



**Diana Patrícia
Ferreira da Costa**

**Impacto de PCMs no desempenho térmico de
edifícios em pedra do Séc. XX**



**Diana Patrícia
Ferreira da Costa**

**Impacto de PCMs no desempenho térmico de
edifícios em Pedra do Séc. XX**

Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor António José Barbosa Samagaio, Professor Associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

o júri

Presidente

Professora Doutora Ana Paula Duarte Gomes
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Vogais

Professora Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Professor Doutor António José Barbosa Samagaio
Professor Associado da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Gostaria de agradecer ao meu orientador, Prof. Doutor António Samagaio, pela ajuda, dedicação e apoio prestado durante a execução deste trabalho, pela partilha de conhecimentos, pelas críticas e sugestões, pela disponibilidade que apresentou e pela compreensão com a minha situação pessoal.

Ao engenheiro Agostinho Ribeiro, pela dicas no Energy Plus.

Agradeço aos meus pais e irmão, que sempre me apoiaram para que este percurso se torna-se possível.

Ao meu namorado que me incentivou a não desistir, por estar comigo sempre, por me aturar em todos os momentos.

À minha filha Maria, que com apenas 17 meses me faz sorrir a cada dia, e que foi a minha fonte de inspiração e força.

Aos meus colegas de curso e amigos agradeço pela amizade e companheirismo que fizeram este caminho mais fácil e agradável de percorrer.

Palavras-chave

Energia e edifícios, Materiais de Mudança de Fase (PCMs), desempenho térmico, conforto térmico, Modelação em EnergyPlus, Construção em granito.

Resumo

A construção em Portugal é pautada por uma enorme diversidade de características. A tipologia de construção varia ao longo do território, de acordo com a disponibilidade dos materiais, data da construção, clima, inclinação do terreno, custo do m² de terreno e classe social dos proprietários. Uma das características da construção portuguesa é a utilização de granito como material de construção, sendo este um material muito abundante nas zonas norte e sul do país. O granito, para além de ser uma pedra abundante, é também muito resistente e de elevada inércia térmica, o que permite diminuir as trocas de calor entre o exterior e o interior de um edifício construído neste material.

A reabilitação dos edifícios construídos em granito permite a conservação da cultura construtiva nacional, diminuindo a ocupação de solo para a construção de novos edifícios e melhorando o desempenho térmico dos referidos edifícios. O edifício escolhido para o caso de estudo foi o Jardim Escola João de Deus em Mortágua, projectado pelo Arq^o Raúl Lino.

Os materiais escolhidos para o isolamento do edifício foram o XPS 50 e o XPS 100 na forma de placas. O PCM escolhido foi o Rubitherm SP 25, uma mistura de sais hidratados e compostos orgânicos, que é aplicado na forma de painéis. A localização geográfica do edifício em estudo recaiu sobre três distritos, nomeadamente Porto, Lisboa e Guarda, representativos de zonas climáticas diferentes e onde a construção em granito é típica.

O isolamento do edifício em estudo pelo exterior, com o XPS 50 ou o XPS 100 tiveram influência na redução das necessidades energéticas de aquecimento / arrefecimento, não tendo contribuído para a diminuição da temperatura interna do edifício.

A aplicação do PCM em conjunto com o isolante não teve qualquer influência no desempenho térmico do edifício, pois a inércia térmica do granito sobrepôs-se à função para a qual o PCM foi projectado.

keywords

Energy and Buildings, Phase Change Materials (PCMs), thermal performance, thermal comfort, Modeling in EnergyPlus, Granite Construction.

abstract

The construction in Portugal is marked by a diversity of characteristics. The type of construction varies throughout the territory, according to the availability of materials, date of construction, climate, slope of the land, cost of m² of land and social class of owners. One feature of the Portuguese construction is to use granite as a building material, and this is a very abundant material in the northern and southern parts of the country. The granite, besides being an abundant stone, is also very resistant and high thermal inertia, which allows reducing the heat exchange between the exterior and the interior of a building constructed in this material.

The rehabilitation of buildings constructed in granite allows retention of national constructive culture, decreasing the occupation of land for the construction of new built and improving the thermal performance of the said building. The building chosen for the case study was the Kindergarten John of God in Mortágua, designed by Architect Raul Lino.

The materials chosen for building insulation have been XPS XPS 50 and 100 in the form of plates. The PCM selected was Rubitherm SP 25, a mixture of hydrated salts and organic compounds, which is applied in the form of panels. The geographical location of the building under study fell on three districts, namely Porto, Lisbon and Guarda, representing different and where the granite construction is typical climatic zones.

The insulation of the building on the outside study, with the XPS 50 or the XPS 100 had an influence on reducing energy needs for heating/cooling, has not contributed to reducing the internal temperature of the building.

The application of PCM in conjunction with the insulating had no effect on the thermal performance of the building, since the thermal inertia of the granite overlapped the function for which it was designed PCM.

Índice

Índice de Tabelas	iii
Índice de Figuras.....	v
Nomenclatura.....	xi
1. Introdução.....	1
1.1. Motivação	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Organização da Tese.....	2
2. Enquadramento.....	3
2.1. Legislação sobre energia em edifícios	3
2.1.1. Legislação Europeia	3
2.1.2. Legislação Portuguesa	4
2.2. Consumo de energia no sector da construção.....	8
2.3. Construção em Portugal	10
2.4. Isolamento térmico	16
2.5. A obra do Arqº Raúl Lino	18
2.6. Materiais de Mudança de Fase (PCM).....	19
3. Caso de estudo	23
3.1. Jardim Escola João de Deus em Mortágua.	23
3.1.1. Elementos construtivos	30
3.1.1.1. Paredes exteriores.....	30
3.1.1.2. Teto.....	32
3.1.1.3. Cobertura	33
3.1.1.4. Pavimento	33
3.1.1.5. Paredes interiores.....	34
3.1.1.6. Janelas e portas	35
3.2. Localização geográfica	36
3.3. EnergyPlus.....	39

3.4. Modelo de conforto térmico	46
4. Resultados.....	49
4.1. Temperatura exterior vs. temperatura interior	49
4.2. Necessidades energéticas de aquecimento.....	73
4.3. Necessidades energéticas de arrefecimento.....	81
4.4. Conforto térmico.....	91
5. Conclusões	149
Bibliografia	151
Anexo A	157

Índice de Tabelas

Tabela 1: Zonas do casos de Estudo	27
Tabela 2: Propriedades físicas do Granito e fontes de informação	30
Tabela 3: Propriedades físicas do isolante e fontes de informação	31
Tabela 4: Propriedades físicas do Rubitherm SP 25.....	31
Tabela 5: Propriedades físicas dos materiais constituintes da cobertura.....	32
Tabela 6: Propriedades físicas da telha cerâmica	33
Tabela 7: Propriedades físicas dos materiais de construção do Pavimento	34
Tabela 8: Propriedades físicas dos materiais constituintes das paredes interiores	34
Tabela 9: Propriedades físicas dos materiais constituintes das portas	35
Tabela 10: Propriedades físicas das janelas em madeira com vidro simples.....	35
Tabela 11: Zonas climáticas de Verão e de Inverno para os distritos do caso de estudo	38
Tabela 12: Nível de atividade correspondente a várias ações (ASHRAE, 2009)	46
Tabela 13: Isolamento típico de algumas combinações de vestuário (ASHRAE, 2009)	47
Tabela 14: Escala de PMV de Fanger	48
Tabela 15: Consumos energético anuais , para aquecimento e arrefecimento, em MJ, para os distritos do Porto, Lisboa e Guarda para a construção em granito, com isolante e com isolante e PCM.....	89
Tabela 16: Poupança energética, em MJ ano ⁻¹ , com aplicação do isolante e do isolante + PCM para os distritos do Porto, Lisboa e Guarda	89
Tabela 17: Poupança, em €, no consumo energético anual com a aplicação do isolante e do isolante + PCM nos distritos do Porto, Lisboa e Guarda	90
Tabela 18: Níveis de atividade e isolamento térmico de vestuário.....	91
Tabela 19: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.1 para o Porto	92
Tabela 20: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.2 para o Porto	93
Tabela 21: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.3 para o Porto	94
Tabela 22: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.4 para o Porto	95
Tabela 23: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.5 para o Porto	96
Tabela 24: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.6 para o Porto	97
Tabela 25: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.1 para o Porto	98
Tabela 26: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.2 para o Porto	100
Tabela 27: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.3 para o Porto	102
Tabela 28: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.4 para o Porto	104
Tabela 29: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.5 para o Porto	106
Tabela 30: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.6 para o Porto	108
Tabela 31: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.1 para Lisboa.....	110
Tabela 32: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.2 para Lisboa.....	110

Tabela 33: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.3 para Lisboa.....	112
Tabela 34: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.4 para Lisboa.....	113
Tabela 35: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.5 para Lisboa.....	114
Tabela 36: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.6 para Lisboa.....	115
Tabela 37: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.1 para Lisboa	116
Tabela 38: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.2 para Lisboa	118
Tabela 39: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.3 para Lisboa	120
Tabela 40: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.4 para Lisboa	122
Tabela 41: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.5 para Lisboa	124
Tabela 42: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.6 para Lisboa	126
Tabela 43: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.1 para a Guarda	129
Tabela 44: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.2 para a Guarda	130
Tabela 45: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.3 para a Guarda	131
Tabela 46: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.4 para a Guarda	132
Tabela 47: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.5 para a Guarda	133
Tabela 48: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.6 para a Guarda	134
Tabela 49: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.1 para a Guarda	135
Tabela 50: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.2 para a Guarda	137
Tabela 51: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.3 para a Guarda	139
Tabela 52: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.4 para a Guarda	141
Tabela 53: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.5 para a Guarda	143
Tabela 54: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.6 para a Guarda	145

Índice de Figuras

Figura 1: Distribuição do consumo de energia na habitação. (INE and DGEG, 2011).....	9
Figura 2: Emprego na construção em relação ao emprego Total, %,(INE, 2013)	11
Figura 3: Número de alojamentos familiares clássicos e de famílias clássicas 1970-2011 (INE and LNEC, 2013)	13
Figura 4: Número de edifícios de acordo com a sua época de construção (CENSOS 2011).....	14
Figura 5: Localização do Jardim escola João de Deus, Mortágua (Google maps).....	23
Figura 6: Planta topográfica Jardim escola João de Deus, Mortágua (Lino, 1944)	24
Figura 7: Planta Jardim escola João de Deus, Mortágua (Lino, 1944)	25
Figura 8: Fachada Sudeste do Jardim escola João de Deus (Lino, 1944)	25
Figura 9: Fachada Noroeste do Jardim escola João de Deus (Lino, 1944)	25
Figura 10: Fachada Nordeste do Jardim escola João de Deus (Lino, 1944)	26
Figura 11: Fachada Sudoeste do Jardim Escola João de Deus (Lino, 1944).....	26
Figura 12: Planta adaptada ao caso de estudo	28
Figura 13: Fachada principal, virada a Sul, do caso de estudo.	28
Figura 14: Fachada Norte do Caso de estudo.....	29
Figura 15: Fachada Este do caso de estudo.....	29
Figura 16: Fachada Oeste do caso de estudo	29
Figura 17: Entalpia vs. Temperatura do PCM, (Rubitherm)	32
Figura 18: Clima de Portugal continental, segundo Koppën (IPMA, 2014)	36
Figura 19: Temperatura média anual em Portugal continental (IPMA, 2014)	37
Figura 20: Distribuição geográfica das zonas climáticas de Inverno (a) e das zonas climáticas de Verão (b) (Camelo <i>et al.</i> , 2006).....	38
Figura 21: Diagrama de funcionamento do <i>EnergyPlus</i> (OLBNL, 2013).....	39
Figura 22: Diagrama dos dados de entrada e saída do <i>EnergyPlus</i> (OLBNL, 2013)	41
Figura 23: Definição de materiais no <i>EnergyPlus</i>	42
Figura 24: Definição das soluções construtivas no <i>EnergyPlus</i>	42
Figura 25: Definição das Zonas no <i>EnergyPlus</i>	43
Figura 26: Definição do sentido de orientação da geometria do edifício no <i>EnergyPlus</i>	44
Figura 27: Definição da geometria do edifício no <i>EnergyPlus</i>	44
Figura 28: Definição das condições dos elementos construtivos no <i>EnergyPlus</i>	45
Figura 29: Definição das taxas de renovação horárias no <i>EnergyPlus</i>	45
Figura 30: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.1 para o Porto.....	49
Figura 31: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.2 para o Porto.....	50
Figura 32: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.3 para o Porto.....	50
Figura 33: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.4 para o Porto.....	51
Figura 34: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.5 para o Porto.....	51

Figura 35: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.6 para o Porto.....	52
Figura 36: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.1 ,para o Porto no Inverno	52
Figura 37: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.2, para o Porto no Inverno	53
Figura 38: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.3, para o Porto no Inverno	53
Figura 39: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.4, para o Porto no Inverno	53
Figura 40: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.5, para o Porto no Inverno	54
Figura 41: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.6, para o Porto no Inverno	54
Figura 42: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.1, para o Porto no Verão	55
Figura 43: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.2, para o Porto no Verão	55
Figura 44: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.3, para o Porto no Verão	55
Figura 45: Variação horária da temperatura interior e exterior na na ZNT 1.4, para o Porto no Verão.....	56
Figura 46: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.5, para o Porto no Verão	56
Figura 47: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.6, para o Porto no Verão	56
Figura 48: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.1 para Lisboa	57
Figura 49: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.2 para Lisboa	57
Figura 50: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.3 para Lisboa	58
Figura 51: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.4 para Lisboa	58
Figura 52: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.5 para Lisboa	58
Figura 53: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.6 para Lisboa	59
Figura 54: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.1, para Lisboa no Inverno	60
Figura 55: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.2, para Lisboa no Inverno	60
Figura 56: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.3, para Lisboa no Inverno	60

Figura 57: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.4, para Lisboa no Inverno	61
Figura 58: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.5, para Lisboa no Inverno	61
Figura 59: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.6,para Lisboa no Inverno	61
Figura 60: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.1, para Lisboa no Verão	63
Figura 61: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.2, para Lisboa no Verão	63
Figura 62: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.3, para Lisboa no Verão	63
Figura 63: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.4, para Lisboa no Verão	64
Figura 64: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.5, para Lisboa no Verão	64
Figura 65: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.6, para Lisboa no Verão	64
Figura 66: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.1 para a Guarda	65
Figura 67: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.2 para a Guarda	65
Figura 68: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.3 para a Guarda	66
Figura 69: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.4 para a Guarda	66
Figura 70: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.5 para a Guarda	66
Figura 71: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.6 para a Guarda	67
Figura 72: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.1,para a Guarda no Inverno	68
Figura 73: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.2,para a Guarda no Inverno	68
Figura 74: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.3,para a Guarda no Inverno	68
Figura 75: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.4,para a Guarda no Inverno	69
Figura 76: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.5,para a Guarda no Inverno	69
Figura 77: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.6,para a Guarda no Inverno	69
Figura 78: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.1,para a Guarda no Verão	71
Figura 79: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.2, para a Guarda no Verão	71
Figura 80: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.3, para a Guarda no Verão	71
Figura 81: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.4 ,para a Guarda no Verão	72

Figura 82: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.5,para a Guarda no Verão	72
Figura 83: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.6,para a Guarda no Verão	72
Figura 84: Necessidade energéticas mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.1 no Porto	73
Figura 85: Necessidade energéticas mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.2 no Porto	74
Figura 86: Necessidade energéticas mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.3 no Porto	74
Figura 87: Necessidade energéticas mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.4 no Porto	74
Figura 88: Necessidade energéticas mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.5 no Porto	75
Figura 89: Necessidade energéticas mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.1 em Lisboa	76
Figura 90: Necessidade energéticas mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.2 em Lisboa	76
Figura 91: Necessidade energéticas mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.3 em Lisboa	76
Figura 92: Necessidade energéticas mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.4 em Lisboa	77
Figura 93: Necessidade energéticas mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.5 em Lisboa	77
Figura 94: Necessidade energéticas mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.1 na Guarda	78
Figura 95: Necessidade energéticas mensais de aquecimento em MJ,para a ZNT 1.2 na Guarda	79
Figura 96: Necessidade energéticas mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.3 na Guarda	79
Figura 97: Necessidade energéticas mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.4 na Guarda	79
Figura 98: Necessidade energéticas mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.5 na Guarda	80
Figura 99: Necessidade energéticas mensais de arrefecimento em MJ, para a ZNT 1.1 no Porto	81
Figura 100: Necessidade energéticas mensais de arrefecimento em MJ, para a ZNT 1.2 no Porto	81
Figura 101: Necessidade energéticas mensais de arrefecimento em MJ, para a ZNT 1.3 no Porto	82
Figura 102: Necessidade energéticas mensais de arrefecimento em MJ, para a ZNT 1.4 no Porto	82
Figura 103: Necessidade energéticas mensais de arrefecimento em MJ, para a ZNT 1.5 no Porto	82
Figura 104: Necessidade energéticas mensais de arrefecimento em MJ para a ZNT 1.1 em Lisboa	84
Figura 105: Necessidade energéticas mensais de arrefecimento em MJ para a ZNT 1.2 em Lisboa	84
Figura 106: Necessidade energéticas mensais de arrefecimento em MJ para a ZNT 1.3 em Lisboa	84
Figura 107: Necessidade energéticas mensais de arrefecimento em MJ para a ZNT 1.4 em Lisboa	85
Figura 108: Necessidade energéticas mensais de arrefecimento em MJ para a ZNT 1.5, em Lisboa	85

Figura 109: Necessidade energéticas mensais de arrefecimento para a ZNT 1.1, em MJ, na Guarda	86
Figura 110: Necessidade energéticas mensais de arrefecimento para a ZNT 1.2, em MJ, na Guarda	87
Figura 111: Necessidade energéticas mensais de arrefecimento para a ZNT 1.3, em MJ, na Guarda	87
Figura 112: Necessidade energéticas mensais de arrefecimento para a ZNT 1.4, em MJ, na Guarda	88
Figura 113: Necessidade energéticas mensais de arrefecimento para a ZNT 1.5, em MJ, na Guarda	88
Figura 114: PPD no dia mais frio na ZNT 1.1, para o Porto	99
Figura 115: PPD no dia mais quente na ZNT 1.1, para o Porto.....	99
Figura 116: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.2, para o Porto.....	101
Figura 117: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.2, para o Porto	101
Figura 118: PPD no dia mais quente na ZNT 1.3 no Porto	103
Figura 119: PPD no dia mais frio na ZNT 1.3 no Porto	103
Figura 120: PPD no dia mais quente na ZNT 1.4, para o Porto.....	105
Figura 121: PPD no dia mais frio na ZNT 1.4, para o Porto	105
Figura 122: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.5 para o Porto.....	107
Figura 123: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.5, para o Porto	107
Figura 124: PPD no dia mais quente do ano, na ZNT 1.6 para o Porto	109
Figura 125: PPD no dia mais frio do ano, na ZNT 1.6 para o Porto.....	109
Figura 126: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.1 em Lisboa	117
Figura 127: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.1 em Lisboa.....	117
Figura 128: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.2 em Lisboa	119
Figura 129: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.2 em Lisboa.....	119
Figura 130: PPD no dia mais quente, na ZNT1.3 em Lisboa	121
Figura 131: PPD no dia mais frio, na ZNT1.3 em Lisboa	121
Figura 132: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.4 em Lisboa	123
Figura 133: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.4 em Lisboa	123
Figura 134: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.5 em Lisboa	125
Figura 135: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.5 em Lisboa	125
Figura 136: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.6 em Lisboa	127
Figura 137: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.6 em Lisboa.....	127
Figura 138: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.1 na Guarda.....	136
Figura 139: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.1 na Guarda	136
Figura 140: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.2 para a Guarda.....	138
Figura 141: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.2 para a Guarda.....	138

Figura 142: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.3 para a Guarda.....	140
Figura 143: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.3 para a Guarda.....	140
Figura 144: PPD no dia mais quente do ano na ZNT 1.4 para a Guarda	142
Figura 145: PPD no dia mais frio na ZNT 1.4 para a Guarda.....	142
Figura 146: PPD no dia mais quente na ZNT 1.5 para a Guarda	144
Figura 147: PPD no dia mais frio na ZNT 1.5, para a Guarda.....	144
Figura 148: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.6 para a Guarda	146
Figura 149: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.6 para a Guarda.....	146

Nomenclatura

A	Área	[m ²]
ASHRAE	<i>American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>	
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado	
CEE	Comissão Económica Europeia	
CO ₂	Dióxido de carbono	
C _p	Calor específico	[J kg ⁻¹ K ⁻¹]
ECO.AP	Programa de Eficiência Energética para a Administração Pública	
EDP	Energias de Portugal	
EIB	Banco Europeu de Investimentos	
ELENA	<i>European Local Energy Assistance</i>	
ENE	Estratégia Nacional para a Energia	
EPS	Poliestireno Expandido Moldado	
ETICS	<i>External Thermal Insulation Composite System</i>	
GEE	Gases com Efeito de Estufa	
g _v	Fator solar	
H _r	Humidade Relativa	[%]
IDF	<i>Input Data File</i>	
INE	Instituto Nacional de Estatística	
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera	
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil	
m	Fluxo de massa	[kg]
NZEB	<i>Net-Zero Energy Building</i>	
PCM	<i>Phase Change Material</i>	
PMV	<i>Predicted Mean Voto</i>	
PNAEE	Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética	
PNAER	Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis	
PPD	<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i>	[%]
Q	Fluxo de calor	[J]
R	Resistência térmica	[m ² °C ⁻¹ W ⁻¹]
RCCTE	Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios	
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios	
SCE	Sistemas de Certificação Energética de e da qualidade do ar interior dos edifícios	
T _{ext}	Temperatura externa	
T _{int}	Temperatura interna	
U	Coefficiente de transmissão térmica	[W m ⁻² °C ⁻¹]
UE	União Europeia	
XPS	Poliestireno Expandido Expandido	
ε	Emissividade	
λ	Condutividade térmica	[W m ⁻¹ °C ⁻¹]
ρ	Massa volúmica aparente	[kg m ⁻³]

1. Introdução

1.1. Motivação

Desde a Antiguidade que o Homem tem a preocupação de construir, tendo sido as suas primeiras casas as cavernas, de forma a que se pudesse proteger das condições atmosféricas. Os poucos conhecimentos na área da construção de habitações levaram a que muitas casas fossem construídas por tentativa e erro, com recurso aos materiais disponíveis na zona adjacente à obra. Por este motivo, é inevitável que se estabeleça a relação entre o clima e os recursos naturais disponíveis no local.

Com o passar do tempo, a preocupação deixou de ser só construir e passou a ser também melhorar a qualidade e o conforto interior da habitação. Surgiu, então, o recurso a equipamentos artificiais como forma de aquecimento/arrefecimento viável, que necessitam de energia para funcionar. O conforto térmico é entendido como uma condição essencial e indiscutível para o bem estar dos moradores e trabalhadores, daí o seu estudo ser importante.

A construção de edificações em pedra, é uma prática bastante comum em Portugal. Grandes monumentos, habitações, escolas e igrejas, são construídos neste material. O tipo de pedra que se utiliza como matéria prima varia de zona para zona do país, de acordo com a disponibilidade natural e local.

Na União Europeia, o sector da habitação é responsável pela maior parcela no consumo de energia com 40 % do consumo total de energia, e é responsável por emitir mais de 20% das emissões totais de CO₂, representando a nível mundial o maior potencial na redução de gases de efeito de estufa ligados à energia, no horizonte de 2030 (EUR-LEX, 2010)

O consumo de combustíveis fósseis é na atualidade uma preocupação cada vez maior quer pela escassez de recursos quer pela emissão de Gases com Efeito de Estufa. A emissão originada pela queima destes combustíveis estão a provocar alterações climáticas.

O aumento global da temperatura é uma das consequências do aumento das emissões de CO₂, aumento que pode ir de 1.4 °C se estabilizar as emissões, a 5.8 °C, caso não sejam tomadas quaisquer medidas. No planeta Terra, já se sentem estas consequência, entre elas o aumento do nível do mar devido ao degelo dos glacières, Invernos e Verões mais rigorosos, tornados, tufões, chuvas intensas, incêndios difíceis de controlar, etc.

A preocupação com o aquecimento global e suas consequências levou a que as principais autoridades internacionais adotassem um conjunto de medidas significativas e importantes. Para estabelecer o equilíbrio que atinge a harmonia entre a subsistência energética das gerações futuras e o ambiente, é urgente intervir, modificando e reduzindo o consumo de energia:

- Motivos éticos e sociais: 28% da população Mundial consome 77% de toda a energia produzida, enquanto 72% da população vive apenas com os restantes 23%.
- Motivos estratégicos: A Europa, em particular Portugal, para satisfazer as suas necessidades de combustíveis fósseis depende de países fora da UE.

- Motivos económicos: Nas despesas anuais de um lar, a fatura energética representa uma parcela muito significativa.

Com o intuito de reduzir o consumo de energia utilizada pelos equipamentos de aquecimento e arrefecimento, foram criadas alternativas construtivas, entre eles os isolantes e os materiais de mudança de fase (*PCM's*). Estes tem a função de reduzir a transferência de energia na forma de calor, entre o exterior e o interior do edifício.

Para que se possa manter a cultura construtiva do nosso país e diminuir a degradação do património, é necessário recorrer à reabilitação dos edifícios, usando materiais que aumentem o conforto térmico, reduzam as necessidades energéticas do edifício e sejam economicamente viáveis.

1.2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto que a aplicação de um isolante e de um PCM, provocam no conforto térmico e nas necessidades energéticas de um edifício de pedra do sec.XX. Para tal, recorreu-se ao programa EnergyPlus do DOE dos EUA, que permite efetuar uma análise energética em regime dinâmico. Como forma de perceber o impacto no conforto térmico recorreu-se ao método de Fanger, descrito na Norma Europeia ISO 7730: 2005 (União Europeia, 2005) e no Handbook of Fundamentals da ASHRAE de 2009 (ASHRAE, 2009)

Os resultados obtidos antes e após aplicação de Isolantes serão analisados e devidamente comentados. O presente trabalho visa ainda analisar a viabilidade da aplicação deste materiais na reabilitação de edifícios em granito.

1.3. Organização da Tese

O presente documento está organizado em sete capítulos. No primeiro capítulo é feita uma pequena introdução à temática básica do estudo. No capítulo segundo são apresentados os principais objetivos do presente estudo. O terceiro e presente capítulo descreve a estrutura do documento e como se encontra organizados os conteúdos a abordar.

No Capítulo 4 apresenta-se o enquadramento em relação à legislação sobre o consumo de energia em edifícios, consumos energéticos na habitação, a obra do arquiteto português Raúl Lino, Conforto térmico e PCMs.

O Capítulo 5 descreve o caso de estudo. Esta descrição abrange o edifício do jardim escola, os materiais utilizados nos elementos construtivos e a aplicação e definição no programa de simulação *EnergyPlus* e o modelo de conforto térmico escolhido.

No capítulo 6 são apresentados os resultados obtidos com a realização da simulação e respetiva discussão.

O capítulo 7 apresenta as principais conclusões e pontos fundamentais da discussão feita aos resultados obtidos. São apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros a realizar no âmbito desta tese.

2. Enquadramento

2.1. Legislação sobre energia em edifícios

2.1.1. Legislação Europeia

As Nações Unidas incentivaram todos os governos mundiais a assumirem as suas responsabilidades, e a tomarem medidas internas para a redução das suas emissões. A União Europeia decidiu implementar algumas medidas para prevenir o desperdício de energia e assim diminuir, consideravelmente, as emissões com efeito de estufa exigidas pelo Protocolo de Quioto, em cuja assinatura, em 1997, estipulou uma meta de redução de 8% de emissões no período entre 2008 e 2012, em relação aos níveis de 1990 (Samagaio, 2011).

No ano de 2002, o Parlamento Europeu e do Conselho lançaram a Directiva n.º 2002/91/CE de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios (EPBD). Esta estabeleceu exigências térmicas e de desempenho energético para edifícios novos e já existentes que fossem sujeitos a grandes obras de renovação, e promoveu a obrigatoriedade de implementação, por parte dos diversos estados membros, de um sistema de certificação energética de forma a informar o cidadão acerca da qualidade térmica dos edifícios, privados e públicos, aquando da construção, venda ou arrendamentos dos mesmos (ITeCons, 2014). Até 2016 os estados membros da UE, deviam ter definido internamente :

- Requisitos mínimos de qualidade aos novos edifícios;
- Requisitos mínimos para reabilitações importantes de edifícios existentes;
- Introdução da Certificação Energética obrigatória;
- Qualificação profissional adequada dos técnicos da certificação;
- Inspeção a caldeiras, equipamentos e sistemas de AVAC;
- Inspeções aos sistemas de aquecimento quando estes tiverem 15 anos;
- Que os requisitos mínimos sejam cumpridos antes de ter licença de utilização;
- A legislação nacional deverá ser revista de 5 em 5 anos.

Em março de 2007, o Conselho Europeu estabeleceu um plano de medidas sobre as alterações climáticas, conhecido como a meta dos 20-20-20 e que tem como principais metas, até ao ano de 2020 (Comissão Europeia, 2014)

- Redução das emissões de GEE em 20% face aos níveis de emissão em 1990;
- Aumento de 20% do uso de energia proveniente de fontes renováveis;

- Adoção de medidas com vista à obtenção de uma poupança energética de 20% relativamente aos níveis actuais.

Em 2009, foi lançado o projecto denominado ELENA (European Local ENergy Assistance), uma parceria entre a comissão europeia e o Banco Europeu de investimentos (EIB) que tem como finalidade ajudar as cidades e regiões europeias a investirem em projectos de energia sustentável e renovável (European Investment Bank, 2010).

A Diretiva 2010/31/EU de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (Jornal Oficial, [s.d.]), sucessora da Directiva n.º 2002/91/CE, para além dos já existentes, impõe novos desafios direccionáveis sobretudo aos novos edifícios, entre eles a instalação de painéis solares fotovoltaicos e térmicos. Dentro dessa diretiva, destacam-se, ainda, os novos critérios de conceção dum edifício que devem ser cumpridos de acordo com as condições climáticas locais. A Diretiva aprova igualmente, ações de renovação de edifícios existentes de forma a combater os desperdícios energéticos.

A Diretiva trouxe consigo o conceito de “Edifícios de energia quase zero”. Edifícios de Energia quase zero ou de balanço quase zero- NZEB, são edifícios nos quais a procura e a oferta energéticas são quase equivalentes, ou seja, edifícios com baixas necessidades energéticas compensadas pela contribuição de renováveis localmente ou nas proximidades. Após 2020, todos os novos edifícios construídos têm que ser detentores e cumpridores deste requisito (Ascenso, 2012).

2.1.2. Legislação Portuguesa

A necessidade de reduzir o consumo de energia à escala Global, honrar o compromisso assumido com a UE no âmbito do Protocolo de Quioto, dita a necessidade de cada país desenvolver políticas energéticas capazes de cumprir metas. Portugal, assim como os países membros, adotou modelos energéticos que lhe permitam alcançar um melhor desempenho no sector. A política energética nacional assenta em dois pilares fundamentais: a racionalidade económica e a sustentabilidade, preconizando medidas de eficiência energética, a utilização de energia proveniente de fontes renováveis e a necessidade de reduzir os custos (ADENE, 2014).

No âmbito de uma política que aposta num modelo energético racional e sustentável, sem comprometer a competitividade das empresas nem a qualidade de vida dos cidadãos, foram desenvolvidos programas e planos que concorrem para objetivos específicos e vão permitir dinamizar medidas a todos os níveis (ADENE, 2014):

- PNAEE - Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética;
- PNAER - Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis;
- ECO.AP - Programa de eficiência energética para a Administração Pública.

A Estratégia Nacional para a Energia (ENE2020), aprovada pela Resolução de Conselho de Ministros 29/2010 de 15 de Abril tem como base 5 eixos principais (APREN, 2010):

- Agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira;
- Aposta nas energias renováveis;
- Promoção da eficiência energética;
- Garantia da segurança de abastecimento;
- Sustentabilidade económica e ambiental.

E tem como objetivos até 2020 (Cardoso, [s.d.]) :

- Reduzir a dependência energética para 74%;
- 31% de energia proveniente de fontes renováveis;
- Da electricidade produzida, 60% deve ter origem em fontes renováveis;
- Criar riqueza e consolidar um cluster energético no sector das energias renováveis e da eficiência energética, criando mais 121.000 postos de trabalho e proporcionando exportações equivalentes a 400 M€;
- Aumentar a eficiência energética em 20%;
- Poupança energética por eficiência energética de 60 milhões de barris de petróleo/ano;
- Reduzir o saldo importador energético em 25%, o que leva a uma poupança de dois mil milhões de euros a nível de importações;
- Cumprir compromissos ambientais: menos 20 milhões de toneladas de CO2 num valor de 300 milhões de euros.

A ENE define a obrigatoriedade de instalar sistemas solares térmicos em todos os novos edifícios. Nas medidas de eficiência energética no setor doméstico e serviços estes sistemas são principalmente a instalação do solar térmico, a melhoria do isolamento térmico, e a colocação de vidro duplo de elevada eficiência, etc.

A 28 de Fevereiro de 2013, por Resolução do Conselho de Ministros nº 20/2013, o PNAEE foi reformulado, passando então a denominar-se PNAEE 2016. Foram projetadas e definidas novas metas a atingir entre 2013 e 2016. Deliniam-se com base em três eixos de atuação (Casão and Sousa, 2013):

- Ação, através da adequação das medidas ao atual contexto económico- financeiro, tendo em vista a redução do custo global do programa nacional de eficiência energética;
- Monitorização, através da revisão dos métodos de monitorização de resultados e criação de uma visão macro do impacto do programa nacional de eficiência energética;
- Governação, através da redefinição do modelo de governação do PNAEE anterior.

As novas metas que se pretende atingir até 2020 vão ao encontro do compromisso assumido com a UE: a redução no consumo de energia primária de 25% e o objetivo específico para a Administração Pública de redução de 30% (Casão and Sousa, 2013).

As linhas do PNAER 2020, também reformulado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013 de 28 de Fevereiro, centram-se no cumprimento da meta de 10% no eixo dos Transportes e na identificação das tecnologias que devem ter prioridade de entrada no sistema,

caso seja necessária potência adicional para a produção de energia elétrica proveniente de Fontes de energia renováveis, tendo em conta os novos regimes remuneratórios previstos no Decreto-Lei n.º 215-B/2012, de 8 de outubro (Casção and Sousa, 2013).

O ECO.AP foi lançado pela Resolução do Conselho de Ministros nº 2/2011, e visa atingir os 30% de eficiência energética nos organismos e serviços da Administração Pública até 2020, sem fazer aumentar a despesa pública e, paralelamente, conseguir estimular a economia no setor das empresas de serviços energéticos. Neste programa serão dinamizadas medidas que permitirão, efetivamente, ao Estado reduzir a fatura energética nos serviços e organismos públicos e reduzir a emissão de gases com efeitos de estufa. Por outro lado, a criação do quadro legal das empresas de serviços energéticos (ESE) e da contratação pública de gestão de serviços energéticos potencia a criação de um novo mercado estimulando assim a economia do sector (ADENE, 2014).

Outra ambição deste programa é promover a alteração de hábitos e comportamentos, de forma a combater o desperdício e a ineficiência dos usos de energia em todas as suas vertentes. De forma a atingir os objetivos foi criado um procedimento específico de contratação pública, que permite a realização dos contratos de eficiência energética de forma mais célere aplicado às ESE – Empresas de Serviço de Energia, que estejam devidamente registadas e qualificadas.

Com vista a alcançar os objetivos propostos pelo ECO.AP está em funcionamento o Barómetro de Eficiência Energética, que nada mais é do que um instrumento estratégico para promover a competição entre as várias entidades públicas, já que permite com base numa bateria de indicadores, avaliar e comparar o desempenho energético de cada serviço e organismo, sendo os rankings divulgados publicamente (ADENE, 2014).

A transposição para o direito nacional da Directiva n.º 2002/91/CE, conduziu à publicação de 3 diplomas legais (ITeCons, 2014):

- Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril- Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE);
- Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de abril que revogou o Decreto-lei n.º 188/98 de 7 de Maio -Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE);
- Decreto-Lei n.º 79/2006, 4 de Abril, revogando o Decreto-lei n.º 188/98 de 7 de Maio- Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE).

Com o SCE pretende-se proporcionar economias significativas de energias para o País em geral e para os utilizadores dos Edifícios , em particular. Este visa (APEMIP, 2006):

- Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis, e às condições de garantia da qualidade do ar interior;
- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior dos edifícios;
- Identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, designadamente caldeiras e equipamentos

de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeit a à qualidade do ar interior.

E define como prazos de entrada em vigor (APEMIP, 2006):

- Até 1 de Julho de 2007: todos os novos edifícios destinados à habitação com área útil superior a 1000 m² e os edifícios de serviços, novos ou que sejam objeto de grandes obras de remodelação, cuja área útil seja superior ao limite mínimo de 1000 m² ou de 500 m², dependendo da sua tipologia e cujos pedidos de licenciamento ou autorização de edificação sejam apresentados à entidade competente;
- A partir de 1 de Julho de 2008: Para os edifícios novos, independentemente da área ou fim, cujos pedidos de licenciamento ou autorização de edificação sejam apresentados à entidade competente;
- A partir de 1 de Janeiro de 2009: Todos os edifícios.

O RCCTE estabelece requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível das características da envolvente, limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos. Este regulamento impõe limites aos consumos energéticos para climatização e produção de águas quentes, num claro incentivo à utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacto em termos de energia primária. Esta legislação impõe a instalação de painéis solares térmicos e valoriza a utilização de outras fontes de energia renovável (ADENE, 2014).

RCCTE

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro, foi o primeiro instrumento legal que, em Portugal, impôs requisitos ao projecto de novos edifícios e de grandes remodelações por forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios sem necessidades excessivas de energia, quer no Inverno, quer no Verão . Pretendia também melhorar a qualidade e desempenho térmico da construção existente em Portugal (Feitas, 2007).

Esta versão conseguiu alguns resultados positivos, mas foi considerada por muitos pouco exigente. Como forma de melhorar o este documento e transpor para a legislação portuguesa a Directiva nº 2002/91/CE surgiu então o RCCTE (RCCTE, 2006).

O Decreto-Lei 80/2006, de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) estabelece requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível das características da envolvente, limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos. Este regulamento impõe limites aos consumos energéticos para climatização e produção de águas quentes, num claro incentivo à utilização de sistemas eficientes e de fontes

energéticas com menor impacto em termos de energia primária. Esta legislação impõe a instalação de painéis solares térmicos e valoriza a utilização de outras fontes de energia renovável.

Esta nova versão do RCCTE assenta, portanto, no pressuposto de que uma parte significativa dos edifícios vêm a ter meios de promoção das condições ambientais nos espaços interiores, quer no Inverno quer no Verão, e limitam consumos associados ao uso desses meios. Este Regulamento alarga, assim, as suas exigências ao definir claramente objectivos de provisão de taxas de renovação do ar adequadas que os projectistas devem obrigatoriamente satisfazer (Sepúlveda, 2007).

Com o aparecimento do regulamento a construção em Portugal melhorou significativamente. As paredes da envolvente dos edifícios começaram a incorporar na sua constituição uma camada de isolamento térmico, permitindo assim que as variações de temperatura exteriores tivessem menor impacto no interior dos edifícios. Esta mudança pretendia diminuir o uso exagerado de equipamentos artificiais de aquecimento e arrefecimento.

O atual RCCTE obrigou muitos dos edifícios existentes a processos de requalificação e reabilitação. Assim, a regulamentação térmica ganha uma importância enorme nos campos da construção e reabilitação de edifícios, tornando-se numa mais valia na melhoria do seu conforto térmico (Afonso, 2009).

2.2. Consumo de energia no sector da construção

O setor da construção é o setor da UE que mais consome energia, cerca de 30%, logo a seguir aos transportes (38%) e à indústria (31%), e é responsável por 20% das emissões de CO₂. Representa o maior potencial de redução de GEE ligado à energia a nível mundial, no horizonte de 2030 (EUR-LEX, 2010)

Nos últimos 19 anos em Portugal assistiu-se a uma alteração dos hábitos de consumo de energia das famílias, de acordo com os resultados do Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico realizado em 2010 (ICESD 2010). No consumo de energia no alojamento, a eletricidade é usada como a principal fonte de energia consumida, 42,5%, representando 42,6 % do consumo total de energia no sector doméstico. Tendo aumentado relativamente aos estudos anteriores (15,8% em 1989 e 27,5% em 1996) (INE and DGEG, 2011).

A Lenha surge como a segunda principal fonte de energia consumida nos alojamentos portugueses, com um peso de 24,2% no consumo total de energia nas habitações, sendo de destacar a sua perda de importância nos últimos anos (60,3% em 1989 e 41,9% em 1996) (INE and DGEG, 2011).

O consumo de energia eléctrica assume um papel muito relevante no sector residencial, dado que a maioria dos equipamentos utilizados nas habitações requer este tipo de fonte de energia,

existindo uma evidente dependência desta fonte na sociedade actual. O aumento do consumo de electricidade estará directamente associado ao aumento do conforto térmico e ao crescimento do número de equipamentos eléctricos disponíveis nas habitações. O consumo total de electricidade nas habitações foi de 1 242 021 tep (equivalente a 14 442 GWh). Em termos médios, cada alojamento em Portugal consumiu 0,316 tep (INE and DGEG, 2011).



Figura 1: Distribuição do consumo de energia na habitação. (INE and DGEG, 2011)

O consumo de energia destinado ao aquecimento dos edifícios residenciais, dependem em muito do rendimento económico de cada família.

Na verdade, o setor doméstico é um dos setores onde se consome e se polui mais em Portugal e constitui portanto uma área onde se tem que intervir, de forma a alcançar os objetivos fixados pela UE sendo que a Estratégia Nacional de Energia prevê que em 2020, 35% dos edifícios terão altos níveis de rendimentos energéticos (INE and DGEG, 2011).

O consumo de fontes de energia renováveis (Carvão vegetal, Lenha e Solar térmico) no sector doméstico representa cerca de 25% do consumo total de energia nos alojamentos, sendo a contribuição da Lenha o factor mais relevante.

O setor residencial, é constituído por cerca de 3,3 milhões de edifícios, tendo em consideração os consumos de energia deste setor, é necessário tomar atenção à eficiência e ao consumo dos equipamentos eléctricos. A qualidade dos edifícios assim como o conforto a ela associado deve-se, em parte, à melhoria das condições de aquecimento/arrefecimento conseguidas com recurso a equipamentos que requerem energia.

No âmbito da eficiência energética é importante integrar os princípios de racionalização de recursos energéticos nos edifícios novos e nos que necessitam de obras de reabilitação, para evitar que os consumos aumentem drasticamente. Algumas intervenções eficazes em edifícios podem representar uma diminuição de 30-35% do consumo, mantendo as mesmas condições de conforto.

Cada cidadão pode e deve desempenhar um papel relevante na redução do consumo energético em sua casa. Para tal pode adotar medidas simples como (Ribeiro, 2012):

- Adoção de comportamentos diários inteligentes e sustentáveis na utilização de sistemas e eletrodomésticos que consomem energia;
- Selecção de eletrodomésticos, caldeiras, sistemas de ar condicionado, etc, capazes de uma eficiência energética maior;
- Melhoria da eficiência energética dos sistemas de aquecimento e ar condicionado da habitação e do edifícios na globalidade.
- Escolha e aplicação de materiais isolantes que permitam a redução das necessidades energéticas.

2.3. Construção em Portugal

O sector da construção e das Obras Públicas (CCOP) é um setor que se diferencia dos outros setores de atividade, em termos produtivos, de mercado de trabalho e por se tratar de um setor que apresenta uma cadeia de valor muito extensa. Este recorre a uma vasta rede de intervenientes, que gera o aparecimento de externalidades que são positivas aos restantes setores e causa efeitos multiplicadores significantes a montante e a jusante (Costa, 2010).

A construção é uma atividade económica com especificidades próprias, que se caracteriza:

- Cliente, com uma procura que vai do Estado ou das Autarquias ao particular, que pretende auto-construir;
- Grandes empresas multinacionais, e pequenos promotores tradicionais;
- Projectos, onde cada obra apresenta, geralmente, características diferentes, o que dificulta o desenvolvimento de produtos e processos de fabrico estandardizados;
- Produtos, que cobrem tanto a habitação tradicional como obras mais complexas, por exemplo, estradas, edifícios inteligentes ou barragens;
- Operações produtivas, onde o produto final resulta da interação entre várias especialidades com graus diferenciados de exigência e tecnologia;
- Tecnologias, em resultado da intervenção numa empreitada de diversas especialidades e da coexistência de tecnologias de produção novas com as antigas;
- Unidades produtivas, em que empresas com grandes meios e capacidades e tecnologicamente evoluídas laboram a par de empresas com um aproveitamento limitado das tecnologias disponíveis e com utilização abundante do factor mão-de-obra (Costa, 2010).

O Ano de 2012 foi marcado pela continuação do processo de ajustamento da economia portuguesa, enquadrado pelo programa de assistência económica e financeira. O sector da construção, por ser um sector que funciona como barómetro da economia nacional, sentiu fortemente os efeitos da recessão e tem visto a sua situação degradar-se, nomeadamente ao nível do volume de negócios e, conseqüentemente, do seu contributo para o investimento nacional. Acresce também, e em consequência do referido, a degradação da representatividade

que este sector tem para o mercado nacional de emprego (Gil, 2013).

Acompanhando a tendência da economia, o sector da construção registou, em 2012, uma diminuição de 18,9% da população empregada, correspondente à perda de 83,1 mil indivíduos, de 2011 (440,3 mil indivíduos) para 2012 (357,2 mil). A diminuição da população empregada no sector da construção foi significativa no total da população empregada, que em 2012 registou 7,7% (Figura 2). Esta tem, aliás, sido uma tendência geral, na medida em que desde 2002 o sector da construção tem vindo a perder peso no emprego total (Gil, 2013).

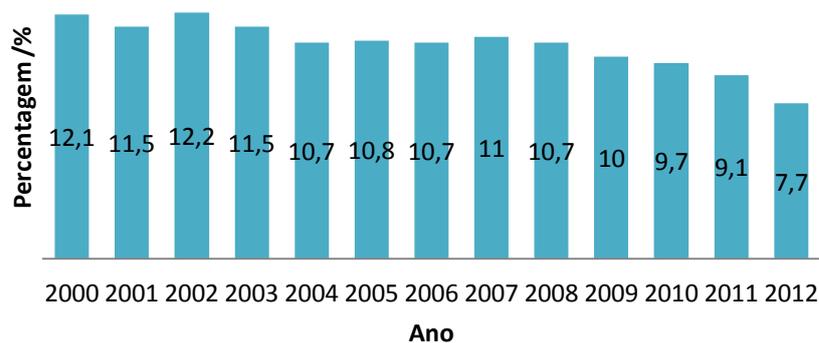


Figura 2: Emprego na construção em relação ao emprego Total, %, (INE, 2013)

A produção do sector da construção tem registado uma quebra enorme em termos reais. Esta queda de produção deve-se a vários fatores entre eles a dificuldade cada vez maior no acesso ao crédito, à qual se juntam problemas específicos do sector e a própria conjuntura económica agravaram significativamente a tesouraria das empresas, influenciando o investimento público e privado. A atividade da construção movimenta vários sectores a montante e a jusante da sua cadeia de produção, daí decorrendo que seja considerado um dos sectores impulsionadores da economia nacional, não só pelo seu peso específico na criação de riqueza como também de emprego, tendo em conta o seu óbvio efeito multiplicador, sendo, por isso, uma atividade fundamental para o crescimento da economia (Gil, 2013).

Evolução construtiva Nacional

O património construído é uma referência histórica de extrema importância, tanto sob o ponto de vista social como numa vertente técnica, fornecendo elementos importantes para a compreensão do desenvolvimento evolutivo da capacidade humana de adaptação ao meio circundante, desde o primórdio dos tempos. De facto, desde que há registos escritos sobre a atividade do Homem, a sua vida surge inevitavelmente associada às mais variadas formas de habitar. Foi desta forma que, depois de milhares de anos, a habitação passou de mero local de abrigo relativamente aos animais ou intempéries a verdadeiro local de conforto, bem estar e lazer, onde todas as exigências de habitabilidade são contempladas até ao mais ínfimo detalhe,

tendo por base as soluções construtivas mais desenvolvidas que se conhecem nos dias de hoje (NESDE, 2005).

As guerras e desastres naturais foram, no passado, quem mais destruíram o património urbano. O Parque habitacional Portugues tem sofrido grandes transformações desde os primórdios até à atualidade. À medida que as dimensões dos edifícios aumentaram, os materiais utilizados na sua construção evoluíram da madeira para a alvenaria (de pedra ou tijolo) e finalmente, nas primeiras décadas do século XX, para o betão armado. Portugal apresenta regiões de características ambientais e culturais distintas, que influenciam na tipologia da construção. Os materiais disponíveis na natureza, no passado utilizados nas alvenarias, são diferentes do norte para o sul ou do litoral para o interior do País (NESDE, 2005).

