	Condutibilidade λ (W/m°C)	Resistência Térmica R (m ² °C/W)	Densidade ρ (Kg/m ³)
Placa de zinco	0,0005	110	4,545E-06	7200
Placa isotérmica (poliuretano)	X	0,037	R	50
Placa de zinco	0,0004	110	4,636E-06	7200
Espessura Total (m)	Y			
Requisitos mínimos exigidos – U_{max} (W/m ² °C)			0,500	

Para avaliar o impacto desta medida, tabela 31, considerou-se a utilização de 2 duas espessuras diferentes para a espuma rígida de poliuretano. A espessura de 40 mm pois é a mais frequentemente colocada em edifícios deste tipo, e a espessura de 80 mm pois é a espessura que cumpre os requisitos mínimos para um edifício novo de comércio e serviços. Na tabela 32 é possível consultar as propriedades associadas aos dois casos considerados.

Tabela 33 - Características das diferentes simulações para o painel isotérmico.

Simulações	Espuma rígida de poliuretano 40 mm	Espuma rígida de poliuretano 80 mm
Espessura da espuma (m)	0,04	0,08
Espessura total (m)	0,041	0,081
Resistência térmica total ($m^2\text{C}/W$)	1,221	2,302
Coefficiente de transmissão térmica ($W/m^2\text{C}$)	0,819	0,434
Cumprir ou não cumprir requisitos mínimos exigidos	X	✓

Nas tabelas 33 e 34 estão apresentados os resultados referentes às simulações acima indicadas, na qual se podem consultar os valores referentes às necessidades energéticas após a reabilitação do edifício.

Tabela 34 - Variação das necessidades energéticas após intervenção na cobertura (40mm).

	Espuma rígida de poliuretano 40 mm [kWh/ano]	Diferença face ao estado atual (%)
Consumo elétrico de Aquec. + Arref.	96501,3	32,6
Outros consumos elétricos (Iluminação+Equipamentos)	48394,77	-
Total	145333,0	-24,3

Tabela 35 - Variação das necessidades energéticas após intervenção na cobertura (80mm).

	Espuma rígida de poliuretano 80 mm [kWh/ano]	Diferença face ao estado atual (%)
Consumo elétrico de Aquec. + Arref.	93830,7	-34,5
Outros consumos elétricos (Iluminação+Equipamentos)	48394,77	-
Total	142662,4	-25,7

Pela observação das tabelas 33 e 34 é possível concluir que a reabilitação do edifício através da aplicação de painéis isotérmicos na cobertura, leva a reduções até 34,5% nas necessidades de aquecimento e arrefecimento. Estas alterações resultam numa diminuição dos gastos energéticos globais de cerca de 25%. A redução energética provocada por esta medida é muito superior à provocada pela medida anterior, o que

significa que optar por esta medida será à partida mais vantajoso, a menos que o custo de implementação seja extremamente elevado.

5.3.3 Vãos envidraçados

Uma vez que a área de envidraçados é reduzida e que os ganhos solares partir dos mesmos são pouco significativos, não se considerou viável a realização de estudos com intuito de melhorar estes elementos.

5.3.4 Combinação das medidas de reabilitação propostas

Neste ponto serão combinadas as medidas de reabilitação propostas anteriormente, ou seja, o isolamento das paredes exteriores e a substituição das placas de fibrocimento por painéis *sandwich*. Para isto serão realizadas combinações de medidas com o intuito de avaliar o impacto da sua aplicação em simultâneo.

Assim sendo serão analisadas 4 simulações, para melhor se distinguirem serão utilizadas as seguintes abreviaturas:

- CPS40- cobertura em painel sandwich com espuma rígida de 40 mm;
- CPS80- cobertura em painel sandwich com espuma rígida de 80 mm;
- PE40- Parede exterior com isolamento em poliestireno expandido de 40 mm;
- PE60- Parede exterior com isolamento em poliestireno expandido de 60 mm.

Na figura 65 estão expostas as várias combinações possíveis.

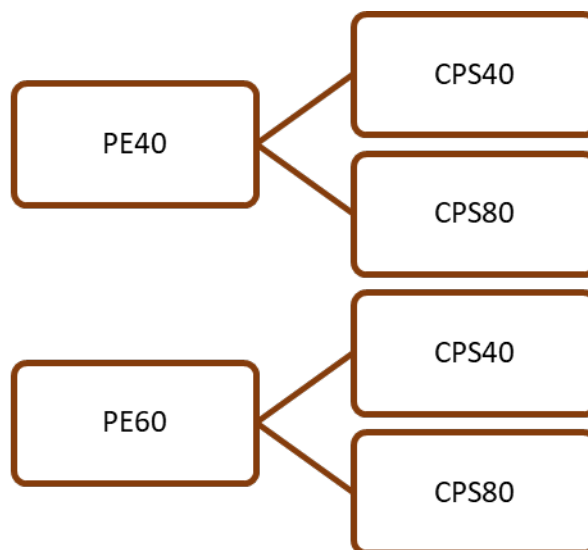


Figura 65 - Combinações entre as várias medidas de reabilitação.

Nas tabelas 35 e 36 podem consultar-se os resultados referentes às simulações combinando PE40 e PE60, respetivamente, com as duas soluções de reabilitação da cobertura.

Tabela 36 - Variação das necessidades energéticas, combinações possíveis com PE40.

	PE40+CPS40	Diferença face ao estado atual (%)	PE40+CPS80	Diferença face ao estado atual (%)
Consumo elétrico de Aquec.+Arref. [kWh/ano]	84675,2	-40,9	81639,6	-43,0
Outros consumos elétricos (Iluminação+Equipamentos) [kWh/ano]	48831,7	-	48831,7	-
Total [kWh/ano]	133506,9	-30,5	130471,3	-32,1

Tabela 37 - Variação das necessidades energéticas, combinações possíveis com PE60.

	PE60+CPS40	Diferença face ao estado atual (%)	PE60+CPS80	Diferença face ao estado atual (%)
Consumo elétrico de Aquec.+Arref. [kWh/ano]	64829,9	-41,4	62530,5	-43,6
Outros consumos elétricos (Iluminação+Equipamentos) [kWh/ano]	48831,7	-	48831,7	-
Total [kWh/ano]	132685,0	-30,9	129638,3	-32,5

De acordo com os valores expostos na tabela 35 e 36 pode concluir-se que a combinação de medidas que permite uma maior redução no gasto energético do edifício é PE60+CPS80, como seria de esperar. Esta medida leva a uma redução de cerca de 43,6% nas necessidades de aquecimento e arrefecimento e cerca de 32,5% nas necessidades globais do edifício.

5.3.5 Análise económica

Neste ponto será realizada a análise económica para as alterações propostas no ponto anterior. Realizar-se-á uma análise cuidada da relação custo/benefício para cada uma das intervenções.

5.3.5.1 Custo do investimento

Realizou-se um estudo de mercado a fim de se determinar o custo das soluções de reabilitação. Na tabela 37 pode consultar-se o custo estimado por m² para as soluções de reabilitação das paredes exteriores e da cobertura. Os valores presentes na tabela têm em consideração o custo da mão de obra e o imposto sobre o valor agregado (IVA).

Tabela 38 - Custo/m² para cada medida de reabilitação.

Designação	Custo (€/m ²)
Paredes exteriores	
Isolamento em poliestireno expandido de 40mm	16,59
Isolamento em poliestireno expandido de 60mm	19,76
Cobertura	
Painel sandwich com espuma rígida de 80mm	24,60
Painel sandwich com espuma rígida de 80mm	34,85

Na tabela 38 será apresentado o custo da implementação de cada medida de reabilitação, para isso teve-se em consideração as seguintes áreas para as paredes exteriores e cobertura, respetivamente 774,3 m² e 650,3 m².

Tabela 39 - Custo associado à aplicação das várias medidas propostas.

	Consumo elétrico anual [kWh/ano]	Diferença face ao estado atual (%)	Custo do investimento (€)
Estado atual	192035,6	-	-
PE40	185541,8	-3,4	12846,4
PE60	184922,9	-3,7	15304,0
CPS40	145333,0	-24,3	15997,2
CPS80	142662,4	-25,7	22662,6
PE40+ CPS40	133506,9	-30,4	28843,5
PE40+ CPS80	130471,3	-32,1	35509,0
PE60+ CPS40	132685,0	-30,9	31301,2
PE60+ CPS80	129638,3	-32,5	37966,7

Pela análise dos resultados obtidos, não considerando as combinações, pode concluir-se que as alterações ao nível da cobertura são as mais eficientes, mas também a mais dispendiosas.

Analisando as combinações e tal como seria de esperar, a medida mais eficiente é também a mais cara. Para se entender melhor a relação entre o custo do investimento e a melhoria no gasto elétrico, é necessário avaliar a variação das necessidades energéticas em termos económicos.

5.3.5.2 Custo da energia e retorno de investimento

Pela análise de uma das faturas de eletricidade da nave fabril foi possível determinar o preço médio atual de energia elétrica, ou seja, 0,1433 €/kWh. A partir deste valor foi possível aferir sobre a poupança energética associada a cada medida de reabilitação, isto claro se o preço da eletricidade permanecesse inalterado ao longo dos próximos anos.

Na tabela 39 estão expostos os valores correspondentes à poupança anual para cada uma das medidas de reabilitação, também é realizada a estimativa para saber quantos anos serão necessários para o retorno do investimento.

Tabela 40 - Poupança energética anual e retorno de investimento

	Consumo elétrico anual [kWh/ano]	Custo do investimento (€)	Poupança energética (€/ano)	Retorno do investimento (anos)
Estado atual	192035,6	-	-	
PE40	185541,8	12846,4	930,7	13,8
PE60	184922,9	15304,0	1019,4	15,0
CPS40	145333,0	15997,2	6693,7	2,4
CPS80	142662,4	22662,6	7076,5	3,2
PE40+ CPS40	133506,9	28843,5	8388,7	3,4
PE40+ CPS80	130471,3	35509,0	8823,8	4,0
PE60+ CPS40	132685,0	31301,2	8506,5	3,7
PE60+ CPS80	129638,3	37966,7	8943,2	4,2

Pode constatar-se que as alterações ao nível da envolvente opaca não são as mais vantajosas a nível económico nem a nível energético, ou seja, o investimento elevado que implicam não se traduz numa grande diminuição do consumo elétrico.