Pode-se dizer que os edifícios de alvenaria constituem uma percentagem importante do parque edificado dos países do sul da Europa, em que se inclui Portugal. Atendendo à evolução das práticas construtivas dos edifícios de alvenaria através do tempo, é possível detectar variações não só em termos da arquitectura e tipologias construtivas mas também ao nível da concepção estrutural. Estas diferenças originam alterações significativas ao nível da resistência sísmica dos vários tipos de edifícios identificados.

A classificação de edifícios é importante para perceber a relação entre a tipologia e os materiais construtivos. De modo a tornar esta tarefa possível, foram desenvolvidas nos últimos anos diversas escalas que permitem a classificação do edificado de acordo com alguns parâmetros como o material de construção, tipo de estrutura, altura do edifício, idade, etc. Esta forma de classificar os edifícios está ligada ao grau de informação que se possui sobre o parque habitacional. Algumas destas escalas foram feitas com o intuito de harmonizar a forma como se classificam os edifícios na Europa (Grünthal, 1998) ou até mesmo globalmente (Jaiswal, Wald and Porter, 2010). No entanto, esta abordagem implica que apenas se considerem alguns parâmetros básicos do edificado, devido à escassez de informação detalhada na maioria dos países. Por outro lado, quando a informação é bastante completa, é comum que o próprio país desenvolva o seu próprio sistema de classificação, permitindo assim que se incorpore um maior número de parâmetros.

O aparecimento dos CENSOS em Portugal tornou possível o controlo da população, tendo sido realizado em 1970 o primeiro recenseamento da habitação e que se tem vindo a repetir de 10 em 10 anos. Esta evolução tornou possível o conhecimento do parque habitacional de Portugal (INE and LNEC, 2013). A disponibilização dos resultados definitivos do XV Recenseamento Geral da População e V Recenseamento Geral da Habitação - Censos 2011, constitui uma oportunidade relevante para avaliar as transformações ocorridas nas últimas décadas no património edificado em Portugal. Com bases nestes resultados foi possível definir as classes dos edifícios portugueses.

A dinâmica demográfica influencia a distribuição territorial do edificado e do parque habitacional. Assim, o processo de litoralização da população que ocorreu nos últimos anos devido à falta de oportunidades de emprego e busca por melhores condições de vida repercutiu-se num aumento na concentração de edifícios e de alojamentos no litoral. Em 2011, 57,9% do total de edifícios

clássicos existentes em Portugal e 67,9% dos alojamentos familiares clássicos concentravam-se nas regiões costeiras. Uma outra tendência é o número de alojamentos permanecer, desde a década de 80, sempre superior ao crescimento do número de famílias. Entre 2001 e 2011 assistiu-se a uma desaceleração no crescimento do número de alojamentos, menos 24 mil alojamentos relativamente ao aumento registado no período 1991-2001. Contudo, o crescimento do parque habitacional na última década foi, em termos absolutos, superior ao crescimento verificado nas décadas de 1970-1981 e de 1981-1991 (Figura 3). Esta caracterização da evolução dos alojamentos e das famílias aponta para a existência, em Portugal, de uma discrepância crescente entre o número de alojamentos familiares e o número de famílias clássicas. Tal tendência sugere a existência de um mercado de habitação muito vocacionado para a construção de habitação nova, para um crescimento do número de alojamentos vagos e para a existência de alojamentos familiares que não se destinam a residência habitual.

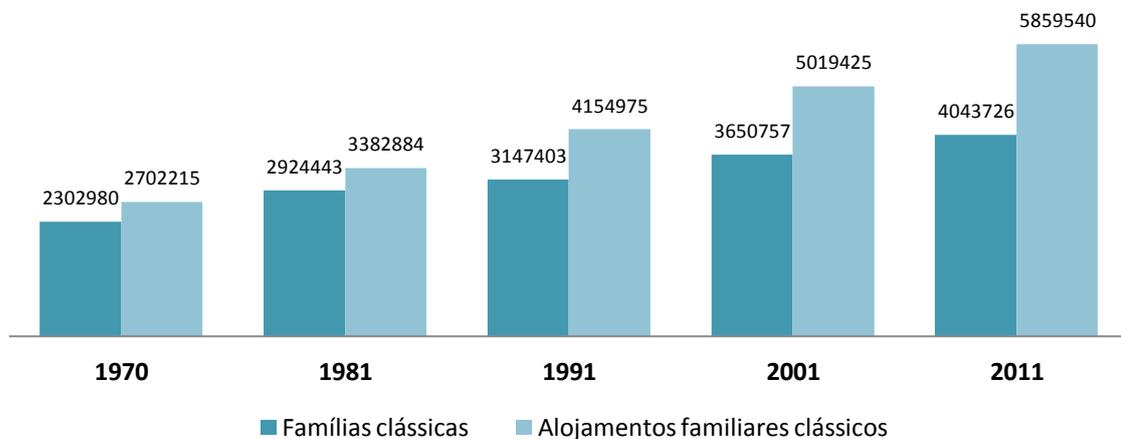


Figura 3: Número de alojamentos familiares clássicos e de famílias clássicas 1970-2011 (INE and LNEC, 2013)

Em Portugal, a estrutura familiar é cada vez mais pequena, tendo vindo a ser reduzida de uma dimensão de 3,7 pessoas por família em 1970 para 2,6 pessoas por família em 2011, sendo o tipo de família predominante a família nuclear composta pelo pai, a mãe e o filho. Contudo tem-se assistido a um aumento do número de famílias unipessoais, dos casais sem filho e das famílias monoparentais.

As elevadas taxas de crescimento do parque habitacional português durante as últimas décadas fizeram com que, em 2011, uma parte significativa dos edifícios existentes fosse relativamente recente. Do total de edifícios clássicos existentes em 2011 os construídos a partir de 1971 constituíam 63,1% deste parque habitacional, os construídos entre 1946 e 1970 representavam 22,5% e os edifícios anteriores a 1946 representavam os restantes 14,4% (Figura 4).

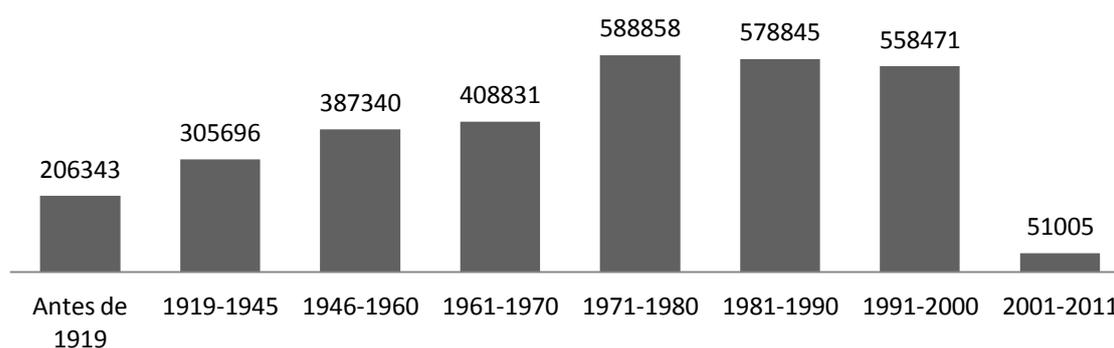


Figura 4: Número de edifícios de acordo com a sua época de construção (CENSOS 2011)

Em 2011 o parque habitacional era constituído na sua maioria por edifícios de baixa altura com um ou dois pisos representando 84,9% do total dos edifícios. Dos restantes edifícios 9,5% tinham três pisos e apenas 5,6% tinham quatro ou mais pisos. Tendo-se destacado entre 2001 e 2011 o aumento dos edifícios com dois pisos. O número de pisos da construção varia de região para região. Os edifícios com um e dois pisos representavam mais de 60% dos edifícios em todas as regiões do país atingindo em algumas zonas mais de 95%, como é o caso do Baixo Alentejo e Alentejo Central. As regiões da Serra da Estrela e da Cova da Beira destacam-se por possuírem a mais elevada percentagem de edifícios com três pisos, 33% e 21%. As regiões da Grande Lisboa, Península de Setúbal e Grande Porto possuem uma percentagem elevada de edifícios com mais de quatro pisos.

Esta tipologia de edifícios varia de acordo com o tipo de solo, declive e área disponível para construção. Nas regiões de declive mais acentuado, para se obter o mesmo número de divisões que nas restantes zonas é necessário que essas divisões se distribuam por vários pisos (Coutinho, 1979).

As regiões a norte do rio Tejo existe uma predominância das zonas montanhosas e com declive acentuado a médio. Estas condições são impossibilitantes da construção de edifícios de piso único, pois o preço que se pagaria para planar os terrenos de forma a obter-se área suficiente para a sua construção seria exorbitante. Assim é mais vantajoso economicamente construir em altura, surgindo então edifícios com dois ou mais pisos. A densidade populacional e a disponibilidade de área para construção estão relacionadas. Nas zonas mais a Litoral do país onde a densidade populacional é maior, a área disponível é menor e por consequência o preço por m² de terreno aumenta.

A região do Alentejo e do Sul de Portugal caracterizam-se por terrenos amplos, predominantemente peneplanícies, onde ressaltam dispersas e afastadas massas montanhosas de baixa altitude, excetuando-se as Serras de São Mamede e do Marvão. Nesta região e por influência do declive e geologia é possível fazer edificações de piso único (Feio and Martins, 1993).

A tipologia do edifício segundo o material utilizado na sua construção pode ser dividido em cinco grupos (INE and LNEC, 2013) :

- Betão armado;
- Paredes de alvenaria com placa;
- Paredes de alvenaria sem placa;
- Paredes de alvenaria de pedra solta ou de adobe e
- Outros tipos de estrutura.

Desde 1919 que o material utilizado na construção de edifícios, tem vindo a sofrer alterações. Estas alterações surgem com o aparecimento que novas matérias que aumentam a durabilidade, diminuem custos e aumentam o desempenho térmico dos edifícios. Até 1919 a tipologia de construção era maioritariamente, 97,6%, com estrutura de paredes de alvenaria sem placa ou com paredes de pedra solta ou de Adobe.

Nos edifícios construídos entre 1919 e 1980 verificou-se um progressivo aumento e acentuado da utilização do betão armado como material de construção, o que em contrapartida gerou uma elevada diminuição nos edifícios construídos com alvenaria sem placa ou com pedra solta ou com adobe.

Após 1980, nos edifícios construídos mantinha-se constante a escolha do betão armado, sendo residual a percentagem de edifícios construídos em alvenaria de sem placa ou de pedra solta ou de adobe. Em todas as épocas a estrutura das paredes com alvenaria com placa representaram sempre cerca de 1/3 das construções (INE and LNEC, 2013).

As coberturas revestidas com telhas cerâmicas constituem um elemento tradicional na paisagem portuguesa. Inicialmente, as coberturas eram feitas com materiais perecíveis, como o colmo, a casca de certas árvores, folhagens, peles de animais, etc., com que eram cobertas as cabanas primitivas, de que chegaram aos nossos dias alguns exemplos. Embora concorrendo com outros materiais alternativos, as telhas cerâmicas têm vindo progressivamente a ganhar terreno nos países da Europa do Norte, como consequência quer das suas características estéticas, quer do eficaz comportamento que as suas propriedades sob a acção das mais rigorosas condições climáticas. Assumindo a condição de grandes utilizadores de telhas cerâmicas, os europeus incrementaram os níveis de exigência técnica, a par com exigências relativas a novos modelos e melhorias na geometria dos formatos tradicionais. As telhas cerâmicas europeias adaptaram-se bem a este crescendo de rigor, afirmando-se como produtos de longa durabilidade e eminentemente ecológicos, com um final de vida útil de fácil resolução, não agressivo para o meio envolvente. Na atualidade as telhas cerâmicas respeitam rigorosos requisitos das normas de especificação de características e respetivos métodos de ensaio.

2.4. Isolamento térmico

O isolamento térmico dos edifícios é um fator cada vez mais importante devido às crescentes exigências de conforto térmico por parte da civilização, permitindo uma redução nas necessidades de aquecimento e arrefecimento e redução da ocorrência de pontos de condensação. Com a entrada em vigor do RCCTE e aparecimento dos objetivos a cumprir até 2020, a aplicação de isolamento térmico nos edifícios passou a ser uma obrigatoriedade.

Os pontos de condensação originam o aparecimento de humidade nos elementos construtivos e conseqüente degradação dos mesmos. Este fenómeno depende do material de construção do edifício, das condições climáticas da região onde se insere e também dos mecanismos do ar húmido. O ponto de condensação ocorre quando se verifica o contacto do ar com superfícies mais frias e a sua humidade absoluta atinge o limite de saturação, mas o limite de saturação não é constante e varia com a temperatura. Assim, à medida que aumenta a humidade relativa a temperatura aumenta e quando a humidade diminui a temperatura diminui, mantendo-se em todo o caso a humidade absoluta (Costa, 2010).

Quando ocorrem diferenças de pressão de vapor de água entre os dois ambientes separados por um elemento de construção, acontece o fenómeno de difusão de vapor através desse elemento. A ocorrência deste fenómeno depende das pressões parciais em cada um dos ambientes envolventes e das características de permeabilidade de cada um dos materiais dos elementos construtivos. Tendo em consideração estas afirmações verifica-se que um bom isolamento térmico do edifício é fundamental para uma boa climatização e conservação do mesmo, pois o isolante tem como função aumentar a resistência térmica da envolvente do edifício e diminuir as trocas de calor entre o edifício e o exterior, reduzir as necessidades de aquecimento e arrefecimento, diminuir o risco de condensação nos elementos construtivos e reduzir as flutuações térmicas.

O isolamento térmico pode ser definido como o processo através do qual, recorrendo a matérias primas adequadas, se dificulta a dissipação de calor de um corpo ou de um ambiente sendo também um método de redução da taxa de transferência de calor (FuturEng, [s.d.]). Um bom isolante térmico é o aquele material que possui uma baixa condutividade térmica ($\lambda \leq 0,065 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) e elevada resistência térmica ($R \geq 0,30 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C W}^{-1}$) (RCCTE, 2006).

A condutividade térmica, λ , representa a quantidade de calor que atravessa uma espessura unitária de material, quando entre duas faces planas ou paralelas se estabelece uma diferença unitária de temperatura e caracteriza os materiais ou produtos que são térmicamente homogéneos. O valor da resistência térmica, R , é definido como o quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário e é a característica que define realmente um bom e mau isolante. Tendo em consideração as características acima referidas dos materiais existentes, é

possível proceder à escolha correta do isolante mais adequado à construção e ao tipo de clima em que se insere.

Os isolantes térmicos podem ser classificados quanto ao seu modo de produção (pré-fabricados ou executados *in situ*), à estrutura (fibrosa, celulosa ou mista), à natureza das matérias primas (minerais, vegetais, sintéticos ou mistos) e à sua apresentação (rígidos, semi-rígidos ou granulares) (Costa, 2010). Como tal existem vários materiais isolantes, sendo os de uso mais frequente:

- Poliestireno Expandido Moldado (EPS);
- Poliestireno Expandido Extrudido (XPS);
- Placas de lã (MW);
- Aglomerado de Cortiça Expandida (ICB);
- Espuma Rígida Poli-isocianurato (PIR) e
- Espuma Rígida de Poliuretano (PUR).

Durante a escolha do isolante é importante ter-se em consideração a marcação CE no produto, pois estes sistemas devem ser detentores de uma apreciação idónea e devem ser objetos de certificação ou comprovação da qualidade por uma entidade credível e reconhecida.

O isolamento de um edifício pode ser feito de duas formas, pelo exterior ou pelo interior. Quando se efetua o isolamento pelo exterior, o material isolante escolhido tem que ser resistente aos agentes de ação mecânica de forma a que não sofra uma rápida degradação e decomposição, seguro contra incêndios, proteger contra o ruído e ser seguro quando é manuseado (DIRECTIVA 89/106/CEE, 1989). Esta forma de isolamento também conhecida por ETICS, é atualmente a forma mais frequente de isolamento, sendo utilizada na reabilitação de edifícios e nas novas construções, apresentando-se como a melhor forma de isolamento quer em termos construtivos quer em termos energéticos. Este tipo de isolamento permite (Freitas, 2002):

- Uma redução das pontes térmicas;
- A diminuição do risco de condensação;
- O aumento da inércia térmica;
- Economia na energia;
- Diminuição da espessura das paredes exteriores;
- Aumento da área habitável.

O isolamento pelo interior não se revela tão vantajoso nem tão eficaz, embora apresente um custo de aplicação menor. A aplicação do isolante pelo interior das paredes pode ser um potenciador de situações de ponte térmica na interseção das paredes internas com as externas à volta das janelas e portas e entre vigas e pilares em várias tipologias construtivas, as paredes exteriores ficam mais susceptíveis a agentes mecânicos. Implica redução da inércia térmica por inutilização da parede exterior como massa de armazenamento térmico, abandono do edifício

durante a reabilitação, poderá não permitir a manutenção de ornamentos interiores em edifícios antigos e perda de área útil interior (ADEME, 2011; ANAH, 2004).

Nas coberturas devem ser usados isolantes térmicos impermeáveis à água na forma de placas que deverão apresentar uma espessura mínima de seis centímetros e, no caso da estrutura ser inclinada estas placas devem apresentar estrias de madeira para que seja possível assentar as telhas diretamente. Nas coberturas tradicionais, o isolante tem um melhor desempenho térmico que nas coberturas inclinadas (Costa, 2010).

2.5. A obra do Arqº Raúl Lino

Raul Lino nasceu em Lisboa em 1879 e nessa cidade veio a falecer em 1974. Filho de um abastado negociante de materiais de construção, imigrou com a família o que lhe deu a possibilidade de estudar no estrangeiro. Em 1890 parte para Inglaterra, frequentando um colégio católico nos arredores de Windsor mas ao fim de três anos rumou até à Alemanha com o objetivo de estudar a língua e de frequentar o curso de arquitetura. Dessa experiência, Raul Lino destaca sobretudo os ensinamentos do professor Albrecht Haupt, onde trabalhou no seu ateliê em regime de voluntariado durante dois anos e cuja vivência foi fundamental para a definição da sua arquitetura (Nóvoa, 2003). Outra das suas grandes influências foi o escritor Henry David Thoreau, cujo livro *“walden or life in the woods”* exalta a harmonia e a comunhão com a natureza (Fundação Calouste Gulbenkian, 2009).

Em 1897 regressa a Portugal, para completar o seu curso livre de Arquitetura (o diploma oficial de arquiteto ser-lhe-ia conferido em 1926) para trabalhar nas oficinas do pai. Os seus primeiros trabalhos de arquitetura datam de finais do século XX. Foi também nessa altura que realizou a sua viagem pelo país no decurso da qual recolhe diversos elementos sobre arquitetura tradicional. Em 1899 apresenta o projeto para o Pavilhão de Portugal na Exposição Nacional de Paris, de 1900, onde se afirma a influência das *beaux-arts* que combinadas com os vários estilos portugueses formaram uma composição bastante harmoniosa (Manique, 2011).

Numa abordagem que prendesse a valores nacionais, Raúl Lino procurou encontrar uma definição de “Casa Portuguesa” que se prende-se nos valores nacionais, e que traduzisse a maneira de ser e de estar portuguesa. Esta linha de pensamento que influenciou a sua obra, materializada, por exemplo, na utilização do alpendre no recurso aos revestimentos azulejares e, mesmo, no emprego de materiais típicos de cada região. Um carácter estético particularmente visível nos projetos de moradias individuais, mas que não deixaram de estar presente nos projetos de escolas (Manique, 2011).

Até 1920, o jovem Raúl Lino realiza uma obra singular que alia a concepção de espaço habitável à adequação do edifício ao local, tipo de edifício e sua finalidade e ao utilizador. A sua obra até esta data é distinguida pela arquitetura doméstica, baseando-se na harmonia entre a construção e a

sua envolvente (Ramos, 2011). Do seu conjunto de produções arquitetónicas as mais emblemáticas são as designadas de “casas marroquinas” realizadas entre 1901 e 1903:

- Casa Montsalvat, do pianista Alexandre Rey Colaço;
- Casa de Alexandre O’Neill;
- Casa Silva Gomes;
- Vila Tanger;
- Casa dos Patudos - Alpiarça, 1904;
- Quinta da Comenda - Outão, 1909;
- Casa do Cipreste, que projectou para sua habitação – Sintra, 1913 e
- Loja Gardénia- Chiado ,1917.

Raúl Lino foi também autor de grandes obras sobre a arquitetura portuguesa. As suas obras mais importantes foram “ A nossa casa. Apointamentos sobre o bom gosto na construção das casas simples” (1918), “ Casas Portuguesas” (1933) e “Casas Portuguesas - Alguns apontamentos sobre a arquitetura das casas simples” (1992),

No estudo da arquitetura popular portuguesa do século XX é inevitável falar-se de Raúl Lino e do movimento da casa portuguesa. O movimento da casa popular portuguesa desenvolve-se genericamente entre o fim do século XIX e as décadas de 1940-1950. Raúl Lino é o nome mais conhecido, embora este movimento abranja outras personalidades como Henrique das Neves, Rocha Peixoto, Joaquim Vasconcelos, Abel Botelho ou João Barreira (Leal, 2008).

O movimento da casa popular portuguesa articula-se, genericamente, entre duas ideias: a existência de um tipo específico de habitação popular caracteristicamente português e a defesa e institucionalização de um formulário arquitetónico inspirado nesse tipo de habitação. Nas formulações que Raúl Lino consagrou destacam-se duas constantes: a primeira tem a ver com a diversidade morfológica que a casa portuguesa adquire no terreno definindo-a como do tipo mediterrânico e a segunda abrange as soluções construtivas, aplicação de soluções precisas de influência sulista que melhor trasmitiam o espírito português da casa popular (Leal, 2008). Entre essas soluções destaca-se o alpendre, tão tipicamente português que permite um refugio do calor sentido no Verão mas também protecção contra as condições atmosféricas de Inverno. Destacam-se também elementos formais como a caiação de branco ou cores, o telhado com telha manual portuguesa e beiral, o emprego de azulejos, etc (Lino, 1992)

2.6. Materiais de Mudança de Fase (PCM)

Os materiais de mudança de fase - PCM, podem ser definidos como materiais com a capacidade de alterar o seu estado físico num determinado intervalo de temperatura, absorvendo ou libertando energia do meio envolvente. Durante este processo de mudança de fase, a temperatura do PCM mantém-se praticamente constante. Quando a mudança de fase está completa, o aquecimento/arrefecimento contínuo resulta no aumento/diminuição da

temperatura, de forma gradual e definida por uma propriedade denominada de calor sensível.

O melhor exemplo para explicar o conceito de PCM é a água. É do conhecimento geral, que esta se pode apresentar no estado sólido (gelo), no estado líquido ou na forma de vapor. O processo de transição do estado sólido para o estado líquido denomina-se de fusão e o processo inverso de solidificação, ocorrendo ambos à temperatura de 0 °C. Da mesma forma, a transição do estado líquido para o estado de vapor denomina-se de vaporização enquanto o processo inverso se denomina de condensação, ocorrendo ambos à temperatura de 100 °C. A cada um destes processos de transição está associada uma quantidade de energia, geralmente denominada de entalpia ou simplesmente calor latente (Silva, 2009).

A amplitude da diferença entre o calor latente e calor sensível pode ser explicada recorrendo, uma vez mais, ao exemplo da água. Assim, a energia necessária para fundir 1 kg de gelo (cujo calor latente é de 333 kJ kg⁻¹) é equivalente à energia necessária (cujo calor sensível é de 4.2 kJ kg⁻¹ °C⁻¹) para aquecer 1 litro de água desde 1 °C até cerca de 80 °C, ou seja, cerca de 333 kJ.

As diferentes substâncias apresentam-se em três estados principais: sólido, líquido e gasoso. No entanto, as transições da fase sólido-líquido são as que predominam nos processos de armazenamento de energia, devido às suas pequenas alterações de volume durante a mudança de fase. Os PCMs podem ser classificados em três tipos:

- Inorgânicos (sais hidratados e sais metálicos);
- Orgânicos (parafinas e não parafinas) e
- Misturas Eutécticas (mistura de dois ou mais componentes que fundem e cristalizam congruentemente formando uma mistura de cristais compostos).

Para serem usados como sistemas de armazenamento de energia, os PCMs tem que ser detentores de certas características termofísicas, cinéticas e químicas específicas, assim como deve ter-se em consideração o seu preço e disponibilidade. Do ponto de vista termofísico é necessário assegurar que o PCM tenha:

- Temperatura de transição de fase na gama de temperaturas de operação desejadas;
- Elevado calor de transição por unidade de volume, de modo a armazenar o máximo de energia, incorporando o mínimo PCM possível;
- Elevado calor sensível, traduzido pela sua capacidade calorífica, de modo a aumentar a sua capacidade de armazenamento de energia;
- Elevada condutividade térmica tanto no estado sólido como no estado líquido, de forma a mais facilmente promover a transferência de calor;
- Reduzida variação de volume durante a transição de fase de forma a reduzir os problemas com a sua contenção e processo de fusão congruente de forma a manter constante a capacidade de armazenamento ao longo de ciclos repetidos (Hawes, Feldman and Banu, 1993; Tyagi and Buddhi, 2007).

Sob o ponto de vista cinético, o PCM escolhido deve ter uma elevada velocidade de cristalização, de modo a evitar o sub-arrefecimento da fase líquida e responder às solicitações do meio envolvente. Finalmente no ponto de vista químico, o PCM deverá apresentar ciclos de carga/descarga totalmente reversíveis; não deverá degradar-se após um grande número de ciclos; deverá ser preferencialmente não-inflamável (esta característica poderá ser compensada pelo suporte no caso das parafinas), não corrosivo, não tóxico e não explosivo (Hawes, Feldman and Banu, 1993; Tyagi and Buddhi, 2007).

A aplicação de PCMs tem várias funcionalidades, sendo exemplos:

- Armazenamento de energia térmica;
- Refrigeração: alimentos, bebidas;
- Aplicações médicas: transporte de sangue, mesas de operação, etc;
- Sistemas de bomba de calor;
- Armazenamento passivo em edifícios (HDPE, parafina);
- Regularização de picos de temperatura em reações químicas exotérmicas;
- Sistemas de captação solar;
- Conforto térmico em veículos;
- Proteção térmica de dispositivos eletrônicos;
- Tecidos de roupas;
- Arrefecimento de computadores.

A aplicação de PCMs em edifícios pode ser feita de várias formas e depende do tipo de material escolhido, mas a sua forma de funcionamento é idêntica: durante o dia o PCM absorve a energia proveniente da radiação solar para mudar de fase, e durante a noite liberta a energia para retornar à fase inicial. Em relação a outros materiais de alvenaria, como o cimento e os tijolos, os PCMs permitem um maior armazenamento de energia para uma mesma proporção de material, ou seja, uma camada mais fina deste material permite as mesmas condições que os materiais de alvenaria convencionais.

Existem várias formas de incorporar o PCM nos elementos construtivos, podendo ser feito de modo direto ou indireto. O modo direto é o modo mais simples, pois consiste na introdução do PCM em cavidades pré-existentes no elemento construtivo. Nos estudos realizados sobre a aplicação direta de PCMs as desvantagens que se destacam são a degradação do elemento construtivo por vazamento do PCM, pelo que nem todos os materiais podem ser escolhidos para este método de aplicação (Huang, Eames and Hewitt, 2006).

O método indireto consiste na utilização de PCMs previamente encapsulados. O objetivo principal da encapsulação é reter a fase líquida e/ou sólida do PCM, mantendo-o isolado do elemento construtivo evitando assim a sua deterioração, como por exemplo risco de fissuras e fenómenos de vazamento. Existem outras vantagens deste modo de aplicação como o aumento da taxa de transferência de calor e a melhoria da estabilidade térmica e mecânica do PCM (Salunkhe and Shembekar, 2012). Neste método, o PCM é colocado em contentores que podem ser de tamanhos diferentes. A colocação de PCMs em contentores de grandes dimensões como em

tubos ou painéis (> a 1mm), designa-se a este modo de aplicação por macroencapsulação (Salunkhe and Shembekar, 2012). Quando o PCM se apresenta em forma de cápsulas, em geral de configuração esférica, com dimensões inferiores a 1 mm, este método designa-se por microencapsulação. As partículas revestidas podem ser, de seguida, incorporadas em materiais que sejam compatíveis com a película que envolve as cápsulas (Maldonado, Cabeza and Medrano, 2011). O método por microencapsulação apresenta algumas desvantagens como o sobrearrefecimento do PCM (Salunkhe and Shembekar, 2012). A microencapsulação é usada, com mais frequência, para PCMs orgânicos pela sua natureza menos corrosiva. Existem algumas empresas, como a Rubitherm, que desenvolveram alguns tipos de produto tal como painéis especialmente concebidas para incorporar PCMs, de modo a colmatar as inconveniências da microencapsulação dos sais hidratados, que são corrosivos e tóxicos para o ambiente.

3. Caso de estudo

3.1. Jardim Escola João de Deus em Mortágua.

O jardim escola João de Deus em Mortágua pertence à associação de Jardins Escola João de Deus e encontra-se localizada na Vila de Mortágua, distrito de Viseu. Este edifício foi inaugurado no dia 8 de Janeiro de 1948, tornando-se assim o 10º jardim escola em funcionamento no país. O Jardim escola foi desenhado pelo Arqº Raúl Lino da Silva e foi mandado construir pelo Dr. Aníbal Dias, médico natural de Mortágua em parceria com o estado (*Jardim Escola João de Deus, Mortágua*, 2014).



Figura 5: Localização do Jardim escola João de Deus, Mortágua (Google maps)



Figura 6: Planta topográfica Jardim escola João de Deus, Mortágua (Lino, 1944)

O projeto do Arq^o Raúl Lino para este edifício consistia numa construção de piso único, que se dividia em:

- Refeitório;
- Copa;
- Cozinha;
- Casa de banho/balneário;
- Salão;
- *Hall* de entrada;
- Átrio;
- Duas salas de aula;
- 1 gabinete médico e
- Sotão inclinado.



Figura 7: Planta Jardim escola João de Deus, Mortágua (Lino, 1944)

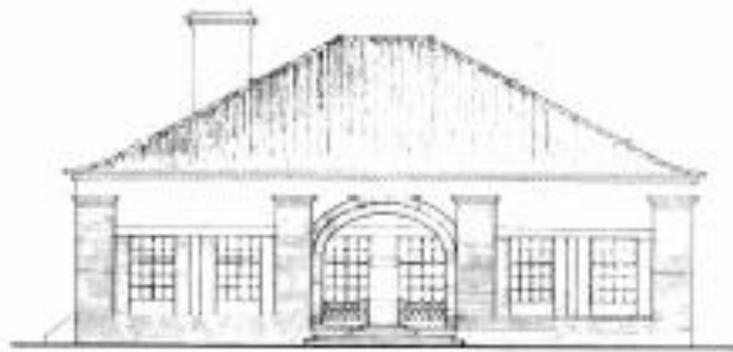


Figura 8: Fachada Sudeste do Jardim escola João de Deus (Lino, 1944)

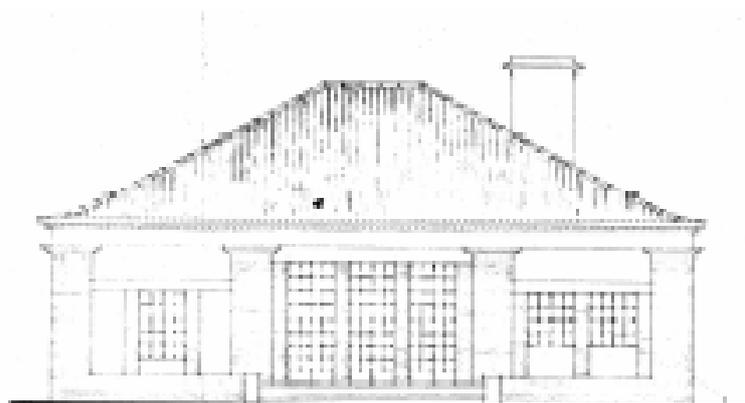


Figura 9: Fachada Noroeste do Jardim escola João de Deus (Lino, 1944)

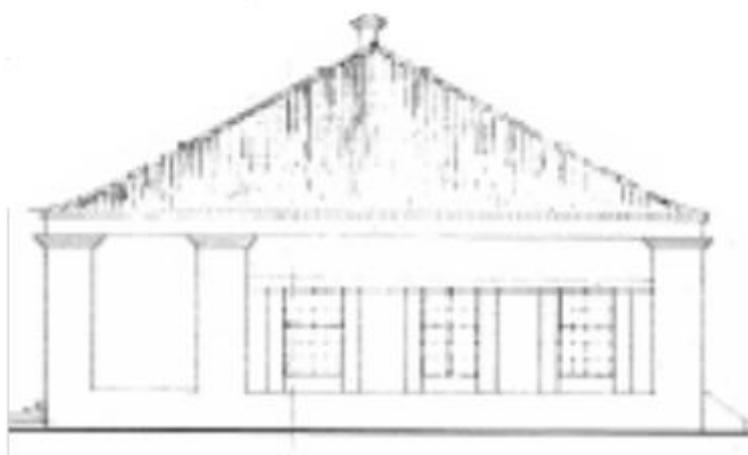


Figura 10: Fachada Nordeste do Jardim escola João de Deus (Lino, 1944)

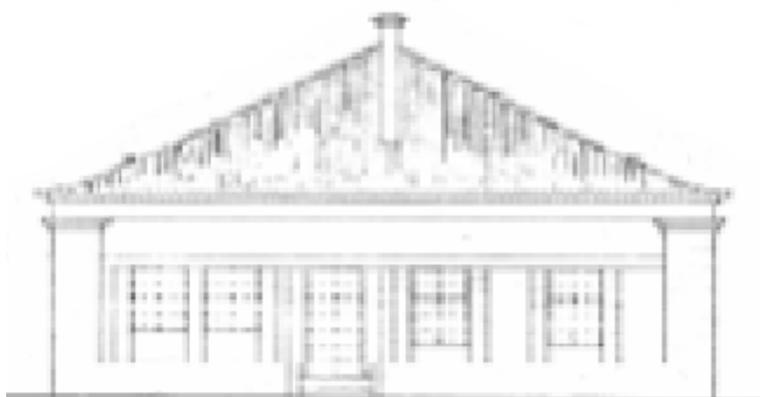


Figura 11: Fachada Sudoeste do Jardim Escola João de Deus (Lino, 1944)

A planta cedida pela Biblioteca de Arte da Fundação Calouste Gulbenkian serviu de base para a adaptação e determinação das dimensões aproximadas do edifício. Recorrendo ao Google Maps, foi possível determinar o comprimento de 21 metros e a largura de 18 metros, que *á posteriori* serviram de base para a determinação das dimensões das divisões.

O artigo 65º do Decreto-Lei nº 38/382, de 7 de agosto de 1951, determina que o pé-direito livre mínimo dos pisos destinados a estabelecimento comerciais é de 3 m e para pisos destinados a habitação é 2,70 m, nunca podendo ser inferior a 2,40 m. Tendo este projeto sido inaugurado em 1948, a decisão de escolher a altura exterior do edifício de 4 metros foi considerada, para efeitos de cálculo, razoável.

Assim as medidas adotadas para cada divisão foram :

- Refeitório: 7,1 m × 5,8 m × 4 m;
- Copa: 6 m × 3,4 m × 4 m;
- Cozinha: 6 m × 3,1 m × 4 m;
- Casa de banho: 5,8 m × 5,7 m × 4 m;

- Salão: 9,2 m × 11,6 m × 4 m;
- *Hall* de entrada: 6,8 m × 3,7 m × 4 m;
- Átrio: 6,8 m × 3,7 m × 4 m;
- Sala 1: 7,1 m × 5,8 m × 4 m;
- Sala 2: 5,8 m × 6,8 m × 4 m;
- Gabinete médico: 5,8 m × 5,4 m × 4 m;
- Sotão: 21 m × 18 m com altura máxima de 2 metros (planos inclinados).

Como o objetivo do presente trabalho é estudar o comportamento térmico do edifício, aglomerou-se algumas divisões de forma a ter-se menos zonas de estudo e facilitar a simulação e o estudo. A escolha das divisões a aglomerar, foi tomada de acordo com a orientação da fachada e da tipologia das divisões. O caso de estudo passou a ter então apenas sete divisões, em virtude das anteriores onze, sendo-lhes atribuídos novos nomes, de acordo com a Tabela 1 e Figura 12.

Tabela 1: Zonas do casos de Estudo

Zona	Zonas aglomeradas
ZNT1.1	Casa de banho, cozinha e copa
ZNT1.2	Salão
ZNT1.3	Gabinete médico e sala 2
ZNT1.4	Refeitório
ZNT1.5	Sala 1
ZNT1.6	<i>Hall</i> de entrada e átrio
ZNT1.7	Sotão

Com o auxílio do program *Google Sketchup*, foi possível representar em três dimensões o caso de estudo, e converter as dimensões de cada elemento construtivo em coordenadas, que foram transportadas para o *EnergyPlus*. Nas Figura 13, Figura 14, Figura 15 e Figura 16 são demonstrativas dos resultado do *Sketchup*.

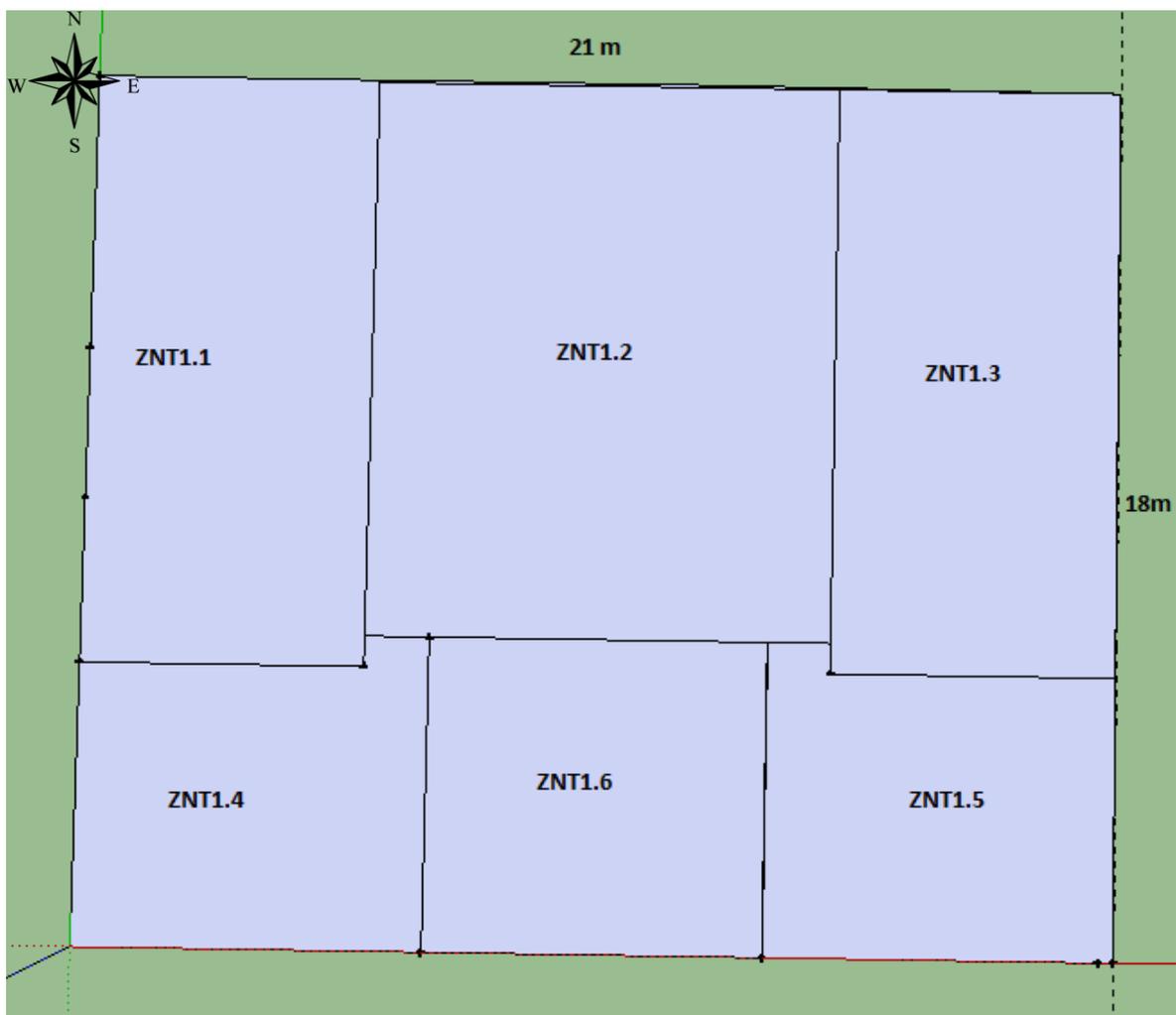


Figura 12: Planta adaptada ao caso de estudo

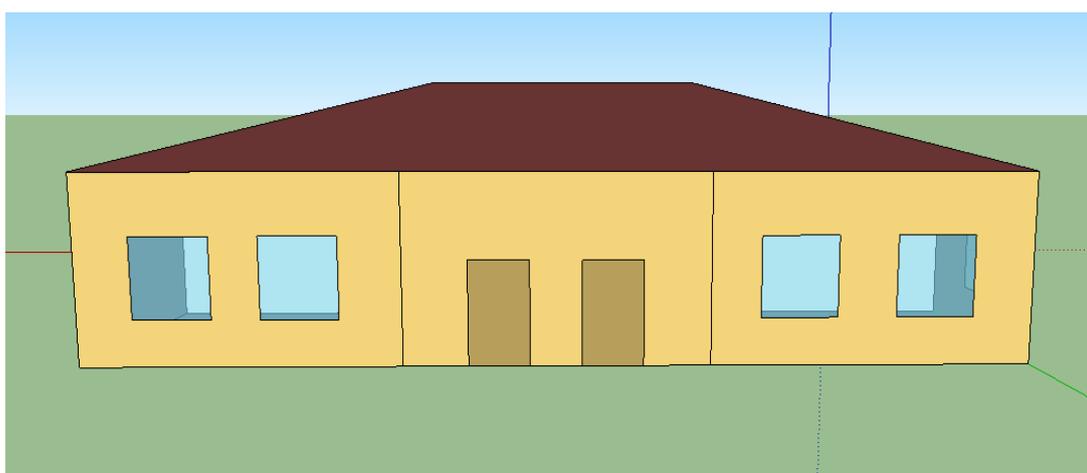


Figura 13: Fachada principal, virada a Sul, do caso de estudo.

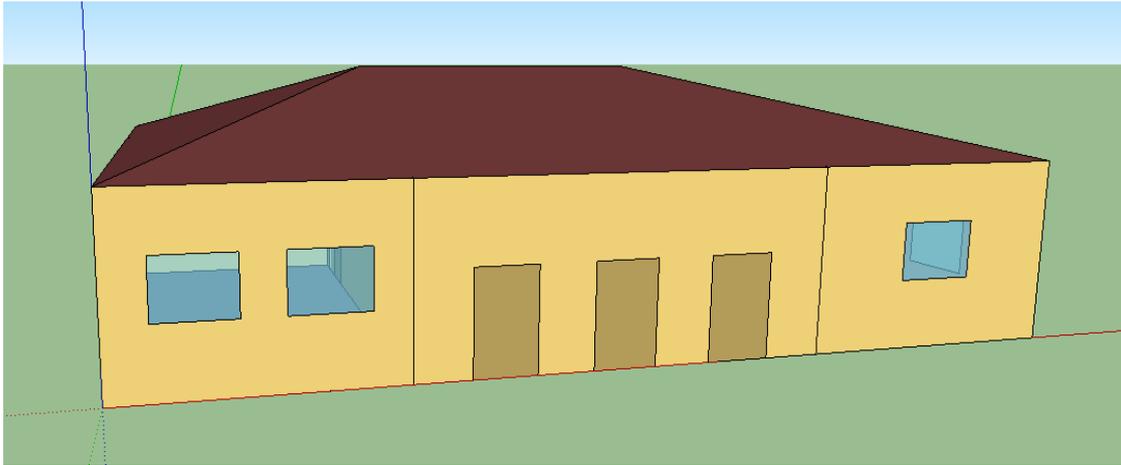


Figura 14: Fachada Norte do Caso de estudo

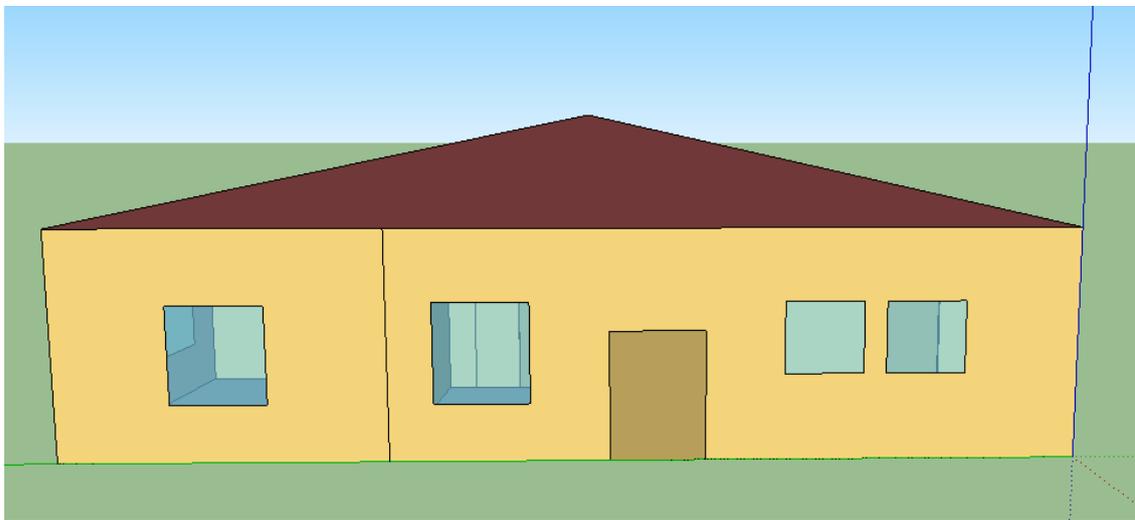


Figura 15: Fachada Este do caso de estudo



Figura 16: Fachada Oeste do caso de estudo

3.1.1. Elementos construtivos

Os materiais de construção escolhidos para cada elemento construtivo, foram aqueles cujo uso é era mais habitual e comum na época e na região.

3.1.1.1. Paredes exteriores

O material constituinte das paredes, no modelo inicial, é o Granito. A pedra granítica é usada com bastante frequência nas zonas norte e centro do país, devido à facilidade de acesso, o que permite reduzir o custo do material, pois não existe a necessidade de transporte longo do material. Como a reabilitação de edifícios em Pedra é uma necessidade, de forma a preservar a cultura construtiva, perceber qual o comportamento térmico do edifício torna-se vital.

O granito é uma pedra da família das rochas ígneas, é característica sua o grão fino, médio ou grosseiro, e é composta essencialmente por quartzo, mica e feldspato, tendo como minerais acessórios mica, pesente quase sempre, hornblenda, zircão e outros minerais. É normalmente encontrado nas placas continentais da crosta terrestre. É uma pedra muito utilizada na construção civil, pela sua dureza e resistência. Em Portugal, a paisagem granítica revela-se principalmente em extensos planaltos, em serras, nas Beiras e em várias regiões montanhosas. Há ainda a considerar um maciço de dimensões mais reduzidas, na serra de Sintra, com cerca de 10 por 5 quilómetros (Wikipédia 1, [s.d.]).

O granito é um material com uma elevada inércia térmica, por isso, durante o Verão, ao entrar numa igreja ou habitação construída neste material, existirá a sensação de frescura, assim como no Inverno se sentirá menos frio no interior do que no exterior do edifício. (Construção Sustentável, 2012).

As propriedades físicas do granito necessárias para a simulação no programa *EnergyPlus* são representadas na Tabela 2.

Tabela 2: Propriedades físicas do Granito e fontes de informação

Propriedade física		Fonte
Massa volúmica aparente, ρ (kg m^{-3})	2600	ITE 50, Anexo I, quadro 1.2
Condutibilidade térmica, λ ($\text{W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)	2,8	ITE 50, Anexo I, quadro 1.2
Calor específico, c_p ($\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	650	Anexo 1, (Mendonça, 2005)
Emissividade, ε (-)	0,96	Anexo 1, (Mendonça, 2005)
Espessura (m)	0,3	

Quando se pensa na reabilitação de um edifício, o isolamento térmico é um dos conceitos que não se pode deixar de ter em conta e este caso não foi exceção. A escolha do isolante recaiu sobre placas de Poliestireno Expandido Extrudido, XPS, por ser o material mais usado. O XPS é vulgarmente conhecido como esferovite. Foi estudada a aplicação de uma camada com espessura de 5 cm e com 10 cm, para perceber se o aumento da espessura do isolante se traduz numa variação significativa do comportamento térmico do edifício. A camada com 5 cm foi denominada XPS 50 e a de 10 cm por XPS 100. O XPS apresenta as características indicadas na Tabela 3.

Tabela 3: Propriedades físicas do isolante e fontes de informação

Propriedade física		Fonte
Massa volúmica aparente, ρ (kg m^{-3})	32,5	ITE 50, Anexo I, quadro 1.2
Condutibilidade térmica, λ ($\text{W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)	0,037	ITE 50, Anexo I, quadro 1.2
Calor específico, c_p ($\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	1045	Anexo 1, (Mendonça, 2005)
Emissividade, ε (-)	0,6	Anexo 1, (Mendonça, 2005)
Espessura (m)	0,05 e 0,1	

O PCM aplicado no estudo foi o *Rubitherm*[®] SP25. *Rubitherm*[®] SP25, é uma mistura de sal hidratado com compostos orgânicos de forma a tornar-se um composto mais estável e que não se deteriore ao longo do tempo. Este é embalado em painéis dentro de microcápsulas, de forma a que a sua aplicação seja direta. Segundo o fabricante deste PCM, a *Rubitherm*[®], este tem uma capacidade térmica de 180 KJ.Kg^{-1} , e zona de conforto entre os $24\text{-}26^\circ\text{C}$. As propriedades consideradas para o PCM foram as apresentadas na Tabela 4 e na Figura 17.

Tabela 4: Propriedades físicas do Rubitherm SP 25

Massa volúmica aparente, ρ (kg m^{-3})	1695
Condutibilidade térmica, λ ($\text{W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)	0,6
Calor específico, c_p ($\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	1330
Espessura (m)	0,015

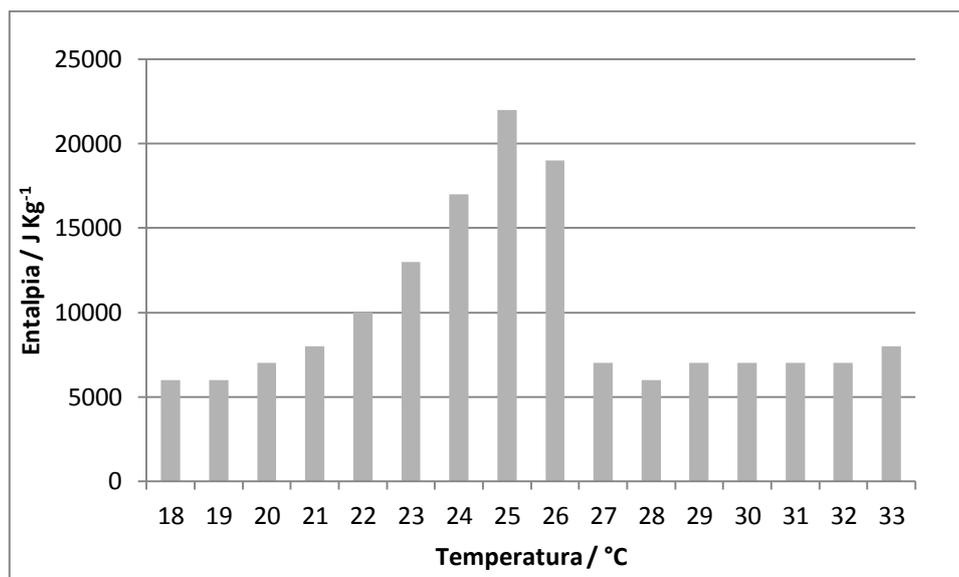


Figura 17: Entalpia vs. Temperatura do PCM, (Rubitherm)

3.1.1.2. Teto

O teto separa o sótão do restante edifício e é protegida pelo telhado. A cobertura do edifício foi denominada de CBE e é constituída por uma camada de betão armado com espessura de 15 cm e revestida pelo interior do edifício por uma camada de reboco em argamassa de cimento de 10 mm. No segundo caso de estudo aplicou-se o XPS 50 por cima da lage de betão e depois substituiu-se o XPS 50 pelo XPS 100. Os parâmetros que caracterizam estes materiais são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Propriedades físicas dos materiais constituintes da cobertura

Propriedade física	Material		Fonte
	Betão armado	Reboco	
Massa volúmica aparente, ρ (kg m^{-3})	2035	2000	ITE 50, Anexo I, quadro 1.2
Condutibilidade térmica, λ ($\text{W m}^{-1} \text{°C}^{-1}$)	2	1.3	ITE 50, Anexo I, quadro 1.2
Calor específico, c_p ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)	1000	1046	Anexo 1, (Mendonça, 2005)
Emissividade, ε (-)	0,98	0,6	Anexo 1, (Mendonça, 2005)
Espessura (m)	0,15	0,010	

3.1.1.3. Cobertura

A cobertura ou telhado, é um dos promenores que caracteriza a construção típica portuguesa são, por norma, inclinados e revestidos de telhas em cerâmica. Para o caso de estudo foi considerado que é construído apenas em telha cerâmica, pois os barrotes que normalmente as seguram não tem uma grande influência no comportamento térmico da telha pois são bastante espaçados e de madeira. A telha cerâmica é um material muito utilizado a nível europeu na construção de edifícios típicos, pois nos edifícios “modernos” não existem telhados, apenas coberturas horizontais desnudadas de qualquer tipo de telhas. Sendo um material amplamente utilizado e de grande importância para o comportamento do edifício este material é sujeito a rigorosos teste e cumprimento de normas. Para o caso de estudo este elemento construtivo foi denominado COB e considerado que era construído em cerâmica de barro vermelho. As suas propriedades físicas para este material são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6: Propriedades físicas da telha cerâmica

Propriedade física		Valor
Massa volúmica aparente, ρ (kg m^{-3})	2000	Anexo 1, tabela A1.1.1 (Mendonça, 2005)
Condutibilidade térmica, λ ($\text{W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)	1,15	Anexo 1, tabela A1.1.4 (Mendonça, 2005)
Calor específico, c_p ($\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	960	Anexo 1, tabela A1.1.5 (Mendonça, 2005)
Espessura (m)	0,005	

3.1.1.4. Pavimento

É denominado por pavimento o chão do interior do edifício. O pavimento no caso de estudo passou a ser denominado de PVE e é construído por várias camadas desde o seu exterior até a aplicação do soalho. Os materiais considerados para a construção deste elemento construtivo foram:

- 1.Reboco 20mm em argamassa de cimento;
- 2.Laje betão;
- 3.Betão leve;
- 4.Reboco 20mm em argamassa de cimento;
- 5.Betonilha;
- 6.Solho madeira.

As propriedades físicas assim como as respetivas fontes são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7: Propriedades físicas dos materiais de construção do Pavimento

Propriedade física	Material				Fonte
	Reboco	Laje Betão	Betão leve	Betonilha	
Massa volúmica aparente, ρ (kg m^{-3})	2000	2012	2350	2350	ITE 50, Anexo I, quadro 1.2
Condutibilidade térmica, λ ($\text{W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)	1,3	2	1,05	1,3	ITE 50, Anexo I, quadro 1.2
Calor específico, c_p ($\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	1046	1000	1000	1000	Anexo 1, tabela A1.1.5 (Mendonça, 2005)
Emissividade, ϵ (-)	0,6	0,95	0,95	0,6	Anexo 1, tabela A.1.8 (Mendonça, 2005)
Espessura ,(m)	0,02	0,38	0,075	0,055	

3.1.1.5. Paredes interiores

A escolha dos materiais usados na construção das paredes interiores basearam-se na observação da construção das paredes internas da minha habitação que também é em granito. A escolha dos materiais de construção para a PDI, denominação no caso de estudo da parede interna, recaiu sobre o tijolo furado de 15 cm, e revestimento com reboco de 15 mm em cada uma das faces do tijolo. Estes são os materiais que se usam com maior frequência na elaboração deste tipo de elementos construtivos e as suas propriedades físicas são representadas na Tabela 8.

Tabela 8: Propriedades físicas dos materiais constituintes das paredes interiores

Propriedades físicas	Material		Fonte
	Reboco	Tijolo furado	
Massa volúmica aparente, ρ (kg m^{-3})	2000	840	ITE 50, Anexo I, quadro 1.2
Condutibilidade térmica, λ ($\text{W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)	1,3	0,34	ITE 50, Anexo I, quadro 1.2
Calor específico, c_p ($\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	1046	840	Anexo 1, tabela A1.1.5 (Mendonça, 2005)
Emissividade, ϵ (-)	0,6	0,7	Anexo 1, tabela A.1.8 (Mendonça, 2005)
Espessura ,(m)	0,015	0,150	

3.1.1.6. Janelas e portas

O isolamento das portas e janelas é um fator importante para o comportamento térmico do edifício. As janelas bem isoladas com vidros duplos, vidros duplos de baixa emissibilidade e janelas duplas, conjugados com caixilharia de bom corte térmico são fundamentais para manter as condições térmicas ideais para o conforto térmico e redução das necessidades energéticas de aquecimento pois reduz a transferência de calor entre o exterior e o interior do edifício. Uma janela com vidro duplo de baixa emissibilidade é constituído por duas camadas de vidro separadas por uma camada de ar, onde um do vidros é revestido por uma película refletora de forma a minimizar a entrada de radiação solar no interior do edifício. Às vezes, por si só um bom isolamento das janelas e portas é suficiente para diminuir as perdas de calor para o exterior na estação de arrefecimento e a entrada de calor na estação de aquecimento.

De forma a perceber qual o verdadeiro impacto do isolante e do PCM no edifício, a escolha dos materiais de construção destes elementos recaiu sobre a caixilharia em madeira com vidro simples para as janelas (ENV) , PVC para as portas exteriores (VOP) e madeiras leves para as portas interiores (VOPI). As propriedades físicas destes materiais são apresentadas na Tabela 9 e Tabela 10.

Tabela 9: Propriedades físicas dos materiais constituintes das portas

Propriedades físicas	Material		Fonte
	PVC	Madeiras leves	
Massa volúmica aparente, ρ (kg m^{-3})	1380	2000	ITE 50, Anexo I, quadro 1.2
Condutibilidade térmica, λ ($\text{W m}^{-1} \text{°C}^{-1}$)	0,17	0,150	ITE 50, Anexo I, quadro 1.2
Calor específico, c_p ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)	980	500	Anexo 1, tabela A1.1.5 (Mendonça, 2005)
Espessura, e (m)	0,06	0,04	

Tabela 10: Propriedades físicas das janelas em madeira com vidro simples.

Propriedades físicas	Material	Fonte
	Vidro simples com caixilharia em madeira	
Coefficiente de transmissão térmica, U [$\text{W m}^{-2} \text{°C}^{-1}$]	5,1	ITE 50, Anexo III, Quadro III.1
Fator solar, g_v	0,85	DL nº 80/2006, Tabela IV.4.1
Espessura, e (m)	0,006	

3.2. Localização geográfica

Segundo Koppén o clima de Portugal continental divide-se em duas regiões: uma de clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e quente a Norte, e outra de clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e pouco quente a Sul (IPMA, 2014).

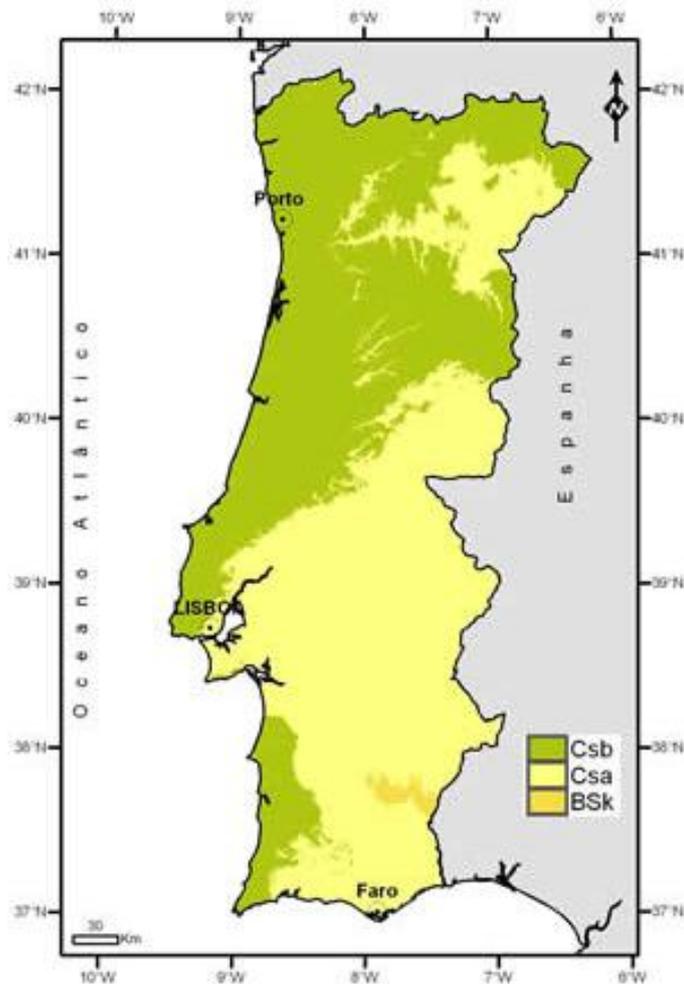


Figura 18: Clima de Portugal continental, segundo Koppén (IPMA, 2014)

Portugal é um dos países europeus mais amenos com a temperatura média anual que varia dos 7 °C, no interior Norte montanhoso, até 18 °C a Sul da bacia do Guadiana, como se verifica na figura 19.

Figura 19 Os Verões são amenos nas terras mais altas do norte do país e na zona litoral. O Outono e o Inverno são tipicamente ventosos, chuvosos e frescos sendo os distritos do Norte e centro do país que sofrem com as temperaturas mais baixas. Normalmente, os meses de Primavera e Verão são ensolarados e as temperaturas são altas nos meses mais secos (Wikipédia2, 2014).

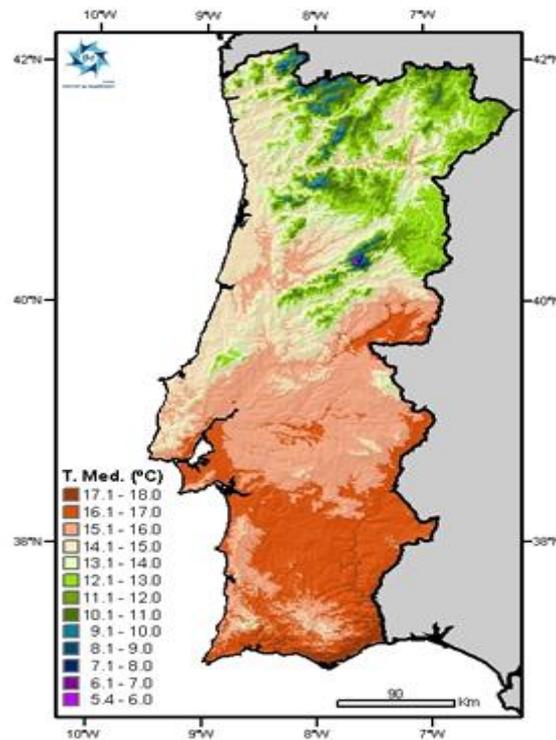


Figura 19: Temperatura média anual em Portugal continental (IPMA, 2014)

Por outro lado, a radiação solar é diferente de região para região, mesmo entre regiões vizinhas, isto é devido ao percurso anual do sol apresentando este uma posição mais alta no verão e mais baixa no inverno, no hemisfério norte. O RCCTE divide Portugal continental em três zonas climáticas de inverno; I_1 , I_2 e I_3 , e três zonas climáticas de verão; V_1 , V_2 e V_3 , como se verifica na Figura 20. Por outro lado, as zonas de verão estão divididas em região Norte e região Sul. A região Sul abrange toda a área a sul do rio Tejo e ainda os seguintes concelhos dos distritos de Lisboa e Santarém: Lisboa, Oeiras, Cascais, Amadora, Loures, Odivelas, Vila Franca de Xira Azambuja, Cartaxo e Santarém.

O RCCTE classifica as várias zonas climáticas tendo em consideração os dados climáticos: número de graus-dias de aquecimento- GD, (na base de 20 °C) correspondente à estação convencional de aquecimento, duração da estação de aquecimento, temperatura de projeto de Verão e amplitude térmica média diária do mês mais quente (RCCTE, 2006). As zonas climáticas que caracterizam os distritos em estudo são para o Porto I_2V_1 , Lisboa I_1V_2 e Guarda I_3V_2 , de acordo com a Tabela 11.

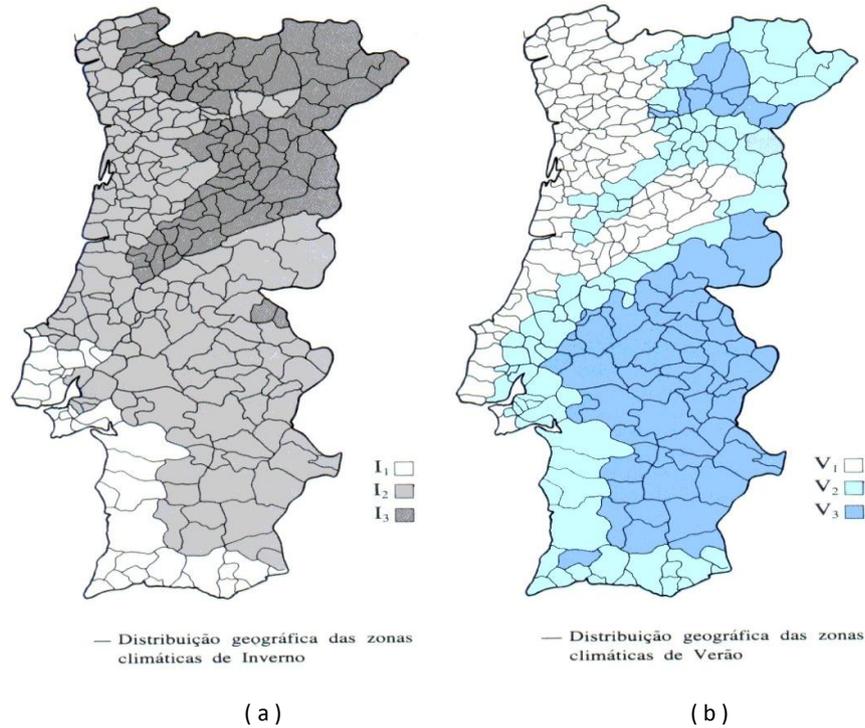


Figura 20: Distribuição geográfica das zonas climáticas de Inverno (a) e das zonas climáticas de Verão (b) (Camelo *et al.*, 2006)

Tabela 11: Zonas climáticas de Verão e de Inverno para os distritos do caso de estudo

Distritos	Zona Climática de Inverno	Zona climática de Verão
Porto	I ₂	V ₁
Lisboa	I ₁	V ₂
Guarda	I ₃	V ₂

Para o presente estudo foram seleccionados três concelhos/ distrito: Porto, Lisboa e Guarda. A selecção foi feita tendo em consideração a existência e abundância da construção em granito, e pelo facto de representarem três zonas climáticas distintas. Esta variedade de climas permite perceber se o isolamento e a aplicação de PCMs em edifícios construídos em granito é viável para diferentes climas com diferentes variações de temperatura e humidade. Os ficheiros climáticos, em formato wpg, necessários para a simulação no EnergyPlus, foram retirados da site da *U.S. Department of Energy*.

3.3. EnergyPlus

O *EnergyPlus* é um programa informático que objetiva auxiliar o estudo e análise de edifícios do ponto de vista térmico. O *EnergyPlus* é da autoria do Departamento de Energia dos Estados Unidos, e foi baseado em programas já existente: o *Blast* e o *DOE-2* e funciona com linguagem *Fortran*. Neste trabalho a versão utilizada é a versão 8.1 de Dezembro de 2013.

O programa estrutura-se em três componente: um controlador da Simulação, um módulo de balanço de Calor e massa e um módulo de simulação dos sistemas de edificação, como é observável na Figura 21. O programa faz a simulação dinâmicas do balanço térmico e mássico de uma determinada zona do edifício, podendo ser introduzidos, na zona em análise, os vários sistemas de climatização existentes, de modo a se obterem os consumos associados às temperaturas internas que se pretende.

Para o programa proceder à simulação é necessário conhecer a arquitetura do edifício e os materiais constituintes, de forma a caracterizar as soluções construtivas do edifício.

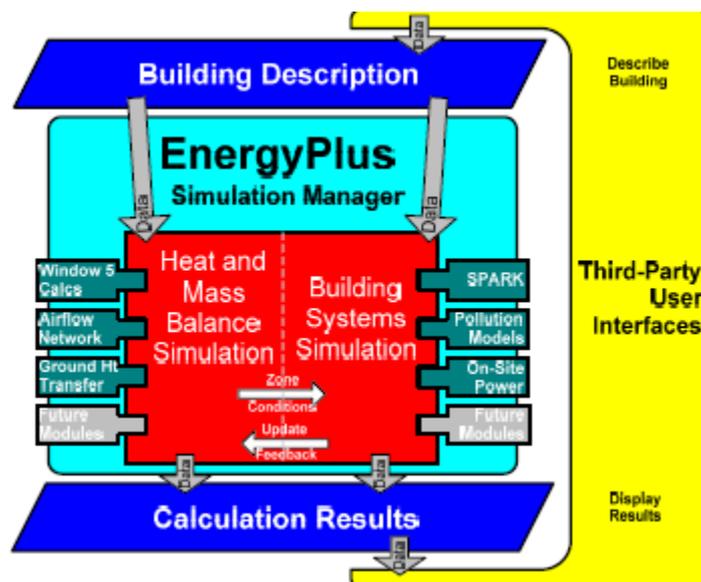


Figura 21: Diagrama de funcionamento do *EnergyPlus* (OLBNL, 2013)

Uma das vantagens do *EnergyPlus*, prende-se com o facto de permitir fazer simulações em intervalos de tempo inferiores a uma hora, o que permite o conhecimento do comportamento térmico do edifício ao longo do dia e não apenas ao longo dos meses. O *EnergyPlus* simula a carga térmica de um edifício com base nas descrições e parâmetros que são previamente definidos pelo utilizador. Assim, o programa calcula a quantidade de energia necessária para que a temperatura do ar ambiente interior se mantenha dentro dos limites aceitáveis e definidos.

O *EnergyPlus* utiliza a seguinte equação (1) para determinação do fluxo de calor que atravessa um elemento opaco:

$$q''_{ko}(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{i,t-j\delta} \quad (1)$$

Onde:

q'' – fluxo de calor

T- temperatura

i -Elemento interno da construção

o- elemento externo da construção

t- iteração atual

X e Y- fatores de resposta (dependem das propriedades térmicas dos materiais)

Deste modo se verifica que o fluxo de calor que atravessa um determinado elemento opaco depende das temperaturas exteriores e interiores, da radiação solar incidente e das propriedades térmicas dos materiais constituintes do elemento.

Para o cálculo das temperaturas, o *EnergyPlus* utiliza a equação (2):

$$T_z^t = \frac{\sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i^t + m_{sys} C_p T_{sup}^t + \left(C_z \frac{T_z}{\delta t} + \sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{N_{surface}} m_i C_p T_{zi} + m_i C_p T_{\infty} \right)^{t-\delta}}{\frac{C_z}{\delta t} + \left(\sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i + \sum_{i=1}^{N_{surface}} m_i C_p + m_{inf} C_p + m_{sys} C_p \right)} \quad (2)$$

Em que

Q - fluxo de calor

H - coeficiente de convecção de troca de calor

A - Área da parede

m- fluxo de massa

C_p - Calor específico da parede

Para a realização destes cálculos o *EnergyPlus* utiliza o conceito Zona, este conceito é a definição de um conjunto de espaços que se encontram submetidos ao mesmo controlo térmico. As diferentes zonas de um edifício podem interagir entre si através de fluxos de calor nas superfícies comuns.

O *EnergyPlus* possui um editor de texto em formato IDF (Input Data File), o IDFEditor, onde o usuário pode colocar toda a informação necessária à caracterização do edifício. Uma das ferramentas que se utiliza constantemente quando se trabalha com o *EnergyPlus* é o EP-Lunch, pois este permite verificar os erros existentes aquando da definição da geometria dos edifício, propriedades físicas dos materiais, elementos construtivos etc. o EP-Lunch para além da sua função de detecção de erros, é onde se inserem os dados climáticos previamente definido no IDFEditor.

Concluída a simulação, o programa fornece um ficheiro que descreve os eventuais erros detetados pelo software, agrupando-o em três níveis de acordo com a gravidade:

- *Warming*- não comprometem a simulação, sendo os erros menos gravesos;

- *Severe*- mais gravoso que os *warming* mas que pode comprometer a qualidade dos resultados;
- *Fatal*- resultam da associação de vários erros *warming* e *severe* e que impede que a simulação suceda.

Na Figura 22, apresentam-se os dados de Input e Output necessários na análise do comportamento térmico do edifício.

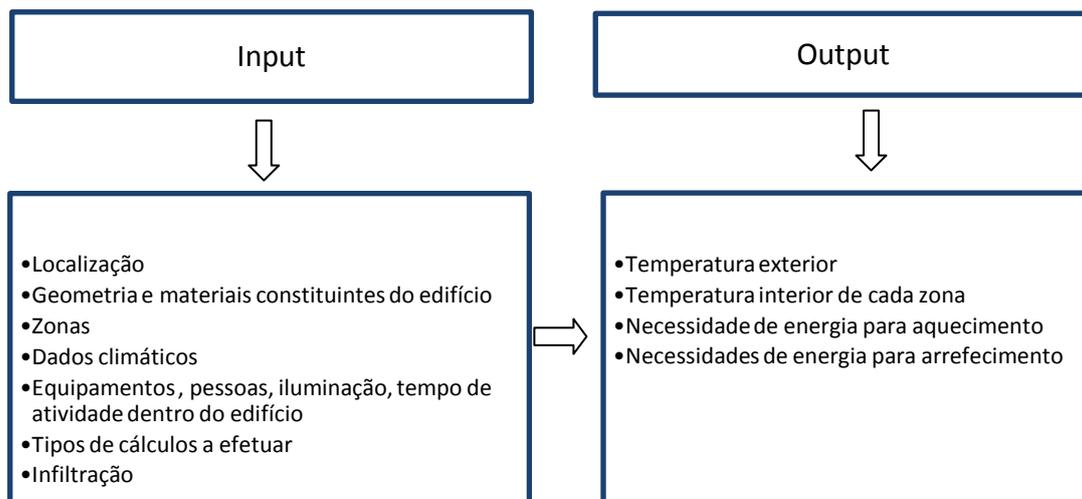


Figura 22: Diagrama dos dados de entrada e saída do *EnergyPlus* (OLBNL, 2013)

A grande potencialidade do *EnergyPlus* é possibilitar ao utilizador efetuar estudos abrangentes sem necessidades de recorrer a outros softwares. De seguida são descritos os diversos grupos e campos utilizados para a elaboração deste estudo. Os campos usados permitem a inserção dos dados essenciais para a realização rigorosa da simulação que resultará em resultados mais próximos da realidade. Apenas serão referidos os campos utilizados para a realização do estudo, embora façam parte do simulador muitos outros campos.

A definição dos materiais de construção e das suas propriedades físicas definidas nos capítulos 3.1 e 3.2, é feita no *IDFEditor*, no grupo *Surface construction element*, como mostra a Figura 23 e Figura 24.

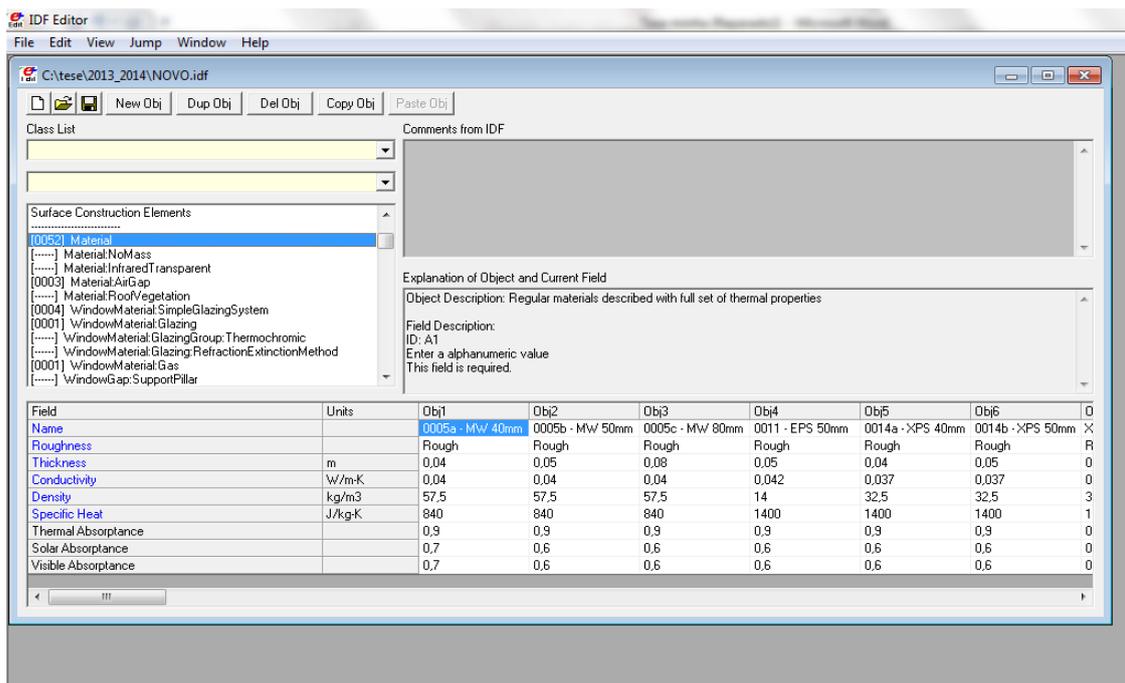


Figura 23: Definição de materiais no EnergyPlus

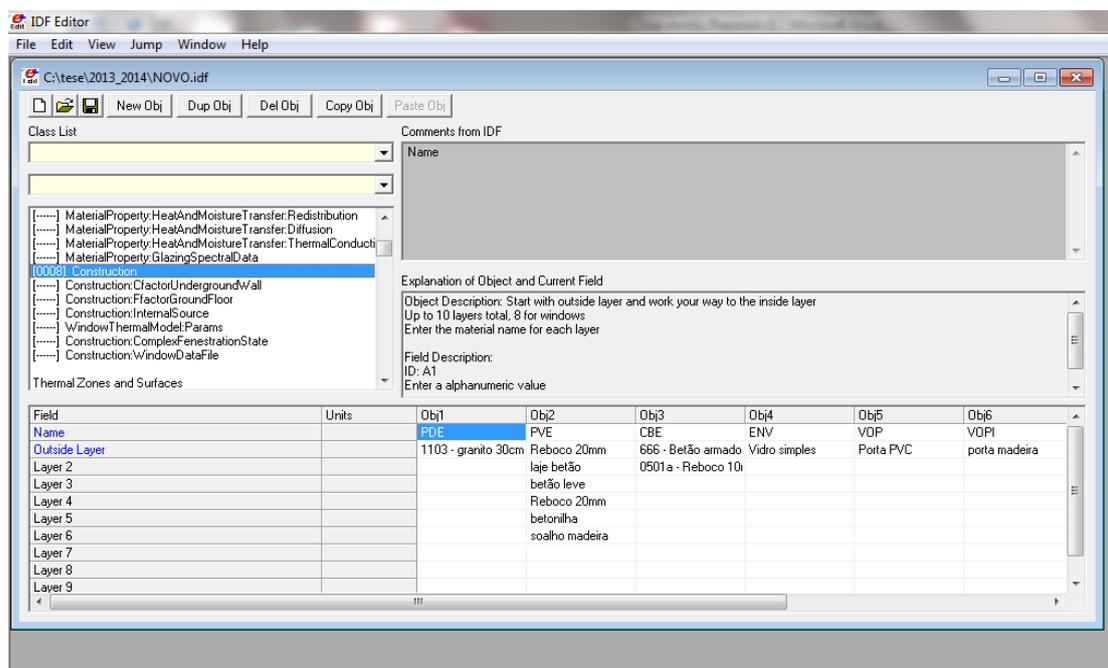


Figura 24: Definição das soluções construtivas no EnergyPlus

No grupo *Thermal Zones and Surface* foram definidas as sete zonas do edifício em estudo definidas no subcapítulo 3.1. do presente estudo. O reconhecimento das zonas por parte do software é conseguido com o preenchimento do campo *Zone* e com posterior indicação da

mesma aquando da geometria do edifício no campo *BuildingSurface:Detailed*, como mostra a Figura 25.

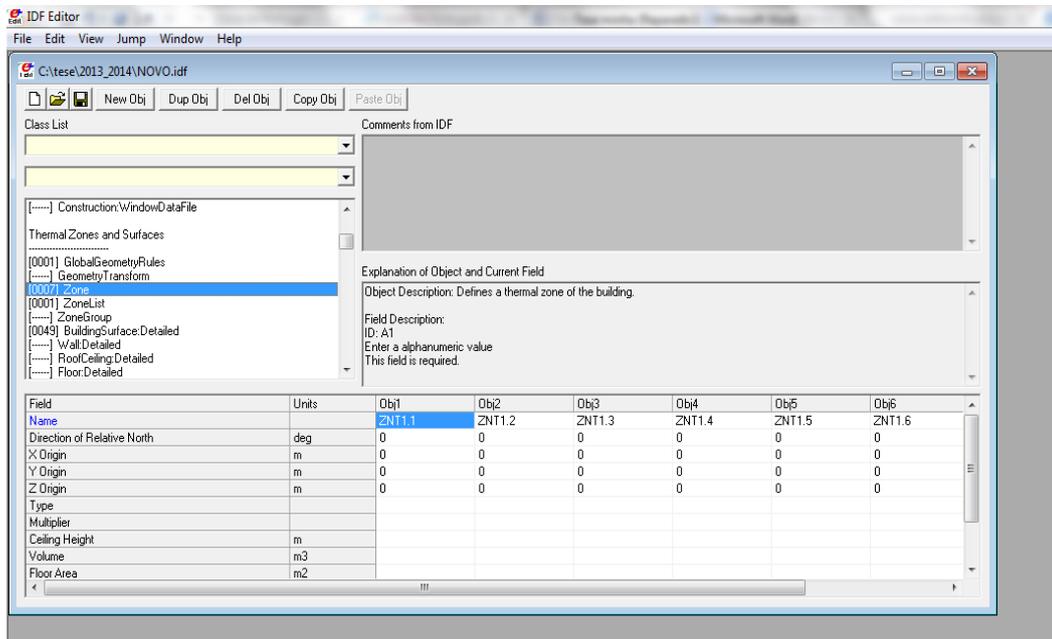


Figura 25: Definição das Zonas no *EnergyPlus*

O estabelecimento dos critérios de elaboração da geometria do edifício é fundamental. A geometria é definida por coordenadas cartesianas sendo necessário estabelecer o primeiro vértice e o sentido de orientação dos restantes. Para tal, como se vê na Figura 26, no campo *GlobalGeometryRules* do grupo *Thermal Zones and Surface* foi definido como primeiro vértice o do canto superior esquerdo e os vértices seguintes seguiriam o sentido do ponteiro do relógio. Contudo, estas indicações podem ser interpretadas de maneiras diferentes, dependendo do sentido de orientação da observação. Então, o utilizador deve estar numa posição exterior ao do elemento a construir, Figura 27.

Para uma melhor caracterização e reconhecimento dos elementos construtivos por parte do software, é fundamental atribuir nomes às superfícies inseridas, a indicação do tipo de superfície (chão, parede exterior e interior, cobertura, telhado), a sua solução construtiva, introduzida no campo *Construction*, Figura 28, a zona a que pertence, as condições adjacentes às paredes (interior, exterior, etc) bem como a sua exposição ao sol e ao vento.

Para a introdução dos vidros e portas existentes no edifício é utilizado o campo *FenestrationSurface:Detailed*. A sua introdução é feita recorrendo a coordenadas cartesianas, sendo também necessário a indicação da superfície onde a janela/porta se encontra inserida.

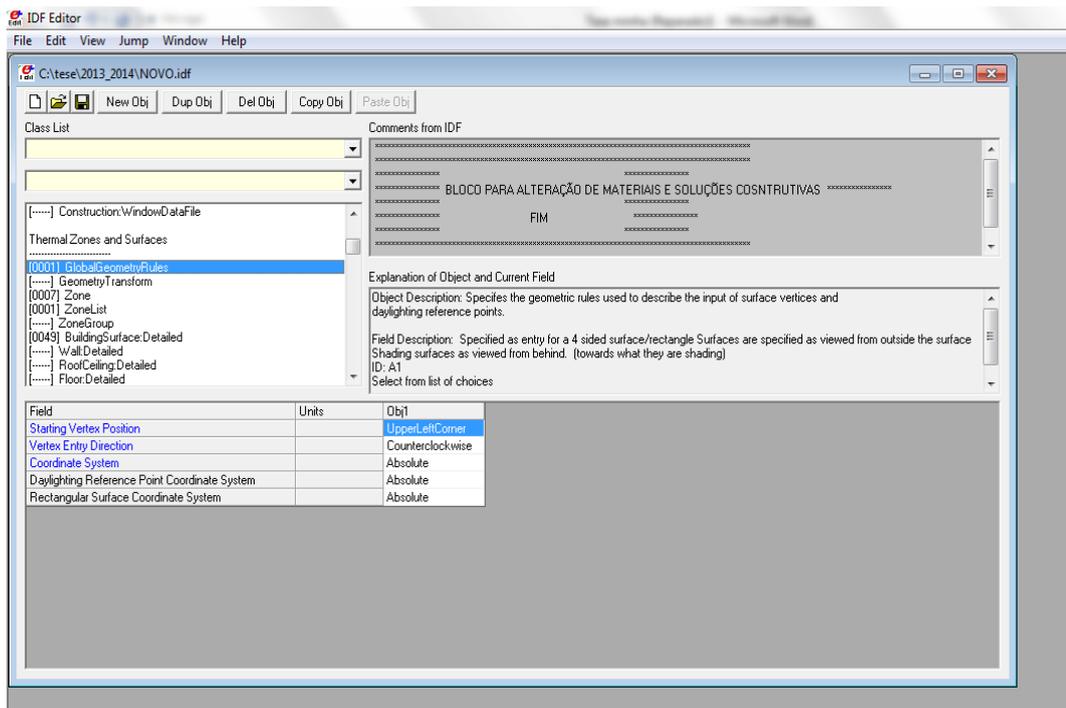


Figura 26: Definição do sentido de orientação da geometria do edifício no *EnergyPlus*

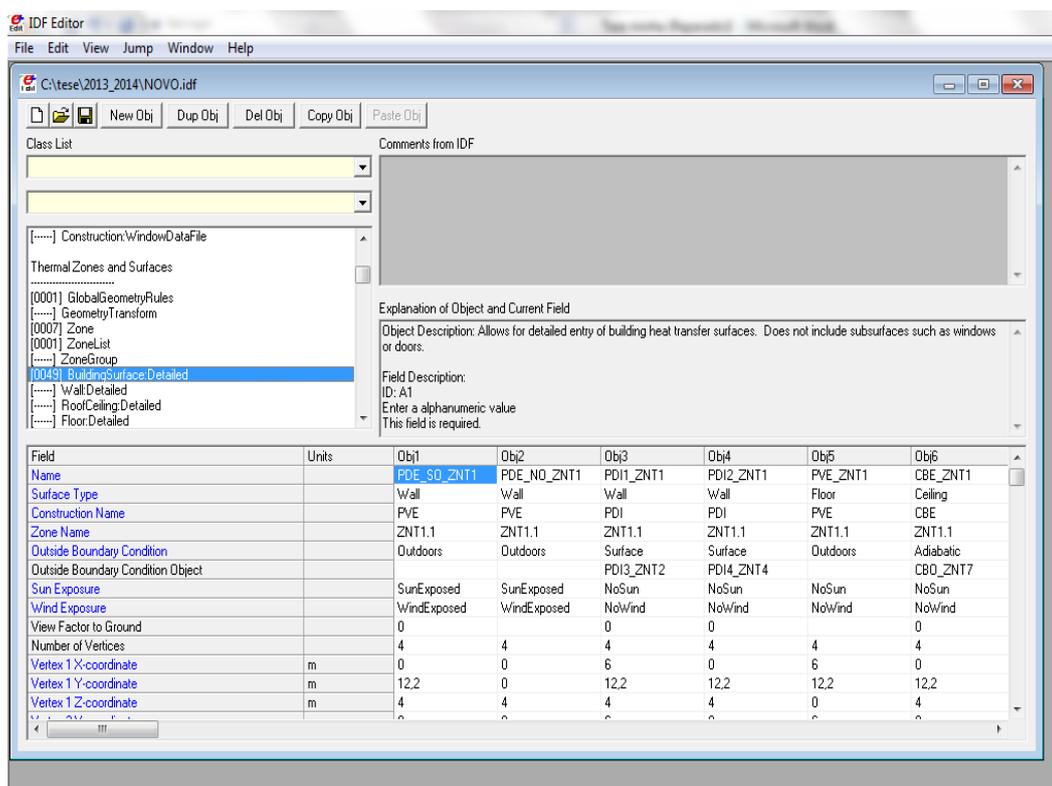


Figura 27: Definição da geometria do edifício no *EnergyPlus*

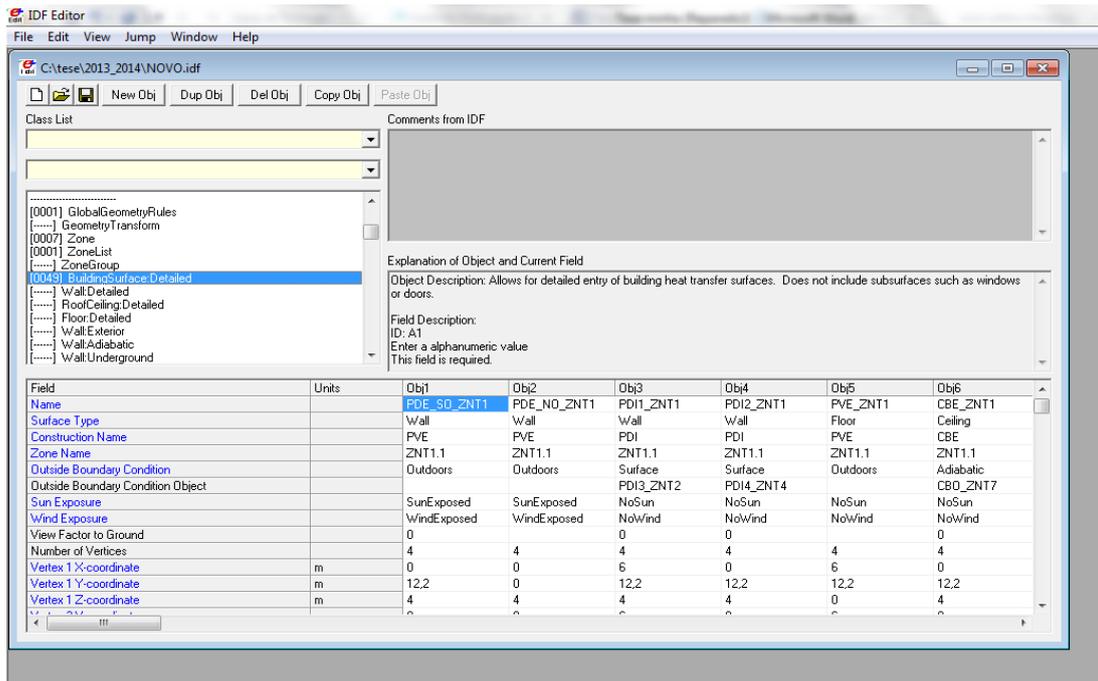


Figura 28: Definição das condições dos elementos construtivos no *EnergyPlus*

No grupo *Zone Airflow* foi inserida a quantidade de ar proveniente do ambiente exterior, que se infiltra diretamente no interior de cada uma das zonas. Para tal, é necessário preencher o campo *ZoneInfiltration* e indicou-se a taxa de renovação horária definida pelo RCCTE de $0,6 \text{ h}^{-1}$. Considerou-se também que a renovação de ar ocorreria em todas as zona do edifício.

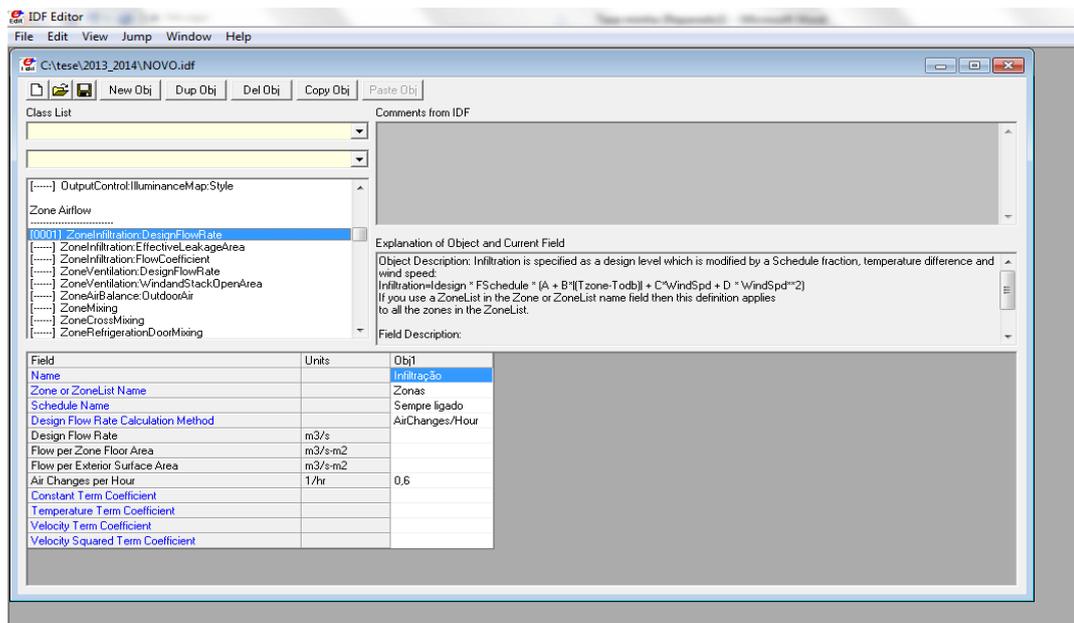


Figura 29: Definição das taxas de renovação horárias no *EnergyPlus*

3.4. Modelo de conforto térmico

O homem é um animal de sangue quente que, para sobreviver, necessita de manter a temperatura interna do corpo (cérebro, coração e órgãos do abdómen) dentro de limites muito estreitos, a uma temperatura constante de 37 °C. Esta necessidade leva a uma procura constante do equilíbrio térmico entre o homem e o meio envolvente que tem influencia nessa temperatura interna. Quando existe a percepção psicológica desse equilíbrio, pode-se falar de conforto térmico, que é definido pela ISO 7730:2005 (União Europeia, 2005) como “um estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente que envolve uma pessoa (nem quente nem frio)”.

Por isso pode dizer-se que conforto térmico e o balanço térmico do corpo humano estão interligados, da mesma forma que a sensação de bem-estar térmica depende do grau de atuação do sistema termo regulador do corpo. Então, quanto maior for o esforço para manter a temperatura do corpo constante maior será a sensação de desconforto sentida.

O conforto térmico depende de vários fatores podendo estes subdividirem-se em dois tipo: os parâmetros individuais (atividade física, vestuário e metabolismo) e os parâmetros ambientais (temperatura, humidade relativa e velocidade do ar). As transferências entre o organismo e o ambiente exterior podem ser representadas pela equação 3.

$$C_{met} + C_{conv} + C_{rad} - C_{ev} = \pm Q \quad (3)$$

Onde :

C_{met} = Energia metabólica transformada em calor ($W m^{-2}$)

C_{conv} = Calor trocado por convecção ($W m^{-2}$)

C_{rad} = Calor trocado por radiação ($W m^{-2}$)

C_{ev} = Calor perdido por evaporação ($W m^{-2}$)

Q = Calor transferido entre dois ambientes ($W m^{-2}$)

Então, para que o corpo se encontre em equilíbrio térmico é necessário que o Q seja igual a zero e assim, satisfazer a condição de conforto térmico. Contudo não é suficiente, é também importante que o C_{met} possa ser igualado à energia metabólica, segundo a norma ISO 8996 (ISO 8996, 2004). A unidade usada para caraterizar a atividade metabólica é denominada por *met*.

Tabela 12: Nível de atividade correspondente a várias ações (ASHRAE, 2009)

Atividade	Taxa de metabolismo (met)
Dormir	0,7
Sentado	1,0
Escrever	1,1
Conduzir	1,2
Cozinhar	1,6 a 2
Dançar	2,4 a 4,4

O tipo de vestuário é um fator muito importante na avaliação do conforto térmico, pois a quantidade e tipo de roupa adequado alteram a taxa metabólica. A unidade usada para caracterizar o isolamento térmico da roupa é o *clo*. Na Tabela 13 são apresentadas algumas combinações de vestuários e respetivos valores de *clo* e isolamento térmico.

Tabela 13: Isolamento típico de algumas combinações de vestuário (ASHRAE, 2009)

Vestuário	<i>Clo</i>	<i>U</i> ($W^{-1}m^2 K$)
Nú	0	0
calções	0,1	0,018
camisola de manga curta e calções	0,5	0,078
Camisola de manga comprida e calças	1,0	0,155
Camisola de manga comprida, calças e casaco	1,5	0,233

Como referido anteriormente, a definição de conforto térmico é complexa e não pode ser definida de forma exata, pois depende de vários fatores entre eles da temperatura (não exata) e pode ser definida segundo duas vertentes: a física e a mental.