Quanto às alterações ao nível da cobertura pode aferir-se que implicam um investimento elevado, mas a poupança ao nível energético é tão significativa que em poucos anos se obtém o retorno do investimento.

Depois da realização deste estudo cabe ao responsável pelo processo de reabilitação a escolha do tipo de intervenção a realizar, mediante os seus critérios, optar pela reabilitação energeticamente mais eficiente ou economicamente mais vantajosa.

5.4 Análise de parâmetros individuais

Para a elaboração deste estudo foram também estimados os parâmetros individuais, nomeadamente, a resistência térmica do vestuário e a taxa de metabolismo, correspondente à atividade exercida pelos operários da nave fabril.

5.4.1 Taxa de Metabolismo

Para a atividade exercida pelos operários da nave fabril o valor da taxa de metabolismo considerado foi de 2,0 Met, dado que a maior parte dos trabalhos realizados não são pesados e são realizados com o auxílio de máquinas elétricas e pneumáticas (*machine work light*), como apresentado na figura 66 [9].

Activity	Metabolic Rate		
	Met Units	W/m ²	(Btu/h ft ²)
Miscellaneous Occupational Activities			
Cooking	1.6-2.0	95-115	(29-37)
House cleaning	2.0-3.4	115-200	(37-63)
Seated, heavy limb movement	2.2	130	(41)
Machine work			
sawing (table saw)	1.8	105	(33)
light (electrical industry)	2.0-2.4	115-140	(37-44)
heavy	4.0	235	(74)
Handling 50 kg (100 lb) bags	4.0	235	(74)
Pick and shovel work	4.0-4.8	235-280	(74-88)

Figura 66 – Excerto da tabela de geração de calor metabólico para diversas atividades (Anexo 6)

5.4.2 Resistência térmica do vestuário

A resistência térmica média do vestuário foi calculada tendo em consideração os elementos de fardamento fornecidos pela gerência aos operários. Assim sendo foi realizada uma listagem de todos os elementos fornecidos e posteriormente realizou-se o levantamento de todas as resistências térmicas associadas a cada peça de vestuário. Na tabela 40 pode observar-se a resistência térmica para 2 tipos diferentes de fardamento, o tipo I usado nas estações frias e o tipo II usado nas estações quentes.

Tabela 41 - Resistência térmica das peças de vestuário utilizadas pelos operários [9]

Tipo I (inverno)		Tipo II (verão)	
Peças de Vestuário	I_{cl} [Clo]	Peças de Vestuário	I_{cl} [Clo]
Roupa interior		Roupa interior	
Boxer	0,04	Boxer	0,04
Meias		Meias	
Grossas	0,05	Finas	0,02
Camisola/Pulôver		Camisola/Pulôver	
Meia-estação	0,28	Sem-Mangas	0,12
Sem-Mangas	0,12	Calçado	
Calçado		Bota	0,10
Bota	0,10	Calças	
Casaco		Meia estação	0,25
Sem-Mangas (colete)	0,30		
Calças			
Meia estação	0,25		
TOTAL	1,14	TOTAL	0,53

5.4.3 Elementos e ferramentas necessárias ao estudo

ASHRAE Standard 55 [9] especifica condições ou zonas de conforto onde 80% das pessoas sedentárias ou ligeiramente ativas se encontram num ambiente termicamente aceitável. Para se realizar esta análise pode utilizar-se uma ferramenta disponibilizada pela universidade de Berkeley, Califórnia, designada de *CBE Thermal Comfort Tool*. Tendo conhecimento da temperatura operativa, velocidade do ar, humidade relativa, taxa de metabolismo e resistência térmica do vestuário é possível saber se para determinadas condições se está ou não na zona de conforto de verão ou inverno definida por ASHRAE. Para demonstrar como pode ser realizado o estudo, no ponto seguinte será apresentado um exemplo.

5.4.4 Exemplo

Para a demonstração considerou-se os valores médios de temperatura operativa e humidade relativa simulados no *software Design Builder* para o dia 1 de maio. Como pode observar-se na figura 66.

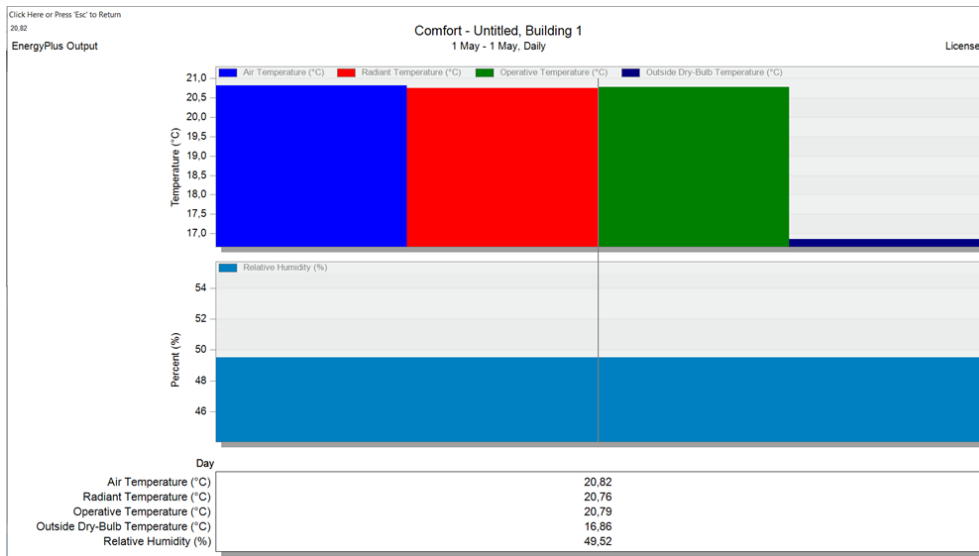


Figura 67 - Resultados do software para o dia 1 de maio

Posteriormente, recorreu-se à ferramenta *CBE Thermal Comfort Tool*⁸ onde se preencheu os campos necessários com a informação proveniente da simulação e com os valores anteriormente apresentados, na figura 67 pode visualizar-se os campos devidamente preenchidos e o resultado da simulação.

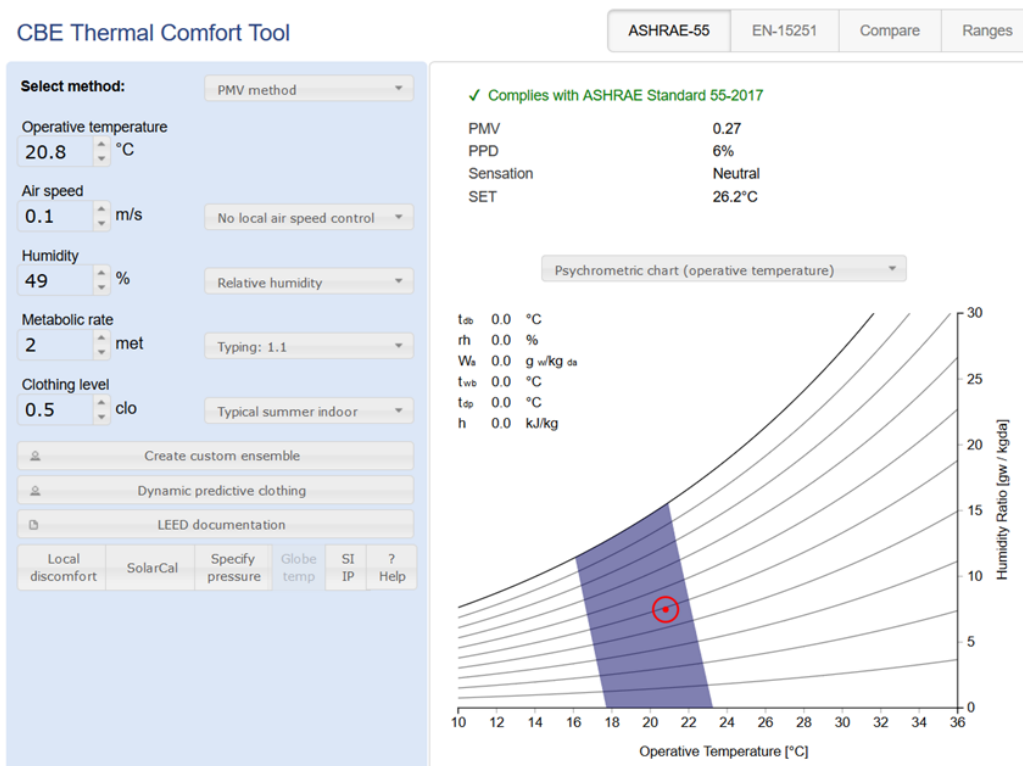


Figura 68 - Simulação na ferramenta *CBE Thermal Comfort Tool*.¹

⁸ In link: <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>, acedido em julho de 2019.

Pela análise da figura 67 pode constatar-se que as condições introduzidas estão dentro dos limites definidos como zona de conforto de ASHRAE, pois o ponto vermelho, que diz respeito aos dados introduzidos, está inserido dentro da zona sombreada, zona de conforto.

Deste modo é possível concluir se determinado vestuário é ou não adequado para as condições do espaço ocupado, ou seja, se deve ou não possuir um valor de resistência térmica mais ou menos elevado.

5.5 Resultados relativos à qualidade do ar interior

5.5.1 Apresentação do estudo realizado

A qualidade do ar interior (QAI) é um fator extremamente importante, dado que uma exposição prolongada a ambientes com má qualidade de ar interior pode, a curto prazo, provocar sintomas adversos com reflexo na saúde e bem-estar dos ocupantes. Sendo assim é essencial realizar um estudo da qualidade do ar interior na nave fabril.