O conforto térmico, pela visão pessoal, pode ser definido como o sentimento de satisfação que se obtém com o ambiente envolvente. No entanto, a satisfação com o ambiente envolvente varia de pessoa para pessoa, e por isso, considera-se condições de conforto aquelas que proporcionam bem estar a um maior número de pessoas possível. Já a vertente física/ambiental está mais relacionada com as condições que permitam a manutenção da temperatura interna do corpo sem recorrer a metabolismos termo reguladores. Quando o ser humano tem a perceção de que atingiu equilíbrio térmico com o ambiente, pode dizer-se que este goza do dito conforto térmico, definido pela norma ISO 7730:2006 como o estado de espírito que expressa satisfação com o meio ambiente que envolve o indivíduo (União Europeia, 2005).

Uma das formas mais comuns de avaliação do conforto térmico é através de inqueritos a indivíduos, sobre as sensações fornecidas pelo ambiente envolvente e durante o uso de vestuário. Baseado neste método Fanger em 1970 (ASHRAE, 1989), desenvolveu um modelo matemático para definir a zona neutra de conforto térmico para o Homem, para diferentes combinações de vestuário e níveis de atividade física, em conjunto com as diferentes variáveis ambientais (temperatura, humidade relativa e velocidade relativa do ar). Fanger criou assim o índice PMV (Predicted Mean Vote ou voto médio previsto), que é utilizado para prever a avaliação da sensação térmica do corpo numa escala de sete pontos, que vai de muito frio a muito quente (-3 a +3), apresentada na Tabela 14. O outro índice criado por Fanger é o PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) que quantifica a percentagem prevista de pessoas insatisfeitas com um determinado ambiente térmico e que pode ser determinado pela equação 4.

$$PPD = 100 - 95e^{(-0,03353PMV^4 - 0,2179.PMV^2)} \quad (4)$$

Tabela 14: Escala de PMV de Fanger

PMV	Sensação
+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Levemente quente
0	Neutralidade
-1	Levemente Frio
-2	Frio
-3	Muito frio

Baseado no trabalho de Fanger, a American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) desenvolveu cartas de conforto e índices de sensações térmicas para a previsão de níveis de conforto térmico sobre os diferentes níveis de isolamento do vestuário, de níveis metabólicos, de temperaturas do ar e de bolbo molhado, dando origem às normas ASHRAE de 1993 que à *posteriori* foram revistas e atualizadas (Broega, 2007).

A norma ISO 7730:2005, apresenta recomendações de exigências de conforto baseadas nos índices PMV e PPD, recomendando, para espaços onde se verifique ocupação humana, que o valor de PPD seja inferior a 10%, o que equivale a um PMV compreendido entre -0,5 e +0,5, correspondentes à escala de muito pouco frio e muito pouco quente.

4. Resultados

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos por simulação no programa *EnergyPlus*, para o caso de estudo descrito anteriormente.

4.1. Temperatura exterior vs. temperatura interior

No distrito do Porto, foi estudada a relação entre a temperatura ambiente e no interior do edifício nas diferentes zonas da construção. Foram analisadas as hipóteses da construção apenas em granito, depois isolamento pelo exterior com o isolante XPS 50 ou XPS 100 e por fim aplicada uma camada de PCM Rubitherm SP25 na parte interna das paredes. A influência destes elementos na variação da temperatura interna média mensal, do edifício encontra-se representada nas Figura 30, Figura 31, Figura 32, Figura 33, Figura 34, Figura 35 e Figura 36.

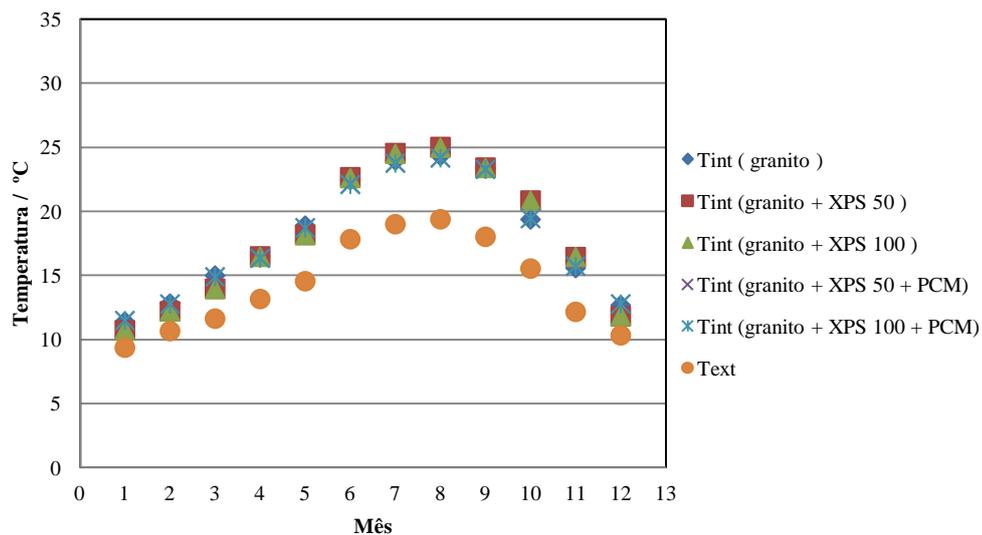


Figura 30: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.1 para o Porto

Pela observação da Figura 30, na ZNT 1.1 com uma das fachadas viradas a Norte, e outra virada a Oeste, a nível mensal, o granito, proporciona uma temperatura interna superior à temperatura externa. Nos meses de temperaturas mais frias, a temperatura interior é superior à exterior, embora a diferença seja de apenas 2 ou 3 °C. Nos meses quentes acontece o mesmo, a temperatura interna (T_{int}) é superior à temperatura externa (T_{ext}), embora nunca passe dos 25 graus, o que segundo o RCCTE é a temperatura de conforto para a estação de aquecimento. A aplicação de isolantes, gerou uma variação na temperatura interna, em relação é proporcionada na construção em granito. O XPS 50 e o XPS 100 aplicados no exterior do edifício, nos meses quentes, leva a uma temperatura interna superior, na ordem dos 0.5 °C, à da construção em granito, no Inverno não têm influência. A utilização do PCM no interior das paredes externas,

gera uma melhoria da temperatura, ou seja, aplicar o PCM leva a um aumento da T_{int} na estação de arrefecimento e diminuição na estação de aquecimento.

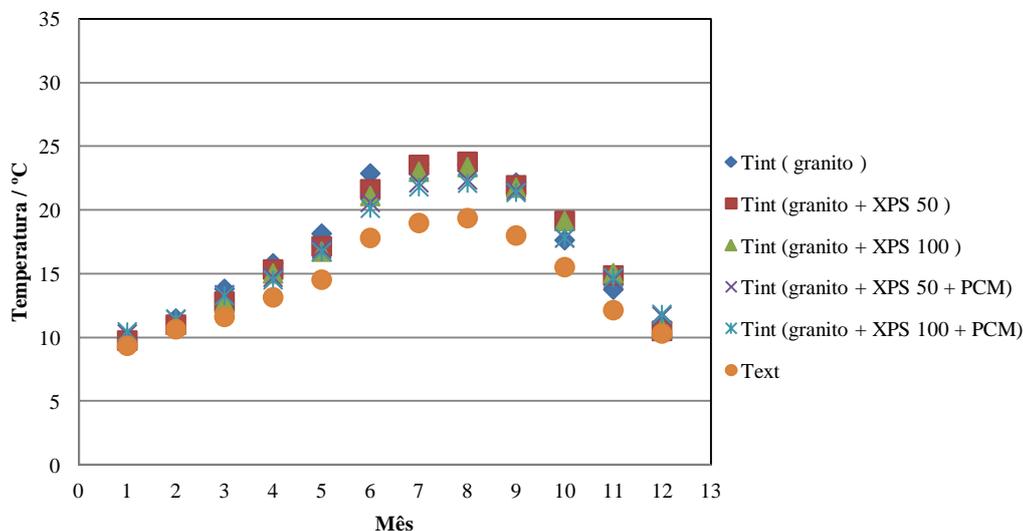


Figura 31: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.2 para o Porto

Pela análise da Figura 31 e comparação com a Figura 30, na ZNT 1.2, pode-se afirmar-se que esta zona tem o mesmo comportamento térmico que a ZNT 1.1.

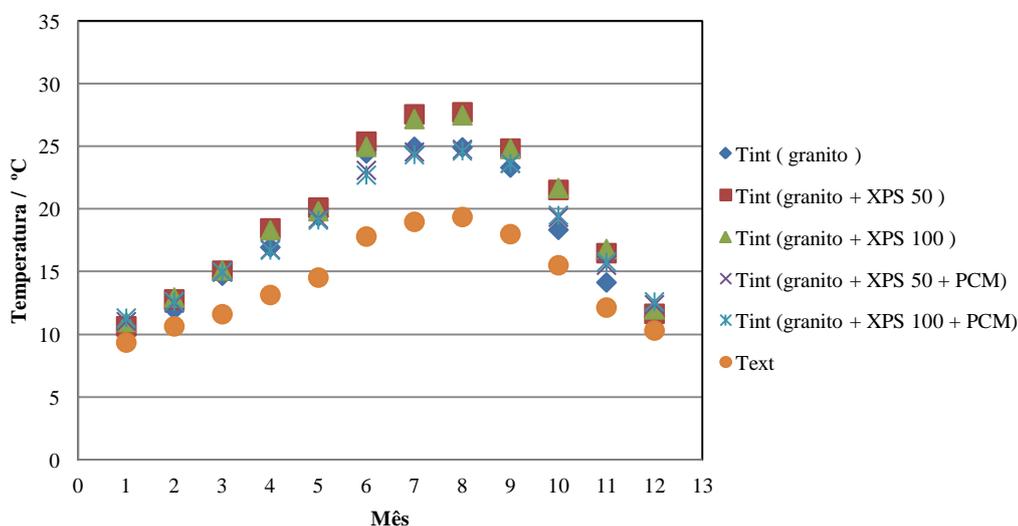


Figura 32: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.3 para o Porto

Na ZNT 1.3, com uma das fachadas virada a Norte e outra virada a Oeste a aplicação de isolantes gera uma variação de temperatura significativa nos meses mais quentes, como se pode ver na Figura 32. A T_{int} é superior com a aplicação do isolante. Aplicar uma camada mais espessa de isolante, XPS 100, não gera alterações significativas em relação às já proporcionadas pelo XPS 50.

Aplicar o PCM, vai traduzir-se num comportamento térmico idêntico ao do edifício construído apenas em granito.

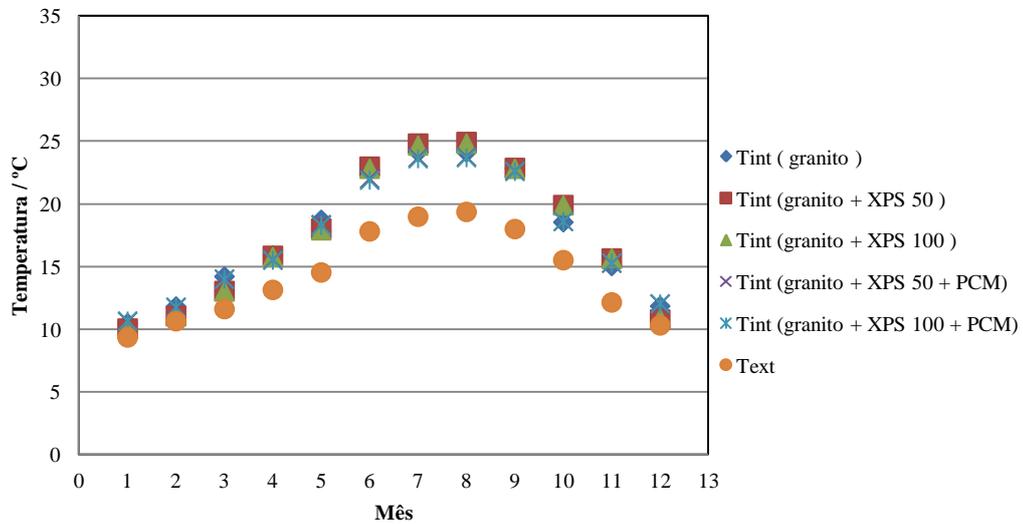


Figura 33: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.4 para o Porto

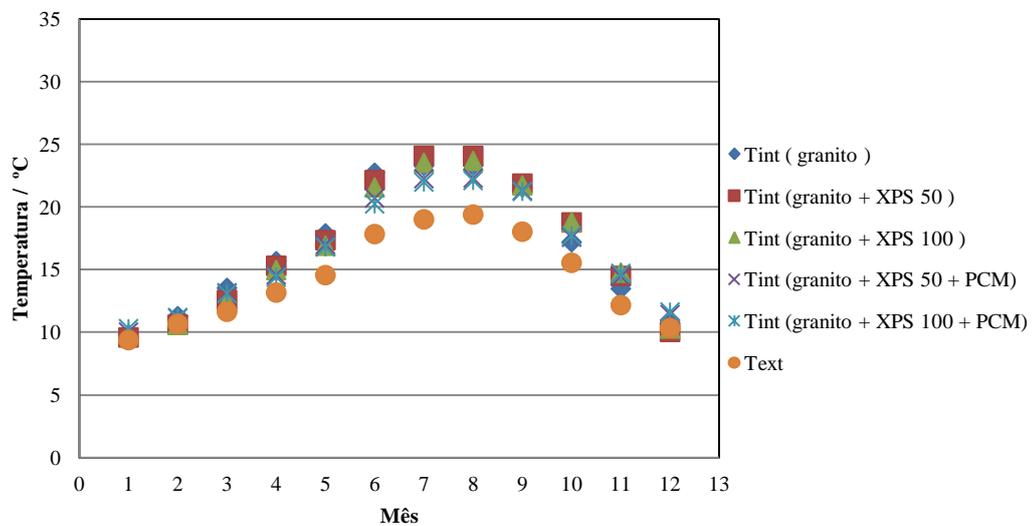


Figura 34: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.5 para o Porto

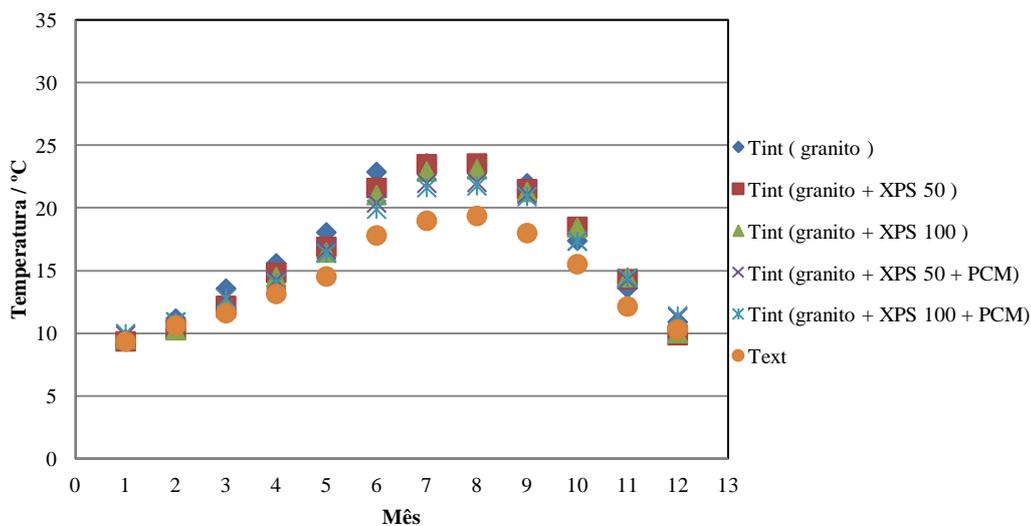


Figura 35: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.6 para o Porto

Nas ZNT 1.4, 1.5 e 1.6 o comportamento térmico em termos de T_{int} e T_{extr} é representados nas Figura 33, Figura 34 e Figura 35. Estas 3 zonas tem comportamentos idênticos às ZNT 1.1 e ZNT 1.2.

Para perceber a influência dos isolantes e do PCM, ao longo de um dia, foram feitas as mesmas simulações mas para o período horário. A escolha dos dias recaíram sobre o dia mais frio e mais quente do ano, 31 de Dezembro e 17 de Julho respetivamente, tendo esta seleção sido feita de forma a perceber o comportamento das condições de temperatura exteriores extremas. Para o distrito do Porto o resultado dessas simulações é representado nas 14 figuras que se seguem.

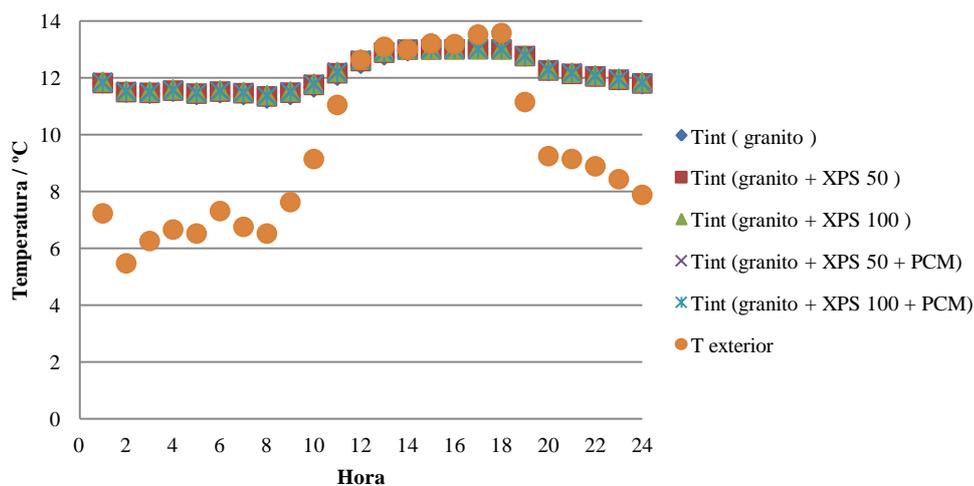


Figura 36: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.1 para o Porto no Inverno

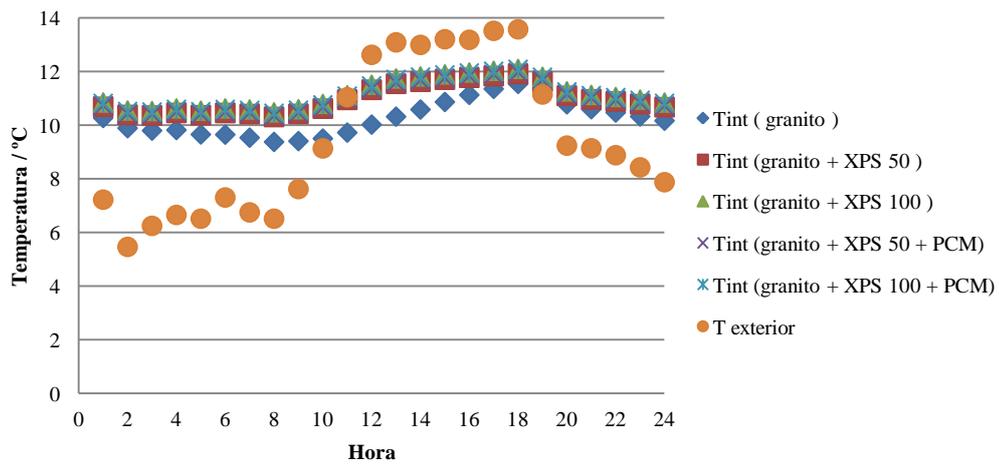


Figura 37: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.2, para o Porto no Inverno

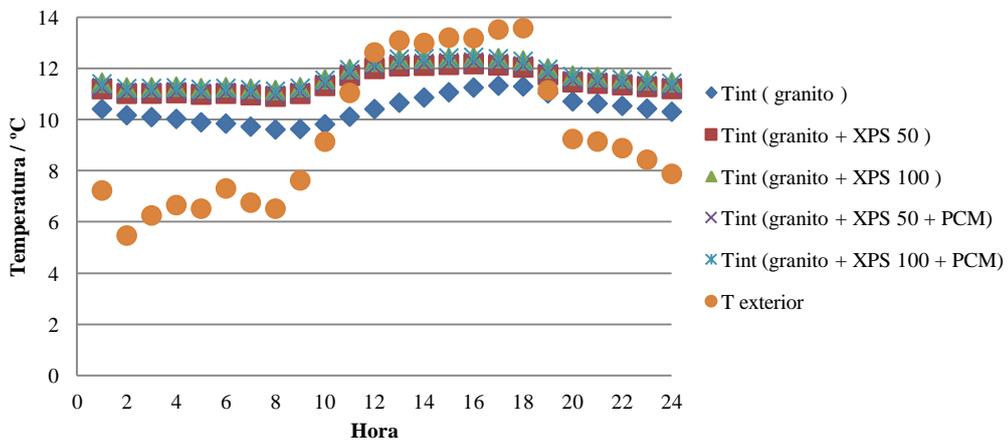


Figura 38: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.3, para o Porto no Inverno

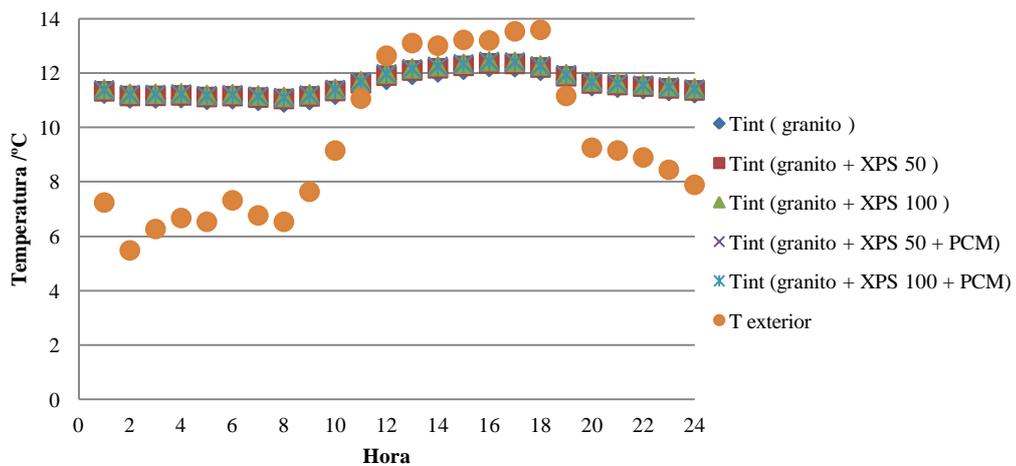


Figura 39: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.4, para o Porto no Inverno

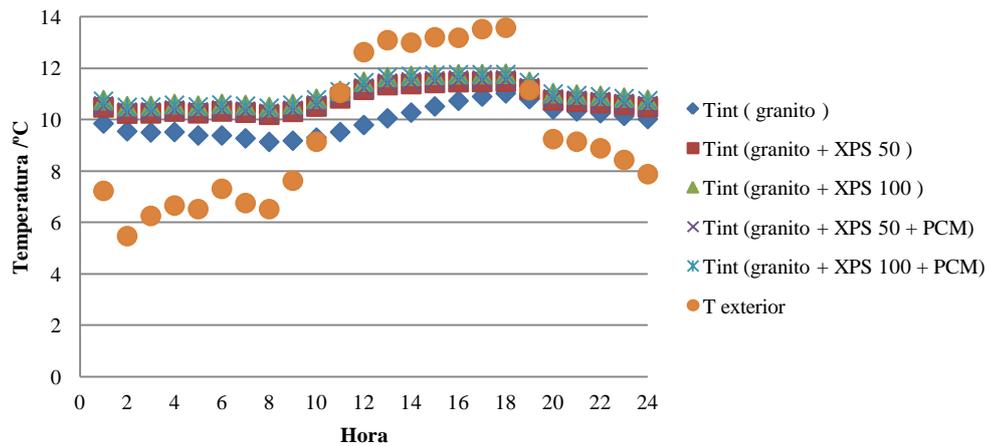


Figura 40: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.5, para o Porto no Inverno

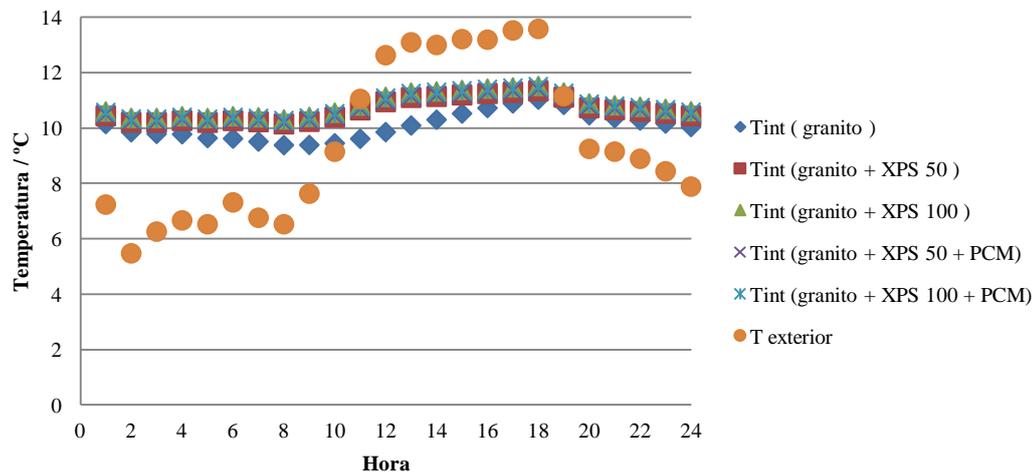


Figura 41: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.6, para o Porto no Inverno

Nas ZNT 1.1 e 1.4, representadas nas Figura 36 e Figura 39 respetivamente, o granito proporciona uma suave variação da T_{int} ao longo do dia ao contrário do que acontece no exterior, onde a T_{ext} é muito inferior durante a noite e vai aumentando com o aparecimento do sol até às 18 h voltando a diminuir novamente, com o desaparecimento do sol. Aplicar o XPS 50 ou o XPS 100, assim como o PCM, não trazem qualquer benefício ao edifício pois a variação da T_{int} não sofre qualquer alteração, relativamente à construção apenas em granito.

Pela interpretação das Figura 37, Figura 38, Figura 40 e Figura 41 verifica-se que o comportamento das ZNT 1.2, 1.3, 1.5 e 1.6 são idênticos. Na construção do edifício em granito, a T_{int} não varia significativamente ao longo do dia, diminuindo entre a 1 h e as 8 h, voltando a subir até às 18 h, tornando a descer após essa hora e até às 24 h. A aplicação de isolante levou a uma diminuição da variação da T_{int} , tornando esse aquecimento e arrefecimento mais suave. O PCM

após aplicado, no Inverno, não provoca qualquer variação da T_{int} relativamente à aplicação apenas do isolante.

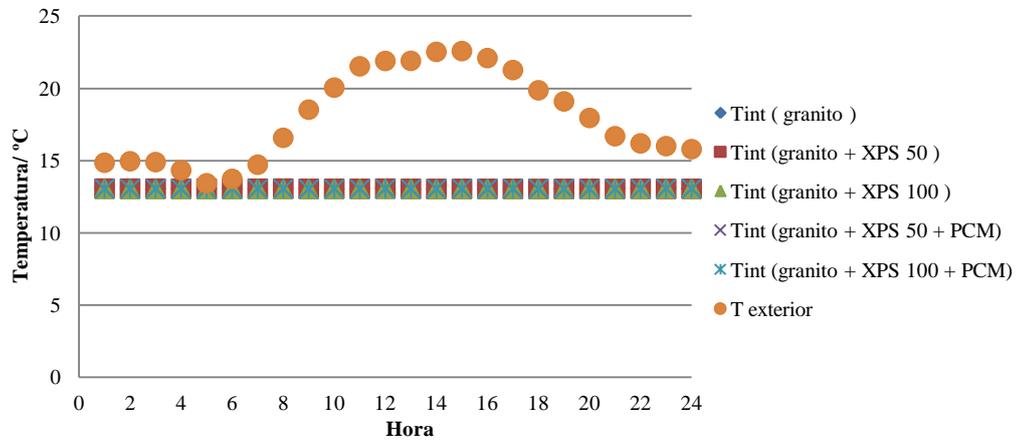


Figura 42: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.1, para o Porto no Verão

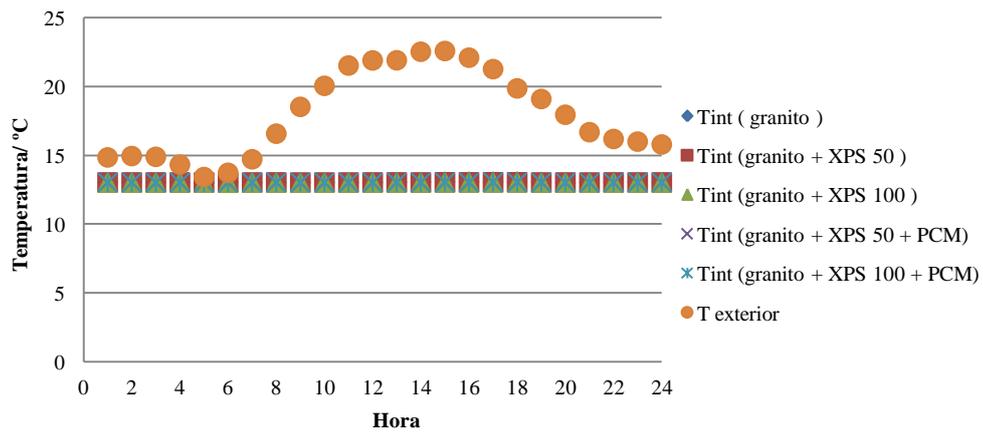


Figura 43: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.2, para o Porto no Verão

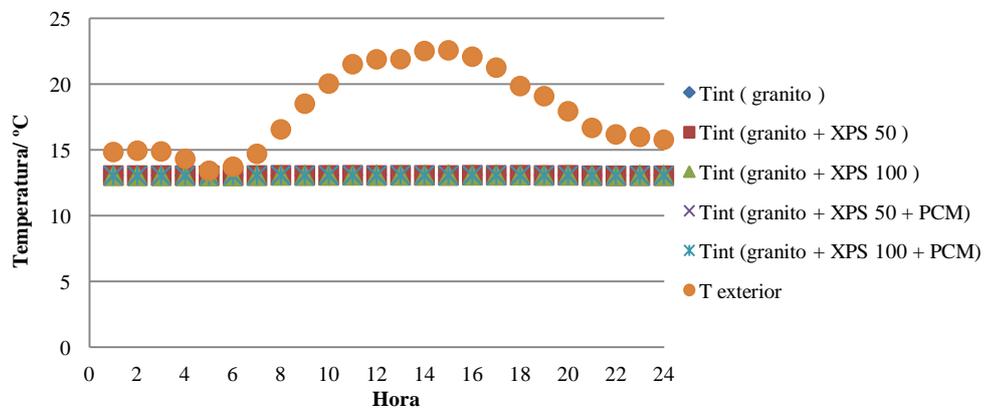


Figura 44: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.3, para o Porto no Verão

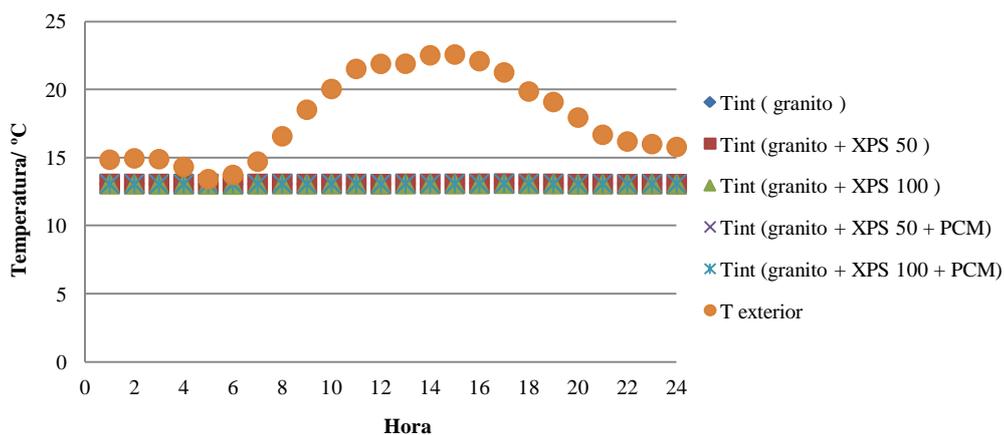


Figura 45: Variação horária da temperatura interior e exterior na na ZNT 1.4, para o Porto no Verão

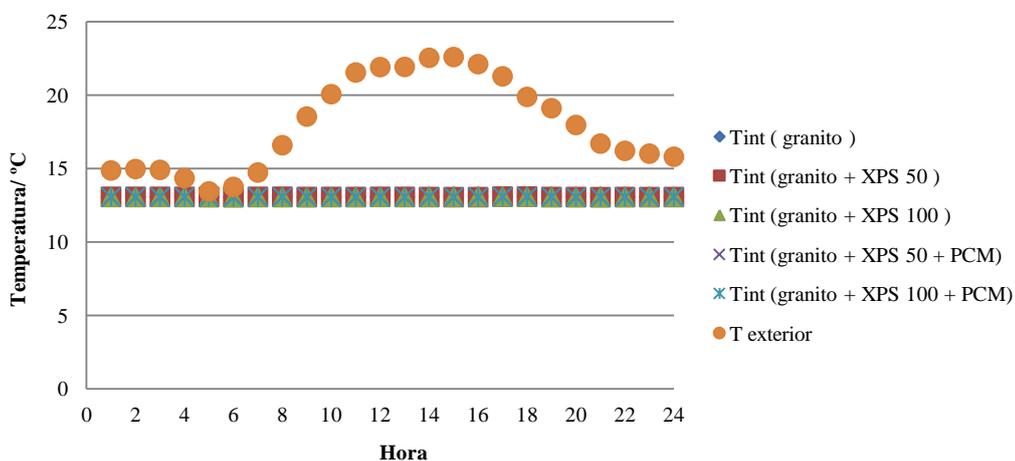


Figura 46: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.5, para o Porto no Verão

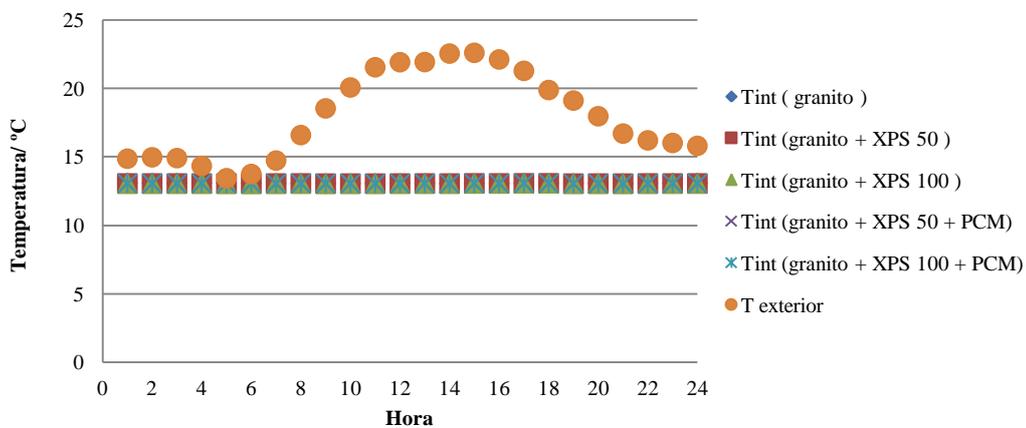


Figura 47: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.6, para o Porto no Verão

Pela análise e interpretação dos resultados apresentados nas Figura 42 a Figura 47, no dia mais quente, dentro do edifício construído apenas em granito, a T_{int} mantém-se constante ao longo de todo o dia, sendo sempre inferior à T_{ext} . Aplicar um isolante não se traduz em nenhuma variação da T_{int} relativamente à construção em granito, assim como acontece na aplicação do PCM. Isto deve-se à elevada inércia térmica do granito que sozinha, nos dias de calor, permite proporcionar uma sensação de frescura no interior do edifício relativamente ao calor que se sente no exterior.

Construir o caso de estudo no distrito de Lisboa traduz-se nas variações de T_{int} apresentada nas Figura 48, Figura 49, Figura 50, Figura 51, Figura 52 e Figura 53.

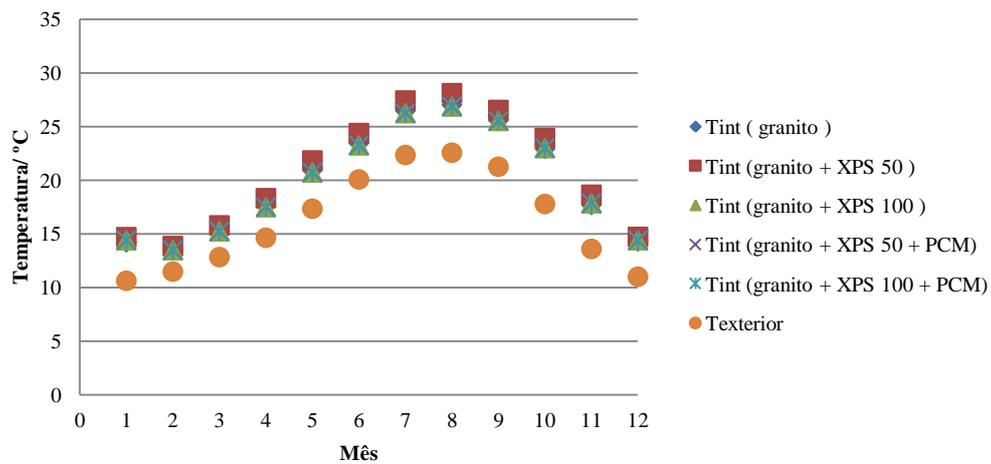


Figura 48: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.1 para Lisboa

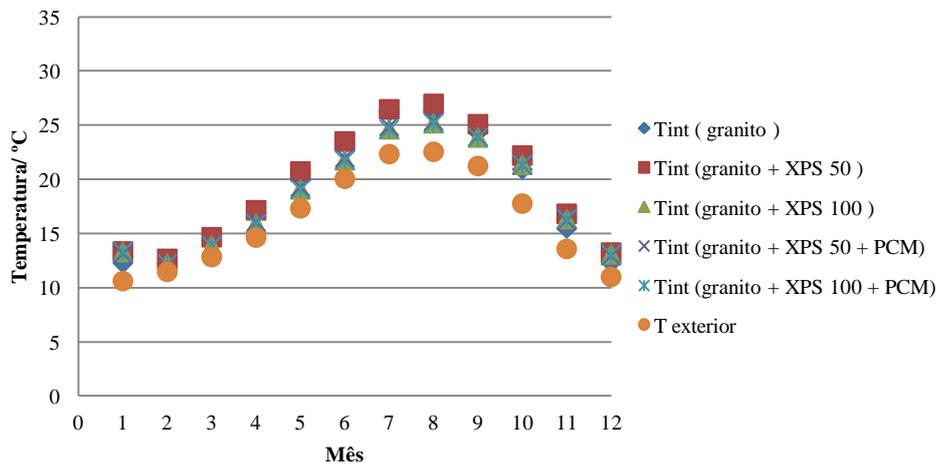


Figura 49: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.2 para Lisboa

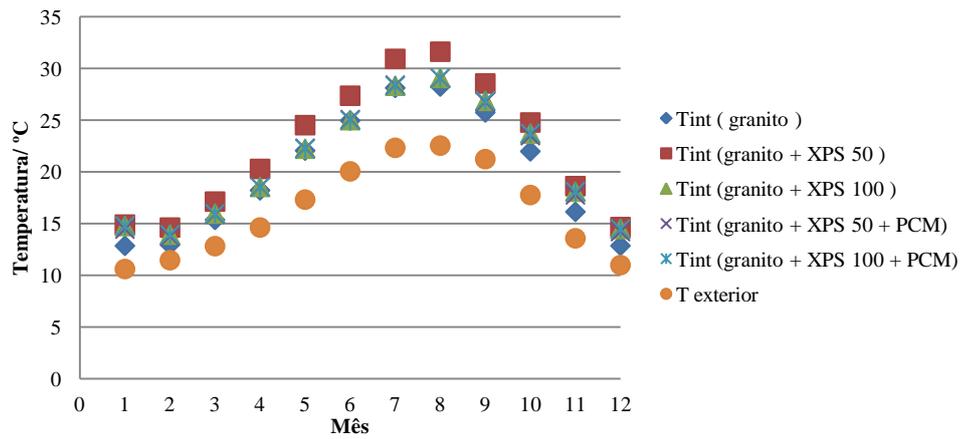


Figura 50: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.3 para Lisboa

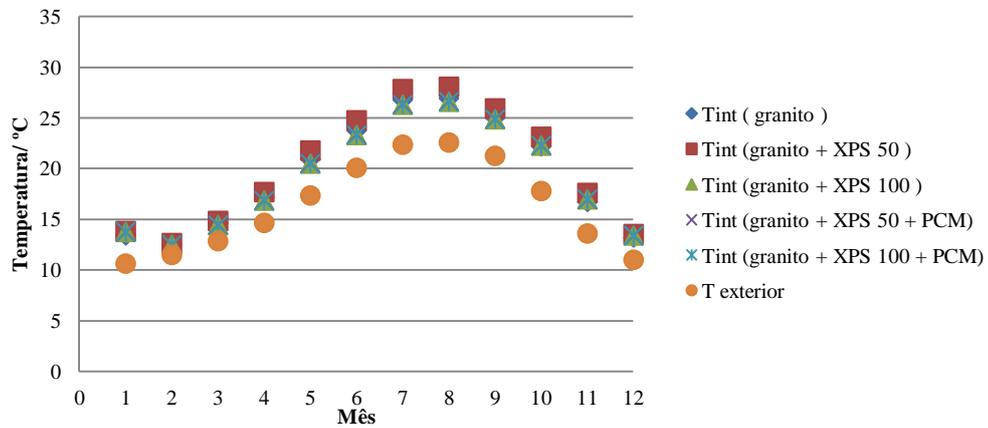


Figura 51: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.4 para Lisboa

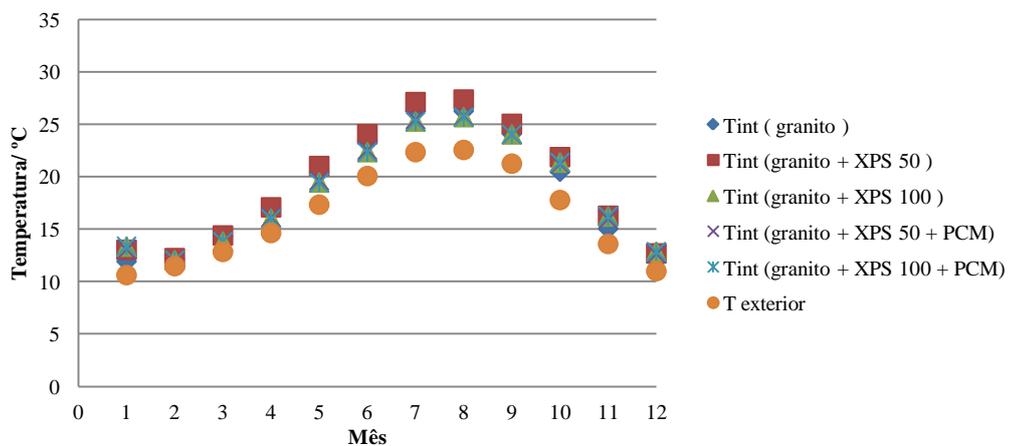


Figura 52: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.5 para Lisboa

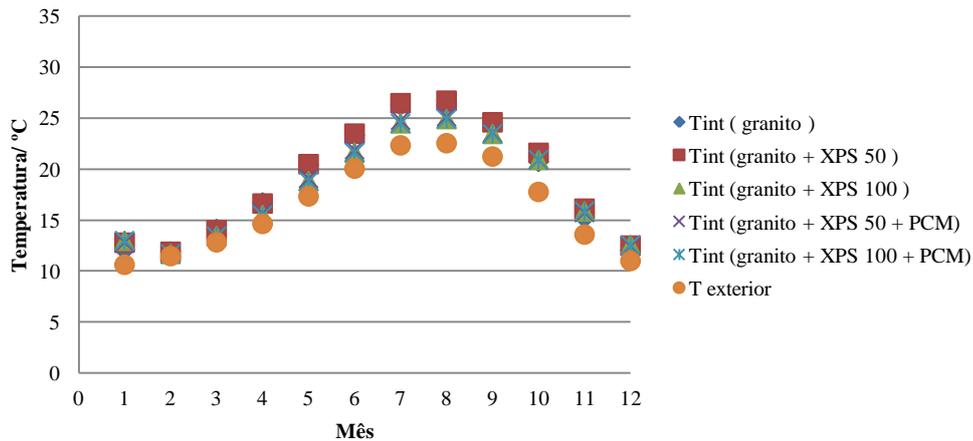


Figura 53: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.6 para Lisboa

Nas ZNT 1.1, 1.2, 1.4, 1.5 e 1.6 e de acordo com as Figura 48, Figura 49, Figura 51, Figura 52 e Figura 53, a T_{int} mensal para o edifício construído em granito é superior à T_{ext} em todos os meses do ano. A aplicação do XPS 50, não provoca qualquer diferença na T_{int} em relação ao granito. Mas aumentando a espessura do isolante para o dobro com aplicação do XPS 100, a T_{int} diminui um pouco, embora seja uma diferença inferior a 1 °C, o que no Verão se traduz numa vantagem, pois reduz as necessidades de arrefecimento. O PCM quando aplicado em conjunto com o isolante não origina uma variação da T_{int} .

A Aplicação do XPS 50, na ZNT 1.3, gerou um aumento da T_{int} da construção com o granito nos meses mais quentes, como se pode ver na Figura 50. Nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Novembro e Dezembro este isolamento não gera variação significativa na T_{int} . Aumentar a espessura do isolante pela substituição do XPS 50 pelo XPS 100, levou a uma diminuição da T_{int} nos meses de Maio a Outubro meses da estação de aquecimento. O PCM quando aplicado em conjunto com o XPS 50 ou com o XPS 100 não gera variação da T_{int} .

Para perceber realmente o que se passa ao longo dos dias frios e dos dias quentes, a análise da variação da T_{int} horária é importante. Ajuda-nos a perceber qual são realmente as sensações de calor e de frio que se fazem sentir ao longo do dia e qual a influência do isolante e do PCM nos picos de temperatura.