Os níveis de dióxido de carbono (CO_2) e partículas suspensas no ar ($\text{PM}_{2,5}$, PM_{10}) foram os parâmetros medidos relativamente à qualidade do ar interior.

Para a medição destes parâmetros foram utilizados 2 equipamentos distintos, as figuras 68 e 69 mostram esses mesmos equipamentos.

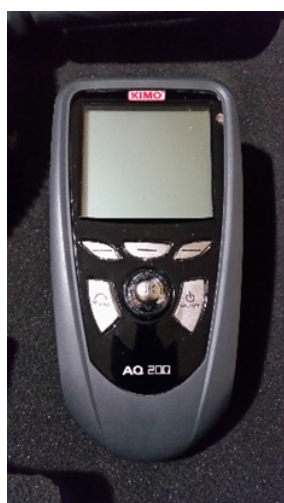


Figura 70 - Aparelho de medição QAI, dióxido de carbono.



Figura 69 - Aparelho de medição QAI, partículas suspensas no ar.

Em todas as medições os equipamentos foram colocados a uma altura de 0,6 m do pavimento, de acordo com a norma ISO 7726 [8].

Em relação ao posicionamento dos equipamentos, estes estiveram distribuídos ao longo de 6 postos diferentes do armazém, de modo a abranger todas as áreas de produção, e no espaço correspondente ao escritório, mais precisamente na sala da direção/administração, figura 70.

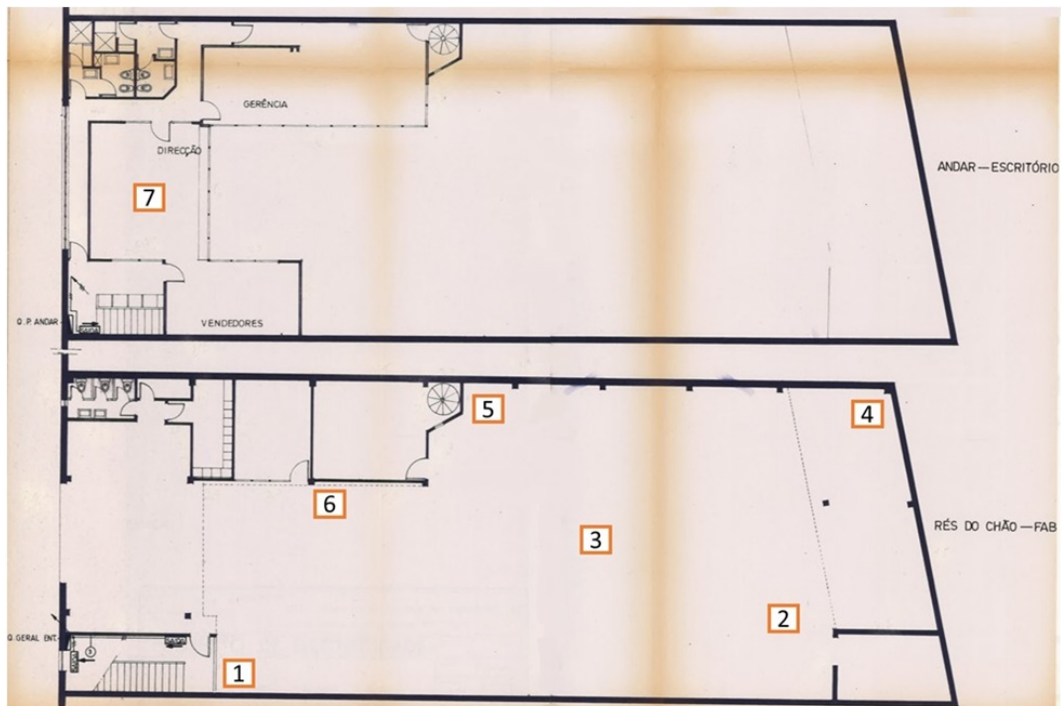


Figura 71 - Localização dos diversos pontos de medição no piso 0 e 1.

A localização destes postos não foi escolhida de forma aleatória, no armazém (piso 0) foram eleitos os postos onde os operários passam maior parte do dia, ou seja, nas zonas de transformação, no piso 1 só foram recolhidos valores na divisão ocupada pela direção, dado que o compartimento dos vendedores e da gerência nem sempre é utilizado e quando é ocupado é durante um curto período de tempo

Uma vez que ao longo de todo o ano as variáveis que influenciam a qualidade do ar interior são constantes na nave fabril, realizaram-se as medições num dia típico aleatório.

5.5.2 Apresentação e análise dos valores medidos

O levantamento de dados ocorreu em 3 momentos distintos, ao início da manhã (entre as 8:00 h e 8:30 h), na pausa para almoço (entre o 12:00 h e o 12:30 h) e no final do dia (entre as 17:00 h e 17:30 h). Nas figuras 71, 72 e 73 é possível observar-se a evolução das variáveis em estudo ao longo do dia.

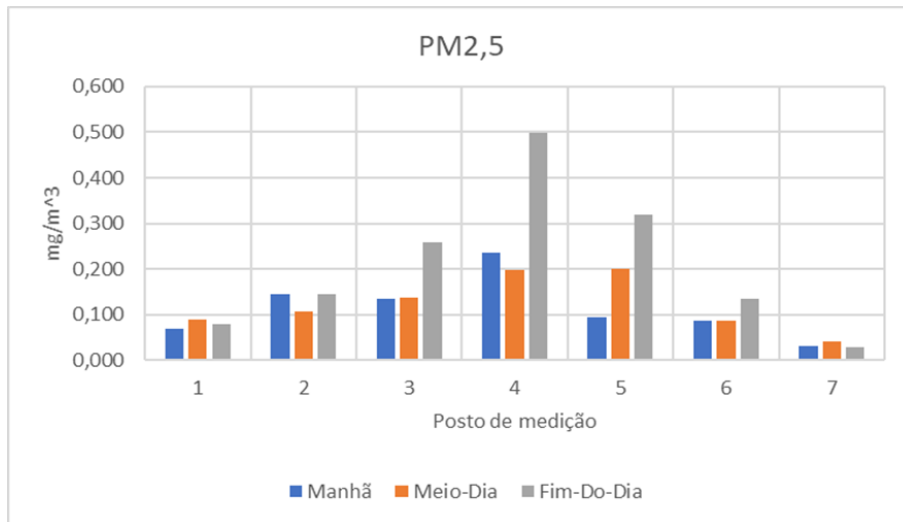


Figura 72 - Valores de partículas suspensas no ar (PM_{2,5}) para os vários postos de medição, nos 3 períodos do dia selecionados.

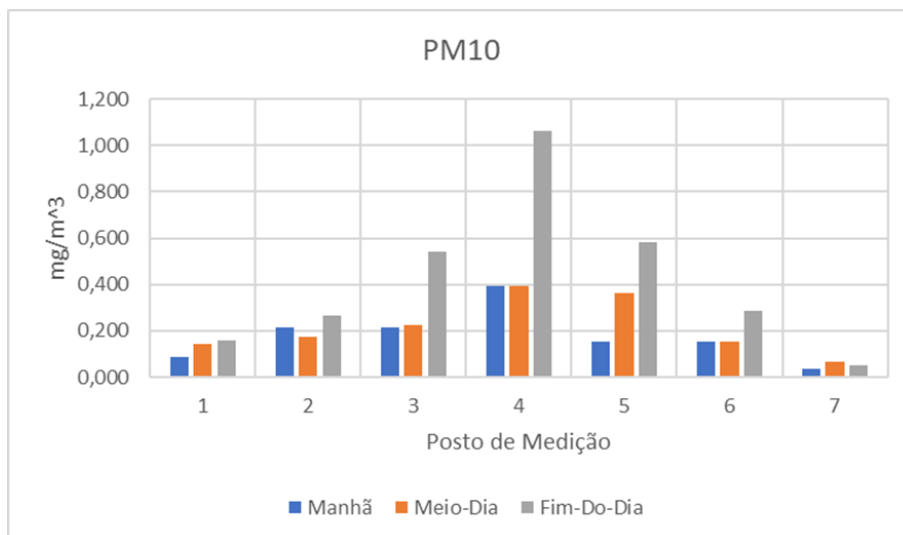


Figura 73 - Valores de partículas suspensas no ar (PM₁₀) para os vários postos de medição, nos 3 períodos do dia selecionados.

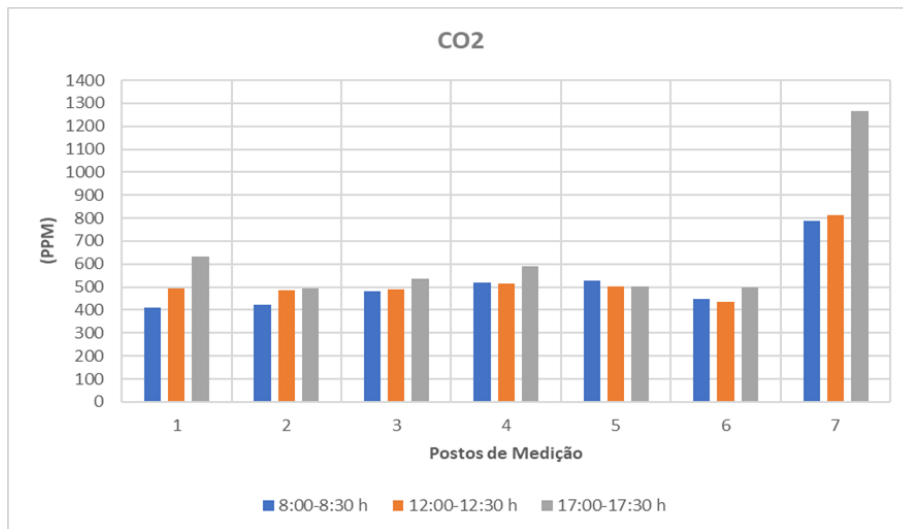


Figura 74 - Valores de dióxido de carbono para os vários postos de medição, nos 3 períodos do dia selecionados

Pela análise dos gráficos de partículas suspensas no ar ($PM_{2,5}$ e PM_{10}) pode afirmar-se que os valores aumentam ao longo do dia em praticamente todos os postos. Pode também concluir-se que existe uma discrepância de valores significativa nos vários postos onde foram efetuadas as medições, por exemplo no posto 4 registam-se valores significativamente mais elevados do que em todos os outros postos.

Quanto aos valores de dióxido de carbono estes permanecem praticamente constantes ao longo do dia e não diferem muito entre postos, com exceção da zona do escritório (posto 7).

Na tabela 41 serão expostos os valores médios referentes ao período laboral de 8 horas. Em cada posto de medição será realizada uma análise dos valores para se verificar se estes cumprem ou não os requisitos impostos pela legislação.

Tabela 42 - Tabela de valores QAI e respetiva validação

Classificação da Qualidade do Ar Interior

Posto de medição	Partículas suspensas no ar PM _{2,5} (mg/m ³)			Partículas suspensas no ar PM ₁₀ (mg/m ³)			Dióxido de carbono (PPM)		
	Valores medidos	Percentagens acima do limiar de proteção ⁹	Cumpre (C) ou não cumpre (N.C) requisitos	Valores medidos	Percentagens acima do limiar de proteção ¹⁰	Cumpre (C) ou não cumpre (N.C) requisitos	Valores medidos	Percentagens acima do limiar de proteção ¹¹	Cumpre (C) ou não cumpre (N.C) requisitos
Posto 1	0,080	>60%	N.C	0,128	>28%	N.C	512	0%	C
Posto 2	0,132	>164%	N.C	0,218	>118%	N.C	468	0%	C
Posto 3	0,177	>254%	N.C	0,329	>229%	N.C	502	0%	C
Posto 4	0,310	>520%	N.C	0,616	>516%	N.C	540	0%	C
Posto 5	0,205	>310%	N.C	0,367	>267%	N.C	511	0%	C
Posto 6	0,103	>106%	N.C	0,198	>98%	N.C	460	0%	C
Posto 7	0,034	0%	C	0,053	>6%	N.C	956	0%	C

⁹ A percentagem acima do limiar de proteção é obtida através do valor de limiar de proteção (0,050) com a respetiva margem de tolerância (100%)[19].

¹⁰ A percentagem acima do limiar de proteção é obtida através do valor de limiar de proteção (0,025) com a respetiva margem de tolerância (100%)[19].

¹¹ A percentagem acima do limiar de proteção é obtida através do valor de limiar de proteção (2250) com a respetiva margem de tolerância (30%)[19].

Pela análise da tabela 41 pode aferir-se que os limites para as partículas suspensas no ar, nomeadamente PM₁₀ e PM_{2,5} são ultrapassados em todos os postos medidos na zona de produção (posto 1,2,3,4,5 e 6), quanto à zona do escritório os limites de proteção não foram ultrapassados (posto 7).

Relativamente aos níveis médios de CO₂, estes vão de encontro aos estabelecidos pela legislação nacional para poluentes do ar interior [19].

Uma vez que os valores apresentados não estão em conformidade com o que é exigido na legislação, ao nível das partículas suspensas no ar, é essencial determinar as fontes para que se possam tomar medidas para a melhoria da qualidade do ar interior. A determinação destes fatores é fundamental para que os operários trabalhem nas melhores condições possíveis.

Tal como é referenciado no capítulo 2 as partículas suspensas no ar podem ter origem em diversos fatores. Realizando uma análise ao edifício pode aferir-se que as principais causas residem em:

- Excesso de pó acumulado, uma vez que o processo de transformação de abrasivos liberta para o ar ambiente grande quantidade de matéria sólida, matéria esta que se acumula em todo o edifício em grande quantidade;
- A não existência de qualquer tipo de equipamento que realize ventilação mecânica.

5.5.3 Recomendações para controlo da qualidade do ar interior

Uma vez que o local de trabalho é um dos espaços onde se permanece durante grande parte do dia, é essencial tomar medidas para que se possam melhorar as condições de trabalho dos funcionários da nave fabril.

Tendo em conta os problemas apontados no tópico anterior serão agora descritas algumas recomendações para que se possa melhorar a qualidade do ar interior no edifício:

- Relativamente ao pó acumulado, uma possível solução seria aumentar a potência do sistema de aspiração, aplicar pontos de aspiração em mais locais no armazém e aumentar a área de aspiração em cada um destes pontos;

- Quanto à ventilação mecânica, seria oportuno utilizar um mecanismo que garantisse a renovação do ar interior de forma intencional e controlada, de modo a garantir caudal de insuflação de ar novo e a exaustão de ar viciado.

5.6 Resultados relativos ao ruído

5.6.1 Apresentação do estudo realizado

Como já foi referido anteriormente proporcionar conforto acústico é extremamente importante para se manter a satisfação dos indivíduos que ocupam um determinado espaço, daí ser importante o levantamento deste tipo de dados na nave fabril. Foram recolhidos os valores relativos aos níveis de ruído dB(A) durante um período de 5 minutos em cada posto pré-definido. A figura 74 mostra o equipamento utilizado para efetuar as medições, em anexo podem ser consultadas as características do mesmo.



Figura 75 - Sonómetro CESVA SC420

Em todas as medições o equipamento foi colocado a uma altura de 0,6 m do pavimento, de acordo com a norma ISO 7726 [8].

Em relação ao posicionamento do equipamento, este esteve posicionado em 2 postos diferentes, um no armazém (Piso 0) e outro na zona do escritório (Piso 1). Existiu a preocupação de manter o equipamento longe de fontes de ruído ativas para que os valores obtidos fossem o mais próximo possível da realidade. Na figura 75 pode observar-se a localização dos postos de medição.

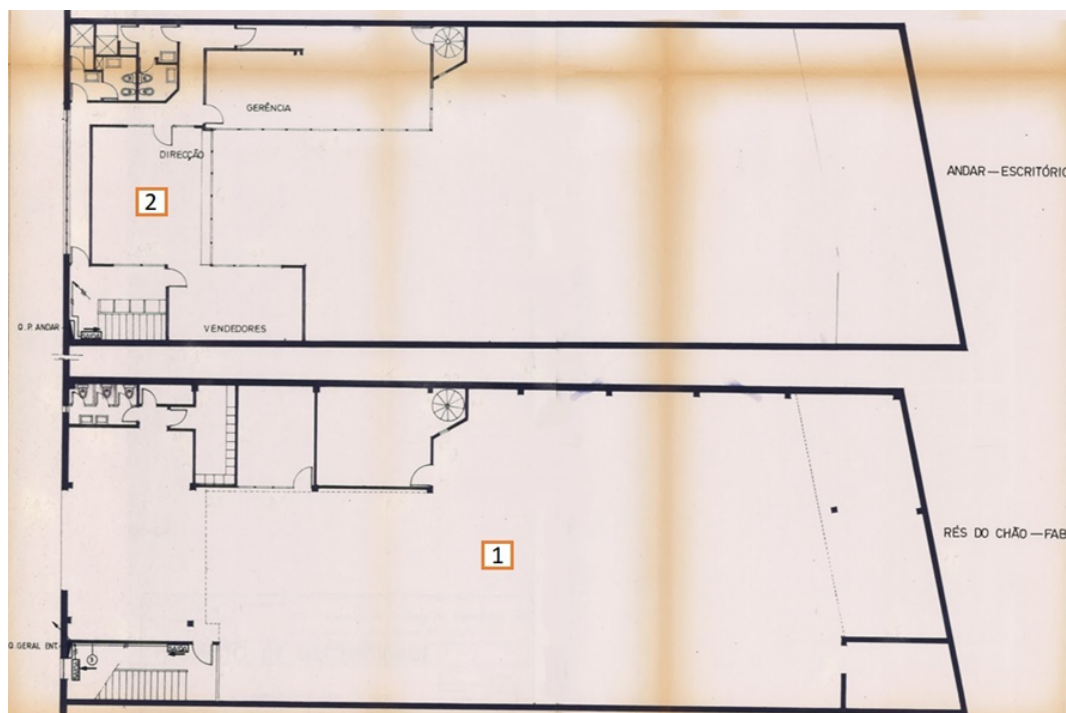


Figura 76 - Localização dos postos de medição de ruído piso 0 e 1

5.6.2 Apresentação e análise dos valores medidos

Foram realizadas medições em 2 dias aleatórios aproximadamente à mesma hora, ou seja, a meio da manhã por volta das 11:00 h.

No primeiro e no segundo dia em que se efetuaram as medições (dia 1 e dia 2) registaram-se os valores apresentados na tabela 43 para o armazém e para a zona do escritório. Nas figuras 76,77,78 e 79 pode ver-se a evolução temporal, onde o eixo das ordenadas representa o nível pressão sonora $L_p[s]$ e o das abcissas o tempo $t[s]$.

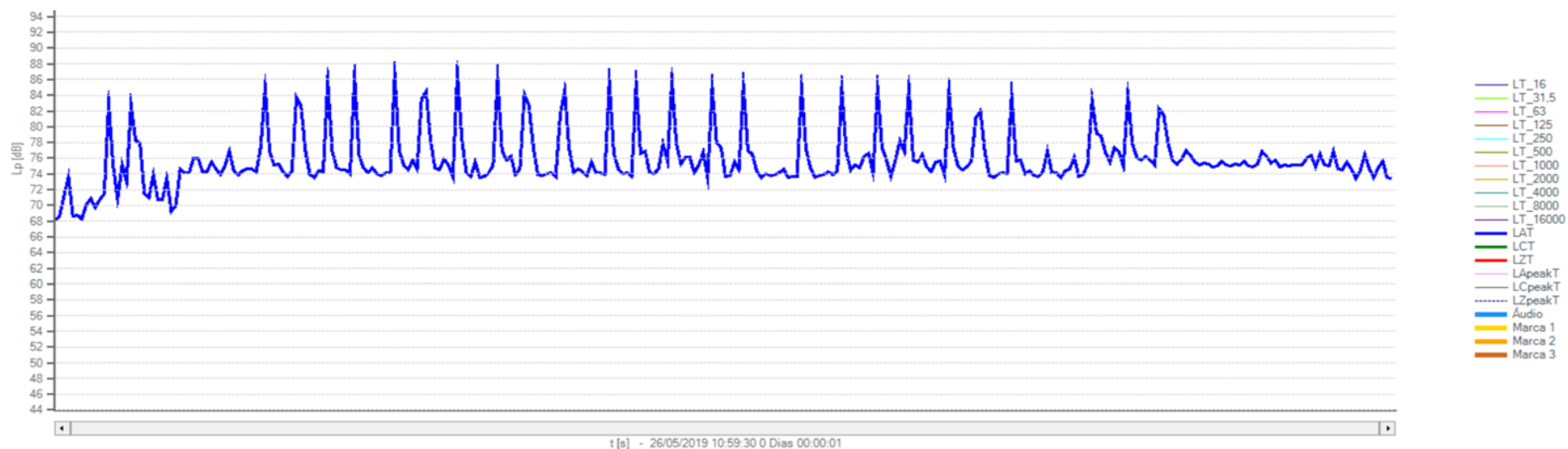


Figura 77 - Níveis de ruído registados no armazém dia 1.