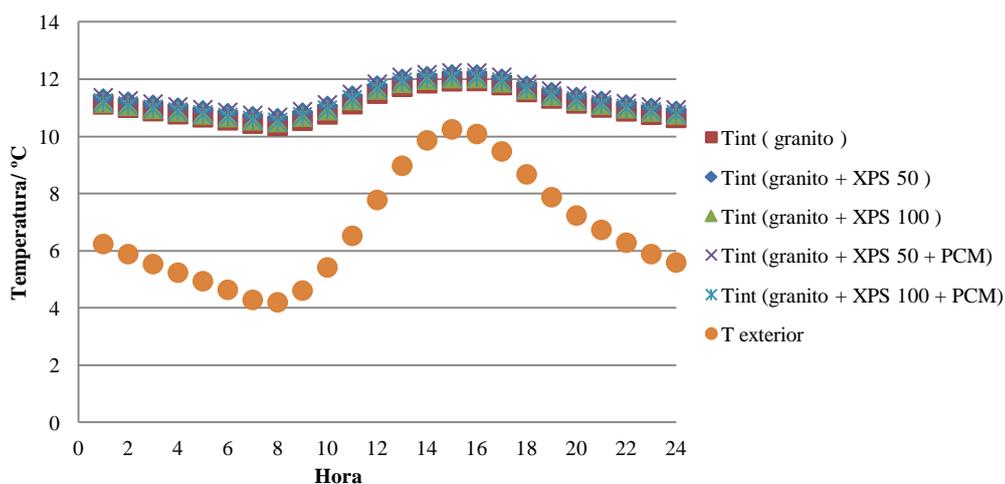


Figura 54: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.1, para Lisboa no Inverno

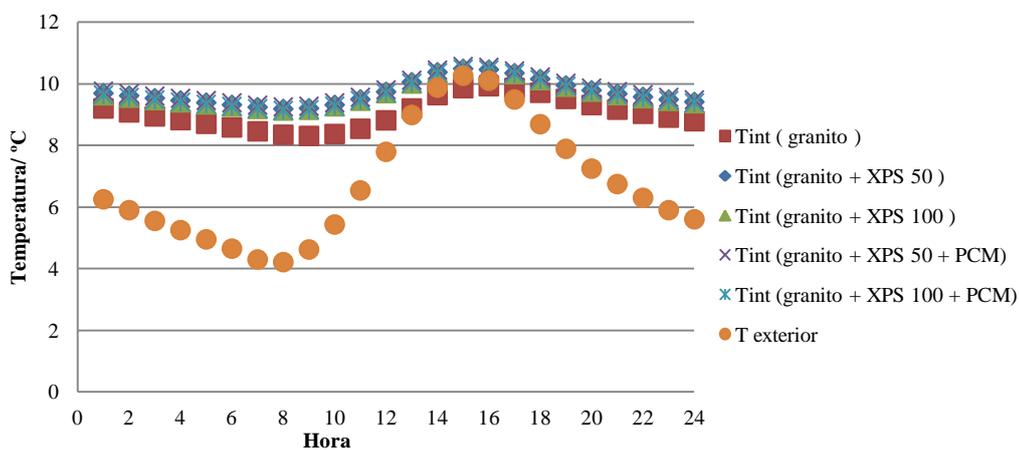


Figura 55: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.2, para Lisboa no Inverno

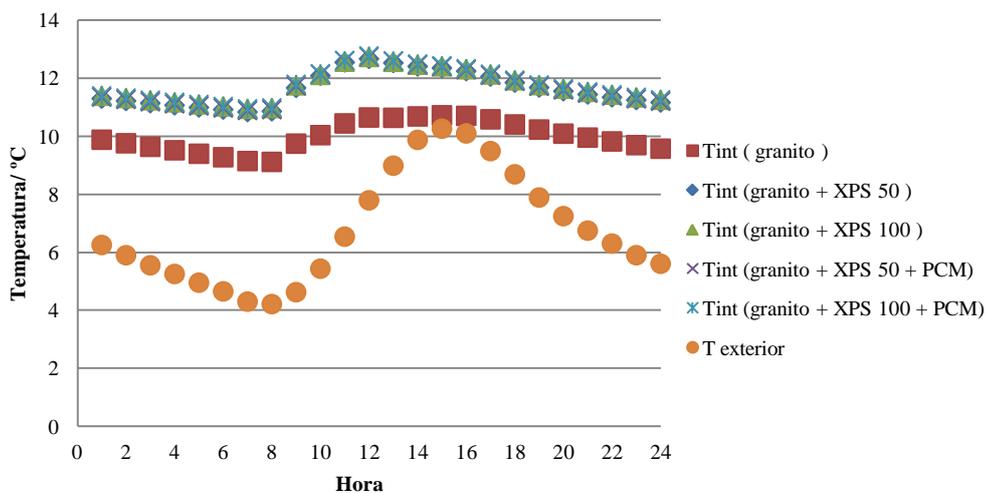


Figura 56: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.3, para Lisboa no Inverno

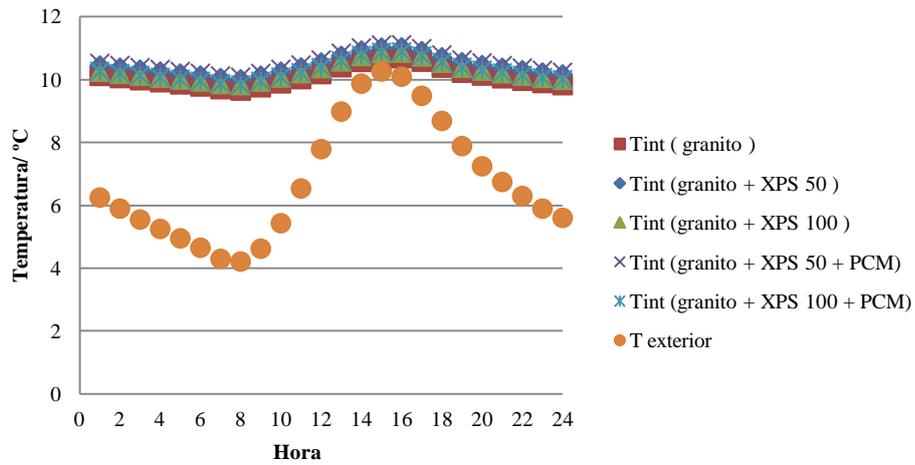


Figura 57: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.4, para Lisboa no Inverno

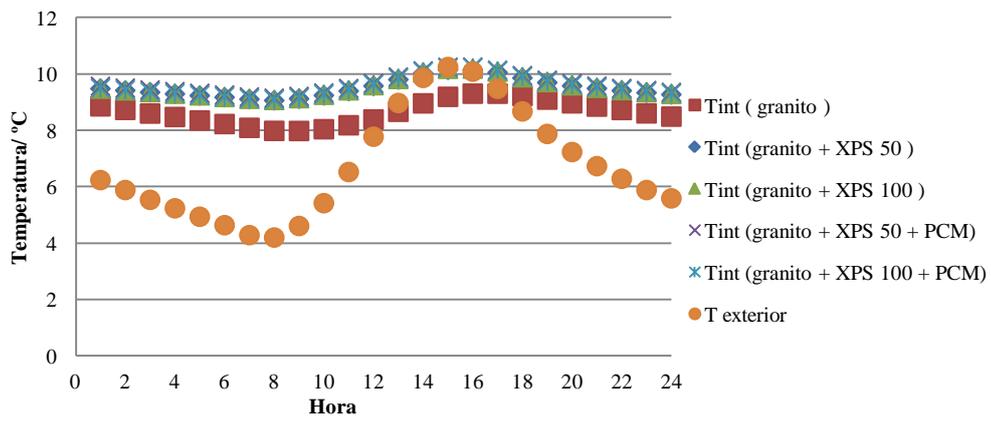


Figura 58: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.5, para Lisboa no Inverno

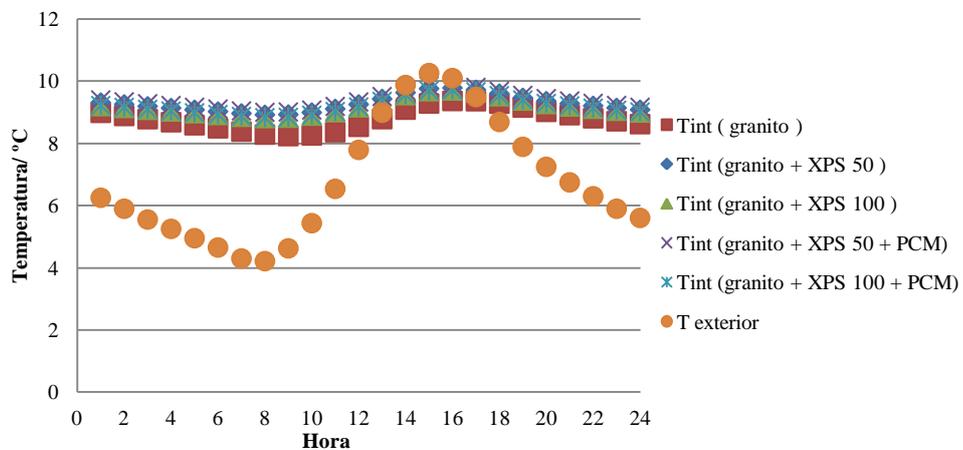


Figura 59: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.6, para Lisboa no Inverno

Na ZNT 1.1 e 1.4 e como descrito nas Figura 54 e Figura 57, para o dia mais frio, a T_{int} não varia com a aplicação de isolante e de PCMs. A nível da construção em granito, a T_{int} é muito superior à T_{ext} , não havendo uma diferença elevada entre T_{int} mínima e máxima do dia. A variação da T_{int} é mais suave diminuindo com o desaparecimento do sol, e aquecendo das 8 h às 16 h, voltando novamente a diminuir após essa hora.

A ZNT 1.2 e 1.5 na construção em granito, tem um comportamento idêntico ao da ZNT 1.1, mas no que envolve a aplicação de isolantes a situação é outra. Pela análise da Figura 55 e Figura 58 quando aplicado o isolante XPS 50, a T_{int} diminui relativamente à T_{int} da construção em granito, o que não é benéfico visto que no interior da zona, com as paredes apenas em granito, a T_{int} é de cerca de 10,5 °C, e uma diminuição da T_{int} prejudica a sensação de conforto dentro da zona, o que vai obrigar a um aumento da energia necessária para aquecer a zona. Ao aplicar o XPS 100, aí o comportamento verifica-se um comportamento idêntico ao do edifício sem isolantes, mantendo-se baixa a T_{int} . O XPS 50 mais o PCM ou o XP 100 mais o PCM geram variações de T_{int} idênticas à aplicação de apenas o XPS 100, ou seja, idênticas à da construção sem isolamento.

A variação da T_{int} na ZNT 1.3, é representada da Figura 56. A construção em granito, proporciona uma T_{int} sempre superior à T_{ext} , em qualquer altura do dia. Ao aplicar o XPS 50, a T_{int} continua a ser inferior à T_{ext} , mas é superior à T_{int} da construção em granito sem isolamento. Esta variação representa uma vantagem pois vai proporcionar uma diminuição das necessidades de aquecimento. Aumentar a espessura do isolante para o dobro, com a aplicação do XPS 100 traduz-se num aumento da T_{int} relativamente ao isolamento com o XPS 50, fazendo com que o edifício com o XPS 100 adquira um comportamento de temperatura interna igual ao do edifício construído apenas em granito. Então, daqui se conclui que os isolantes no Inverno trazem benefícios à construção em granito. Aplicação de isolantes + PCMs, na construção em granito não fazem qualquer influência na T_{int} , então, também se pode dizer que para esta zona a aplicação do PCM também não faz sentido.

Na Figura 59, é representada a variação da T_{int} no desenrolar do dia mais frio na ZNT 1.6. A aplicação do XPS 50 leva a uma diminuição da T_{int} , relativamente à construção apenas em granito. Aumentar o isolante aplicando o XPS 100, leva a que o comportamento da T_{int} se aproxime do comportamento que o edifício adquire apenas com o granito. Aplicar o PCM em conjunto com os isolantes não trás qualquer alteração relativamente à aplicação apenas dos isolantes

A variação das T_{int} , no distrito de Lisboa, proporcionadas pela construção em granito, pela aplicação de isolante e isolantes mais PCM no dia mais quente, 17 de Julho, são traduzidas nas Figura 60, Figura 61, Figura 62, Figura 63, Figura 64 e Figura 65.

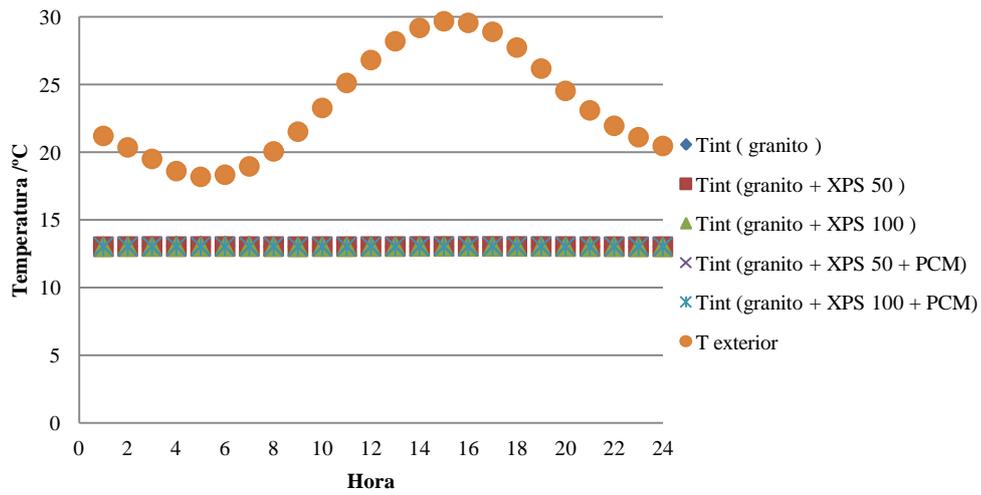


Figura 60: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.1, para Lisboa no Verão

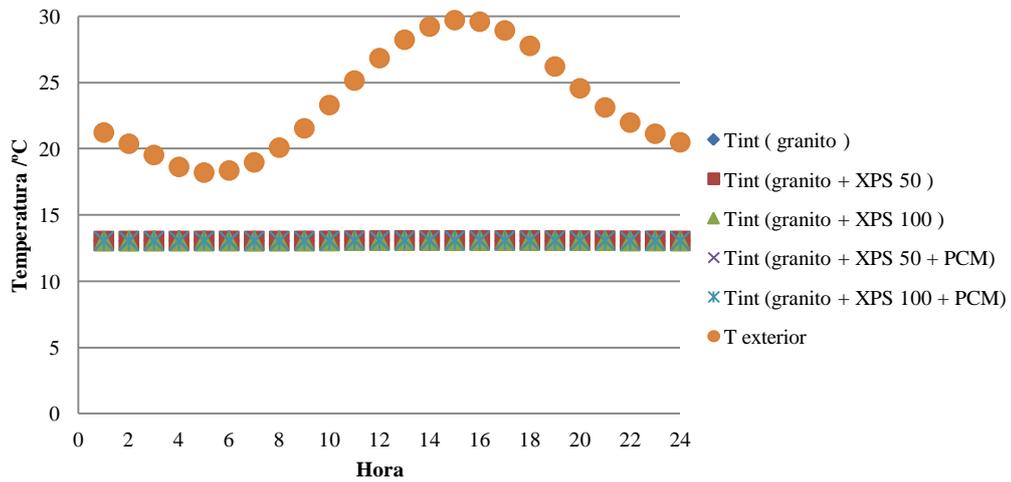


Figura 61: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.2, para Lisboa no Verão

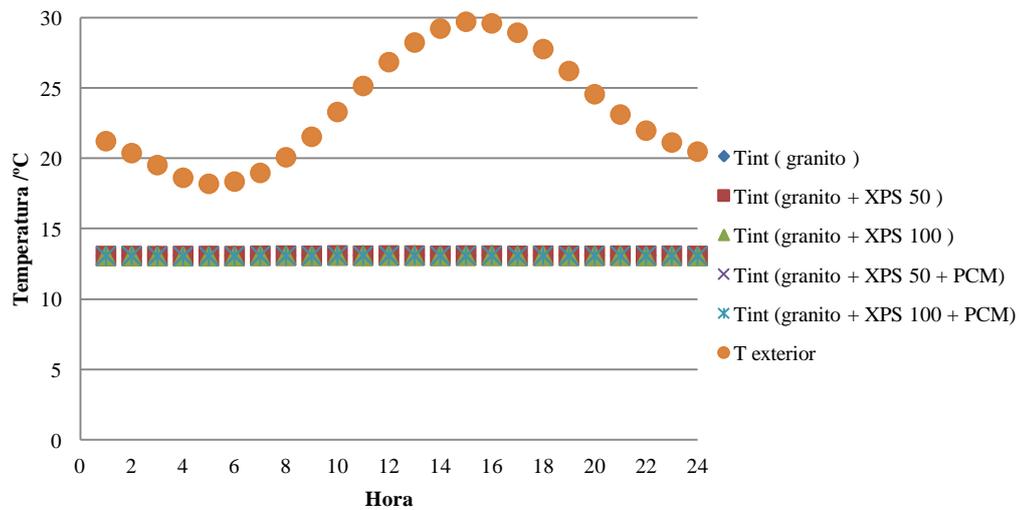


Figura 62: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.3, para Lisboa no Verão

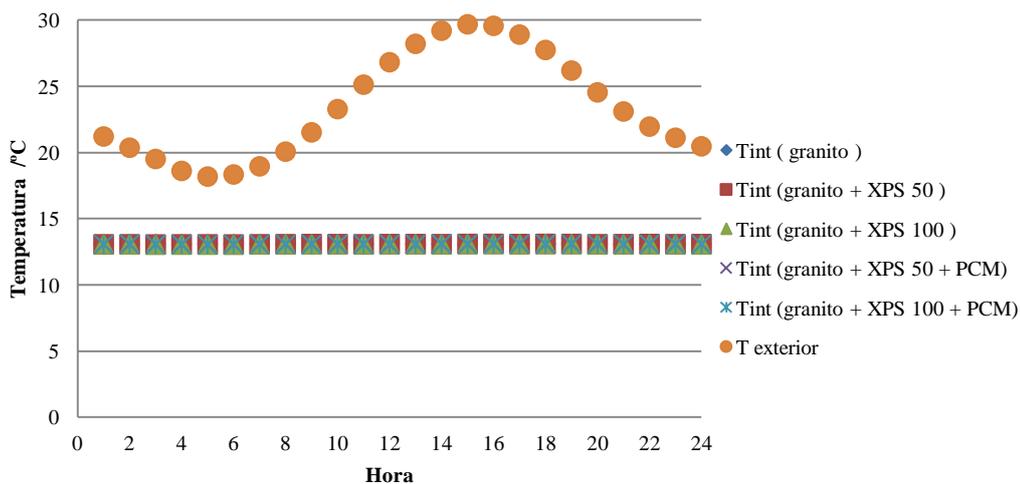


Figura 63: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.4, para Lisboa no Verão

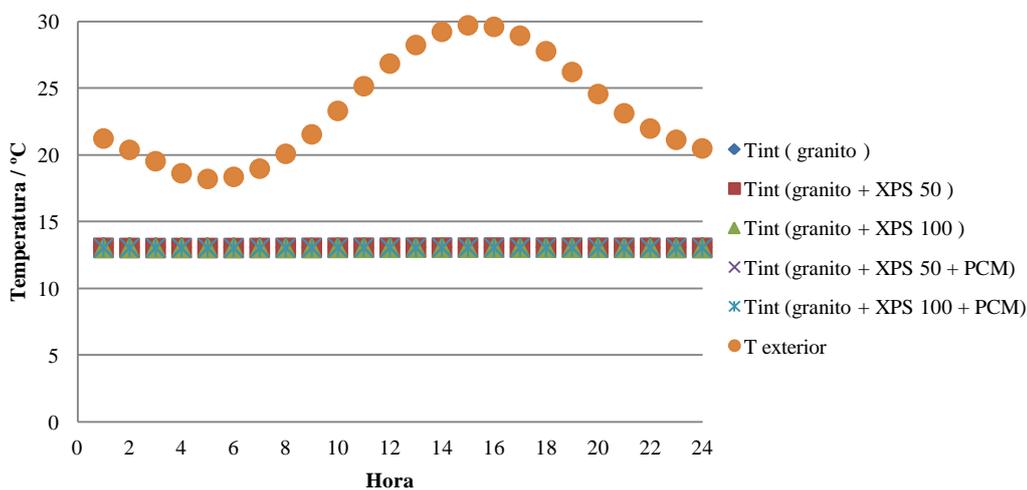


Figura 64: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.5, para Lisboa no Verão

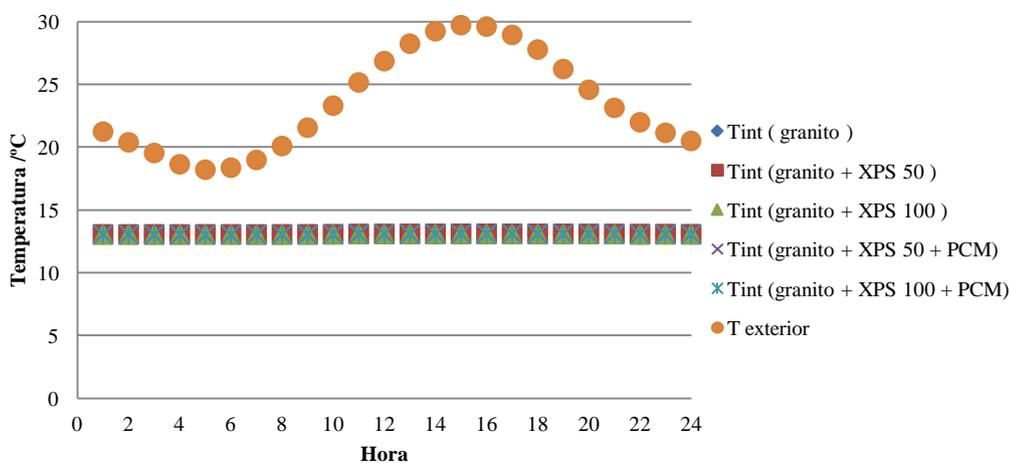


Figura 65: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.6, para Lisboa no Verão

Pela observação das Figura 60 a Figura 65, conclui-se que em todas as zonas, a construção em granito permite obter ao longo do dia uma T_{int} sempre inferior à T_{ext} , sendo a T_{int} sempre constante e na ordem dos 13 °C. Isto permite-nos obter uma sensação de frescura quando entramos dentro da construção, pois no seu exterior está mais quente. A aplicação de isolantes e PCMs não trazem qualquer alteração no comportamento da T_{int} da construção em granito. Ou seja, a aplicação de isolates e PCM não é viável pois a inércia térmica do granito é suficiente para proporcionar uma T_{int} inferior à T_{ext} .

Para a Guarda, a simulação com o EnergyPlus, produziu as variações de T_{int} para as 7 zonas, sendo estas variações apresentadas nas Figura 66, Figura 67, Figura 68, Figura 69, Figura 70 e Figura 71.

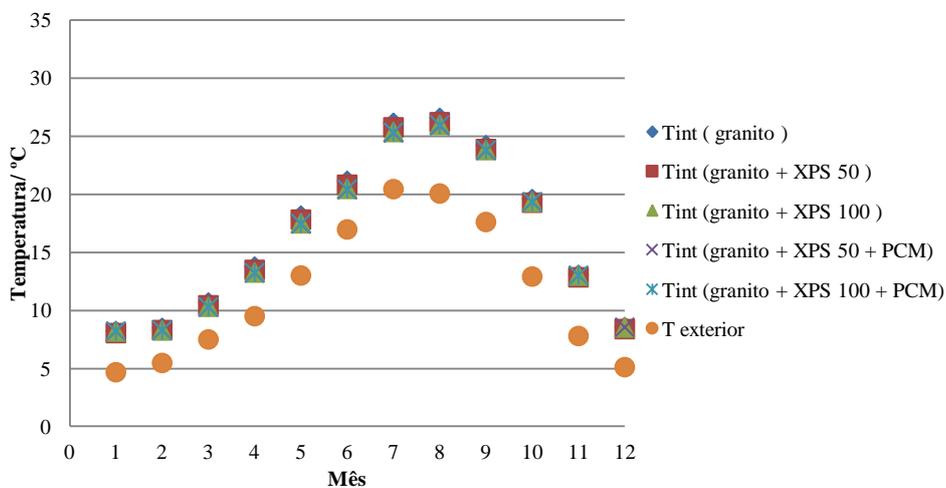


Figura 66: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.1 para a Guarda

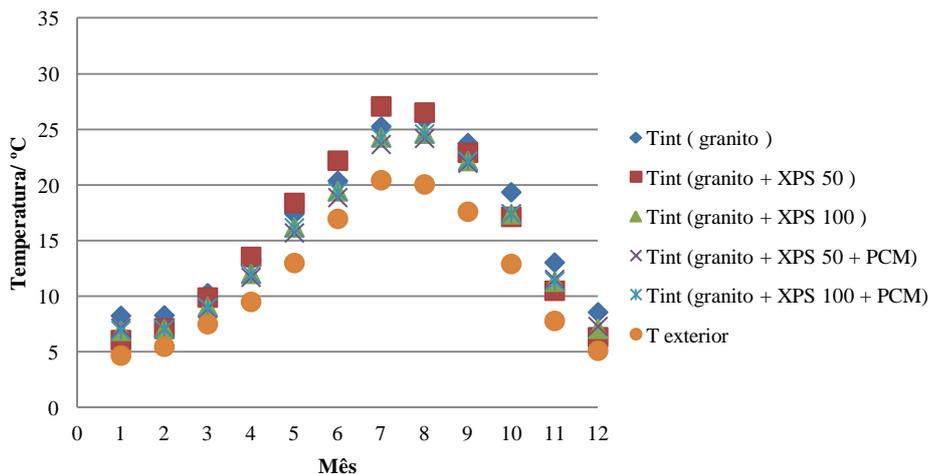


Figura 67: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.2 para a Guarda

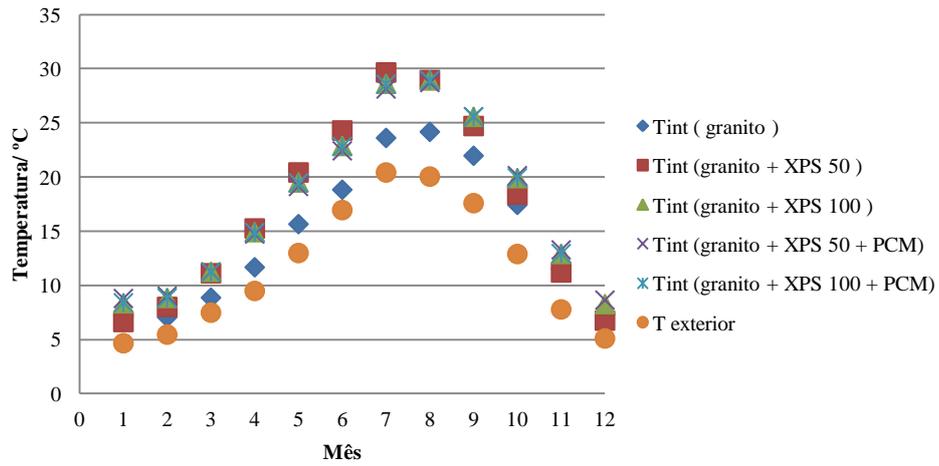


Figura 68: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.3 para a Guarda

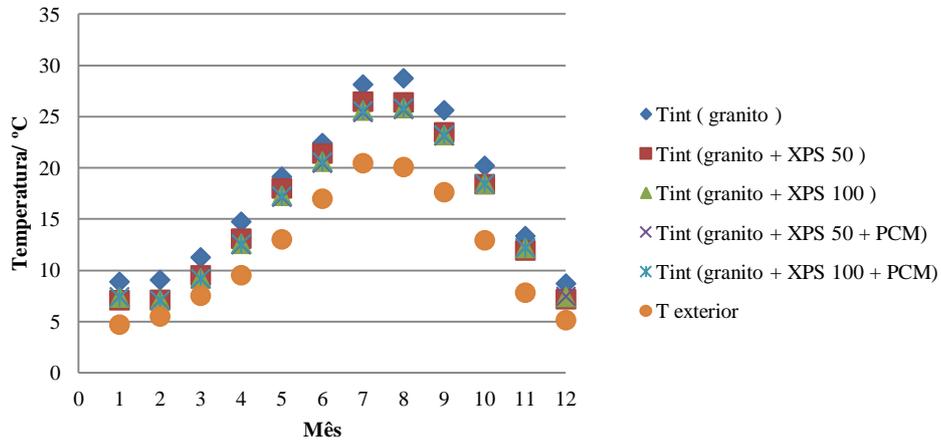


Figura 69: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.4 para a Guarda

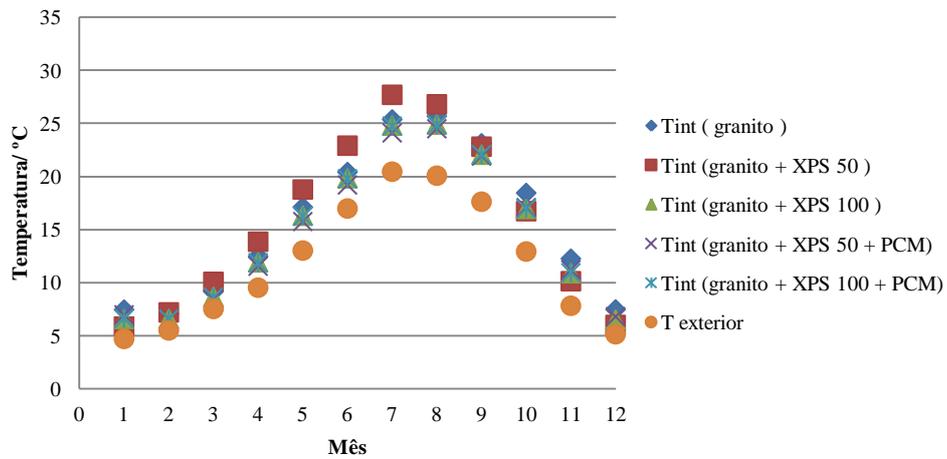


Figura 70: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.5 para a Guarda

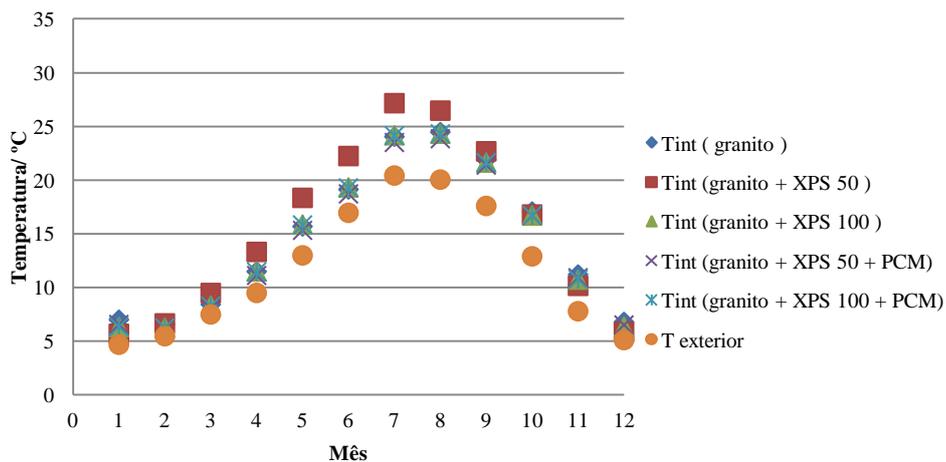


Figura 71: Temperatura média mensal interna e externa do edifício na ZNT 1.6 para a Guarda

Na ZNT 1.1 para a construção em granito a média mensal da T_{int} é superior à média da T_{ext} mesmo nos meses de Verão, em que seria de esperar o contrário visto que o granito tem uma inércia térmica elevada. Isto pode dever-se ao facto da temperatura exterior nos dias antecedentes ter sido igualmente elevada, o que gerou um aumento da T_{int} que devido à inércia térmica do granito não diminuiu durante a noite, altura do dia em que a T_{ext} desce á possível o arrefecimento. A aplicação de isolantes e PCMs não provocam uma variação da T_{int} diferente da gerada pelo granito, conforme se observa na Figura 66.

Para as ZNT 1.2, 1.3, 1.5 e 1.6 ,de acordo com a Figura 67, Figura 68, Figura 70 Figura 71 respetivamente, a T_{int} na construção em granito continua superior à T_{ext} em todos os meses do ano, mesmo nos meses de Inverno, o que neste caso é uma mais valia. A aplicação do XPS 50 provoca um aumento da T_{int} do edifício, acentuando-se nos meses de Verão. Aplicar o XPS 100 vai ao encontro da redução da T_{int} , proporcionada pelo XPS 50 ficando a T_{int} no edifício isolado com o XPS 100 muito próxima da T_{int} na construção sem isolamento. Aplicar o PCM, a nível de temperatura não gera benefícios.

Para a ZNT 1.4 a T_{int} adquire o comportamento representado na Figura 70. Como acontece nas outras zonas, na construção em granito a T_{int} é sempre superior à T_{ext} , que no Inverno é uma vantagem. Com a aplicação do XPS 100 seria de esperar que a T_{int} aumentasse no interior nos meses de frio e diminui-se nos meses de Verão, devido ao aumento da inércia térmica. Esta variação verificar-se nos meses quentes mas não nos de frio. Aumentar a espessura do isolante não trás vantagens em relação ao XPS 50. O PCM fornece exatamente a mesma variação de temperatura que o isolante.

A Guarda é um distrito que se caracteriza por Invernos rigorosos, com temperaturas baixas, e por isso, o estudo do comportamento diário do edifício nessa estação do ano construído neste distrito é importante para perceber a viabilidade da aplicação do PCM e do isolante. Este comportamento descrito, para as diferentes zonas do edifício, nas Figura 72, Figura 73, Figura 74, Figura 75, Figura 76 e Figura 77.

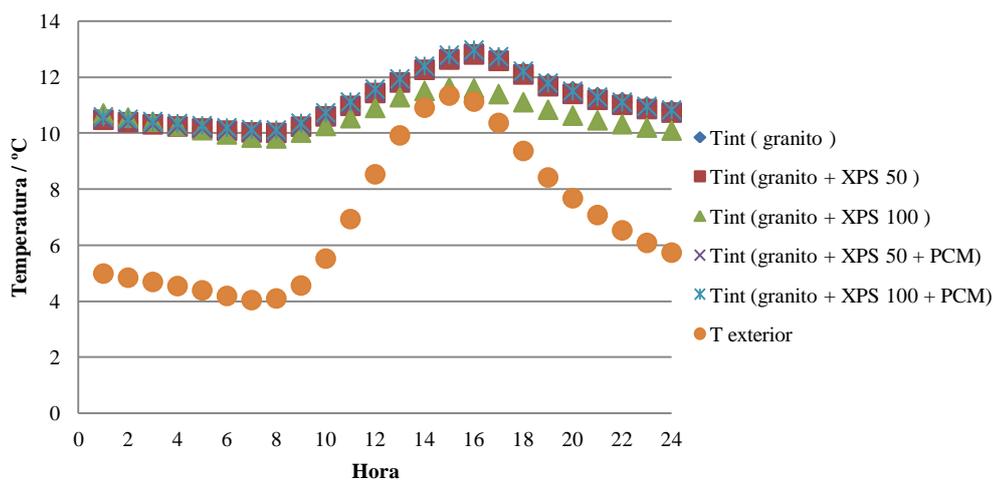


Figura 72: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.1,para a Guarda no Inverno

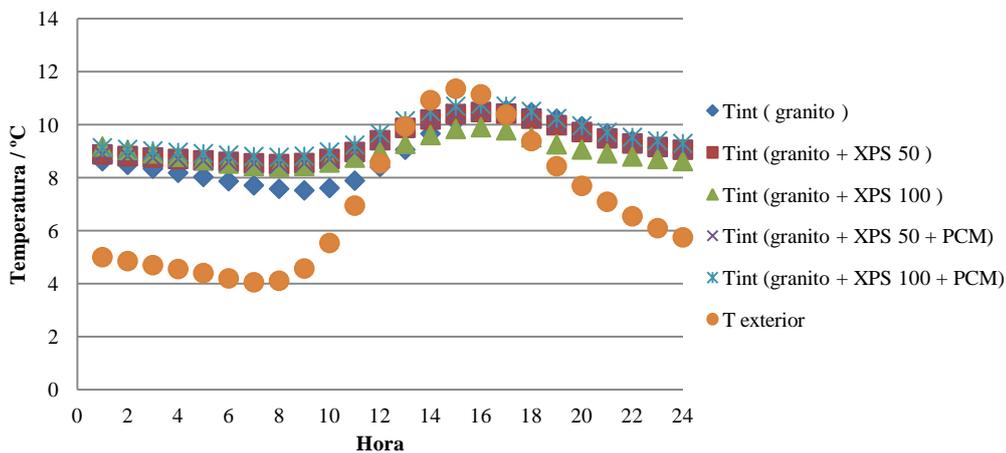


Figura 73: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.2,para a Guarda no Inverno

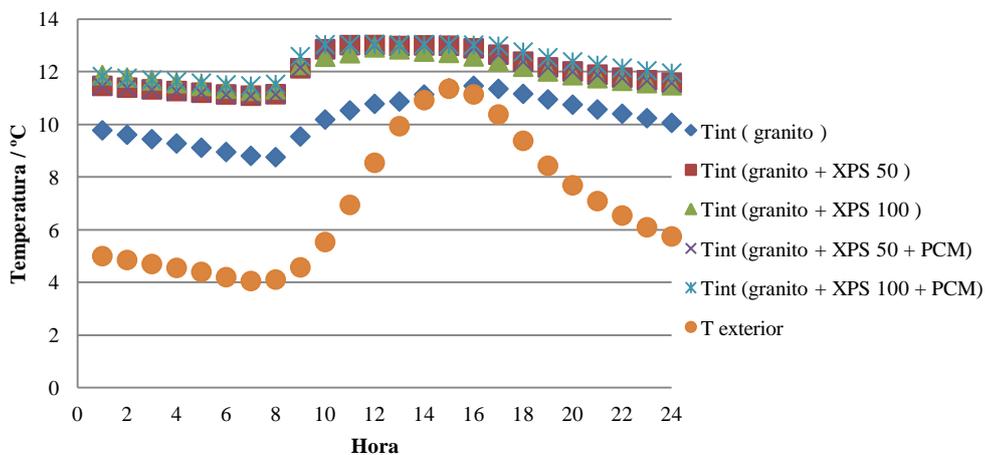


Figura 74: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.3,para a Guarda no Inverno

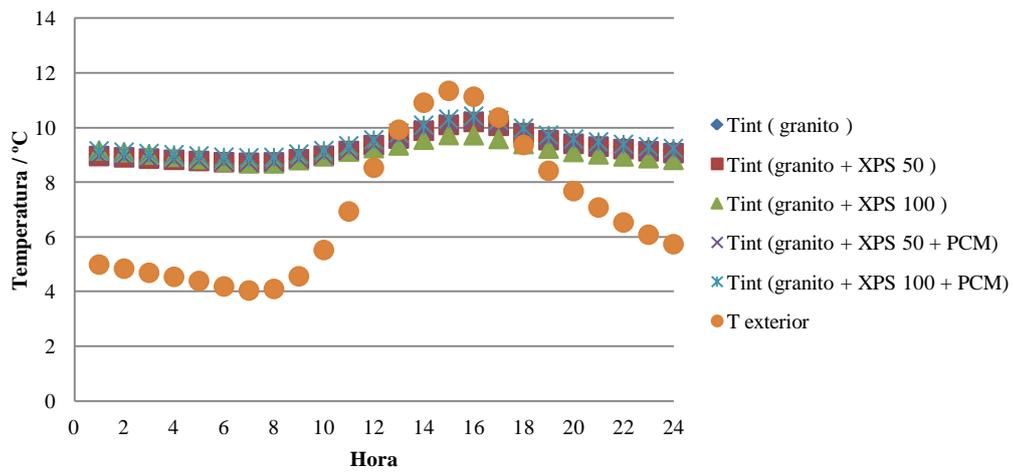


Figura 75: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.4, para a Guarda no Inverno

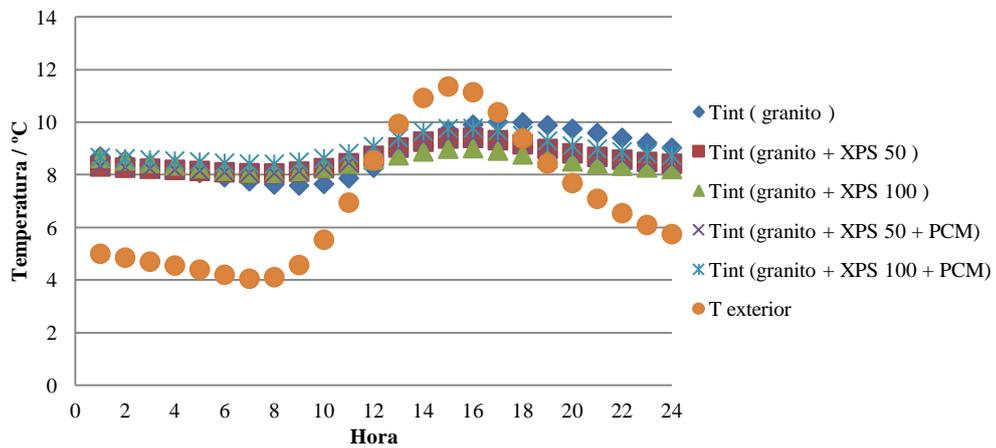


Figura 76: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.5, para a Guarda no Inverno

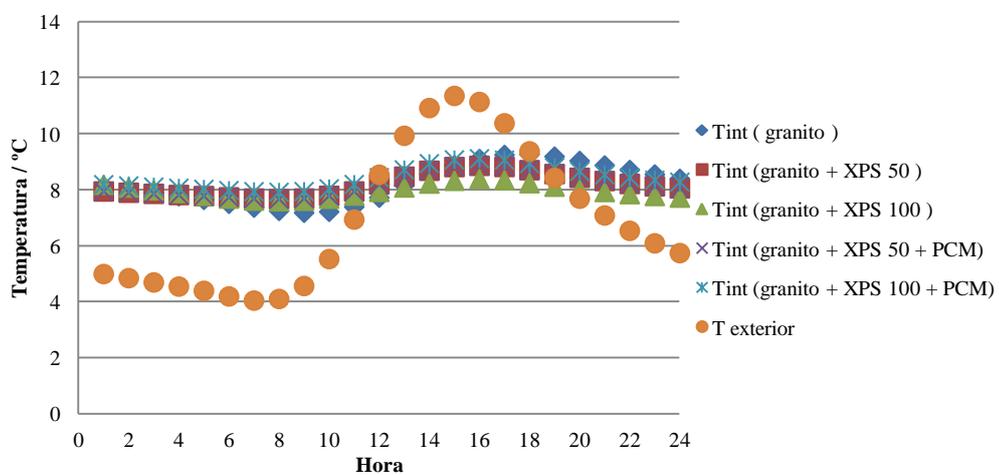


Figura 77: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.6, para a Guarda no Inverno

Na ZNT 1.1 no dia mais frio a T_{int} da construção em granito é superior à T_{ext} , ou seja, a construção em granito permite um abrigo da temperatura externa. A T_{int} ronda sempre entre os 9 e os 13 °C, acompanhando os acréscimos e decréscimos da temperatura exterior, o que se pode confirmar através da Figura 72. Quando a T_{ext} desce a T_{int} também desce mas de uma forma menos acentuada e quando a T_{ext} aumenta a T_{int} também acompanha o aumento mas de forma mais suave. A aplicação do XPS 50 não provocou qualquer interferência na T_{int} . Ao substituir o XPS 50 pelo XPS 100, a T_{int} máxima diminuiu, sendo que a variação da T_{int} ao longo do dia é ainda menos acentuada. Nas horas mais quentes com a aplicação do XPS 100 obtêm-se T_{int} menores do que na construção em granito. A aplicação do PCM não causa nenhuma variação da T_{int} , sendo o comportamento no interior da zona igual à construção em granito e granito+XPS 50. Neste caso, a aplicação do PCM não faz sentido.

A variação da T_{int} para a ZNT 1.2, representada na Figura 73, no dia mais frio do ano para a construção em granito verifica-se uma T_{int} superior à T_{ext} nos intervalos da 1 h às 12 h e das 18 h às 24 h, e uma T_{int} inferior à T_{ext} das 12 h às 18 h. A variação da T_{int} ao longo do dia quando comparada com a variação da T_{ext} a da T_{int} é muito menos acentuada do que a da T_{ext} , sendo a diferença entre a temperatura máxima e mínima menor. Com a aplicação dos isolantes XPS 50 ou XPS 100, a variação da T_{int} é ainda mais suavizada, sendo que com o XPS 100 consegue-se um T_{int} ainda mais baixa o que significa um aumento da necessidade de aquecimento da zona. Aplicar o PCM juntamente com o XPS 50 não origina qualquer variação no comportamento da T_{int} relativamente à aplicação apenas do isolante. Quando se aplica o PCM juntamente com o XPS 100 o comportamento da T_{int} aproxima-se do comportamento do edifício isolado com XPS 50 e XPS 50+PCM.

Nas ZNT 1.4, 1.5 e 1.6 a T_{int} varia da mesma forma que na ZNT 1.2, como se pode verificar nas Figura 74, Figura 75, Figura 76 e Figura 77.

Teoricamente, a utilização de PCMs tem maior viabilidade na estação de aquecimento pois a sua zona de viragem situa-se entre os 24 e os 26 °C, sendo estas temperaturas típicas da estação de aquecimento Verão. Os PCMs ajudam na redução das necessidades energéticas de arrefecimento, pois ao manterem a temperatura interna do edifício perto do aceitável a nível de conforto térmico, não há necessidade de recorrer ao arrefecimento artificial. O comportamento da temperatura interna no dia mais quente é apresentado nas Figura 78, Figura 79, Figura 80, Figura 81, Figura 82 e Figura 83.

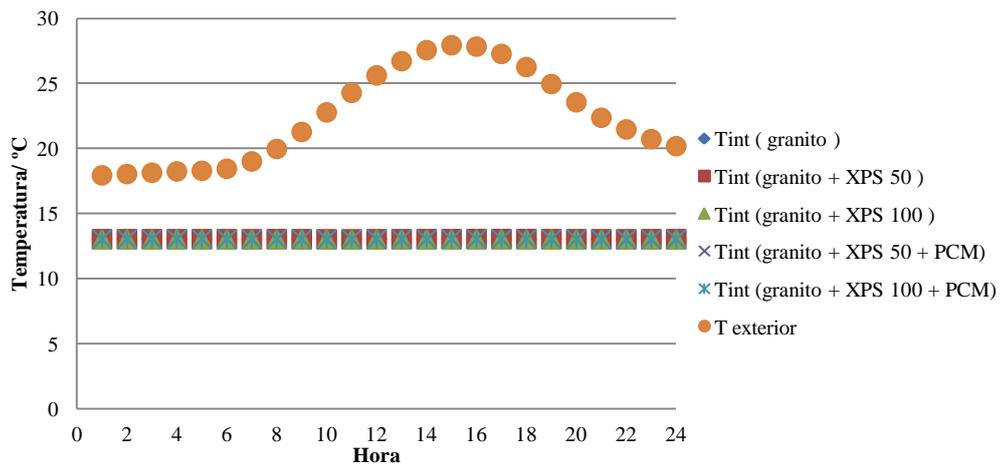


Figura 78: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.1, para a Guarda no Verão

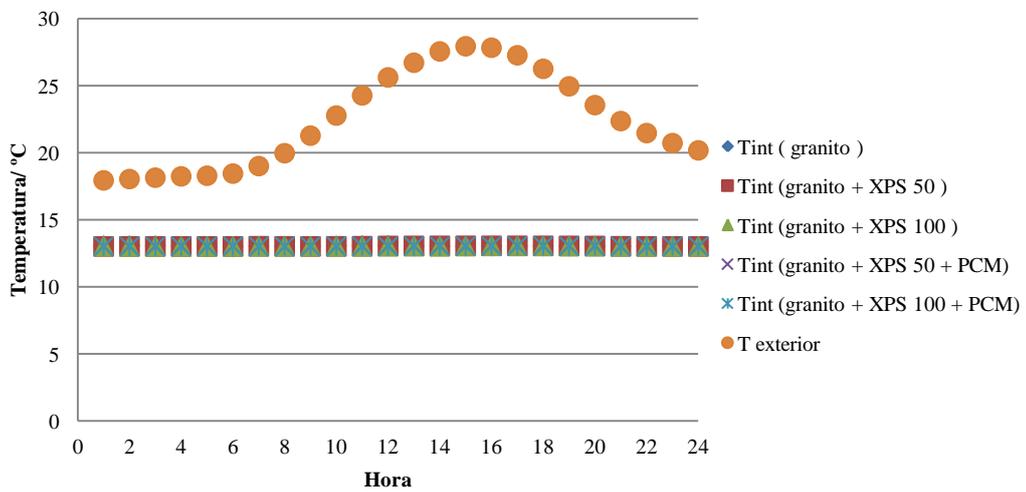


Figura 79: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.2, para a Guarda no Verão

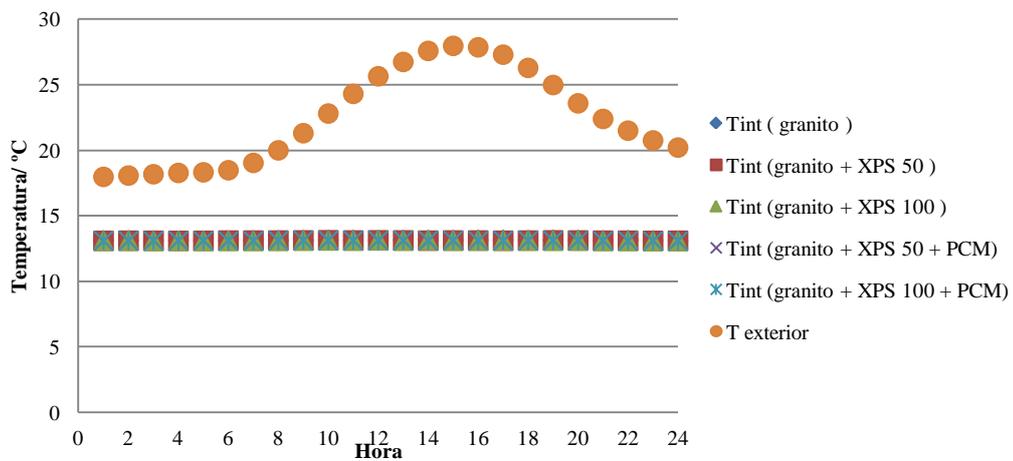


Figura 80: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.3, para a Guarda no Verão

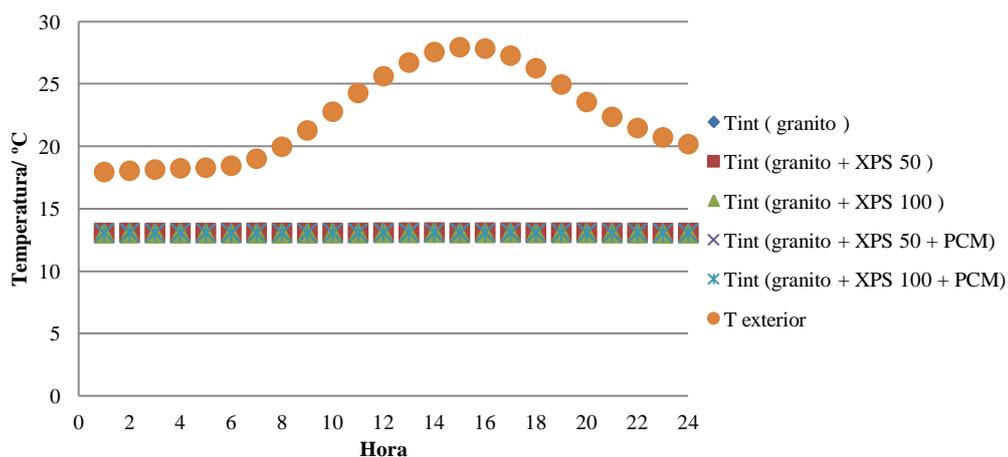


Figura 81: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.4 ,para a Guarda no Verão

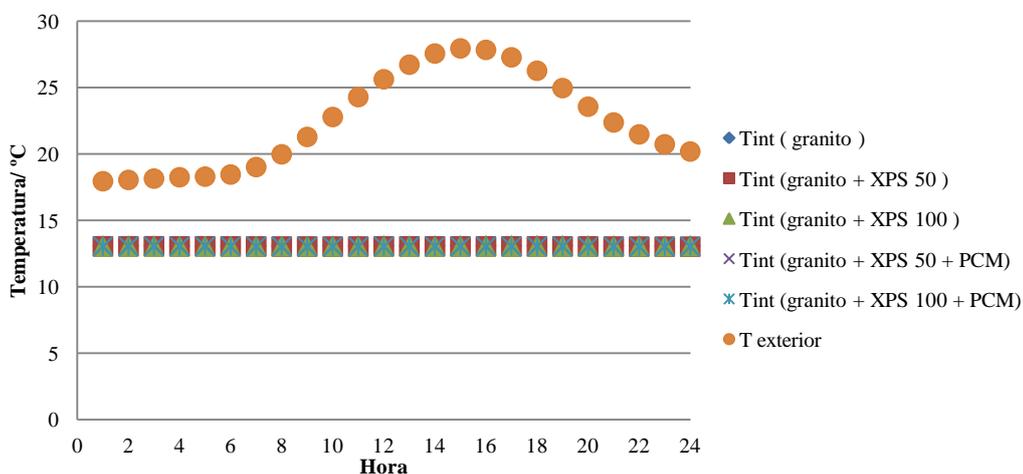


Figura 82: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.5,para a Guarda no Verão

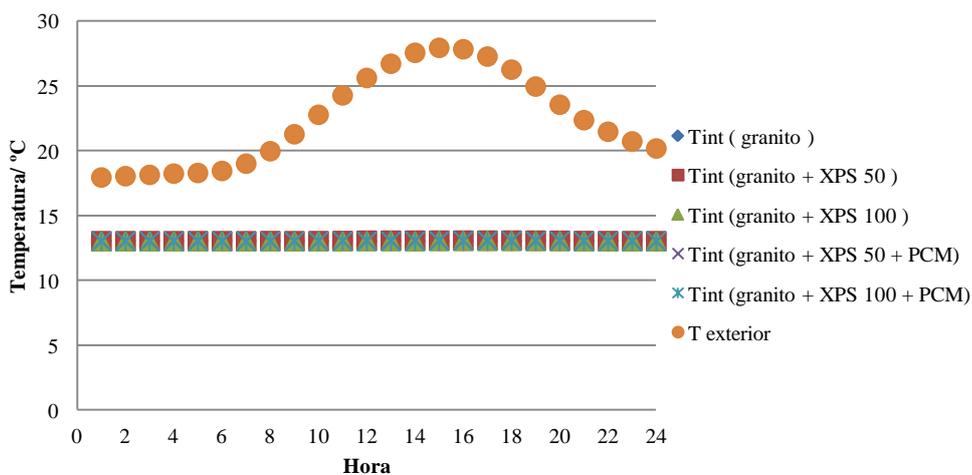


Figura 83: Variação horária da temperatura interior e exterior na ZNT 1.6,para a Guarda no Verão

Nas seis zonas do edifício o comportamento da T_{int} é idêntico sendo que na construção em granito a T_{int} é muito inferior à T_{ext} e constante ao longo de todo o dia. Isto era de esperar pois num dia de calor ao se entrar num edifício construído em granito, obtemos a sensação de frescura, ou seja, no seu interior é mais frio que no exterior. Pela análise das seis figuras anteriores, a aplicação de isolantes e PCM não geram qualquer variação, significativa, no comportamento da T_i , mantendo-se sempre nos 13 °C.