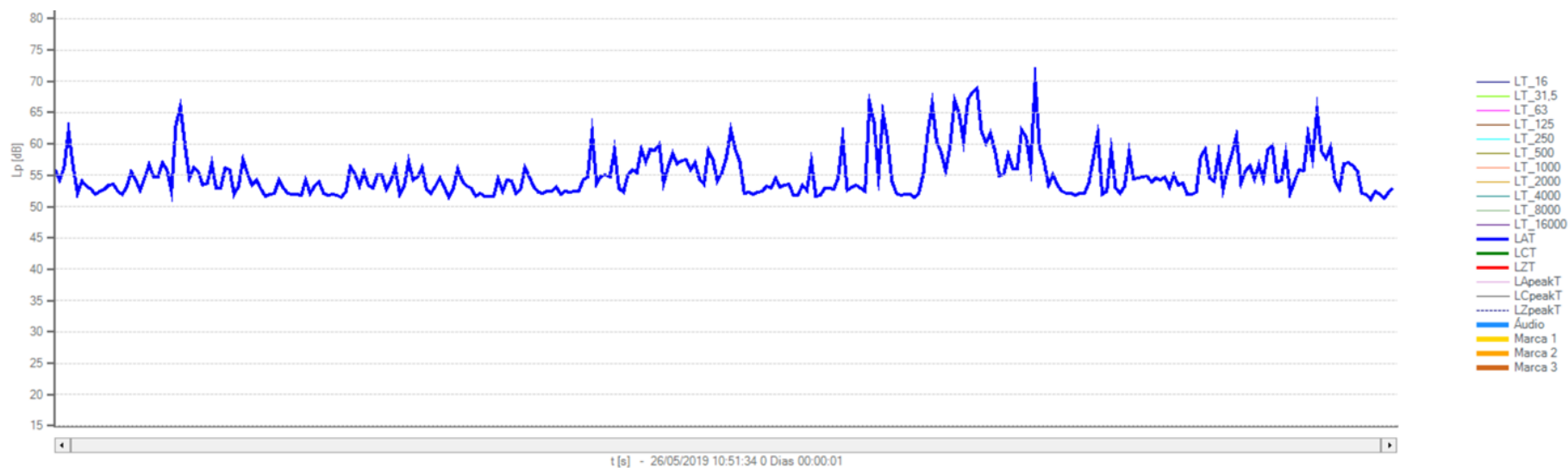


Figura 78 - Níveis de ruído registados no escritório dia 1.

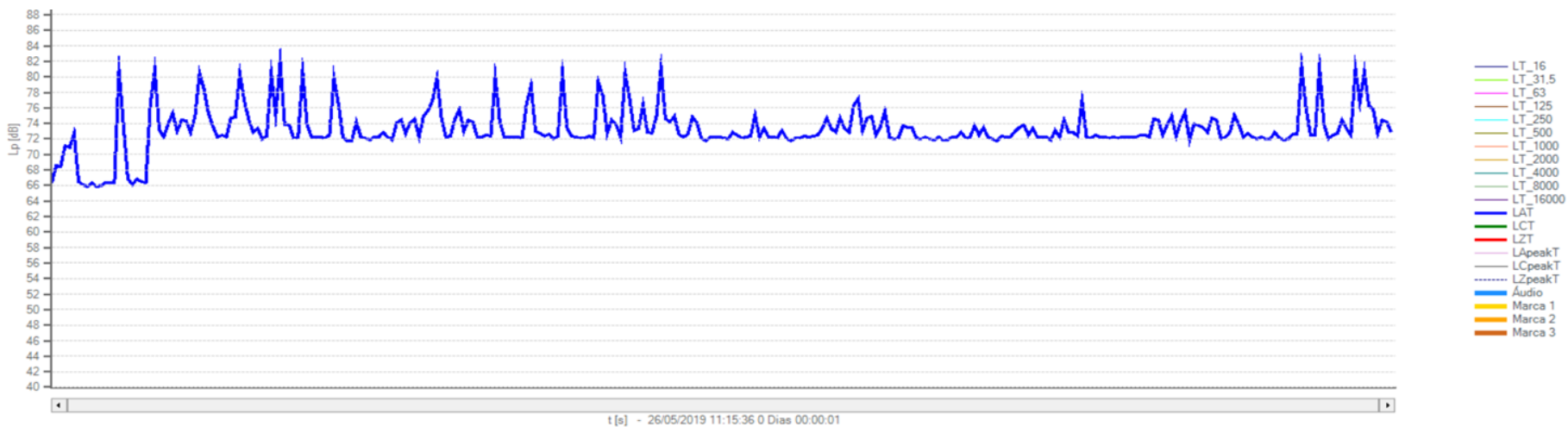


Figura 80 - Níveis de ruído registados no armazém dia 2.

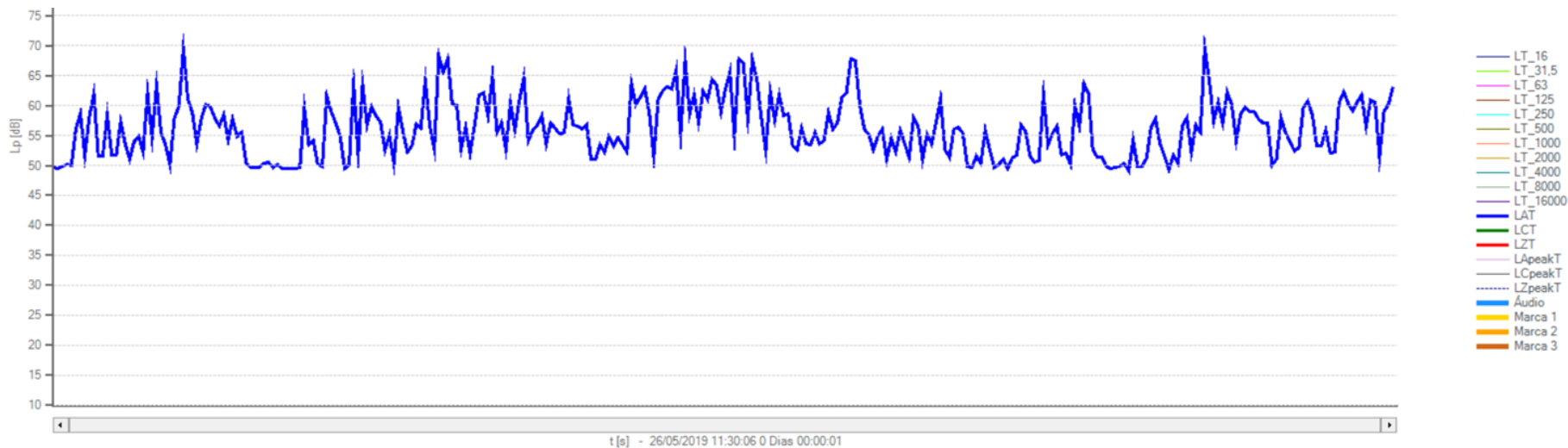


Figura 79 - Níveis de ruído registados no escritório dia 2.

Na tabela 42 o L_{At} representa o nível de pressão sonora contínuo equivalente de toda a medição com ponderação frequencial A e o $L_{Cpeak T}$ o nível de pico de pressão sonora do tempo de medição com ponderação frequencial C. Entende-se como $L_{EX,8h}$ o nível sonoro contínuo equivalente, ponderação A, calculado para um período normal de trabalho diário de 8 horas, que abrange todos os ruídos presentes no local de trabalho, já o L_{Cpico} representa o valor máximo da pressão instantânea, ponderação C.

Tabela 43 - Níveis de pressão sonora medidos e limites exigidos pela legislação.

Postos de Mediação	L_{At} (dB)	$L_{EX,8h}$ (dB)	$L_{Cpeak T}$ (dB)	L_{Cpico} (dB)
		Valor Limite		Valor Limite
Armazém dia 1	68,2	87	83,2	140
Escritório dia 1	55,9	87	77,8	140
Armazém dia 2	66,4	87	84,2	140
Escritório dia 2	49,6	87	72,2	140

Pela análise dos dados anteriores é possível verificar que o valor de pico registado no armazém para o dia 1 é 83,2 dB(A), para o dia 2 este valor sobe para 84,2 dB(A).

Quanto aos valores registados na zona do escritório estes são ligeiramente mais baixos do que no armazém, ou seja, para o dia 1 o valor de pico é 77,8 dB(A) e para o dia 2 72,2 dB(A).

Comparando os valores registados no dia 1 e 2 pode concluir-se que tanto no armazém como na zona do escritório existem discrepâncias entre os valores registados.

A legislação exige que a exposição do trabalhador nunca deverá ser igual ou superior ao nível sonoro contínuo equivalente ($L_{EX,8h}$) a 87 dB(A) ou a valores de pico (L_{Cpico}) iguais ou superiores a 140 dB(C) [20]. Assim sendo pode concluir-se que estes requisitos não são ultrapassados nos postos medidos no edifício em análise. É de salientar que não foram medidos os níveis de ruído individualmente para cada fonte, sendo que podem existir locais onde estes valores são ultrapassados.

De modo a promover melhores condições de trabalho e garantir que os valores exigidos pela legislação não são ultrapassados, podem e devem ser aplicadas, no edifício em estudo, as seguintes medidas [27]:

- Substituir máquinas lentas e de grande dimensão por outras mais pequenas e rápidas;
- Substituir sempre que possível, as engrenagens metálicas por plásticas;
- Efetuar uma manutenção regular e periódica de todas as máquinas suscetíveis de produzirem ruído;
- Revestir o compressor com uma caixa (1,5 mm de placa rígida e 40mm de espuma) para isolar o ruído causado pelo seu motor;
- Amortecer o ruído de impacto proveniente da queda de objetos de uma correia transportadora elevatória, acoplando esta, a um recipiente contendo blocos de borracha;
- Modificar prensas, substituindo o seu cárter de chapa sólido por rede perfurada;
- Reduzir os ruídos de baixa frequência produzidos num equipamento, pelo movimento de uma correia larga, substituindo esta, por várias correias estreitas.

Por outro lado, caso seja impossível adotar as medidas acima indicadas deve atuar-se sobre o recetor recorrendo a protetores auriculares. Os protetores auriculares individuais podem ser de 2 tipos: inserção no canal auditivo (tampões) e cobertura do pavilhão auditivo (auscultadores). A eficácia dos protetores de inserção (tampões) é geralmente inferior à dos protetores que cobrem todo o pavilhão (auscultadores).

Para a escolha do protetor auricular deve analisar-se espectralmente por bandas de frequência de oitava o ruído do posto de trabalho em causa, posteriormente deve adotar-se um protetor cuja atenuação faça com que o nível de ruído, que ultrapassa o protetor, desça para níveis não patogénicos.

Segundo a ISO 1999 [28] o nível sonoro contínuo equivalente [$L^*_{Aeq,T}$], resultante da utilização de protetores auditivos deve ser obtido da seguinte forma:

- Medir o ruído por bandas de frequência de oitava e na ponderação A;

- Aplicar as correções do filtro de ponderação A aos níveis de banda de oitava se as medições forem efetuadas sem ponderação;
- Subtrair aos níveis de ponderação A ou aos corrigidos, os valores de atenuação do protetor auditivo;
- Calcular o nível sonoro contínuo equivalente com protetor auditivo, [L^*Aeq, T], utilizando a equação 8:

Equação 8:

$$L^* Aeq, T = 10 \log \left[10^{\frac{L_{63}}{10}} + 10^{\frac{L_{125}}{10}} + 10^{\frac{L_{250}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{8000}}{10}} \right]$$

CONCLUSÕES

- 6.1 Conclusões
- 6.2 Proposta de trabalhos futuros

6 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

6.1 CONCLUSÕES

A presente dissertação teve como objetivo a determinação das condições de trabalho dos funcionários da empresa OTA-Abrasivos. Numa primeira fase realizou-se uma análise sobre o ambiente térmico sentido ao longo de todo o ano e posteriormente um estudo visando a melhoria das condições de trabalho, através de medidas de reabilitação. Foi também realizado o estudo da qualidade do ar interior e dos níveis de ruído.

Numa fase inicial foi efetuada uma revisão bibliográfica de modo esclarecer o que se entende por conforto térmico e os diferentes parâmetros que o influenciam. Posteriormente foram analisados os parâmetros e legislação associados à qualidade do ar interior e aos níveis de ruído. Por fim, e de modo a apontar soluções para a melhoria da envolvente do edifício, foi feito um estudo sobre reabilitação energética.

Para se alcançar o objetivo desta dissertação, ou seja, avaliar as condições de trabalho dos operários de uma nave fabril, realizou-se o estudo ao edifício onde se procede à transformação de abrasivos. Sendo este estudo subdividido em 3 abordagens diferentes, ambiente térmico, análise da qualidade do ar e níveis de ruído, foram utilizadas metodologias distintas para a análise de cada uma. A metodologia utilizada para o estudo do ambiente térmico baseou-se numa simulação dinâmica anual através do programa *design builder*, posteriormente identificaram-se os problemas e apontaram-se soluções de reabilitação. Para cada uma destas soluções efetuou-se um diagnóstico energético. Nas abordagens relativas à qualidade do ar interior e aos níveis de ruído procedeu-se ao levantamento dos dados no edifício e à sua respetiva análise, seguindo-se a identificação dos problemas e a proposta de resolução.

Pela simulação anual realizada no *software* pode aferir-se que nos meses mais críticos do ano se verificam temperaturas acima e abaixo dos limites aceitáveis estabelecidos

pelos operários. Pode também verificar-se que os valores associados às perdas pela envolvente do edifício contribuem substancialmente para este problema. Conclui-se assim que seria oportuno a utilização de um sistema de climatização e a implementação de medidas de reabilitação da envolvente. De modo a encontrar a solução mais adequada à climatização do edifício realizou-se o cálculo da carga térmica de aquecimento e arrefecimento.

Relativamente às medidas de reabilitação consideram-se 2 opções, a reabilitação da envolvente opaca, através da aplicação de isolamento interior, e a substituição da cobertura atual por painéis isotérmicos (com isolamento). Para análise destas soluções foram estabelecidas diferentes espessuras para o isolamento. Realizou-se um diagnóstico energético ao edifício no seu estado atual, considerando um sistema de climatização padrão, para que se pudesse determinar a diferença entre as necessidades energéticas do edifício e as necessidades energéticas depois da reabilitação. Posto isto pode concluir-se o seguinte:

- A reabilitação apenas da envolvente opaca, através da aplicação de isolamento interior contribui para a redução das necessidades energéticas em cerca de 3,7% quanto se opta pelo isolamento mais espesso. A redução não é muito significativa e implica um grande investimento;
- A reabilitação somente da cobertura, através da substituição das placas de fibrocimento por painéis *sandwich* contribui de forma considerável para a redução das necessidades energéticas, levando a reduções de 25% face às necessidades do edifício no seu estado atual. Esta medida implica também um grande investimento, superior ao do isolamento das paredes exteriores, mas com resultados bastante mais significativos;
- Pode constatar-se que o aumento da espessura dos painéis *sandwich* e da espessura do isolamento das paredes exteriores não leva a reduções muito significativas das necessidades energéticas;
- Pela combinação das várias medidas de reabilitação pode aferir-se que a medida que se traduz numa maior redução das necessidades energéticas, cerca de 32%, é também a mais dispendiosa, embora o período de retorno de investimento não seja muito superior aos das restantes combinações.

Através da análise dos valores medidos relativamente à qualidade do ar interior é possível aferir que os níveis de partículas suspensas no ar estão acima dos exigidos pela legislação. No entanto os níveis de CO₂ estão dentro dos limites estabelecidos. Estes dados permitem concluir que o processo de transformação de abrasivos e falta de ventilação provocam a degradação da qualidade do ar interior, posto isto, é necessário intervir neste campo tomando em consideração as seguintes recomendações:

- Aumentar a potência e o número de pontos de aspiração, de modo a assegurar uma redução da quantidade de partículas suspensas no ar;
- Utilização de mecanismo de ventilação mecânica de forma a garantir uma renovação do ar interior.

Pela análise dos níveis de ruído medidos no edifício, é possível concluir que neste campo não é necessário intervir, uma vez que os valores medidos estão abaixo dos limites impostos pela legislação. Deve ter-se em consideração que neste estudo apenas se recolheram valores globais do edifício e não os níveis de ruído individualmente para cada fonte, sendo que podem existir determinados pontos onde os valores limite são ultrapassados.

6.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Esta dissertação focou-se na avaliação das condições de trabalho de uma empresa de transformação de abrasivos, de modo a identificar os principais problemas do edifício e apontar soluções.

Assim, como desenvolvimento de trabalho futuros, seria importante realizar um levantamento de dados relativo aos níveis de ruído junto a cada uma das máquinas, uma vez que só se realizaram levantamentos globais sempre na mesma posição (no centro do edifício). Isto porque podem existir locais próximos de máquinas onde os valores ultrapassem os limites.

Por outro lado, seria também oportuno realizar um estudo aprofundado aos locais onde é aplicada cola, pois este tipo de material liberta para o ar odores intensos que podem provocar efeitos nocivos aos funcionários.

BIBLIOGRAFIA

7 BIBLIOGRAFIA

- [1] ASHRAE, “2001 ASHRAE Handbook Fundamentals,” *ASHRAE Stand Stand.*, vol. 53, no. 9, pp. 733–745, 2001.
- [2] A. B. Frota and S. R. Schiffer, *Manual de conforto térmico*. São Paulo: Studio Nobel, 1987.
- [3] H. S. Almeida, “Análise do conforto térmico de edifícios utilizando as abordagens analítica e adaptativa,” Universidade Técnica de Lisboa, 2010.
- [4] P. O. Fanger, *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*. Denmark: McGraw-Hill, 1970.
- [5] ISO 7730 (2005), *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*. ISO – International Organization for Standardization, Geneva.
- [6] I. Sarmento, “Documentos de apoio à disciplina de climatização.” Porto, 2018.
- [7] D. A. S. Coelho, “Avaliação do Conforto térmico em salas de aula,” Instituto Politécnico de Viseu Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, 2014.
- [8] ISO 7726 (1998), *Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities*. ISO – International Organization for Standardization, Geneva.
- [9] ANSI/ASHRAE Standard 55-2004, “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy,” *Am. Soc. Heating, Refrig. Air-Conditioning Eng. Atlanta*, 2004.
- [10] L. M. T. P. da Silva, “Avaliação do conforto térmico e da qualidade do ar interior nos edifícios A e B do Instituto Pedro Nunes,” Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2015.
- [11] A. S. S.R.Miguel, *Manual de higiene e segurança no trabalho*. Porto editora, 2012.
- [12] R. Carlos, *Higiene e Segurança do Trabalho – Manual Técnico do Formando*. Nufec-Núcleo de formação, estudos e consultoria, 2006.
- [13] ISO 15743 (2008), *Ergonomics of the thermal environment — Cold workplaces — Risk assessment and management*. ISO – International Organization for Standardization, Geneva.
- [14] M. Talaia, “Riscos no local de trabalho - ambiente térmico quente,”

Departamento de Física – Universidade de Aveiro.