4.2. Necessidades energéticas de aquecimento

A necessidade energética de aquecimento é a energia que é utilizada para aquecer uma determinada divisão do edifício. Estas necessidades foram determinadas para períodos mensais e para as Zonas 1 a 5. Não se determinou para o ZNT 1.6 (hall de entrada+átrio), pois considerou-se uma zona onde não se pretende a recorrer qualquer tipo de aquecimento. A ZNT 1.6 é apenas uma zona de passagem para entrar e sair do edifício. As necessidades de aquecimento são determinadas recorrendo ao programa *EnergyPlus*, com aquecimento até à temperatura de 20°C, valor definido no RCCTE para a estação de aquecimento.

Na cidade do Porto, as necessidades de aquecimento são apresentadas nas Figura 84, Figura 85, Figura 86, Figura 87 e Figura 88.

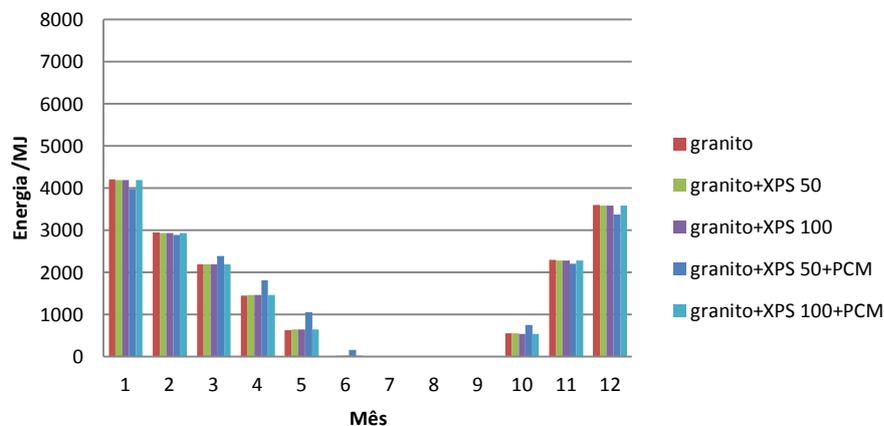


Figura 84: Necessidade energéticas mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.1 no Porto

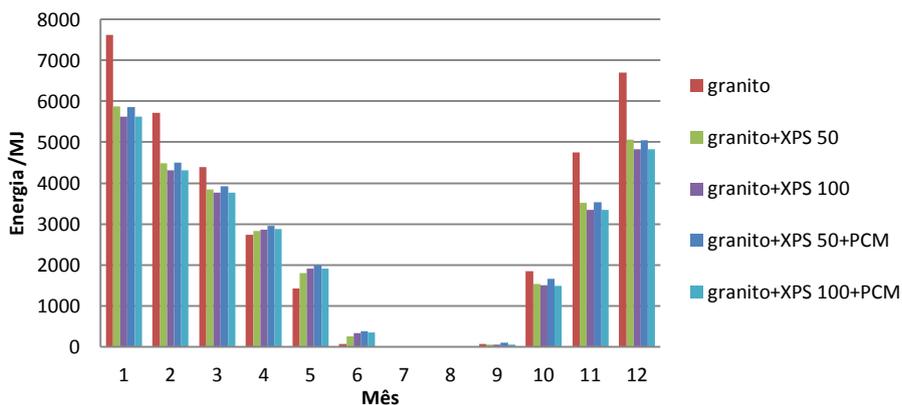


Figura 85: Necessidade energética mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.2 no Porto

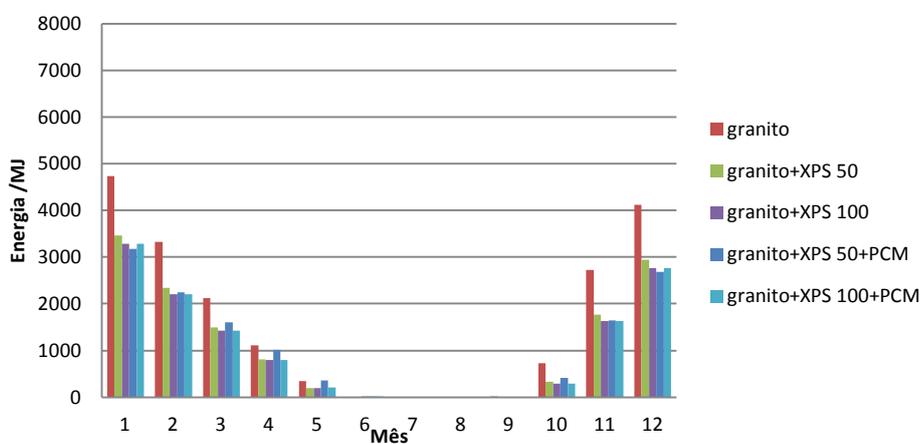


Figura 86: Necessidade energética mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.3 no Porto

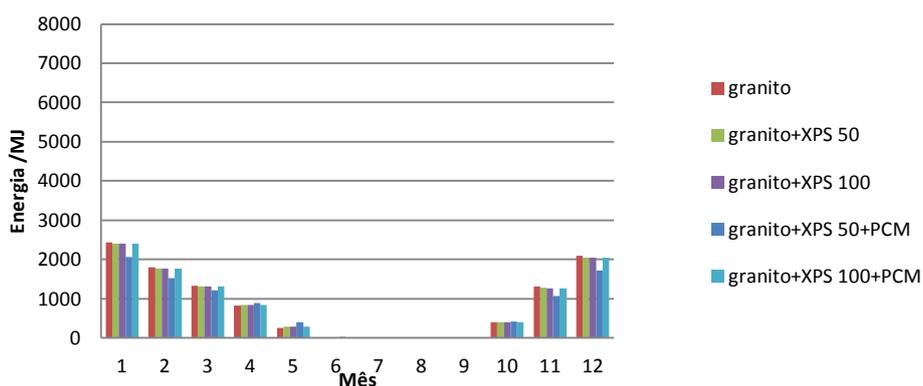


Figura 87: Necessidade energética mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.4 no Porto

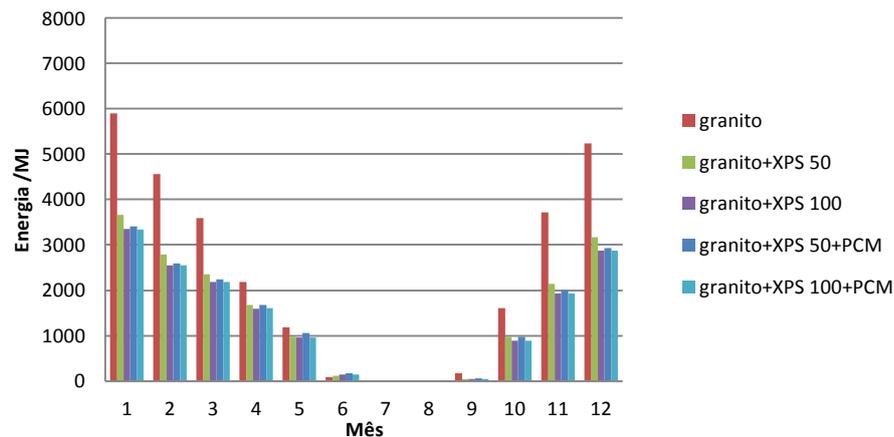


Figura 88: Necessidade energéticas mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.5 no Porto

Na ZNT 1.1 a análise feita às necessidades de aquecimento, com recurso à Figura 84, permite afirmar que estas necessidades são maiores nos meses de Janeiro e Dezembro, meses onde a T_{ext} e T_{int} são menores. Seria de esperar que com a aplicação de isolantes as necessidades de aquecimento diminuíssem, pois a T_{int} deveria manter-se por mais tempo e pois se reduziria a transferência de calor entre o exterior e o interior do edifício. A aplicação dos isolantes XPS 50 ou XPS 100 não causou qualquer interferência nas necessidades de aquecimento. O PCM por sua vez quando aplicado em conjunto com o XPS 50 nos meses de Janeiro, Fevereiro, Novembro e Dezembro geraram uma diminuição das necessidades de aquecimento. Nos restantes meses provoca um aumento das necessidades de aquecimento. A aplicação do XPS 100+PCM traduz-se ao longo de todo o ano em necessidades energéticas de aquecimento idênticas às da construção em granito. Existirem necessidades de aquecimento nos meses de Maio e Setembro, indicam que a T_{int} é inferior a 20 °C e por isso recorreu-se a aquecimento.

Nas ZNT 1.2 a 1.5 as necessidades de aquecimento diminuem com a aplicação de isolantes e com o aumento da espessura do mesmo nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Outubro, Novembro e Dezembro. Pela análise das Figura 85, Figura 86, Figura 87 e Figura 88 também se conclui que nos restantes meses as necessidades de aquecimento aumentam com aplicação de isolantes, isto é provocado porque a T_{int} com isolantes é inferior à T_{int} na construção em granito sem isolantes. A utilização de PCMs não geram uma redução das necessidades de energia para aquecimento, pelo contrário aplicar o PCM juntamente com XPS 50, leva a um aumento das necessidades energéticas de aquecimento mensais. Nos meses de Maio, Junho e Setembro as necessidades energéticas de aquecimento são maiores após a aplicação de isolantes e posteriormente do PCM porque estes geram uma diminuição da T_{int} e, por consequência, uma necessidade de aquecimento maior para se atingir os 20 °C.

A zona que exige menores necessidades energéticas de aquecimento é a ZNT 1.4 e a que possui as maiores é a ZNT 1.1.. estas duas zonas têm uma fachada das suas fachadas voltadas a Este, e a outra voltada a Sul e a Norte respetivamente.

Para o distrito de Lisboa, as necessidades energéticas de aquecimento estão representadas nas Figura 89, Figura 90, Figura 91, Figura 92 e Figura 93.

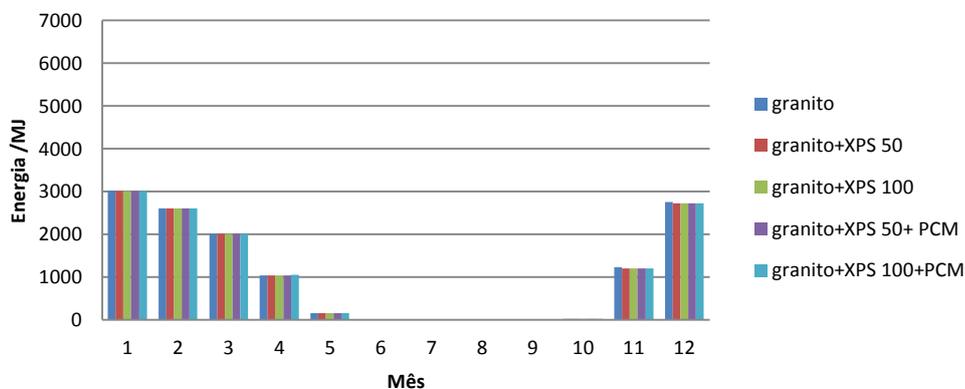


Figura 89: Necessidade energética mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.1 em Lisboa

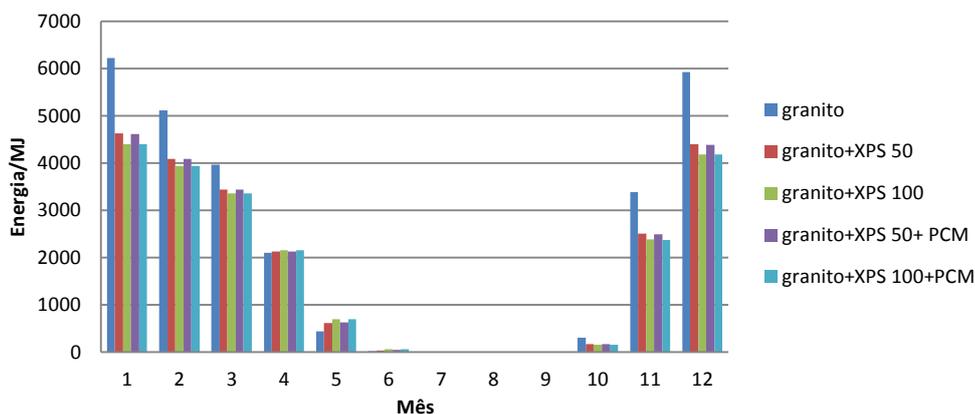


Figura 90: Necessidade energética mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.2 em Lisboa

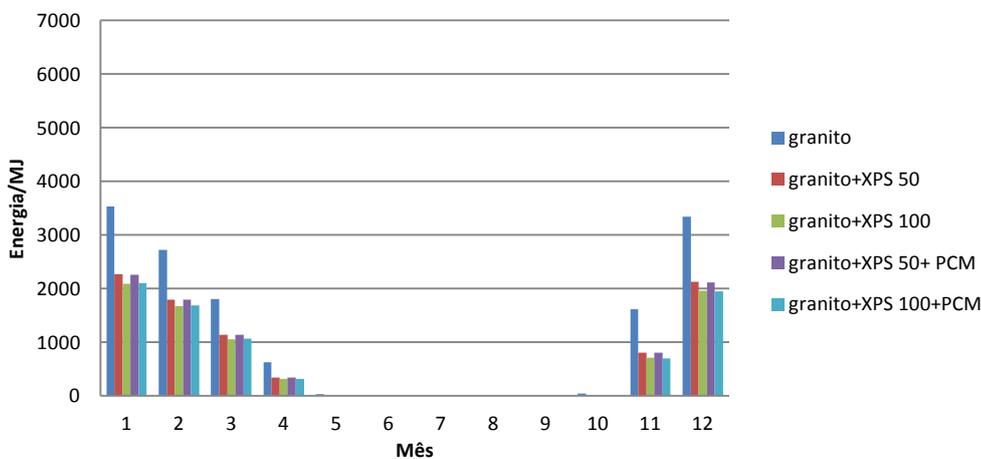


Figura 91: Necessidade energética mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.3 em Lisboa

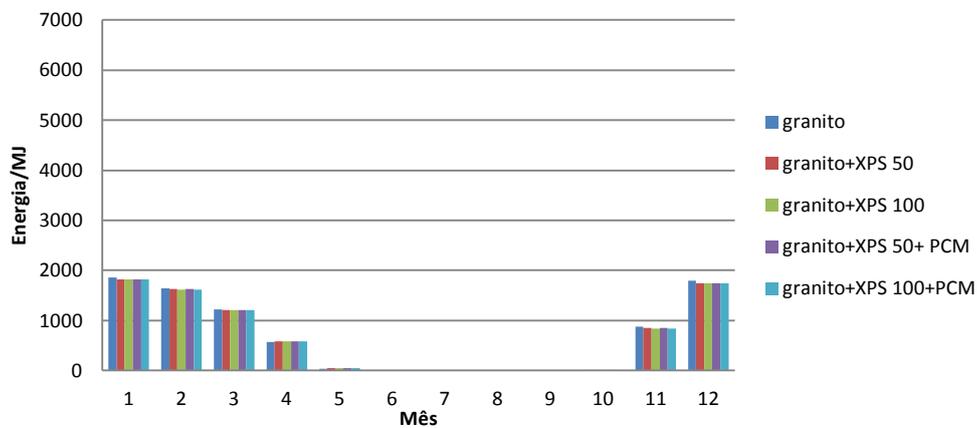


Figura 92: Necessidade energética mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.4 em Lisboa

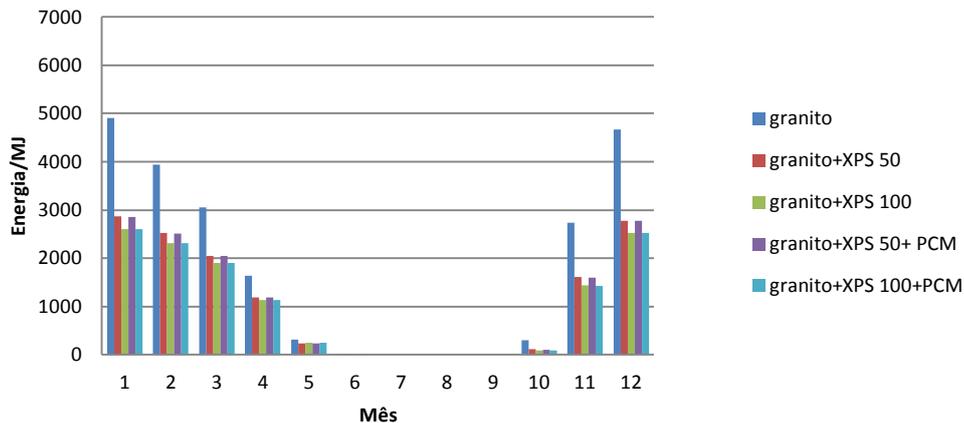


Figura 93: Necessidade energética mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.5 em Lisboa

Através da Figura 89, na ZNT 1.1, pode observar-se que em Lisboa no edifício construído em granito as necessidades de aquecimento mensais não sofrem alteração com a aplicação de isolantes e do PCM. Isto deve-se ao facto de a T_{int} não sofrer alteração quando se aplica o isolante, e o isolante mais PCM. Como a T_{int} não varia significativamente então as necessidades de aquecer a zona mantêm-se inalteradas. O mesmo se verifica na ZNT 1.4, como se pode analisar pela Figura 92. Ambas as zonas tem uma das suas fachadas viradas a Oeste o que justifica comportamentos idênticos no que toca a necessidades energéticas de aquecimento, sendo maiores na ZNT 1.1, pois tem a outra das suas fachadas viradas a Norte, com menos ganhos solares.

Nas zonas ZNT 1.2, 1.3 e 1.5 o comportamento das necessidades energéticas de aquecimento é idêntico embora com valores diferentes. A aplicação de isolantes diminuiu as necessidades de aquecimento, e com o aumento da espessura do isolante essa diminuição acentua-se. A aplicação

do PCM não gera qualquer variação nas necessidades energéticas de aquecimento, relativamente ao isolante.

Na Figura 90, para a ZNT 1.2, existem necessidades de aquecimento nos meses de Maio e Outubro aumentando com a aplicação do isolante e aumento da espessura. Esta variação explica-se pelo facto da aplicação do isolante causar, nos meses de transição entre o frio e o calor, uma T_{int} inferior relativamente à T_{int} da construção apenas em granito.

A ZNT 1.3 não apresenta necessidades de aquecimento nos meses entre Maio e Outubro, como se pode confirmar pela Figura 91, isto indica que a T_{int} nestes meses é quase sempre superior a 20 °C.

Na ZNT1.4 pela análise da Figura 92, observa-se que as necessidades energéticas de aquecimento, não sofrem variações significativas aquando do isolamento e da aplicação do PCM. Isto acontece porque o isolante e o PCM não tem influência no aumento da T_{int} o que consequentemente não gera variação nas necessidades de aquecimento.

A ZNT 1.5, pela observação da Figura 93, é beneficiada com a aplicação de isolantes, pois as suas necessidades de aquecimento diminuem. O aumento da espessura do isolante origina a que essas necessidades diminuam ainda mais. A aplicação do PCM não leva a qualquer melhoria nas necessidades energéticas de aquecimento. Esta é uma zona com uma fachada virada a Este e outra a Sul, onde os ganhos solares são maiores.

O distrito da Guarda pauta-se por Invernos com temperaturas muito baixas que se traduzem numa necessidade elevada de recorrer ao aquecimento durante esta estação. Perceber qual a influência dos isolantes e PCM nas necessidades de aquecimento é importante na medida em que reduzir o consumo de energia pode passar por isolar o edifício. As necessidades energéticas de aquecimento para esta localidade são apresentadas nas Figura 94, Figura 95, Figura 96, Figura 97 e Figura 98.

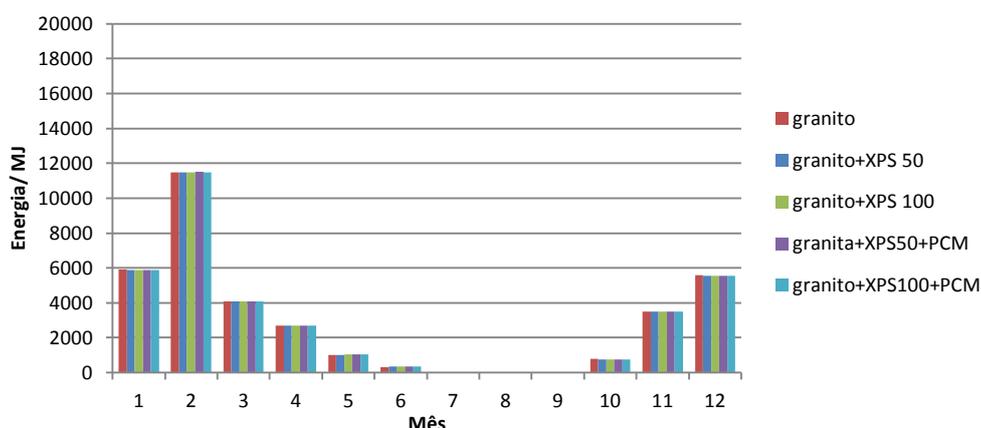


Figura 94: Necessidade energética mensal de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.1 na Guarda

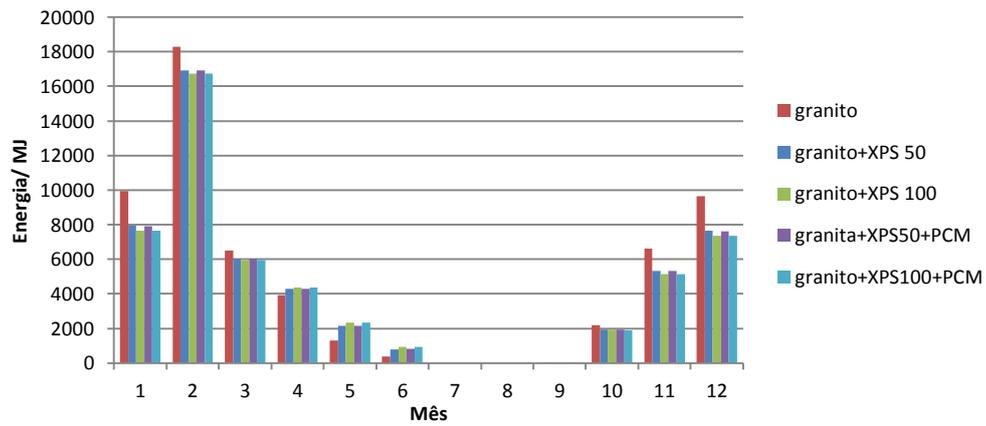


Figura 95: Necessidade energética mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.2 na Guarda

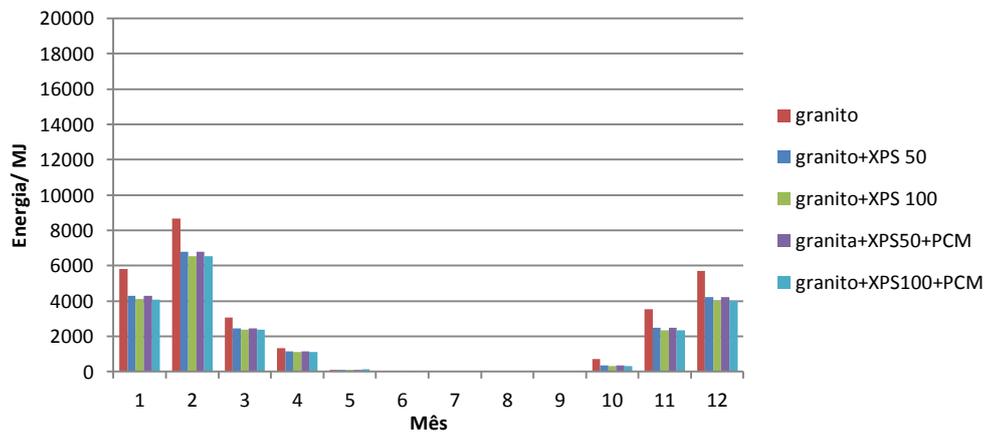


Figura 96: Necessidade energética mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.3 na Guarda

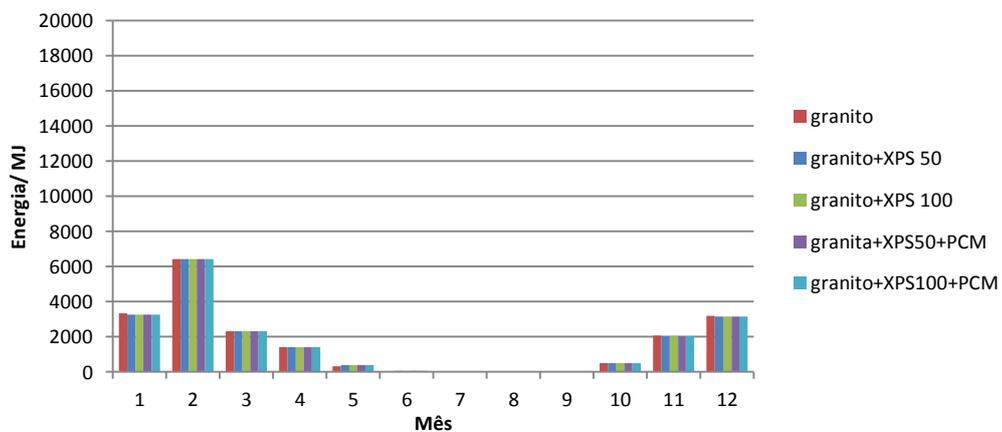


Figura 97: Necessidade energética mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.4 na Guarda

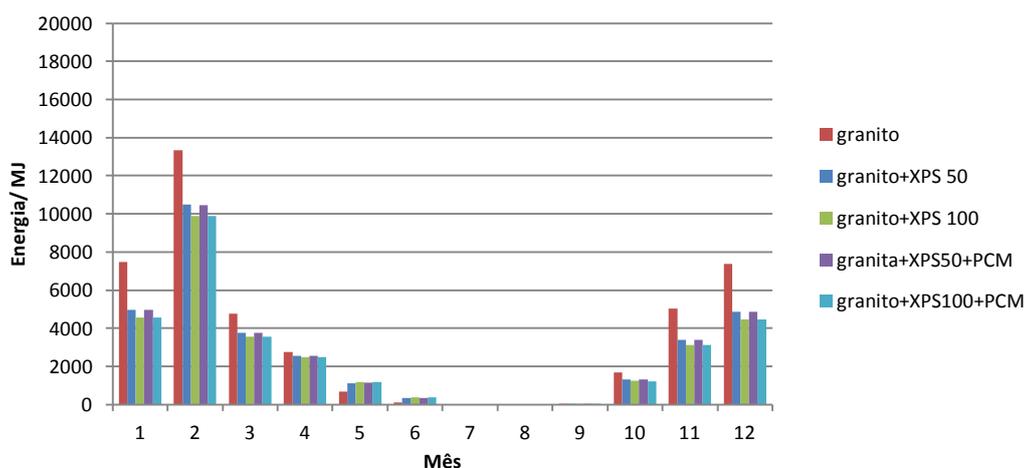


Figura 98: Necessidade energética mensais de aquecimento em MJ, para a ZNT 1.5 na Guarda

Com recuros às Figura 94 e Figura 97 é possível concluir, que nas ZNT 1.1 e 1.4 as necessidades de aquecimento não são afetadas pela aplicação de isolantes e do PCM. Na ZNT 1.1 as necessidades de aquecimento são maiores pois é uma zona com menores ganhos solares, visto que tem um fachada a Norte e outra a Este. Nos meses de Maio, Junho e Outubro existem necessidades de aquecimento pois como são zonas com menor exposição solar a T_{int} nestes meses é inferior a 20 °C.

A ZNT 1.2 nos meses de Outubro a Março, conforme mostra a Figura 95, apresenta necessidades de aquecimento que diminuem com a aplicação de isolantes. Nos meses de Abril, Maio e Junho as necessidades de aquecimento aumentam com a aplicação de isolantes e com ao aumento da sua espessura. Isto deve-se ao facto de a T_{int} diminuir com a aplicação de isolantes ficando esta inferior a 20 °C o simulador considera que é necessário recorrer ao aquecimento da zona.

Na ZNT 1.3 nos meses de Outubro a Abril também há uma diminuição das necessidades embora estas sejam menores que na ZNT 1.1 e 1.2. Isto deve-se ao facto de esta zona ter ganhos solares maiores o que leva a que se tenham T_{int} maiores nesta zona que nas anteriores. Embora nos meses de Maio e Junho estas serem inferiores a 20 °C o que levou a que existissem necessidades de aquecimento para estas datas.

A ZNT 1.4 é uma zona com ganhos solares mais elevados do que as restantes zonas, o que gera uma necessidade energética de aquecimento menor, como se verifica na Figura 97.

As necessidades energéticas de aquecimento na ZNT 1.5 variam de forma idêntica à ZNT 1.2, e são representadas na Figura 98, mas as da ZNT 1.5 assume valores inferiores. Esta diferença acontece porque a ZNT 1.5 tem mais ganhos solares.

4.3. Necessidades energéticas de arrefecimento

São consideradas necessidades energéticas de arrefecimento, a energia necessária para arrefecer a temperatura interna de cada zona, até aos 25 °C. Os diferentes distritos de Portugal requerem necessidades energéticas de arrefecimento diferentes pois possuem variações de temperaturas diferentes. No Verão existem distritos mais quentes e outros distritos mais frescos. A zona litoral é detentora de temperaturas mais amenas, enquanto que no interior as temperaturas atingem valores mais altos.

A cidade do Porto tem verões bastante insolarados, dias muito quentes mas que não chegam a ser insuportáveis. Quando surgem as vagas de calor a proximidade do Oceano Atlântico permite que a humidade relativa se mantenha baixa, tornando-as mais fáceis de suportar. A análise às necessidades de arrefecimento, no distrito do Porto é baseada nas Figura 99, Figura 100, Figura 101, Figura 102 e Figura 103.

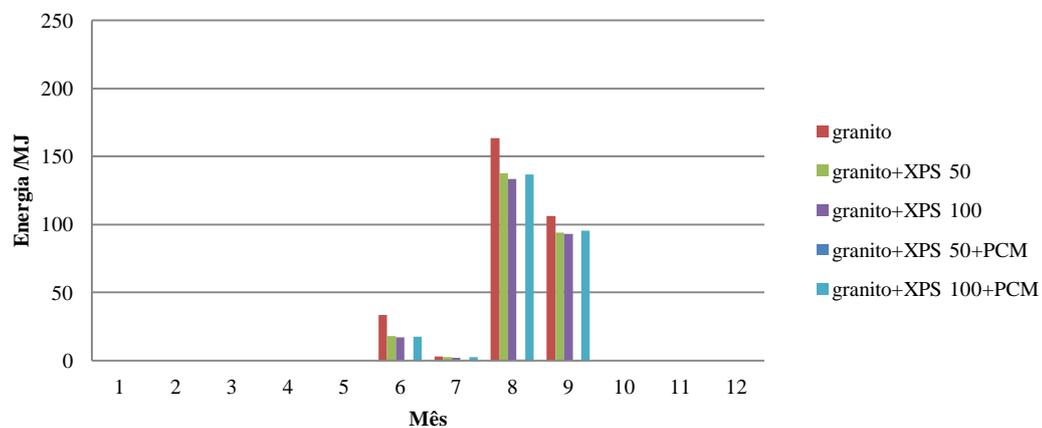


Figura 99: Necessidade energética mensal de arrefecimento em MJ, para a ZNT 1.1 no Porto.

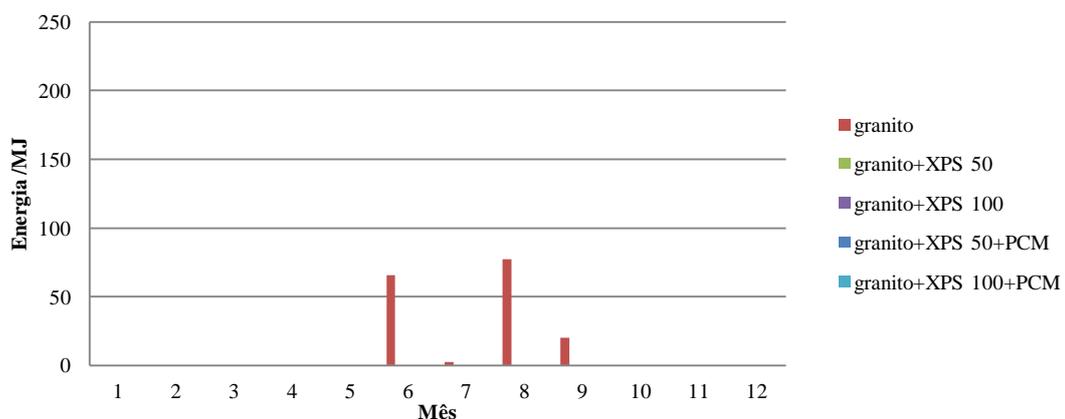


Figura 100: Necessidade energética mensal de arrefecimento em MJ, para a ZNT 1.2 no Porto.

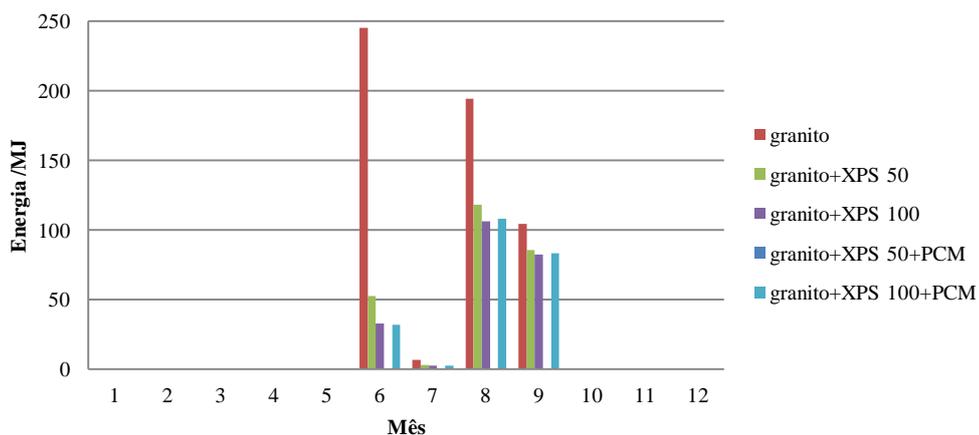


Figura 101: Necessidade energética mensais de arrefecimento em MJ, para a ZNT 1.3 no Porto

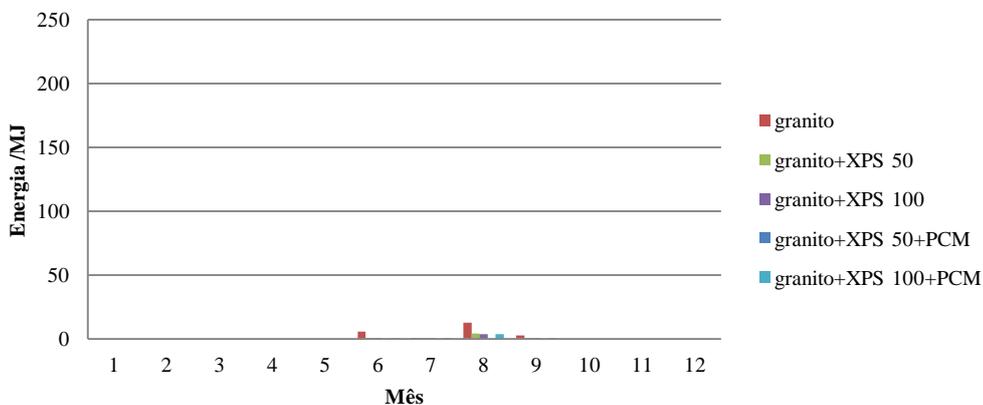


Figura 102: Necessidade energética mensais de arrefecimento em MJ, para a ZNT 1.4 no Porto

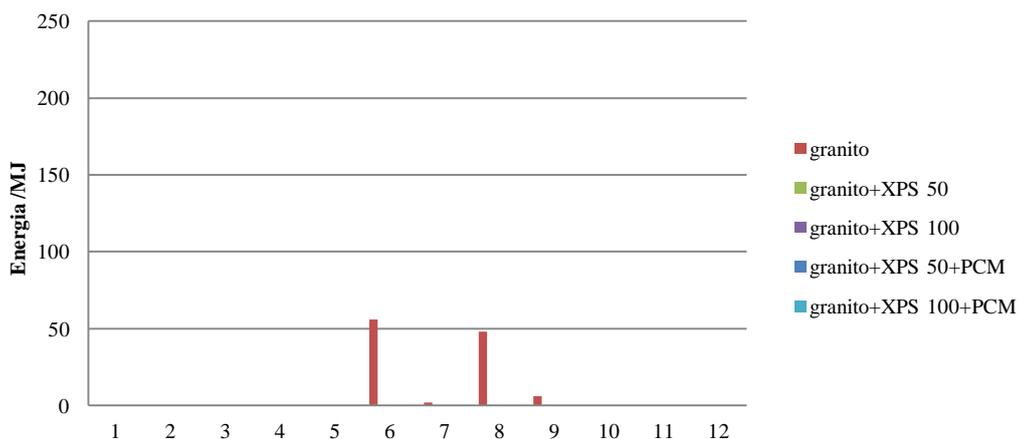


Figura 103: Necessidade energética mensais de arrefecimento em MJ, para a ZNT 1.5 no Porto

Na ZNT 1.1 e de acordo com a Figura 99, as necessidades de arrefecimento diminuem com a aplicação dos isolantes de forma significativa. Ao substituir o XPS 50 pelo XPS 100 consegue-se reduzir ainda mais a T_{int} . Aplicar o PCM juntamente com o XPS 50 leva a uma redução drástica das necessidades de arrefecimento enquanto que com o XPS 100, não se verifica qualquer redução pelo contrário, existe uma aumento para as mesmas necessidades de arrefecimento do edifício isolado com o XPS 50.

O isolante na ZNT 1.2 tem o comportamento ideal pois reduz as necessidades de arrefecimento para zero. Neste caso o PCM não faz absolutamente nada pois por si só o isolante permite que a temperatura interna fique abaixo dos 25 °C.

O edifício construído em granito na ZNT 1.3 no mês de Junho tem uma necessidade elevada de arrefecimento, 240 MJ como se observa na Figura 101. Quando é aplicado o isolante XPS 50 essas necessidades descem drasticamente, principalmente nos meses de Junho e Agosto. O aumento da espessura do isolante leva a uma redução ainda maior das necessidades de arrefecimento. O PCM quando aplicado em conjunto com o XPS 50, gera uma T_i abaixo dos 25 °C. Aplicado em conjunto com XPS 100, o PCM não traz qualquer influência na T_{int} , e consequentemente nas necessidades energéticas de arrefecimento. No mês de Julho e Setembro a influência do isolante e do PCM não é tão evidente. Em Julho, as necessidades de arrefecimento na construção em granito já são relativamente baixas, mas ainda assim, aplicando o isolante consegue-se obter uma redução dessas necessidades. No mês de Setembro, um dos meses de transição entre o Verão e o Outono, a influência do isolante não é tão acentuada.

As necessidades energéticas de aquecimento na ZNT 1.4 são reduzidas mesmo na construção em granito. É possível verificar, pela Figura 102, que aplicar o isolante leva a uma redução das necessidades de energia e que aumentar a espessura no isolante não aumenta a performance do mesmo. O PCM aplicado em conjunto com o XPS 50 reduz ainda mais as necessidades de arrefecimento.

Para a construção em granito, a ZNT 1.5 tem necessidades energéticas de arrefecimento na ordem dos 50 MJ nos meses de Junho e Outubro, e na ordem dos 10 MJ nos meses de Julho e Setembro. Atavés da Figura 103, confirma-se que aplicar os isolantes leva a uma baixa das necessidades de arrefecimento para zero. Neste caso, o PCM não faz sentido pois os isolantes já reduzem significativamente as necessidades energéticas de arrefecimento.

Lisboa é uma das capitais mais amenas da Europa com um clima mediterrânico fortemente influenciado pela corrente do Golfo. A Primavera é de fresca a quente com sol, e o Verão é, em geral, quente e seco. O comportamento das necessidades energéticas de arrefecimento do edifício situado neste distrito é descrito nas Figura 104, Figura 105, Figura 106, Figura 107 e Figura 108.

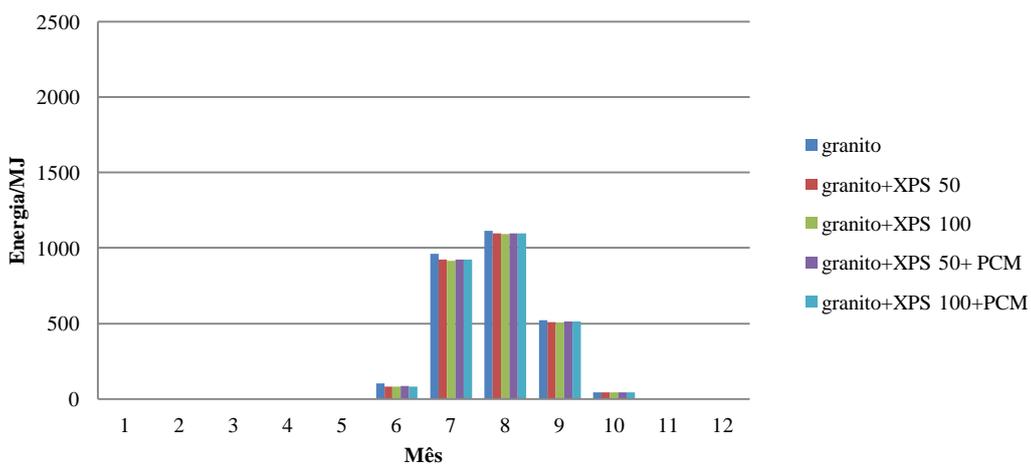


Figura 104: Necessidade energética mensal de arrefecimento em MJ para a ZNT 1.1 em Lisboa

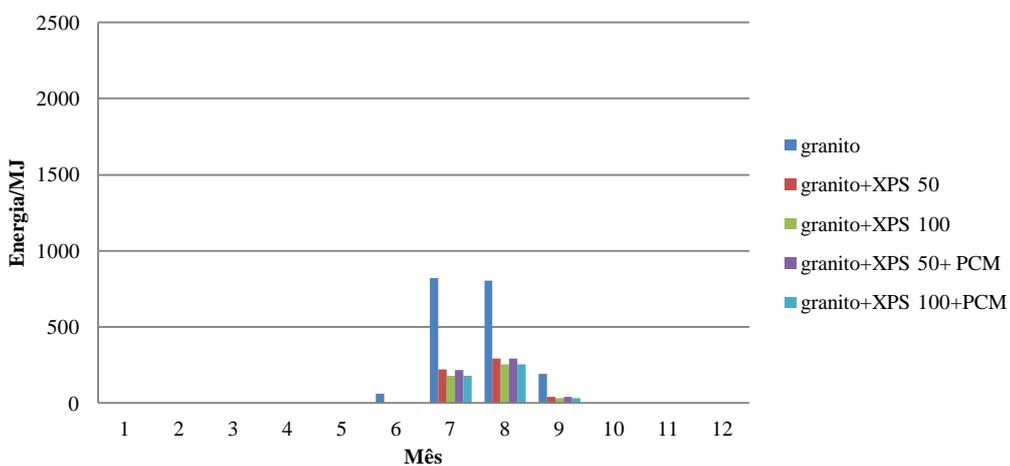


Figura 105: Necessidade energética mensal de arrefecimento em MJ para a ZNT 1.2 em Lisboa

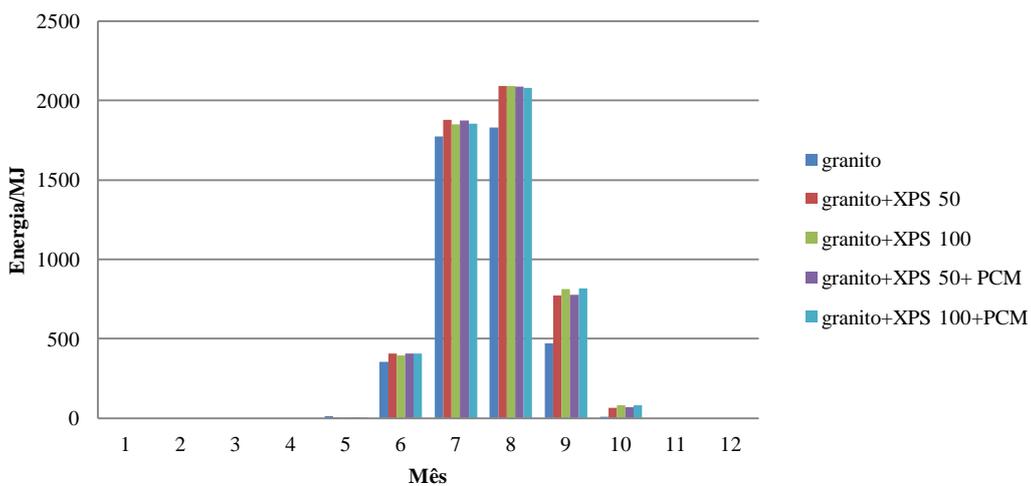


Figura 106: Necessidade energética mensal de arrefecimento em MJ para a ZNT 1.3 em Lisboa

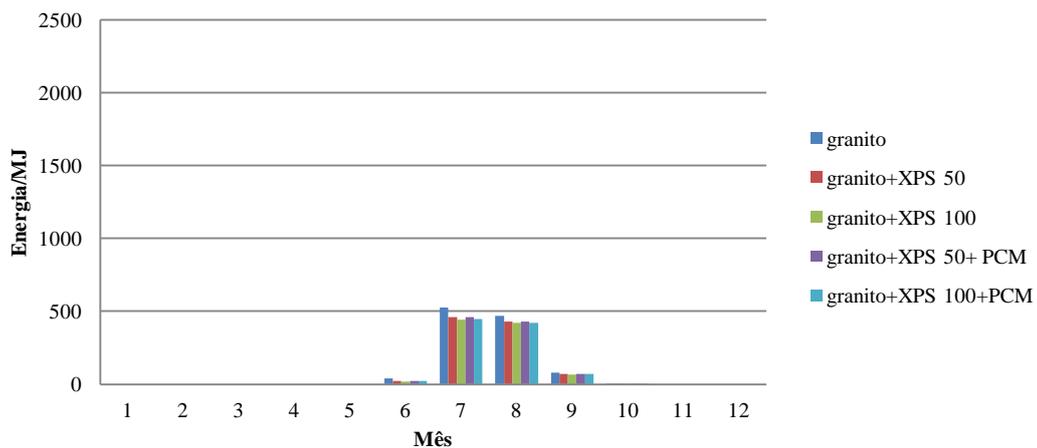


Figura 107: Necessidade energética mensais de arrefecimento em MJ para a ZNT 1.4 em Lisboa

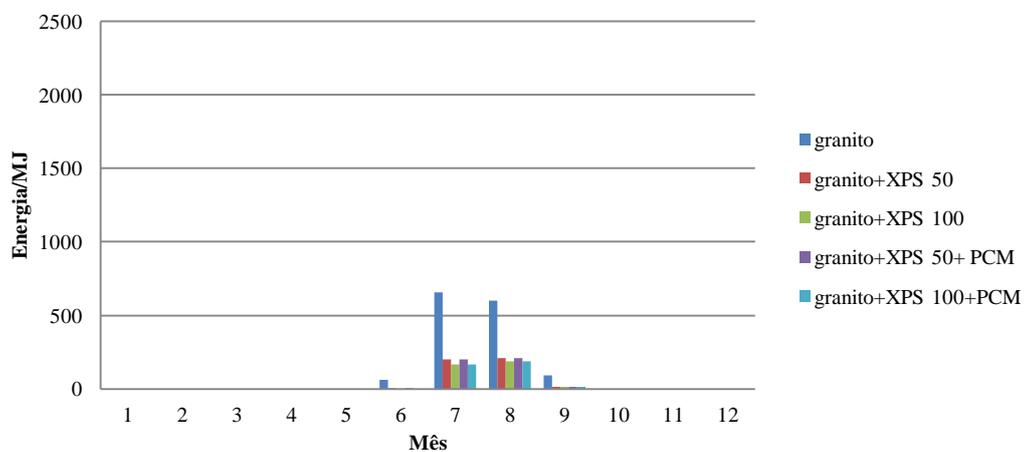


Figura 108: Necessidade energética mensais de arrefecimento em MJ para a ZNT 1.5, em Lisboa

Na Figura 104, é representada a variação das necessidades de arrefecimento na ZNT 1.1 do edifício. Nos meses mais quentes, Julho e Agosto, as necessidades de arrefecimento são maiores, na ordem dos 1000 MJ, isto indica que a T_{int} é maior nestes meses do que nos restantes. A aplicação do isolante leva a uma pequena redução das necessidades de arrefecimento e aplicação de um isolante com o dobro da espessura não gera qualquer variação em termos das necessidades de arrefecimento, pois estas são iguais com o XPS 50 e com o XPS 100. Aplicar o PCM também não reduz as necessidades de arrefecimento o que indica que o PCM não tem funcionalidade.