- [15] EEN15251 (2006), *Indoor environmental input parameters for design and indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. European Committee For Standardization, Brussels.
- [16] EN13779 (2006), *Ventilation for non-residential buildings — Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems*. European Standard.
- [17] ANSI/ASHRAE Standard 62.1 -2007, “Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality,” *Am. Soc. Heating, Refrig. Air-Conditioning Eng. Atlanta*.
- [18] APA - Agência Portuguesa do Ambiente and Laboratório Referência do Ambiente, “Qualidade do Ar em Espaços Interiores-Guia Técnico,” 2009.
- [19] *Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro, Diário da República n.º 235 – 1.ª Série*. Ministério do ambiente, Ordenamento do Território e Energia, da Saúde e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social. Lisboa.
- [20] *Decreto-Lei n.º 182/2006 de 6 de setembro de 2006, Diário da República, 1.ª série —N.º 172*. Ministério do trabalho e da solidariedade social. Lisboa.
- [21] DGGE, “Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais,” Agência para a Energia, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil e Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2004.
- [22] *Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro de 2013, Diário da República n.º 233 – 1.ª Série*. Ministério do ambiente, Ordenamento do Território e Energia, da Saúde e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social. Lisboa.
- [23] J. Valério, “Avaliação do Impacte das Pontes Térmicas no Desempenho Térmico e Energético de Edifícios Residenciais Correntes,” Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2007.
- [24] R. A. Machado, “Reabilitação de Edifícios visando a Eficiência Energética,” Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2014.
- [25] *Portaria n.º 17-A/2016 de 4 de fevereiro de 2016, Diário da República nº 24 - 1ª Série*. Trabalho, Solidariedade E Segurança Social E Economia, Lisboa.
- [26] *Despacho n.º 15793-F/2013 de 3 de dezembro de 2013, Diário da República N.º 234 - 2.ª série*. .
- [27] E. M. Dias, “Ruído nos Locais de Trabalho,” *Recur. Didáticos para a Formação em Segurança, Hig. e Saúde no Trab.*, 2007.
- [28] ISO 1999 (2013), *Acoustics — Estimation of noise- induced hearing loss*. ISO – International Organization for Standardization, Geneva.

ANEXOS

- 8.1 Fotografias dos Instrumentos de Medição
- 8.2 Ficha Técnica do instrumento KIMO AQ200
- 8.3 Especificações da sonda usada no KIMO AQ200
- 8.4 Especificações gerais DustTrak DRX Aerosol Monitor 8534
- 8.5 Especificações gerais do Cesva SC420
- 8.6 Tabela de geração típica de calor metabólico para diversas atividades
- 8.7 Tabela de valores de isolamento do vestuário

8 ANEXOS

8.1 ANEXO 1 – Fotografias dos Instrumentos de Medição



Kimo AQ 200 Indoor Air
Quality Meter



Sondas Utilizadas no KIMO
AQ200



Sondas Sonómetro CESVA
SC420



DustTrak DRX Aerosol
Monitor 8534

8.2 ANEXO 2 – Ficha Técnica do instrumento KIMO AQ200

Ficha técnica

Elementos Sensoriais (Sondas de qualidade de ar)	
CO ₂	Sensor NDIR
CO	Sensor eletroquímico
Temperatura	PT100 classe A
Higrometria	Sensor higrométrico capacitivo
Módulos de condições climáticas	
Higrómetro	Sensor capacitivo higrométrico
Temperatura	Sensor semiconductor
Pressão do ar	Sensor capacitivo
Conexão do AQ200	
Em cima	2 conectores mini-Din para sondas SMART-PLUS
Lado esquerdo	1 porta USB + ficha de alimentação
Conformidade	
	Compatibilidade eletromagnética (Norma NF EN 61326-1)
Alimentação	
	4 pilhas alcalinas 1,5 V LR6
Ambiente	
	Gás neutro
Temperatura de utilização	
	de 0°C a +50°C
Temperatura de armazenamento	
	de -20°C a +80°C
Autoextinção	
	regulável de 0 a 120 mi
Peso	
	340 g

8.3 ANEXO 3 – Especificações da sonda usada no KIMO AQ200

Parâmetros	Unidade de medição	Gamas de medição	Exatidão
Temperatura	°C, °F	De -20 a +80°C	±0.4% da leitura ±0.3°C
CO ₂	ppm	De 0 a 5000 ppm	±3% da leitura ou ±50 ppm
Higrometria	%	De 5 a 95% HR	±1,8% HR

8.4 ANEXO 4 – Especificações gerais DustTrak DRX Aerosol Monitor 8534

Ficha técnica

Tipo de sensor	90 graus de dispersão de luz
<i>Display</i>	8533 Escritório 0.001 a 150 mg/m ³ 8534 Portátil 0.001 a 150 mg/m ³
Visualização	Tamanho de Frações de Massa Segregada para PM1, PM2,5, Respirável, PM10 e total. Tudo exibido
Exatidão	± 0,1% de leitura ou 0,001 mg/m ³ , o que for maior
Estabilidade zero	± 0,002 mg/m ³ 24 horas a 10 segundos de tempo
Faixa de tamanho de partícula	Aproximadamente 0,1 a 15 µm
Taxa de fluxo	3,0 L/min
Precisão de fluxo	± 5% do <i>setpoint</i> de fábrica, fluxo interno controlado
Coefficiente de temperatura	+0.001 mg/m ³ por °C
Temperatura operacional	0 até 50°C
Temperatura de armazenamento	-20 a 60°C
Humidade operacional	0-95% RH, sem condensação
Constante de tempo	Ajustável de 1 a 60 segundos
Registo de dados	45 dias em amostras de 1 minuto
Intervalo de registo	De 1 segundo a 1 hora
Tamanho físico	Portátil: 4,9 x 4,75 x 12,45 in Mesa: 5,3 x 8,5 x 8,8 in Bomba Externa: 4,0 x 7,5 x 3,5 in
Peso	Portátil: 2,9 lb, 3,3 lb com bateria Escritório: 3,45lb, 4,45 lb –1 bateria 5,45 lb –2 baterias externas Bomba ext.: 3,0 lb
Comunicações	USB
Carregamento- DC	Portátil 12 VDC a 2 A Computador 24 VDC a 2,5 A

8.5 ANEXO 5 – Especificações gerais do Cesva SC420

Sonómetro da classe 1 e analisador* espectral por bandas de terços de oitava



*Opcional

CERTIFICADOS E NORMAS

- IEC 61672-1:02 classe 1, EN61672-1:03 classe 1
- IEC 61260:95/A1:01 classe 1, EN61260:95/A1:01 classe 1
- ANSI S1.4:83/A:85 tipo 1, ANSI S1.43:97 tipo 1, ANSI S1.11:04 classe 1
- OIML R 58:98, OIML R 88:98
- DIN 45657:2005 em referência à função Taktmaximalpegel
- Marca **CE**. Cumpre a diretiva de baixa tensão 73/23/CEE e a diretiva CEM 89/336/CEE modificada pela 93/68/CEE.
- Certificado de aprovação de modelo para Espanha e Portugal.

MICROFONES

MODELO C140:

TIPO:	Microfone de condensador de ½"
POLARIZAÇÃO:	200 V
CAPACIDADE NOMINAL:	20,0 pF
SENSIBILIDADE NOMINAL:	43,5 mV/Pa
PREAMPLIFICADOR:	PA020

MODELO C240:

TIPO:	Microfone de condensador de ½"
POLARIZAÇÃO:	0 V
CAPACIDADE NOMINAL:	20,0 pF
SENSIBILIDADE NOMINAL:	49,0 mV/Pa
PREAMPLIFICADOR:	PA040

MODELO C-130:

TIPO:	Microfone de condensador de ½"
POLARIZAÇÃO:	200 V
CAPACIDADE NOMINAL:	22,5 pF
SENSIBILIDADE NOMINAL:	17,5 mV/Pa
PREAMPLIFICADOR:	PA020

GAMA DE MEDIÇÃO

FUNÇÕES: LF, LS, LI, Lt e LT (incluindo LAeqT):

	Pond. A(dB)	Pond. C(dB)	Pond. Z(dB)
C140+PA020:	de 23,4 a 137,0	de 23,4 a 137,0	de 27,2 a 137,0
C240+PA040:	de 23,4 a 137,0	de 23,8 a 137,0	de 27,8 a 137,0
C-130+PA020:	de 24,8 a 137,0	de 26,3 a 137,0	de 31,0 a 137,0

FUNÇÃO LCpeak:

	Pond. C(dB)
C140+PA020, C240+PA040 e C-130+PA020:	de 55,0 a 140,1

RUÍDO TÍPICO

C140+PA020:

	Pond. A(dB)	Pond. C(dB)	Pond. Z(dB)
ELÉTRICO:	7,7	8,0	14,2
TOTAL A 20°C:	15,9	15,9	19,7

C240+PA040:

	Pond. A(dB)	Pond. C(dB)	Pond. Z(dB)
ELÉTRICO:	5,2	6,3	12,8
TOTAL A 20°C:	15,9	16,3	20,3

C-130+PA020:

	Pond. A(dB)	Pond. C(dB)	Pond. Z(dB)
ELÉTRICO:	11,5	13,4	18,9
TOTAL A 20°C:	17,3	18,8	23,5

PONDERAÇÃO FREQUENCIAL

PONDERAÇÕES DISPONÍVEIS:	A, C e Z
CLASSE SEGUNDO IEC 61672:	classe 1

PONDERAÇÃO TEMPORAL

PONDERAÇÕES DISPONÍVEIS:	F, S e I
CLASSE SEGUNDO IEC 61672:	classe 1

FUNÇÕES

FUNÇÕES DISPONÍVEIS:	ver tabelas para cada modo
RESOLUÇÃO	0,1 dB

DETECTOR DE PICO

TEMPO DE SUBIDA:	< 75 µs
------------------	---------

CRITÉRIOS AMBIENTAIS

INFLUÊNCIA DA PRESSÃO ESTÁTICA:

GAMA DE FUNCIONAMENTO	ERRO MÁXIMO
(a 1 kHz e 94 dB ou 104 dB)	
de 65 a menos de 85 kPa:	0,9 dB
de 85 a 108 kPa:	0,4 dB

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA:

GAMA DE FUNCIONAMENTO	ERRO MÁXIMO
de -10 a +50 °C:	0,5 dB

INFLUÊNCIA DA HUMIDADE:

GAMA DE FUNCIONAMENTO	ERRO MÁXIMO
(na ausência de condensação)	(a 40°C e 1 kHz)
de 25 a 90 %:	0,5 dB

Sonómetro da classe 1 e analisador* espectral por bandas de terços de oitava



*Opcional

ENTRADAS E SAÍDAS

RANHURA PARA O CARTÃO DE MEMÓRIA:

TIPO DE CARTÕES:	microSD
CAPACIDADE MÁXIMA:	32 GB
CLASSE MÍNIMA:	4

COMUNICAÇÃO USB:

TIPO:	Digital cumpre com a USB rev. 2.0.
CONECTOR:	USB Micro-B
CABO DE LIGAÇÃO:	CN400 de 0,5 m de comprimento

COMUNICAÇÃO SEM FIOS:

TIPO:	Bluetooth® classe 1
FREQUÊNCIA DE TRANSMISSÃO:	2402 a 2480 GHz
ALCANCE:	50 m

COMUNICAÇÃO SÉRIE RS-232, SAÍDA AC, SAÍDA E ENTRADA DIGITAIS:

DISPONÍVEL ATRAVÉS DE: Cabo multiconector CN420

GRAVAÇÃO AUDIO DE QUALIDADE E NOTAS DE VOZ

FORMATO:	Ficheiro WAV
QUALIDADE DE REPRODUÇÃO:	
RESOLUÇÃO:	16 bits
FREQUÊNCIA DE AMOSTRA:	24 kHz
GANHO:	Automático

ALIMENTAÇÃO

PILHAS:

TIPO:	2 pilhas alcalinas de 1,5 V tamanho AA(LR6)
DURAÇÃO TÍPICA:	8:45 horas

ALIMENTAÇÃO EXTERNA:

GAMA DE ENTRADA DE TENSÃO:	4,25 a 5,25 VDC
CORRENTE MÍNIMA:	250 mA

Para alimentar O SC420 a partir de uma rede de corrente alterna pública, recomenda-se a utilização do alimentador de rede AM300 e o cabo CN400.

DIMENSÕES E PESO

DIMENSÕES:	292 x 85 x 25 mm
PESO:	com pilhas 330 g sem pilhas 280 g

FILTROS DE BANDA DE OITAVA (Opcional)

Filtros de banda de oitava classe 1 segundo IEC 61260 com frequência central 16, 31'5, 63, 125, 250, 500, 1000 (1k), 2000 (2k), 4000 (4k), 8000 (8k) e 16000 (16k) Hz.

FILTROS DE BANDA DE TERÇOS DE OITAVA (Opcional)

Filtros de banda de terços de oitava classe 1 segundo IEC 61260 com frequência central 10, 12'5, 16, 20, 25, 31'5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000 (1k), 1250 (1.25k), 1600 (1.6k), 2000 (2k), 2500 (2.5k), 3150 (3.15k), 4000 (4k), 5000 (5k), 6300 (6.3k), 8000 (8k), 10000 (10k), 12500 (12.5k), 16000 (16k) e 20000 (20k) Hz.

TEMPO DE REVERBERAÇÃO (Opcional)

MEDIÇÃO DA CURVA DE DECAIMENTO À RESPOSTA IMPULSIVA:

A partir de níveis equivalentes (média linear) com tempo de integração sucessivo de 10 ms durante 6 s.

OBTENÇÃO DA CURVA DE DECAIMENTO A PARTIR DA RESPOSTA IMPULSIVA:

Método de integração inversa de Schroeder.

ESTIMATIVA DA PENDENTE DA CURVA DE DECAIMENTO:

Automaticamente a partir da regressão linear por mínimos quadrados desta.

INDICADORES DE QUALIDADE:

Parâmetro de não linearidade ξ , curvatura C e produto B-T para cada banda de frequência.

TRANSFORMADA DE FOURIER FFT (Opcional)

JANELA TEMPORAL	Hanning
Nº DE LINHAS:	10.000
RESOLUÇÃO DE ANÁLISE:	2 Hz
DETECTOR:	Nível equivalente
PONDERAÇÃO FREQUENCIAL:	A e Z

GRAVAÇÃO AUDIO COM QUALIDADE DE ANÁLISE

FORMATO:	Ficheiro WAV
QUALIDADE DE ANÁLISE:	
RESOLUÇÃO:	24 bits
FREQUÊNCIA DA AMOSTRA:	48 kHz
GANHO:	Ótima e constante durante toda a gravação

8.6 ANEXO 6 – Tabela de geração típica de calor metabólico para diversas atividades

Activity	Metabolic Rate		
	Met Units	W/m ²	(Btu/h-ft ²)
Resting			
Sleeping	0.7	40	(13)
Reclining	0.8	45	(15)
Seated, quiet	1.0	60	(18)
Standing, relaxed	1.2	70	(22)
Walking (on level surface)			
0.9 m/s, 3.2 km/h, 2.0 mph	2.0	115	(37)
1.2 m/s, 4.3 km/h, 2.7 mph	2.6	150	(48)
1.8 m/s, 6.8 km/h, 4.2 mph	3.8	220	(70)
Office Activities			
Reading, seated	1.0	55	(18)
Writing	1.0	60	(18)
Typing	1.1	65	(20)
Filing, seated	1.2	70	(22)
Filing, standing	1.4	80	(26)
Walking about	1.7	100	(31)
Lifting/packing	2.1	120	(39)
Driving/Flying			
Automobile	1.0–2.0	60–115	(18–37)
Aircraft, routine	1.2	70	(22)
Aircraft, instrument landing	1.8	105	(33)
Aircraft, combat	2.4	140	(44)
Heavy vehicle	3.2	185	(59)
Miscellaneous Occupational Activities			
Cooking	1.6–2.0	95–115	(29–37)
House cleaning	2.0–3.4	115–200	(37–63)
Seated, heavy limb movement	2.2	130	(41)
Machine work			
sawing (table saw)	1.8	105	(33)
light (electrical industry)	2.0–2.4	115–140	(37–44)
heavy	4.0	235	(74)
Handling 50 kg (100 lb) bags	4.0	235	(74)
Pick and shovel work	4.0–4.8	235–280	(74–88)
Miscellaneous Leisure Activities			
Dancing, social	2.4–4.4	140–255	(44–81)
Calisthenics/exercise	3.0–4.0	175–235	(55–74)
Tennis, single	3.6–4.0	210–270	(66–74)
Basketball	5.0–7.6	290–440	(90–140)
Wrestling, competitive	7.0–8.7	410–505	(130–160)

8.7 ANEXO 7 – Tabela de valores de isolamento do vestuário

Garment Description [†]	I_{clo} , clo	Garment Description ^b	I_{clo} , clo
Underwear		Dress and Skirts**	
Bra	0.01	Skirt (thin)	0.14
Panties	0.03	Skirt (thick)	0.23
Men's briefs	0.04	Sleeveless, scoop neck (thin)	0.23
T-shirt	0.08	Sleeveless, scoop neck (thick), i.e., jumper	0.27
Half-slip	0.14	Short-sleeve shirtdress (thin)	0.29
Long underwear bottoms	0.15	Long-sleeve shirtdress (thin)	0.33
Full slip	0.16	Long-sleeve shirtdress (thick)	0.47
Long underwear top	0.20	Sweaters	
Footwear		Sleeveless vest (thin)	0.13
Ankle-length athletic socks	0.02	Sleeveless vest (thick)	0.22
Pantyhose/stockings	0.02	Long-sleeve (thin)	0.25
Sandals/thongs	0.02	Long-sleeve (thick)	0.36
Shoes	0.02	Suit Jackets and Vests^{††}	
Slippers (quilted, pile lined)	0.03	Sleeveless vest (thin)	0.10
Calf-length socks	0.03	Sleeveless vest (thick)	0.17
Knee socks (thick)	0.06	Single-breasted (thin)	0.36
Boots	0.10	Single-breasted (thick)	0.44
Shirts and Blouses		Double-breasted (thin)	0.42
Sleeveless/scoop-neck blouse	0.12	Double-breasted (thick)	0.48
Short-sleeve knit sport shirt	0.17	Sleepwear and Robes	
Short-sleeve dress shirt	0.19	Sleeveless short gown (thin)	0.18
Long-sleeve dress shirt	0.25	Sleeveless long gown (thin)	0.20
Long-sleeve flannel shirt	0.34	Short-sleeve hospital gown	0.31
Long-sleeve sweatshirt	0.34	Short-sleeve short robe (thin)	0.34
Trousers and Coveralls		Short-sleeve pajamas (thin)	0.42
Short shorts	0.06	Long-sleeve long gown (thick)	0.46
Walking shorts	0.08	Long-sleeve short wrap robe (thick)	0.48
Straight trousers (thin)	0.15	Long-sleeve pajamas (thick)	0.57
Straight trousers (thick)	0.24	Long-sleeve long wrap robe (thick)	0.69
Sweatpants	0.28		
Overalls	0.30		
Coveralls	0.49		

* Data are from Chapter 9 in the 2009 ASHRAE Handbook—Fundamentals³.

† "Thin" refers to garments made of lightweight, thin fabrics often worn in the summer; "thick" refers to garments made of heavyweight, thick fabrics often worn in the winter.

** Knee-length dresses and skirts.

†† Lined vests.