As necessidades energéticas de arrefecimento na ZNT 1.2, representadas na Figura 105, demonstram que aplicar o isolante XPS 50 reduz significativamente as necessidades de arrefecimento, e que aumentar a sua espessura com a aplicação do XPS 100 leva a que estas necessidades ainda se reduzam mais. A aplicação do PCM em conjunto com o XPS, não se origina qualquer redução das necessidades de arrefecimento.

Na ZNT 1.3 e de acordo com a Figura 106, as necessidades de arrefecimento aumentam com a aplicação do isolamento. Este aumento é maior nos meses de Agosto e Setembro e pode ser explicado pelo fato do isolante permitir que a temperatura interna seja superior à temperatura interna da construção em granito, o que exige um despendio de energia maior para se arrefecer até aos 25 °C.

As necessidades de arrefecimento na ZNT 1.4 são representadas na Figura 107, e verifica-se que a aplicação do isolante gerou uma diminuição das necessidades de arrefecimento na zona. Aumentar a espessura do isolante não melhora o desempenho do edifício pois a diminuição das necessidades de energia para arrefecimento não é grande relativamente ao XPS 50. Mais uma vez para esta zona se verifica que o PCM não tem qualquer funcionalidade.

Para a ZNT 1.5, as necessidades de arrefecimento variam da mesma forma que na ZNT 1.2. Percebe-se pela análise da Figura 108 que as necessidades energéticas de arrefecimento diminuem significativamente com a aplicação do isolante. O aumento da espessura do isolante traduz-se numa diminuição das necessidades mas não de forma significativa. Mais uma vez nesta zona o PCM não terá qualquer utilidade para a redução das necessidades energéticas de arrefecimento.

A Guarda é uma cidade caracterizada pelo seu clima temperado, com influência mediterrânica e detentora de invernos rigorosos com temperaturas baixas, e que muitas vezes desce abaixo de 0 °C. No Verão, para o dia mais quente a temperatura média foi de 22 °C. As necessidades de arrefecimento para este distrito esperam-se inferiores às dos restantes distritos, pois no Verão este distrito atinge temperaturas externas inferiores. Essas necessidades são apresentadas nas Figura 109, Figura 110, Figura 111, Figura 112 e Figura 113.

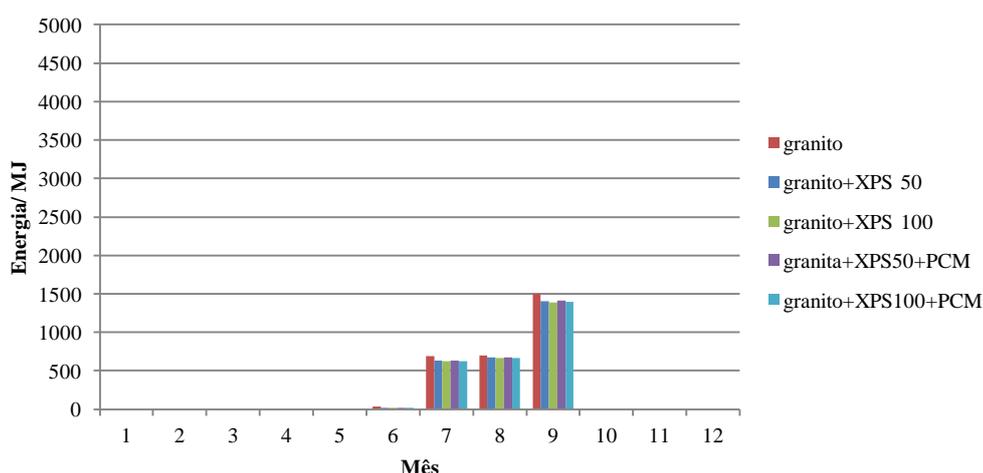


Figura 109: Necessidade energética mensal de arrefecimento para a ZNT 1.1, em MJ, na Guarda

Na ZNT 1.1 as necessidades de arrefecimento surgem apenas nos meses de Junho, Julho e Agosto, os três meses de Verão. Estas necessidades nunca vão para além dos 2000 MJ, e diminuem com a aplicação do isolante. Aumentar a espessura do isolante não gera qualquer influência nas

necessidades energéticas de arrefecimento, pois estas assumem os mesmos valores que com o XPS 50. Aplicar o PCM não reduziu as as necessidades de arrefecimento relativamente à aplicação apenas do isolamento.

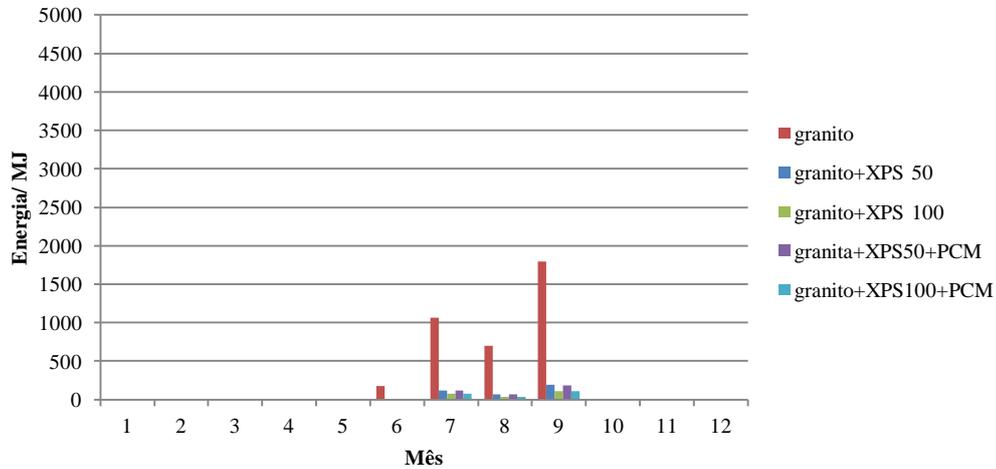


Figura 110: Necessidade energética mensal de arrefecimento para a ZNT 1.2, em MJ, na Guarda

A Figura 110 representa as necessidades energéticas de arrefecimento na ZNT 1.2, e através da sua análise verifica-se a influência do isolamento na redução das necessidades de arrefecimento. O isolamento do edifício pelo exterior com o XPS 50, gera uma redução das necessidades de arrefecimento nesta zona. Aumentar a espessura do isolante não é uma viabilidade para esta zona, pois não gera qualquer variação nas necessidades energéticas de arrefecimento. O PCM por sua vez, quando aplicado em conjunto com o XPS 50 ou XPS 100, reduz as necessidades de arrefecimento que já eram diminutas apenas com o isolante.

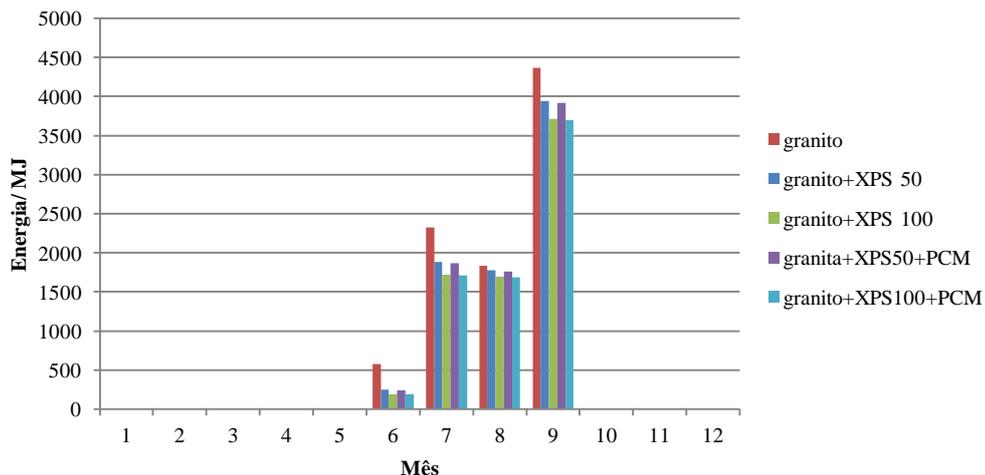


Figura 111: Necessidade energética mensal de arrefecimento para a ZNT 1.3, em MJ, na Guarda

Para a ZNT 1.3 e como se pode verificar na Figura 111, as necessidades de arrefecimento nesta zona são as maiores de todas as zonas do edifício. Isto deve-se ao fato de possuir as maiores

temperaturas internas, e que conseqüentemente requerem uma diminuição de temperatura maior até que se atinja os 25 °C. Relativamente à construção em granito a aplicação do XPS 50 gera uma diminuição das necessidades de arrefecimento, sendo que o XPS 100 leva a uma diminuição maior que o XPS 50. A aplicação do PCM não leva a qualquer redução nas necessidades de arrefecimento, relativamente à aplicação apenas do isolante.

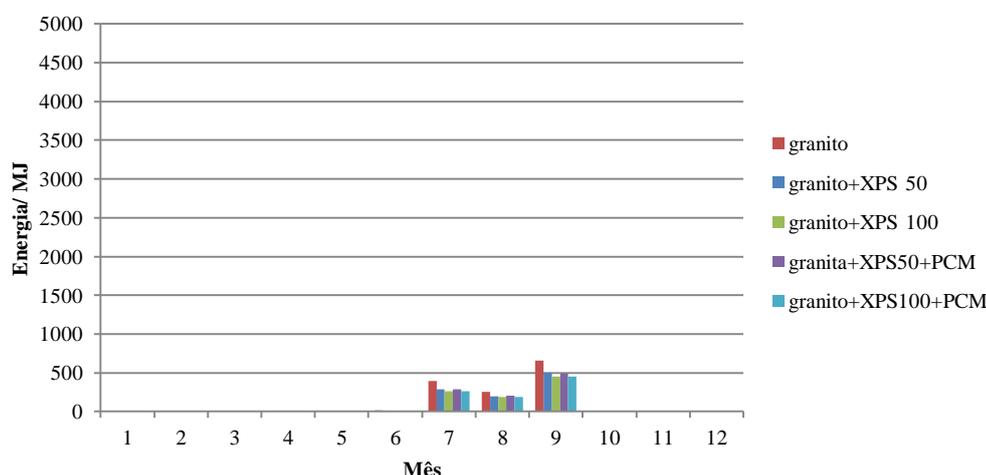


Figura 112: Necessidade energética mensais de arrefecimento para a ZNT 1.4, em MJ, na Guarda

Na ZNT 1.4, as necessidades de arrefecimento sofrem alterações com a aplicação do isolamento. Pela Figura 112 verifica-se que a aplicação do XPS 50 reduz as necessidades de arrefecimento, e que a substituição deste pelo XPS 100 reduz ainda mais essas necessidades, embora não seja uma grande redução. A utilização do PCM em conjunto com o XPS 50 no mês de Junho leva a necessidades de arrefecimento idênticas à aplicação do XPS 100, e que o PCM aplicado com o XPS 100 não tem qualquer funcionalidade, pois não altera as necessidades de arrefecimento verificadas. Para os restantes meses a aplicação do XPS 50 reduz as necessidades de arrefecimento e o aumento da espesura do isolante reduz ainda mais essas mesmas necessidades. Já o PCM não tem qualquer funcionalidade pois não tem influência nas necessidades de arrefecimento.

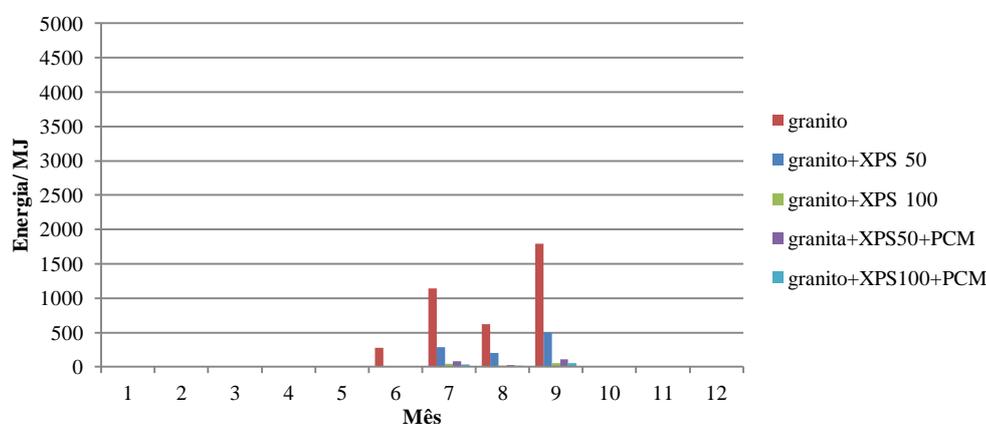


Figura 113: Necessidade energética mensais de arrefecimento para a ZNT 1.5, em MJ, na Guarda

A Figura 113, é representativa das necessidades de arrefecimento na ZNT 1.5, e dela se pode verificar a diminuição das necessidades de arrefecimento com a aplicação de isolante. Aplicar o XPS 50 leva a uma redução significativa das necessidades de arrefecimento nesta zona, assim como, aumentar a espessura do isolante para o dobro gerou uma redução ainda maior. O PCM não tem qualquer influência nas necessidades energéticas de arrefecimento.

A poupança anual de consumo de energia é importante para se perceber realmente se a aplicação de isolantes e PCM compensa. Os consumos anuais de energia para aquecimento e arrefecimento para os três distritos em estudo são apresentados na Tabela 15, e a poupança em MJ ano^{-1} proporcionada pela aplicação do isolante e do isolante em conjunto com o PCM na

Tabela 16. A poupança anual em euros é apresentada na Tabela 17, sendo o custo considerado do Kw h^{-1} de 0,1528 € (EDP, 2014).

Tabela 15: Consumos energético anuais , para aquecimento e arrefecimento, em MJ, para os distritos do Porto, Lisboa e Guarda para a construção em granito, com isolante e com isolante e PCM.

Material de construção	Consumo energético(MJ ano^{-1})		
	Porto	Lisboa	Guarda
Granito	112249,84	95220,74	198596,81
Granito + XPS 50	89215,22	74309,29	174142,69
Granito + XPS 100	86298,15	71619,60	171727,92
Granito + XPS 50 + PCM	88091,78	74221,73	173248,47
Granito + XPS 100 + PCM	86281,35	71670,24	158518,10

Tabela 16: Poupança energética, em MJ ano^{-1} , com aplicação do isolante e do isolante + PCM para os distritos do Porto, Lisboa e Guarda

Material de construção	Poupança energia (MJ ano^{-1})		
	Porto	Lisboa	Guarda
Granito + XPS 50	23034,62	20911,45	24454,12
Granito + XPS 100	25951,69	23601,14	26868,89
Granito + XPS 50 + PCM	1123,43	87,56	894,22
Granito + XPS 100 + PCM	16,80	-50,65	13209,82

Tabela 17: Poupança, em €, no consumo energético anual com a aplicação do isolante e do isolante + PCM nos distritos do Porto, Lisboa e Guarda

Material de construção	Poupança (€ ano ⁻¹)		
	Porto	Lisboa	Guarda
Granito + XPS 50	977,69	887,57	1037,94
Granito + XPS 100	1101,51	1001,74	1140,44
Granito + XPS 50 + PCM	47,68	3,72	37,95
Granito + XPS 100 + PCM	0,71	-2,15	560,68

Pela análise das duas tabelas anteriores verifica-se que a aplicação do isolantes reduziu o consumo anual de energia em todos os distritos em estudo. A poupança proporcionada pelo PCM em conjunto com o isolante foi obtida pela diferença entre o consumo energético anual com isolante e o consumo energético anual com isolante + PCM.

Para o distrito do Porto a aplicação do isolante XPS 50 levou a uma poupança de cerca de 23035 MJ por ano. O aumento da espessura do isolante para o dobro levou a um aumento na poupança de 2917 MJ anuais relativamente ao XPS 50. Aplicar o PCM com o XPS 50 permitiu uma acréscimo na redução de 1123 MJ, enquanto que aplicado com o XPS 100 só permitiu diminuir 17 MJ de consumos de energia anual. Quando falamos em poupança monetária aplicar o XPS 50 permite uma poupança de 977, 69 €, o XPS 100 de 1101,51 €, o XPS 50 + PCM de 1025 € e o XPS 100 + PCM uma poupança de 1102,22 € anuais.

Nos três distritos do estudo, o isolamento que permitiu uma maior poupança no consumo energético anual foi o XPS 100. O PCM quando aplicado em conjunto com o XPS 50 levou a um aumento da poupança. Para Lisboa o PCM quando aplicado juntamente com o XPS 100 aumenta o consumo energético em 51 MJ ano⁻¹ que se traduz num aumento da despesa em 2,15 € anuais, relativamente ao XPS 100. Aplicar o XPS 50 permite uma redução nas despesas anuais com eletricidade para aquecimento e arrefecimento de cerca de 888 € relativamente à construção apenas em granito, e o XPS 100 uma poupança de 1001,74 €. O PCM quando aplicado na construção em conjunto com o isolante XPS 50 leva apenas a uma aumento de 3,72 € na poupança anual.

O edifício construído em granito no distrito da Guarda tem um consumo anual de energia de 198596,81 MJ, muito superior ao dos outros distritos em estudo. Este valor de consumo é justificado pelas necessidades de aquecimento superiores. Quando se escolhe o XPS 50 como isolante obtêm-se uma poupança de 1037,94 € anuais, superior à dos distritos do Porto e Lisboa e o XPS 100 proporciona uma poupança de 1140 € por ano. Para este distrito a aplicação do PCM em conjunto com o XPS 100 leva a um aumento da poupança de 560,68 € anuais, relativamente ao XPS 100, sendo esta diferença significativa. A aplicação do XPS 50 com PCM leva a uma poupança de cerca de 37,95 €, em relação à aplicação de apenas o XPS 50.

4.4. Conforto térmico

O conforto térmico segundo Fanger foi determinado recorrendo ao anexo E da norma ISO 7730:2005. Neste anexo consta uma tabela onde são definidos os PMV para cada tipo de vestuário, taxa metabólica, temperatura e Humidade Relativa de 50%. No ASHRAE Handbook-Fundamentals (ASHRAE, 2009) são definidos os níveis de atividade para determinadas ações que realizamos no dia a dia, em Met e o isolamento térmico do vestuário em Clo.

O tipo de vestuário considerado para os meses de Maio a Setembro foi camisola de manga curta e calções, e para os restantes meses calças, camisola de manga comprida e casaco. As atividades consideradas para cada zona foram:

- ZNT 1.1 – cozinhar;
- ZNT 1.2 - conviver ou realizar eventos estando as pessoas de pé e/ou a caminhar devagar;
- ZNT 1.3 e 1.5 - estudar ou ensinar;
- ZNT 1.4 – comer;
- ZNT 1.6 - zona de entrada do edifício, pessoas entram a caminhar.

Com recurso à ASHRAE os valores das taxas metabólicas e de isolamento de vestuário considerados foram os da Tabela 18. As Tabelas que serviram de base para a determinação do PMV e PPD são apresentadas no Anexo A do presente documento.

Tabela 18: Níveis de atividade e isolamento térmico de vestuário.

Zona	Atividade	Taxa de Metabolismo [Met]	Isolamento térmico do vestuário [Clo]	
			Calor	Frio
ZNT 1.1	Cozinhar	1,8	0,5	0,5
ZNT 1.2	De pé ou andar a 1 m/s	1,2	0,5	1,5
ZNT 1.3	Estudar/ensinar	1,2	0,5	1,5
ZNT 1.4	Sentado a comer	1,0	0,5	1,5
ZNT 1.5	Estudar/ensinar	1,2	0,5	1,5
ZNT 1.6	De pé ou andar a 1 m/s	1,2	0,5	1,5

Para o distrito do Porto, o conforto térmico de Fanger, é representado nas Tabelas 10 a 24.

Na ZNT 1.1, segundo Fanger, dentro do edifício em granito obtém-se a sensação de ligeiramente frio (-1) a frio (-2) nos meses de Novembro a Abril. Nos meses de Maio a Outubro a sensação de neutralidade (entre -1 e +1) predomina, ou seja, nestes dois meses obtém-se a sensação ideal de

conforto térmico. Pela análise do PPD da Tabela 19, os meses onde se obtém conforto térmico são os meses de Maio, Junho, Setembro e Outubro, meses de transição entre a Primavera e o Verão entre o Verão e o Outono. Nos restantes meses existe uma sensação de desconforto térmico, por se sentir frio dentro do edifício, acentuando-se este desconforto nos meses de Janeiro, Fevereiro e Dezembro. Verifica-se um aumento do PPD com a aplicação dos isolantes e um retorno às condições iniciais com a aplicação do PCM. Nos meses de Maio e Outubro também se verifica um aumento do desconforto térmico com a aplicação do isolamento e do PCM. Sendo que a atividade praticada nesta zona é cozinhar, nos meses mais frios as pessoas que trabalham nesta zona sentirão frio vestindo camisola de manga curta e calções.

Tabela 19: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.1 para o Porto

ZNT1.1						
Mês	PMV (-)					
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM	
Janeiro	-2,03	-2,03	-2,03	-2,03	-2,03	-2,03
Fevereiro	-1,62	-1,82	-1,82	-1,62	-1,62	-1,62
Março	-1,21	-1,42	-1,42	-1,21	-1,21	-1,21
Abril	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01
Maio	-0,39	-0,59	-0,59	-0,39	-0,39	-0,39
Junho	0,23	0,43	0,43	0,23	0,23	0,23
Julho	0,63	0,84	0,63	0,63	0,63	0,63
Agosto	0,63	0,84	0,84	0,63	0,63	0,63
Setembro	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
Outubro	-0,39	-1,42	-1,42	-0,39	-0,39	-0,39
Novembro	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01
Dezembro	-1,62	-1,82	-1,82	-1,62	-1,62	-1,62
Mês	PPD (%)					
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM	
Janeiro	77,99	77,99	77,99	77,99	77,99	77,99
Fevereiro	57,35	68,20	68,20	57,35	57,35	57,35
Março	35,71	46,58	46,58	35,71	35,71	35,71
Abril	26,54	26,54	26,54	26,54	26,54	26,54
Maio	8,19	12,30	12,30	8,19	8,19	8,19
Junho	6,10	8,79	8,79	6,10	6,10	6,10
Julho	13,33	19,72	13,33	13,33	13,33	13,33
Agosto	13,33	19,72	19,72	13,33	13,33	13,33
Setembro	8,79	8,79	8,79	8,79	8,79	8,79
Outubro	8,19	46,58	46,58	8,19	8,19	8,19
Novembro	26,54	26,54	26,54	26,54	26,54	26,54
Dezembro	57,35	68,20	68,20	57,35	57,35	57,35

Tabela 20: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.2 para o Porto

ZNT1.2					
Mês	PMV (-)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	-1,79	-1,79	-1,79	-1,79	-1,79
Fevereiro	-1,55	-1,55	-1,55	-1,55	-1,55
Março	-0,75	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06
Abril	-0,42	-0,57	-0,57	-0,57	-0,57
Mai	-2,01	-1,82	-1,82	-1,82	-1,82
Junho	-0,12	-0,79	-0,69	-0,69	-1,41
Julho	0,63	0,63	-0,12	-0,79	-0,79
Agosto	0,63	0,63	-0,12	-0,79	-0,79
Setembro	-0,79	-0,79	-0,79	-0,79	-0,69
Outubro	-0,09	-0,39	-0,39	-0,09	-0,09
Novembro	-0,75	-0,57	-0,57	-0,57	-0,57
Dezembro	-1,55	-1,55	-1,55	-1,09	-1,09

Mês	PPD (%)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	66,56	66,56	66,56	66,56	66,56
Fevereiro	53,50	53,50	53,50	53,50	53,50
Março	16,85	28,76	28,76	28,76	28,76
Abril	8,68	11,91	11,91	11,91	11,91
Mai	77,21	67,95	67,95	67,95	67,95
Junho	5,30	18,16	14,91	14,91	46,05
Julho	13,33	13,33	5,30	18,16	18,16
Agosto	13,33	13,33	5,30	18,16	18,16
Setembro	18,16	18,16	18,16	18,16	14,91
Outubro	5,17	8,19	8,19	5,17	5,17
Novembro	16,85	11,91	11,91	11,91	11,91
Dezembro	53,50	53,50	53,50	30,06	30,06

Na ZNT 1.2 o PPD não sofre alteração nos meses de Janeiro, Fevereiro, Julho, Agosto e Dezembro quando se isola o edifício com o XPS 50 ou o XPS 100. O meses onde o isolamento surte algum efeito são os meses Junho a Novembro, onde o PPD diminui. Nos meses de Abril, Junho e Outubro o número de pessoas que se sentem desconfortáveis com frio dentro do edifício diminui. O aumento da espessura do isolante não permite qualquer melhoria no conforto térmico, assim como acontece com a aplicação do PCM.

Tabela 21: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.3 para o Porto

ZNT1.3					
Mês	PMV (-)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	-1,79	-1,55	-1,55	-1,55	-1,55
Fevereiro	-1,09	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06
Março	-0,57	-0,57	-0,57	-0,57	-0,57
Abril	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09
Mai	-1,25	-1,41	-1,41	-1,25	-1,25
Junho	-0,20	0,44	0,44	-0,12	-0,12
Julho	0,44	0,98	1,01	0,44	-0,20
Agosto	0,44	0,98	1,01	0,44	0,44
Setembro	-0,12	0,44	0,44	-0,20	-0,20
Outubro	-0,09	0,60	0,60	0,40	0,25
Novembro	-0,75	-0,42	-0,09	-0,42	-0,42
Dezembro	-1,55	-1,09	-1,09	-1,09	-1,06

Mês	PPD (%)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	66,56	53,50	53,50	53,50	53,50
Fevereiro	30,06	28,76	28,76	28,76	28,76
Março	11,91	11,91	11,91	11,91	11,91
Abril	5,16	5,17	5,17	5,16	5,16
Mai	37,84	46,05	46,05	37,84	37,84
Junho	5,83	9,13	9,13	5,30	5,30
Julho	9,13	25,29	26,57	9,13	5,83
Agosto	9,13	25,29	26,57	9,13	9,13
Setembro	5,30	9,13	9,13	5,83	5,83
Outubro	5,17	12,55	12,55	8,32	6,30
Novembro	16,85	8,68	5,16	8,68	8,68
Dezembro	53,50	30,06	30,06	30,06	28,76

No edifício construído em granito, na ZNT 1.3 os meses onde se consegue a sensação de conforto térmico são aqueles com PPD inferior a 10%, ou seja os meses de Abril, Junho, Julho, Agosto, Setembro e Outubro. Ao aplicar isolantes as condições de conforto diminuíram, acentuando-se a sensação de frio no interior do edifício. Como o isolante diminui a transferência de energia entre o exterior e o interior, o interior do edifício vai manter-se mais frio do que se fosse apenas construído em granito. O PCM permitiu uma melhoria nos conforto térmico que era proporcionado apenas com o isolante, como se pode vericar pela tabela 21

Tabela 22: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.4 para o Porto

ZNT1.4					
Mês	PMV(-)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	-2,24	-2,24	-2,24	-2,02	-2,02
Fevereiro	-1,81	-2,02	-2,02	-1,81	-1,81
Março	-1,38	-1,60	-1,60	-1,38	-1,38
Abril	-0,96	-0,96	-0,96	-0,96	-0,96
Mai	-2,56	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
Junho	-1,10	-1,10	-1,10	-1,47	-1,47
Julho	-0,74	-0,38	-0,38	-0,74	-0,74
Agosto	-0,74	-0,38	-0,38	-0,74	-0,74
Setembro	-1,10	-1,10	-1,10	-1,10	-1,10
Outubro	-0,32	-0,11	-0,11	-0,32	-0,32
Novembro	-1,17	-0,96	-0,96	-1,17	-1,17
Dezembro	-1,81	-2,02	-2,02	-1,81	-1,81

Mês	PPD(%)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	86,18	86,18	86,18	77,79	77,79
Fevereiro	67,53	77,79	77,79	67,53	67,53
Março	44,65	56,17	56,17	44,65	44,65
Abril	24,37	24,37	24,37	24,37	24,37
Mai	94,64	98,74	98,74	98,74	98,74
Junho	30,71	30,71	30,71	49,20	49,20
Julho	16,52	7,93	7,93	16,52	16,52
Agosto	16,52	7,93	7,93	16,52	16,52
Setembro	30,71	30,71	30,71	30,71	30,71
Outubro	7,11	5,23	5,23	7,11	7,11
Novembro	33,83	24,37	24,37	33,83	33,83
Dezembro	67,53	77,79	77,79	67,53	67,53

Para a ZNT 1.4 a aplicação do isolante diminuiu o PPD nos meses de Julho, Agosto conseguindo-se a neutralidade do conforto térmico, mas com a aplicação do PCM esse conforto diminuiu aumentando a sensação de frio. A Tabela 22 também demonstra que no mês de Outubro o PPD diminuiu mas mantém-se a sensação de conforto térmico. Nos meses de Fevereiro, Março e Maio o conforto térmico piora com a aplicação do isolante. Nos meses de Novembro e Dezembro o PPD diminuiu diminuindo assim o número de pessoas que se sentirão desconfortáveis com as condições dentro do edifício. O PCM nesta zona para os meses de Fevereiro a Dezembro fornece as mesmas condições de conforto térmico que o granito, ou seja não tem qualquer função.

Tabela 23: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.5 para o Porto

ZNT1.5					
Mês	PMV(-)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	-2,24	-2,24	-2,24	-2,24	-2,24
Fevereiro	-2,02	-2,02	-2,02	-2,02	-2,02
Março	-1,38	-1,06	-1,81	-1,06	-1,06
Abril	-0,96	-0,57	-0,57	-0,57	-0,75
Mai	-2,93	-1,82	-1,82	-1,82	-1,82
Junho	-0,12	-0,79	-0,79	-0,69	-1,41
Julho	-0,12	-0,20	-0,20	-0,79	-0,79
Agosto	-0,12	-0,20	-0,20	-0,79	-0,79
Setembro	-0,79	-0,79	-0,79	-0,69	-0,69
Outubro	-0,09	-0,32	-0,32	-0,09	-0,09
Novembro	-1,06	-0,75	-1,17	-0,75	-1,17
Dezembro	-2,02	-1,79	-1,79	-2,02	-1,81

Mês	PPD (%)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	86,18	86,18	86,18	86,18	86,18
Fevereiro	77,79	77,79	77,79	77,79	77,79
Março	44,65	28,76	67,53	28,76	28,76
Abril	24,37	11,91	11,91	11,91	16,85
Mai	98,74	67,95	67,95	67,95	67,95
Junho	5,30	18,16	18,16	14,91	46,05
Julho	5,30	5,83	5,83	18,16	18,16
Agosto	5,30	5,83	5,83	18,16	18,16
Setembro	18,16	18,16	18,16	14,91	14,91
Outubro	5,16	7,11	7,11	5,17	5,17
Novembro	28,76	16,85	33,83	16,85	33,83
Dezembro	77,79	66,56	66,56	77,79	67,53

A aplicação do XPS 50 na ZNT 1.5 levou a um aumento do PPD nos meses de Junho e Outubro, aumentando a sensação de frio no interior do edifício. Nos meses de Janeiro, Fevereiro, Julho e Agosto o PPD mantém-se inalterado embora nos dois primeiros meses do ano a sensação de frio é sentida por uma percentagem mais elevada de pessoas que foram sujeitas às condições interiores, superior a 77%. Nos meses de Março, Abril, Maio, Novembro e Dezembro o PPD sofre um decréscimo superior a 10%, o que indica que menos 10% das pessoas que se sujeitarem às condições no interior do edifício sentirão frio.

O aumento da espessura do isolante, com a aplicação do XPS 100, não gera alteração do PPD produzido pelo XPS 50. A aplicação do PCM em conjunto com o XPS 50 mantém a sensação de desconforto térmico, sendo que nos meses de Julho e Agosto é quando surge um decréscimo

mais acentuado das condições de conforto térmico, havendo um aumento da sensação de frio. Já o PCM em parceria com o XPS 100 fornece condições idênticas de conforto térmico ao XPS 50 com o PCM.

Tabela 24: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.6 para o Porto

ZNT1.6					
Mês	PMV (-)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	-2,03	-2,03	-1,79	-1,79	-1,79
Fevereiro	-2,02	-1,79	-1,79	-2,02	-2,02
Março	-1,38	-1,09	-1,09	-1,06	-1,06
Abril	-0,42	-0,57	-0,75	-0,75	-0,75
Mai	-2,93	-1,82	-2,10	-1,82	-2,10
Junho	-0,12	-0,79	-0,69	-1,41	-1,41
Julho	-0,20	-0,20	-0,12	-0,79	-0,79
Agosto	-0,12	-0,20	-0,12	-0,79	-0,79
Setembro	-0,79	-0,79	-0,69	-0,69	-0,69
Outubro	-0,09	-0,32	-0,09	-0,09	-0,09
Novembro	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75
Dezembro	-2,02	-1,79	-1,79	-2,02	-2,02

Mês	PPD(%)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	78,30	78,30	66,56	66,56	66,56
Fevereiro	77,79	66,56	66,56	77,79	77,79
Março	44,65	30,06	30,06	28,76	28,76
Abril	8,68	11,91	16,85	16,85	16,85
Mai	98,74	67,95	81,10	67,95	81,10
Junho	5,30	18,16	14,91	46,05	46,05
Julho	5,83	5,83	5,30	18,16	18,16
Agosto	5,30	5,83	5,30	18,16	18,16
Setembro	18,16	18,16	14,91	14,91	14,91
Outubro	5,16	7,11	5,17	5,16	5,16
Novembro	16,85	16,85	16,85	16,85	16,85
Dezembro	77,79	66,56	66,56	77,79	77,79

Na ZNT 1.6 a aplicação do isolante proporciona uma variação inconstante do PPD. Aplicar o isolante nunca permite que se atinja as condições de neutralidade de conforto térmico, PPD inferior a 10%. Nos meses onde já se obtinha as condições de conforto térmico ideal essas mantêm-se com a aplicação do isolante e do PCM. Nos meses onde o PPD é elevado, superior a 50%, o isolante surge como uma solução pois reduz a percentagem de pessoas que se sentem desconfortáveis com condições interiores do edifício. Nesta zona, e de acordo com a Tabela 24 o PCM não tem uma influência significativa na alteração das condições de conforto térmico.

Tabela 25: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.1 para o Porto

ZNT1.1					
Hora	PMV Verão				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
2	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
3	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
4	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
5	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
6	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
7	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
8	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
9	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
10	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
11	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
12	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
13	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
14	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
15	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
16	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
17	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
18	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
19	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
20	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
21	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
22	-1,60	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
23	-1,60	-1,61	-1,60	-1,61	-1,61
24	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
Hora	PMV Inverno				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-1,86	-1,86	-1,85	-1,85	-1,86
2	-1,93	-1,93	-1,92	-1,92	-1,92
3	-1,94	-1,93	-1,92	-1,93	-1,93
4	-1,92	-1,91	-1,91	-1,91	-1,91
5	-1,95	-1,94	-1,93	-1,93	-1,94
6	-1,93	-1,92	-1,91	-1,92	-1,92
7	-1,95	-1,93	-1,92	-1,93	-1,93
8	-1,97	-1,96	-1,95	-1,95	-1,96
9	-1,95	-1,93	-1,92	-1,92	-1,93
10	-1,89	-1,87	-1,86	-1,87	-1,87
11	-1,81	-1,79	-1,78	-1,78	-1,79
12	-1,72	-1,70	-1,69	-1,69	-1,70
13	-1,66	-1,64	-1,63	-1,64	-1,64
14	-1,63	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62
15	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62

16	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62
17	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62
18	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62
19	-1,67	-1,67	-1,66	-1,66	-1,66
20	-1,77	-1,77	-1,76	-1,76	-1,77
21	-1,80	-1,79	-1,78	-1,79	-1,79
22	-1,82	-1,81	-1,80	-1,81	-1,81
23	-1,84	-1,84	-1,83	-1,83	-1,83
24	-1,87	-1,86	-1,85	-1,86	-1,86

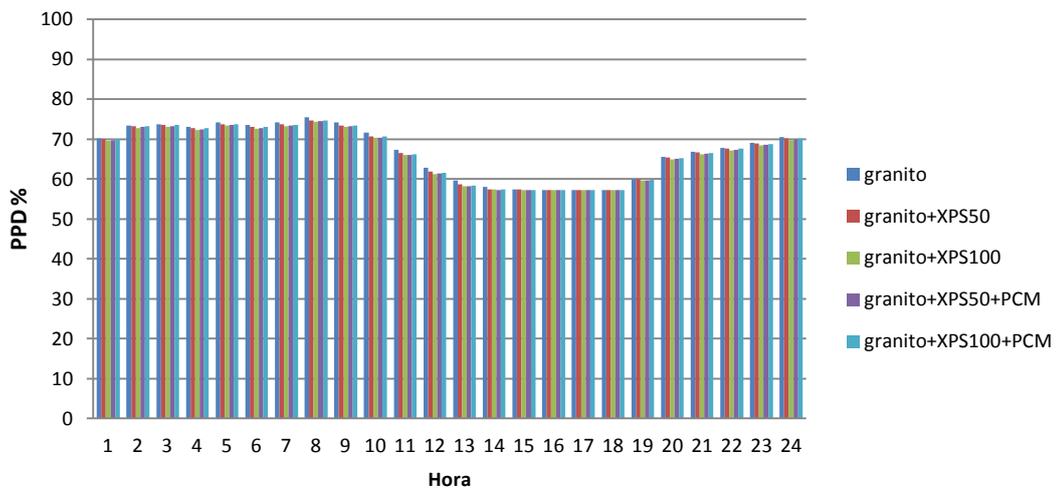


Figura 114: PPD no dia mais frio na ZNT 1.1, para o Porto

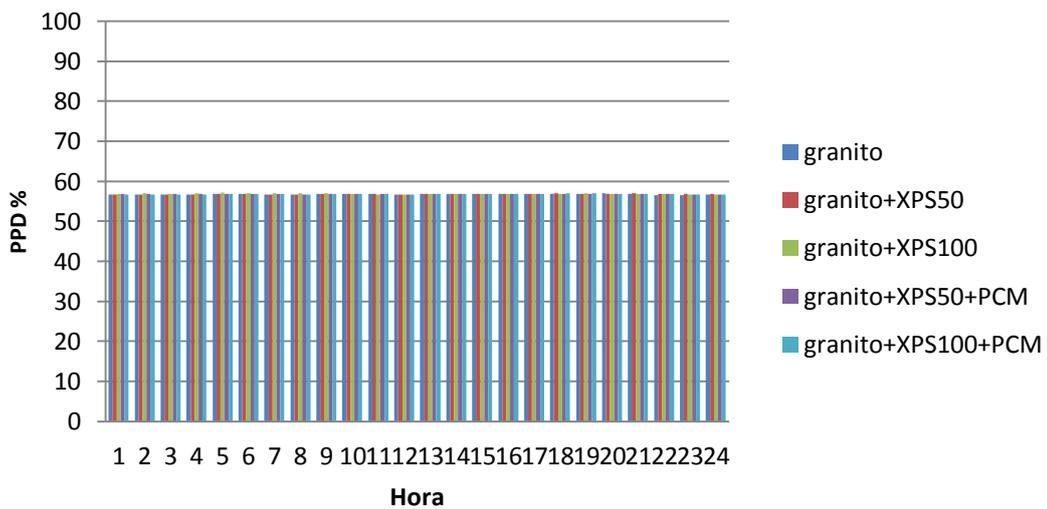


Figura 115: PPD no dia mais quente na ZNT 1.1, para o Porto

Tabela 26: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.2 para o Porto

ZNT1.2					
Hora	PMV Verão				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
2	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
3	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
4	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
5	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
6	-2,94	-2,94	-2,95	-2,94	-2,94
7	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
8	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
9	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
10	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
11	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
12	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
13	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
14	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
15	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
16	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
17	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
18	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
19	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
20	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
21	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
22	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
23	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
24	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
Hora	PMV Inverno				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-1,72	-1,62	-1,58	-1,61	-1,59
2	-1,82	-1,70	-1,65	-1,69	-1,66
3	-1,84	-1,70	-1,66	-1,69	-1,67
4	-1,83	-1,68	-1,64	-1,67	-1,65
5	-1,87	-1,70	-1,66	-1,69	-1,67
6	-1,87	-1,68	-1,64	-1,67	-1,65
7	-1,90	-1,69	-1,65	-1,68	-1,65
8	-1,94	-1,72	-1,67	-1,70	-1,68
9	-1,93	-1,69	-1,64	-1,68	-1,65
10	-1,91	-1,64	-1,60	-1,63	-1,60
11	-1,86	-1,56	-1,52	-1,55	-1,53
12	-1,78	-1,47	-1,42	-1,46	-1,43

13	-1,71	-1,41	-1,37	-1,40	-1,37
14	-1,65	-1,40	-1,35	-1,38	-1,35
15	-1,58	-1,38	-1,33	-1,36	-1,33
16	-1,51	-1,36	-1,31	-1,34	-1,31
17	-1,46	-1,34	-1,30	-1,33	-1,30
18	-1,41	-1,33	-1,28	-1,31	-1,28
19	-1,47	-1,40	-1,35	-1,38	-1,35
20	-1,60	-1,52	-1,48	-1,51	-1,49
21	-1,64	-1,56	-1,51	-1,54	-1,52
22	-1,67	-1,57	-1,53	-1,56	-1,54
23	-1,71	-1,60	-1,56	-1,59	-1,56
24	-1,75	-1,63	-1,58	-1,61	-1,59

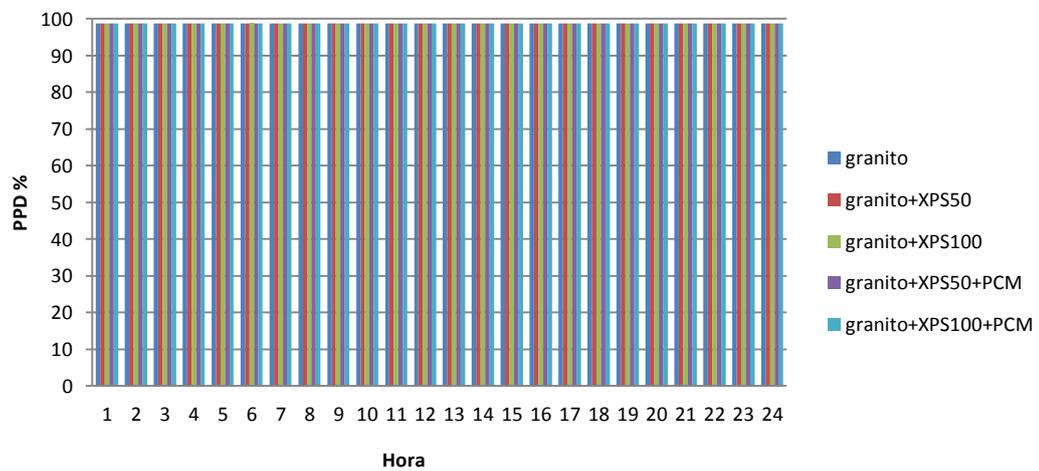


Figura 116: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.2, para o Porto

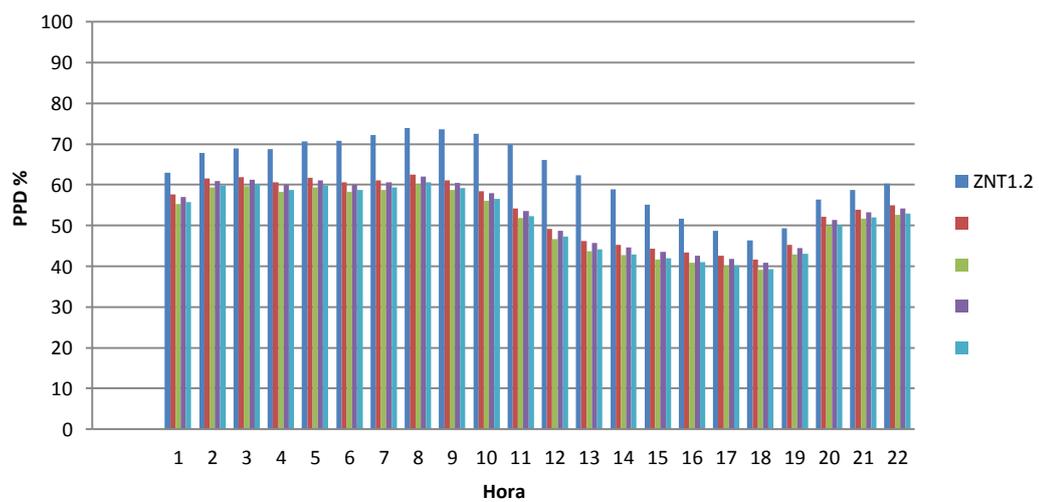


Figura 117: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.2, para o Porto

Tabela 27: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.3 para o Porto

ZNT1.3					
Hora	PMV Verão				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,93	-2,93	-2,93	-2,94	-2,93
2	-2,93	-2,93	-2,94	-2,94	-2,93
3	-2,93	-2,93	-2,94	-2,94	-2,93
4	-2,93	-2,93	-2,94	-2,93	-2,93
5	-2,93	-2,93	-2,94	-2,93	-2,93
6	-2,93	-2,93	-2,94	-2,93	-2,93
7	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
8	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
9	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
10	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,92
11	-2,92	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93
12	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
13	-2,93	-2,92	-2,93	-2,93	-2,92
14	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93	-2,92
15	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
16	-2,92	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93
17	-2,92	-2,93	-2,92	-2,92	-2,92
18	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
19	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
20	-2,93	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93
21	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
22	-2,93	-2,94	-2,93	-2,93	-2,93
23	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
24	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
Hora	PMV Inverno				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-1,69	-1,50	-1,44	-1,49	-1,45
2	-1,75	-1,54	-1,48	-1,53	-1,49
3	-1,77	-1,54	-1,48	-1,53	-1,49
4	-1,78	-1,54	-1,48	-1,52	-1,49
5	-1,82	-1,55	-1,49	-1,54	-1,50
6	-1,83	-1,54	-1,48	-1,53	-1,49
7	-1,86	-1,56	-1,49	-1,54	-1,50
8	-1,88	-1,57	-1,51	-1,56	-1,52
9	-1,88	-1,54	-1,48	-1,53	-1,49
10	-1,83	-1,47	-1,41	-1,45	-1,41
11	-1,76	-1,37	-1,31	-1,35	-1,32
12	-1,69	-1,31	-1,24	-1,29	-1,24

13	-1,63	-1,28	-1,21	-1,26	-1,21
14	-1,58	-1,28	-1,21	-1,26	-1,21
15	-1,53	-1,27	-1,20	-1,25	-1,20
16	-1,48	-1,26	-1,19	-1,24	-1,20
17	-1,47	-1,27	-1,20	-1,25	-1,21
18	-1,47	-1,29	-1,23	-1,28	-1,23
19	-1,54	-1,37	-1,30	-1,35	-1,31
20	-1,62	-1,43	-1,37	-1,42	-1,38
21	-1,64	-1,45	-1,38	-1,43	-1,39
22	-1,66	-1,46	-1,40	-1,45	-1,41
23	-1,69	-1,48	-1,41	-1,47	-1,42
24	-1,72	-1,50	-1,43	-1,48	-1,44

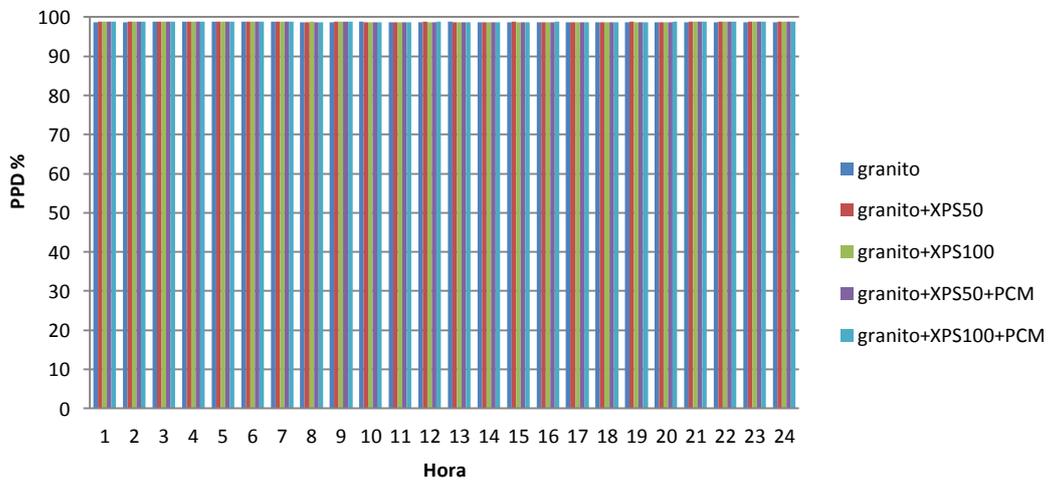


Figura 118: PPD no dia mais quente na ZNT 1.3 no Porto

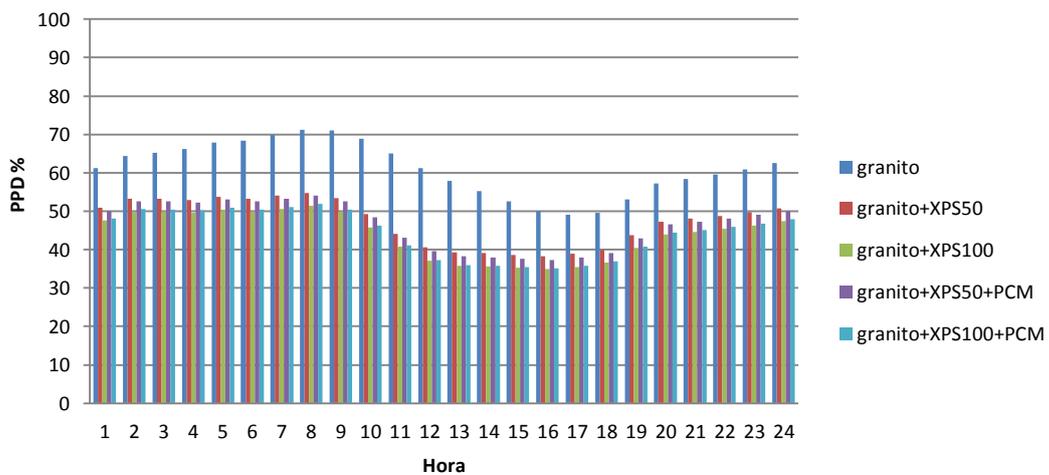


Figura 119: PPD no dia mais frio na ZNT 1.3 no Porto

Tabela 28: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.4 para o Porto

ZNT1.4					
Hora	PMV Verão				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
2	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
3	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
4	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
5	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
6	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
7	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
8	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
9	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
10	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
11	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
12	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
13	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
14	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
15	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
16	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
17	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
18	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
19	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
20	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
21	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
22	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
23	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
24	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
Hora	PMV Inverno				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-1,97	-1,95	-1,94	-1,94	-1,95
2	-2,01	-1,99	-1,97	-1,98	-1,98
3	-2,01	-1,99	-1,97	-1,98	-1,98
4	-2,01	-1,99	-1,97	-1,98	-1,98
5	-2,02	-2,00	-1,98	-1,99	-1,99
6	-2,02	-1,99	-1,98	-1,98	-1,98
7	-2,03	-2,00	-1,99	-1,99	-2,00
8	-2,04	-2,01	-2,00	-2,00	-2,01
9	-2,02	-1,99	-1,98	-1,98	-1,99
10	-1,98	-1,95	-1,94	-1,94	-1,94
11	-1,92	-1,89	-1,87	-1,88	-1,88
12	-1,86	-1,83	-1,81	-1,82	-1,82

13	-1,83	-1,79	-1,77	-1,78	-1,78
14	-1,81	-1,77	-1,76	-1,76	-1,76
15	-1,79	-1,75	-1,74	-1,74	-1,74
16	-1,76	-1,74	-1,72	-1,72	-1,72
17	-1,77	-1,74	-1,72	-1,72	-1,73
18	-1,79	-1,77	-1,75	-1,75	-1,76
19	-1,86	-1,84	-1,82	-1,82	-1,83
20	-1,91	-1,89	-1,88	-1,88	-1,88
21	-1,93	-1,91	-1,89	-1,89	-1,90
22	-1,94	-1,92	-1,90	-1,91	-1,91
23	-1,95	-1,93	-1,91	-1,92	-1,92
24	-1,97	-1,95	-1,93	-1,94	-1,94

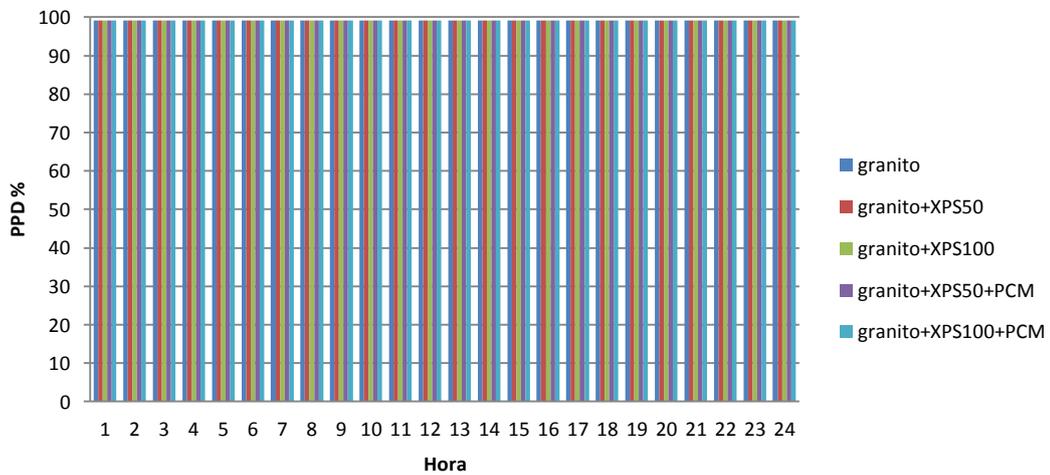


Figura 120: PPD no dia mais quente na ZNT 1.4, para o Porto

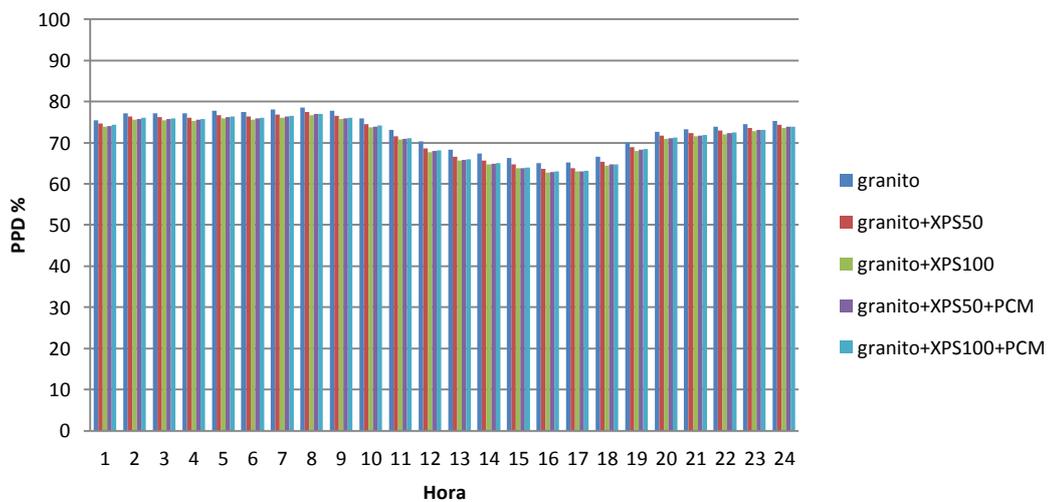


Figura 121: PPD no dia mais frio na ZNT 1.4, para o Porto

Tabela 29: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.5 para o Porto

ZNT1.5					
Hora	PMV Verão				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,94	-2,93	-2,94	-2,94	-2,93
2	-2,94	-2,93	-2,94	-2,94	-2,93
3	-2,94	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94
4	-2,94	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94
5	-2,94	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
6	-2,94	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
7	-2,94	-2,93	-2,94	-2,93	-2,93
8	-2,94	-2,93	-2,94	-2,93	-2,93
9	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
10	-2,94	-2,94	-2,94	-2,93	-2,94
11	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
12	-2,93	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
13	-2,93	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94
14	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94	-2,93
15	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94	-2,93
16	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94	-2,93
17	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
18	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
19	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
20	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
21	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
22	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
23	-2,93	-2,94	-2,93	-2,93	-2,93
24	-2,93	-2,94	-2,93	-2,93	-2,93
Hora	PMV Inverno				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-1,83	-1,67	-1,60	-1,66	-1,61
2	-1,90	-1,73	-1,66	-1,72	-1,67
3	-1,91	-1,73	-1,66	-1,72	-1,67
4	-1,91	-1,71	-1,64	-1,70	-1,65
5	-1,94	-1,73	-1,66	-1,71	-1,67
6	-1,94	-1,71	-1,64	-1,70	-1,65
7	-1,97	-1,72	-1,65	-1,71	-1,66
8	-2,00	-1,74	-1,67	-1,73	-1,68
9	-1,99	-1,72	-1,64	-1,70	-1,65
10	-1,96	-1,67	-1,59	-1,65	-1,60
11	-1,91	-1,59	-1,52	-1,57	-1,52
12	-1,84	-1,51	-1,43	-1,49	-1,44

13	-1,78	-1,46	-1,39	-1,44	-1,39
14	-1,72	-1,45	-1,38	-1,43	-1,38
15	-1,66	-1,44	-1,37	-1,42	-1,37
16	-1,61	-1,44	-1,36	-1,41	-1,36
17	-1,57	-1,43	-1,36	-1,41	-1,36
18	-1,54	-1,43	-1,36	-1,41	-1,36
19	-1,60	-1,50	-1,43	-1,49	-1,44
20	-1,69	-1,61	-1,54	-1,59	-1,55
21	-1,71	-1,62	-1,55	-1,61	-1,56
22	-1,73	-1,63	-1,56	-1,62	-1,57
23	-1,75	-1,65	-1,58	-1,64	-1,59
24	-1,78	-1,67	-1,60	-1,66	-1,61

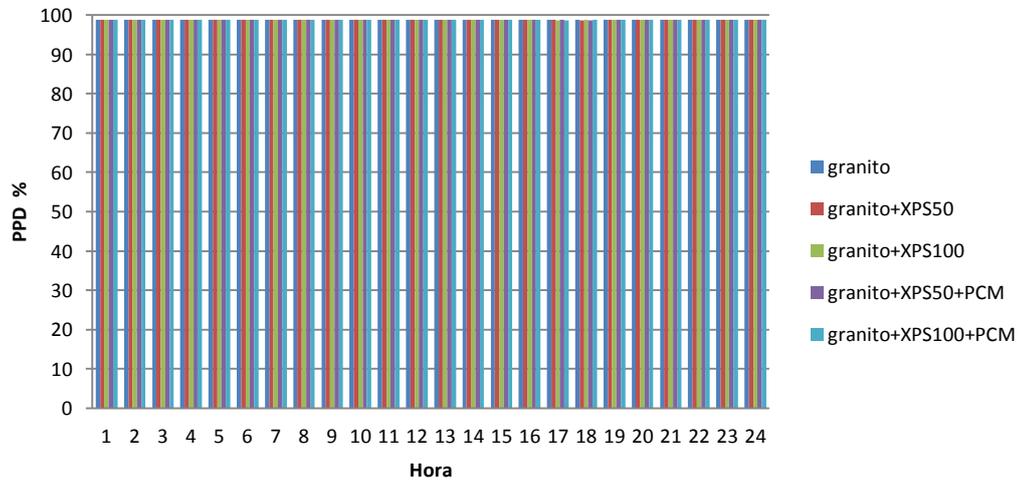


Figura 122: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.5 para o Porto

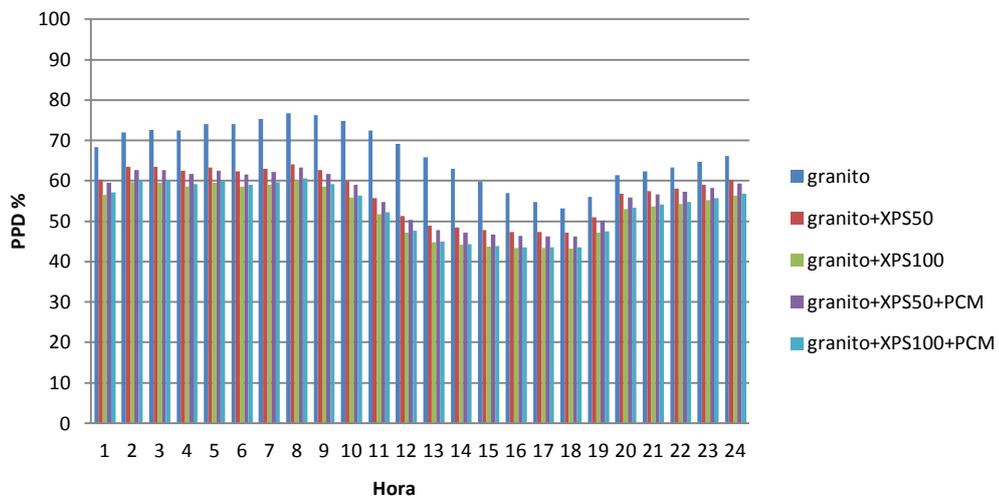


Figura 123: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.5, para o Porto

Tabela 30: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.6 para o Porto

ZNT1.6					
Hora	PMV Verão				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
2	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
3	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
4	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
5	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
6	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
7	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
8	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
9	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
10	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
11	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
12	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
13	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
14	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
15	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
16	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
17	-2,94	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
18	-2,94	-2,93	-2,93	-2,93	-2,94
19	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
20	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
21	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
22	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
23	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
24	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
Hora	PMV Inverno				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-1,76	-1,69	-1,64	-1,67	-1,65
2	-1,83	-1,74	-1,70	-1,73	-1,71
3	-1,84	-1,74	-1,70	-1,73	-1,71
4	-1,85	-1,73	-1,69	-1,71	-1,70
5	-1,88	-1,74	-1,70	-1,73	-1,71
6	-1,88	-1,73	-1,69	-1,72	-1,70
7	-1,91	-1,74	-1,70	-1,73	-1,71
8	-1,94	-1,76	-1,71	-1,74	-1,72
9	-1,94	-1,74	-1,69	-1,72	-1,70
10	-1,93	-1,70	-1,66	-1,69	-1,66
11	-1,89	-1,63	-1,59	-1,62	-1,60
12	-1,83	-1,56	-1,52	-1,55	-1,53

13	-1,77	-1,53	-1,48	-1,51	-1,49
14	-1,72	-1,52	-1,47	-1,50	-1,48
15	-1,66	-1,50	-1,46	-1,49	-1,46
16	-1,62	-1,49	-1,44	-1,47	-1,45
17	-1,57	-1,48	-1,43	-1,46	-1,44
18	-1,54	-1,47	-1,42	-1,45	-1,43
19	-1,59	-1,52	-1,48	-1,51	-1,48
20	-1,68	-1,61	-1,57	-1,60	-1,58
21	-1,70	-1,63	-1,59	-1,62	-1,60
22	-1,72	-1,65	-1,60	-1,63	-1,61
23	-1,75	-1,66	-1,62	-1,65	-1,63
24	-1,78	-1,69	-1,64	-1,67	-1,65

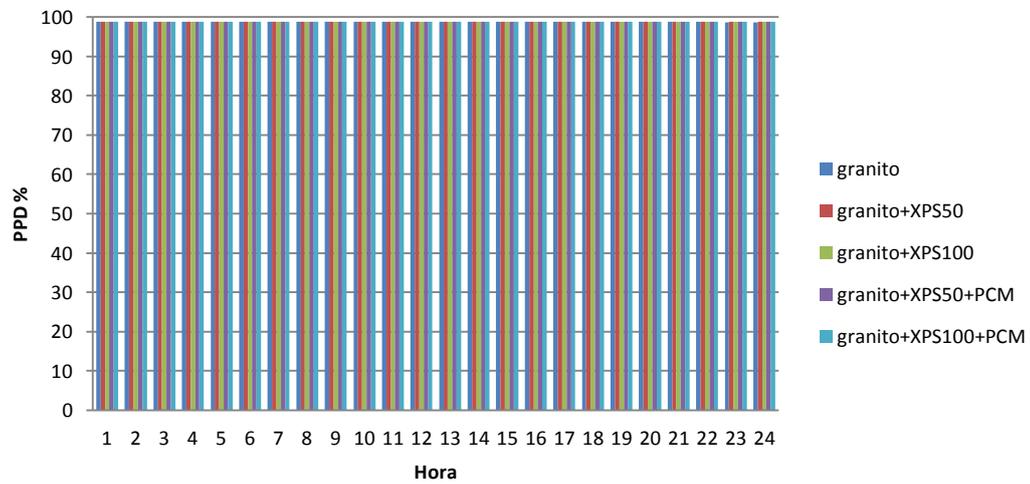


Figura 124: PPD no dia mais quente do ano, na ZNT 1.6 para o Porto

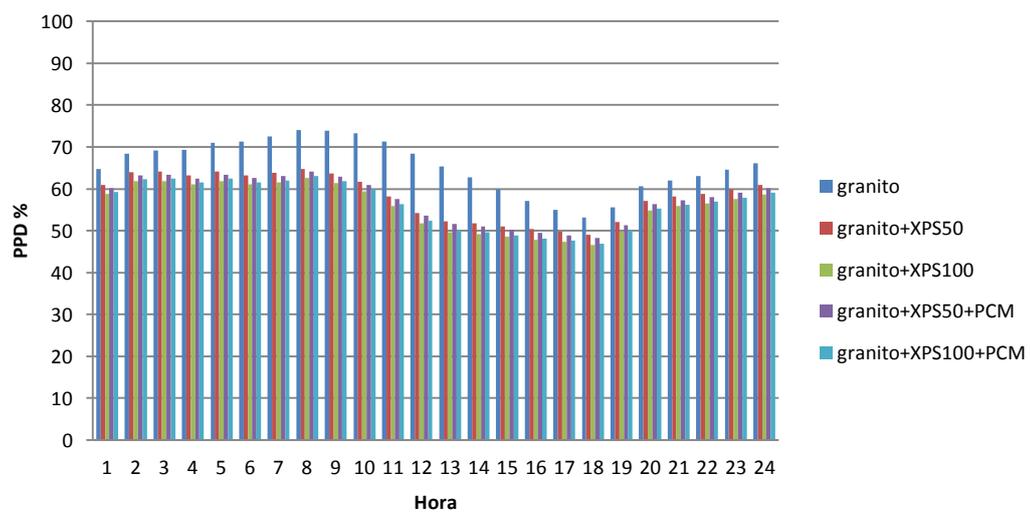


Figura 125: PPD no dia mais frio do ano, na ZNT 1.6 para o Porto

A análise dos PMV e PPD para o desenrolar do dia mais frio e mais quente do ano, descrito nas Tabela 25 a Tabela 30 e nas Figura 114 a Figura 125, se verifica que para o dia mais quente do ano a aplicação do isolante e do PCM não tem qualquer interferência nas condições de conforto térmico. No dia mais frio, verifica-se uma diminuição do PPD com a aplicação do isolante XPS 50 e do XPS 100, mas não se alterando com a aplicação do PCM.

Em Lisboa a variação do conforto térmico nas diferentes zonas do edifício é descrita nas tabelas 31 a 36.

Tabela 31: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.1 para Lisboa

ZNT1.1					
Mês	PMV (-)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	-1,42	-1,21	-1,42	-1,42	-1,42
Fevereiro	-1,62	-1,42	-1,62	-1,62	-1,62
Março	-1,21	-1,01	-1,21	-1,21	-1,21
Abril	-0,59	-0,59	-0,80	-0,80	-0,80
Mai	0,02	0,23	0,02	0,02	0,02
Junho	0,43	0,63	0,43	0,43	0,43
Julho	1,03	1,24	1,03	1,03	1,03
Agosto	1,24	1,45	1,24	1,24	1,24
Setembro	1,03	1,24	1,03	1,03	1,03
Outubro	0,43	0,63	0,43	0,43	0,43
Novembro	-0,59	-0,39	-0,59	-0,59	-0,59
Dezembro	-1,42	-1,21	-1,42	-1,42	-1,42
Mês	PPD (%)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	46,58	35,71	46,58	46,58	46,58
Fevereiro	57,35	46,58	57,35	57,35	57,35
Março	35,71	26,54	35,71	35,71	35,71
Abril	12,30	12,30	18,51	18,51	18,51
Mai	5,01	6,10	5,01	5,01	5,01
Junho	8,79	13,33	8,79	8,79	8,79
Julho	27,40	37,43	27,40	27,40	27,40
Agosto	37,43	48,12	37,43	37,43	37,43
Setembro	27,40	37,43	27,40	27,40	27,40
Outubro	8,79	13,33	8,79	8,79	8,79
Novembro	12,30	8,19	12,30	12,30	12,30
Dezembro	46,58	35,71	46,58	46,58	46,58

Tabela 32: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.2 para Lisboa

ZNT1.2					
---------------	--	--	--	--	--

Mês	PMV (-)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	-1,09	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06
Fevereiro	-1,09	-1,06	-1,09	-1,09	-1,09
Março	-0,75	-1,06	-0,75	-0,75	-0,75
Abril	-0,09	-0,09	-0,42	-0,42	-0,42
Mai	-1,41	-0,69	-1,25	-1,25	-1,25
Junho	-0,12	-0,20	-0,79	-0,79	-0,79
Julho	0,39	0,39	0,44	0,44	0,44
Agosto	0,39	1,01	0,44	0,44	0,44
Setembro	-0,20	0,44	-0,20	-0,20	-0,20
Outubro	0,89	0,60	0,89	0,89	0,89
Novembro	-0,57	-0,09	-0,42	-0,42	-0,42
Dezembro	-1,09	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06

Mês	PPD (%)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	30,06	28,76	28,76	28,76	28,76
Fevereiro	30,06	28,76	30,06	30,06	30,06
Março	16,85	28,76	16,85	16,85	16,85
Abril	5,16	5,16	8,68	8,68	8,68
Mai	46,05	14,91	37,84	37,84	37,84
Junho	5,30	5,83	18,16	18,16	18,16
Julho	8,17	8,17	9,13	9,13	9,13
Agosto	8,17	26,57	9,13	9,13	9,13
Setembro	5,83	9,13	5,83	5,83	5,83
Outubro	21,57	12,55	21,57	21,57	21,57
Novembro	11,91	5,16	8,68	8,68	8,68
Dezembro	30,06	28,76	28,76	28,76	28,76

Na ZNT 1.1 o PMV indica que nos meses de Maio, Junho e Outubro no edifício contruído em granito as pessoas sujeitas às condições interiores de temperatura, velocidade do ar e de 50% de humidade relativa, se sentirão térmicamente confortáveis. Nos restantes meses dentro do edifício a sensação de frio é a que predomina. Nos meses de mais calor Julho, Agosto e Setembro envergando uma t-shirt e uns calções, dentro do edifício em granito as pessoas sentirão frio. A aplicação do XPS 50 na maioria dos meses piora a sensação de conforto térmica, sendo a exceção os meses de Novembro e Dezembro. Já com a aplicação do XPS 100 e do PCM não se consegue qualquer variação do PPD, pois estes não tem influência na variação da temperatura interior do edifício.

O parâmetros de conforto térmico na ZNT 1.2 são os descritos da Tabela 1Tabela 32, e por análise aos dados apresentados conclui-se que a aplicação do isolante XPS 50 se traduz numa melhoria das condições de conforto térmico. Já a aplicação do XPS 100 não traz qualquer vantagem relativamente ao XPS 50. O mesmo acontece com a aplicação do PCM após a aplicação do isolante.

Tabela 33: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.3 para Lisboa

ZNT1.3					
Mês	PMV (-)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	-1,06	-0,57	-0,57	-0,75	-0,57
Fevereiro	-1,06	-0,57	-0,75	-0,75	-0,75
Março	-0,57	-0,09	-0,42	-0,42	-0,42
Abril	-0,09	0,25	0,40	0,40	0,40
Mai	-0,79	0,44	-0,79	-0,79	-0,79
Junho	0,44	1,01	0,44	0,44	0,44
Julho	0,98	2,14	0,98	0,98	0,98
Agosto	0,98	2,20	1,58	1,58	1,58
Setembro	0,39	1,58	1,01	1,01	1,01
Outubro	0,60	1,86	0,95	0,95	0,95
Novembro	-0,42	0,40	-0,09	-0,09	-0,09
Dezembro	-1,06	-0,57	-0,57	-0,75	-0,57
Mês	PPD (%)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	28,76	11,91	11,91	16,85	11,91
Fevereiro	28,76	11,91	16,85	16,85	16,85
Março	11,91	5,16	8,68	8,68	8,68
Abril	5,17	6,30	8,32	8,32	8,32
Mai	18,16	9,13	18,16	18,16	18,16
Junho	9,13	26,57	9,13	9,13	9,13
Julho	25,29	82,74	25,29	25,29	25,29
Agosto	25,29	84,91	55,05	55,05	55,05
Setembro	8,17	55,05	26,57	26,57	26,57
Outubro	12,55	70,05	24,06	24,06	24,06
Novembro	8,68	8,32	5,17	5,17	5,17
Dezembro	28,76	11,91	11,91	16,85	11,91

Na ZNT 1.3 da construção em granito a sensação predominante é de neutralidade térmica a levemente frio, sendo que nos meses de temperaturas mais baixas apenas 28% das pessoas se sentem desconfortáveis. Nos meses de Março, Junho, Julho, Setembro e Novembro as pessoas atingem as condições ideais de conforto térmico não sentindo frio nem calor. Com a aplicação do XPS 50 nos meses de frio atinge-se temperaturas internas superiores, reduzindo a sensação de frio. Nos meses mais quentes, essas condições pioram aumentando a sensação de calor. dentro da zona. Aumentar a espessura do isolante nos meses onde XPS 50 piora as condições, piora igualmente as condições mas de uma forma mais ligeira. O PCM não melhora a performance relativamente à aplicação do isolante.

Tabela 34: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.4 para Lisboa

ZNT1.4					
Mês	PMV (-)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	-1,60	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38
Fevereiro	-1,81	-1,60	-1,81	-1,81	-1,81
Março	-1,17	-1,17	-1,38	-1,38	-1,38
Abril	-0,74	-0,53	-0,74	-0,74	-0,74
Mai	-1,83	-1,47	-2,20	-1,83	-2,20
Junho	-0,74	-0,38	-1,10	-1,10	-1,10
Julho	0,35	0,72	-0,01	-0,01	-0,01
Agosto	0,35	0,72	0,35	0,35	0,35
Setembro	-0,38	-0,01	-0,38	-0,38	-0,38
Outubro	0,32	0,53	0,32	0,32	0,32
Novembro	-0,74	-0,53	-0,74	-0,74	-0,74
Dezembro	-1,60	-1,38	-1,60	-1,60	-1,60
Mês	PPD (%)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	56,17	44,65	44,65	44,65	44,65
Fevereiro	67,53	56,17	67,53	67,53	67,53
Março	33,83	33,83	44,65	44,65	44,65
Abril	16,68	10,91	16,68	16,68	16,68
Mai	68,71	49,20	84,82	68,71	84,82
Junho	16,52	7,93	30,71	30,71	30,71
Julho	7,60	15,84	5,00	5,00	5,00
Agosto	7,60	15,84	7,60	7,60	7,60
Setembro	7,93	5,00	7,93	7,93	7,93
Outubro	7,14	10,96	7,14	7,14	7,14
Novembro	16,68	10,91	16,68	16,68	16,68
Dezembro	56,17	44,65	56,17	56,17	56,17

Na ZNT 1.4 a aplicação do isolante no edifício, situado em Lisboa, à exceção dos meses de Julho, Agosto e Outubro, melhora as condições de conforto térmico que se traduz numa diminuição do PPD. Nos meses de Julho e Agosto, a aplicação do XPS 100 aumenta a sensação de frio no interior do edifício, vestindo uma t-shirt e uns calções, como se verifica na Tabela 34. O aumento da espessura do isolante nos meses de Julho a Outubro as condições de conforto térmico melhoram, já nos restantes meses acontece o contrário. A aplicação do PCM não traz qualquer alteração nos parâmetros de conforto térmico.

Tabela 35: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.5 para Lisboa

ZNT1.5					
Mês	PMV (-)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	-1,09	-1,60	-1,60	-1,60	-1,60
Fevereiro	-1,81	-1,81	-1,81	-1,81	-1,81
Março	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38
Abril	-0,74	-0,74	-0,42	-0,42	-0,42
Maio	-1,41	-0,69	-1,25	-1,41	-1,25
Junho	-0,12	-0,20	-0,79	-0,12	-0,79
Julho	0,39	1,01	0,44	0,44	0,44
Agosto	0,39	1,01	0,39	0,39	0,39
Setembro	-0,20	0,44	-0,20	-0,20	-0,20
Outubro	0,25	0,60	0,89	0,89	0,89
Novembro	-0,57	-0,42	-0,42	-0,42	-0,42
Dezembro	-1,09	-1,60	-1,60	-1,60	-1,60
Mês	PPD (%)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	30,06	56,17	56,17	56,17	56,17
Fevereiro	67,53	67,53	67,53	67,53	67,53
Março	44,65	44,65	44,65	44,65	44,65
Abril	16,68	16,68	8,68	8,68	8,68
Maio	46,05	14,91	37,84	46,05	37,84
Junho	5,30	5,83	18,16	5,30	18,16
Julho	8,17	26,57	9,13	9,13	9,13
Agosto	8,17	2,57	8,17	8,17	8,17
Setembro	5,83	9,13	5,83	5,83	5,83
Outubro	6,30	12,55	21,57	21,57	21,57
Novembro	11,91	8,68	8,68	8,68	8,68
Dezembro	30,06	56,17	56,17	56,17	56,17

A ZNT 1.5 é caracterizada pela sensação de neutralidade térmica a levemente frio, sendo que nos meses onde se sente mais frio são os meses de Janeiro, Fevereiro, Março e Dezembro, de acordo com a Tabela 35. A aplicação de isolante e PCM não se traduzem numa melhoria significativa das condições de conforto térmico, pois onde se obtinha uma sensação de neutralidade esta evolui para levemente frio e de Levemente frio manteve-se levemente frio não chegando a evoluir para frio.

Tabela 36: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.6 para Lisboa

ZNT1.6					
Mês	PMV (-)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	-1,09	-1,60	-1,60	-1,60	-1,60
Fevereiro	-1,09	-1,09	-1,09	-1,09	-1,09
Março	-1,38	-1,38	-1,60	-1,38	-1,60
Abril	-0,74	-0,74	-0,42	-0,42	-0,42
Mai	-1,41	-0,69	-1,25	-1,25	-1,25
Junho	-0,12	-0,20	-0,79	-0,79	-0,79
Julho	0,39	0,39	0,44	0,44	-0,20
Agosto	0,39	1,01	0,44	0,44	0,44
Setembro	-0,20	0,44	-0,12	-0,20	-0,12
Outubro	0,89	0,60	0,89	0,89	0,89
Novembro	-0,57	-0,42	-0,42	-0,42	-0,42
Dezembro	-1,09	-1,60	-1,60	-1,09	-1,60

Mês	PPD (%)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	30,06	56,17	56,17	56,17	56,17
Fevereiro	30,06	30,06	30,06	30,06	30,06
Março	44,65	44,65	56,17	44,65	56,17
Abril	16,68	16,68	8,68	8,68	8,68
Mai	46,05	14,91	37,84	37,84	37,84
Junho	5,30	5,83	18,16	18,16	18,16
Julho	8,17	8,17	9,13	9,13	5,83
Agosto	8,17	26,57	9,13	9,13	9,13
Setembro	5,83	9,13	5,30	5,83	5,30
Outubro	21,57	12,55	21,57	21,57	21,57
Novembro	11,91	8,68	8,68	8,68	8,68
Dezembro	30,06	56,17	56,17	30,06	56,17

Na ZNT 1.6 nos meses de Janeiro e Dezembro a aplicação do XPS 50 traduz-se na redução das condições de conforto, aumentando a sensação de frio que se sentia no interior do edifício construído apenas em granito. Nos restantes meses este isolante ou não altera a temperatura interior, ou aumenta as condições de conforto térmico que se traduz numa diminuição do número de pessoas desconfortáveis com essas condições interiores do edifício. Aumentar a espessura do isolante leva à redução da sensação de frio nos meses de Julho, Agosto e Setembro dentro do edifício, já nos restantes meses este isolante não tem qualquer interferência. Pela análise da Tabela 36, conclui-se que o PCM não melhora o desempenho térmico do edifício, pois as condições de conforto térmico fornecidas pelo isolante não sofrem alterações.

Nas tabelas 37, 38, 39, 40, 41 e 42 são apresentados os parâmetros de conforto térmico de Fanger, PMV, para o desenrolar do dia mais frio (31 de Janeiro) e mais quente (17 de Julho) do ano, para o edifício construído no distrito de Lisboa. Também se apresenta os PPD para estes dois dias na forma de gráfico, nas Figura 126 a Figura 137.

Tabela 37: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.1 para Lisboa

ZNT 1.1					
Hora	PMV Verão				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
2	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
3	-0,37	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
4	-0,37	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
5	-0,37	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
6	-0,37	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
7	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
8	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
9	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
10	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
11	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
12	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
13	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
14	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
15	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
16	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
17	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
18	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
19	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
20	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
21	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
22	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
23	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
24	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
Hora	PMV Inverno				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,00	-1,96	-1,99	-1,95	-1,99
2	-2,03	-1,98	-2,01	-1,98	-2,01
3	-2,05	-2,00	-2,03	-2,00	-2,04
4	-2,07	-2,02	-2,05	-2,02	-2,06
5	-2,09	-2,05	-2,07	-2,04	-2,07

6	-2,12	-2,06	-2,09	-2,06	-2,09
7	-2,14	-2,09	-2,11	-2,08	-2,12
8	-2,15	-2,10	-2,13	-2,09	-2,13
9	-2,12	-2,06	-2,09	-2,05	-2,09
10	-2,07	-2,01	-2,04	-2,00	-2,04
11	-2,00	-1,94	-1,97	-1,93	-1,97
12	-1,92	-1,87	-1,90	-1,86	-1,89
13	-1,88	-1,82	-1,85	-1,81	-1,84
14	-1,85	-1,80	-1,83	-1,79	-1,82
15	-1,84	-1,79	-1,81	-1,78	-1,81
16	-1,83	-1,79	-1,81	-1,78	-1,81
17	-1,86	-1,82	-1,84	-1,81	-1,84
18	-1,91	-1,87	-1,89	-1,86	-1,89
19	-1,96	-1,91	-1,94	-1,90	-1,94
20	-1,99	-1,95	-1,98	-1,94	-1,97
21	-2,02	-1,98	-2,00	-1,97	-2,00
22	-2,05	-2,00	-2,03	-2,00	-2,03
23	-2,08	-2,03	-2,05	-2,02	-2,05
24	-2,10	-2,05	-2,07	-2,04	-2,07

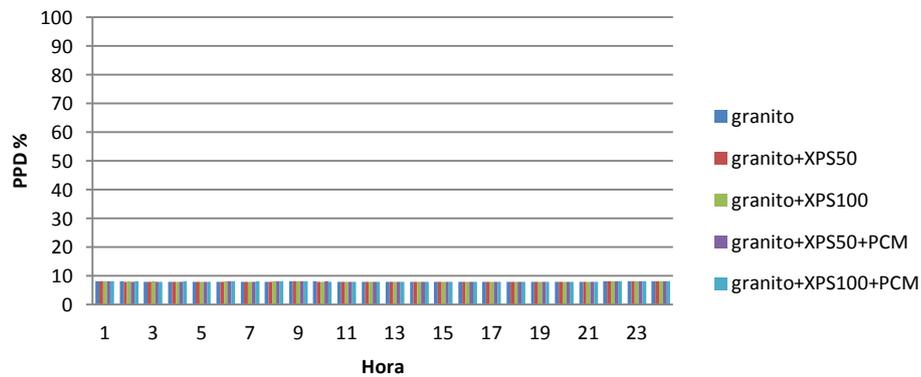


Figura 126: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.1 em Lisboa

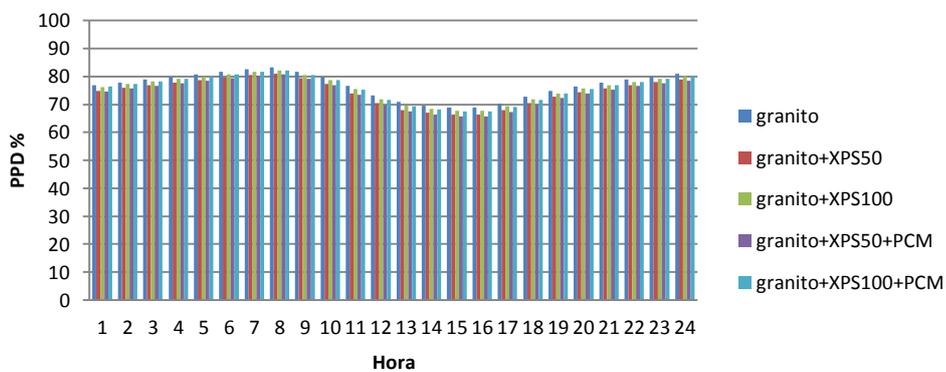


Figura 127: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.1 em Lisboa

Tabela 38: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.2 para Lisboa

ZNT 1.2					
Hora	PMV Verão				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
2	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
3	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
4	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
5	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
6	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
7	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
8	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
9	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
10	-2,93	-2,94	-2,94	-2,93	-2,94
11	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
12	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
13	-2,94	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
14	-2,94	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
15	-2,94	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
16	-2,94	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
17	-2,94	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
18	-2,94	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
19	-2,94	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
20	-2,94	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
21	-2,94	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
22	-2,94	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
23	-2,94	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94
24	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
Hora	PMV Inverno				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-1,99	-1,87	-1,88	-1,85	-1,88
2	-2,02	-1,89	-1,90	-1,87	-1,90
3	-2,05	-1,91	-1,92	-1,89	-1,92
4	-2,08	-1,92	-1,94	-1,91	-1,94
5	-2,11	-1,94	-1,96	-1,93	-1,95
6	-2,14	-1,96	-1,97	-1,94	-1,97
7	-2,17	-1,98	-1,99	-1,96	-1,99
8	-2,20	-1,99	-2,00	-1,98	-2,00
9	-2,21	-1,99	-2,00	-1,97	-2,00
10	-2,19	-1,96	-1,97	-1,94	-1,97
11	-2,15	-1,92	-1,93	-1,90	-1,92

12	-2,08	-1,86	-1,87	-1,84	-1,87
13	-1,99	-1,78	-1,79	-1,77	-1,79
14	-1,88	-1,70	-1,71	-1,69	-1,71
15	-1,83	-1,67	-1,68	-1,66	-1,68
16	-1,81	-1,68	-1,69	-1,66	-1,68
17	-1,83	-1,71	-1,72	-1,69	-1,71
18	-1,86	-1,76	-1,76	-1,74	-1,76
19	-1,91	-1,81	-1,82	-1,79	-1,81
20	-1,96	-1,84	-1,86	-1,83	-1,85
21	-2,00	-1,87	-1,88	-1,85	-1,88
22	-2,03	-1,90	-1,91	-1,88	-1,90
23	-2,06	-1,92	-1,93	-1,90	-1,92
24	-2,09	-1,94	-1,95	-1,92	-1,94

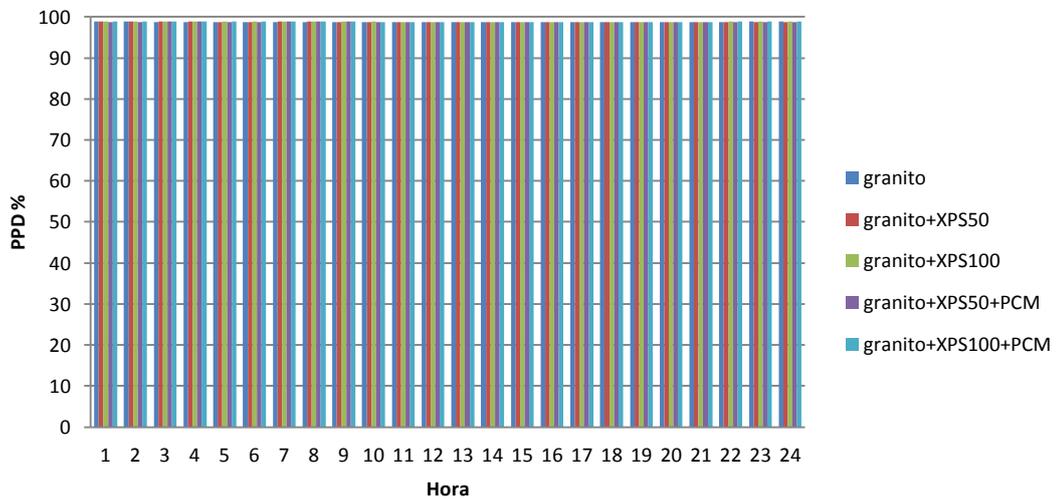


Figura 128: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.2 em Lisboa

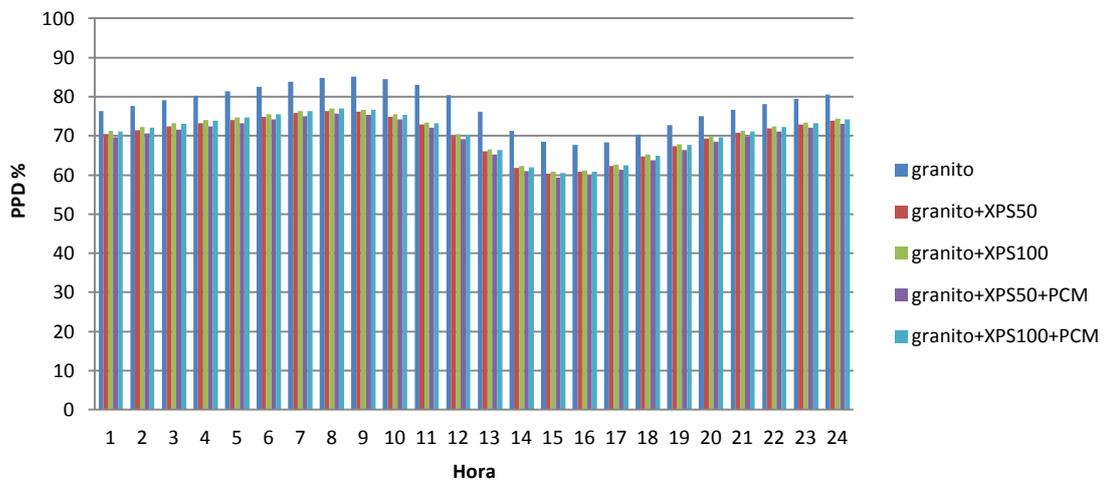


Figura 129: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.2 em Lisboa

Tabela 39: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.3 para Lisboa

ZNT 1.3					
Hora	PMV Verão				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,93	-2,93	-2,93	-2,92	-2,93
2	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93	-2,92
3	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
4	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
5	-2,92	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
6	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
7	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
8	-2,92	-2,92	-2,92	-2,93	-2,93
9	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
10	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
11	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
12	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
13	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
14	-2,91	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
15	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
16	-2,91	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
17	-2,91	-2,93	-2,93	-2,92	-2,93
18	-2,92	-2,92	-2,92	-2,93	-2,92
19	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
20	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
21	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
22	-2,92	-2,92	-2,93	-2,92	-2,92
23	-2,92	-2,92	-2,92	-2,93	-2,93
24	-2,93	-2,93	-2,93	-2,92	-2,93
Hora	PMV Inverno				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-1,82	-1,48	-1,45	-1,47	-1,45
2	-1,85	-1,50	-1,47	-1,48	-1,47
3	-1,88	-1,52	-1,49	-1,50	-1,49
4	-1,91	-1,53	-1,51	-1,52	-1,51
5	-1,94	-1,55	-1,53	-1,54	-1,53
6	-1,97	-1,57	-1,54	-1,56	-1,54
7	-2,00	-1,59	-1,56	-1,58	-1,56
8	-2,01	-1,58	-1,56	-1,57	-1,55
9	-1,86	-1,39	-1,37	-1,37	-1,36
10	-1,78	-1,29	-1,28	-1,27	-1,27
11	-1,69	-1,17	-1,17	-1,16	-1,16

12	-1,64	-1,14	-1,13	-1,13	-1,12
13	-1,64	-1,18	-1,17	-1,16	-1,16
14	-1,63	-1,21	-1,19	-1,19	-1,19
15	-1,62	-1,22	-1,21	-1,21	-1,20
16	-1,62	-1,25	-1,23	-1,23	-1,23
17	-1,65	-1,29	-1,27	-1,28	-1,27
18	-1,69	-1,34	-1,32	-1,33	-1,32
19	-1,74	-1,38	-1,36	-1,37	-1,36
20	-1,77	-1,42	-1,39	-1,40	-1,39
21	-1,80	-1,44	-1,42	-1,43	-1,42
22	-1,84	-1,47	-1,44	-1,46	-1,44
23	-1,87	-1,49	-1,47	-1,48	-1,47
24	-1,90	-1,51	-1,49	-1,50	-1,49

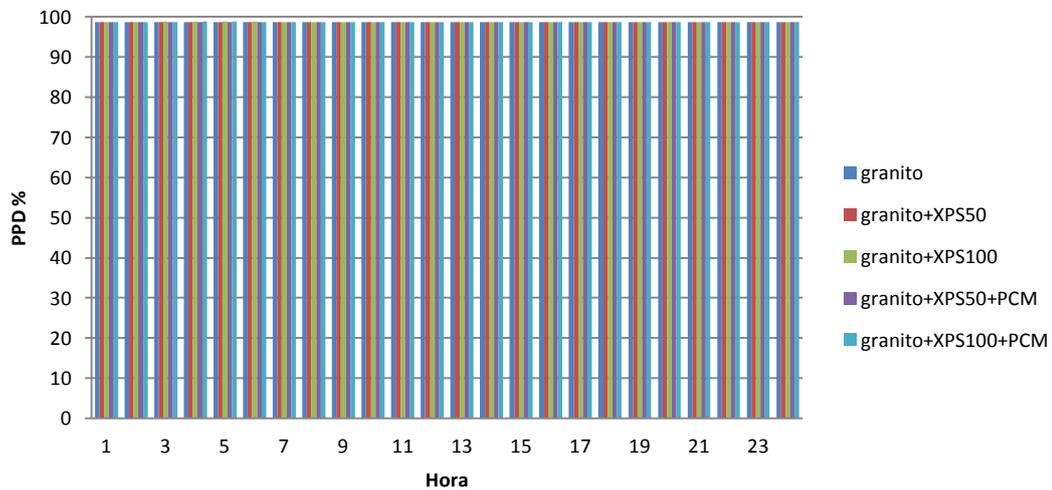


Figura 130: PPD no dia mais quente, na ZNT1.3 em Lisboa

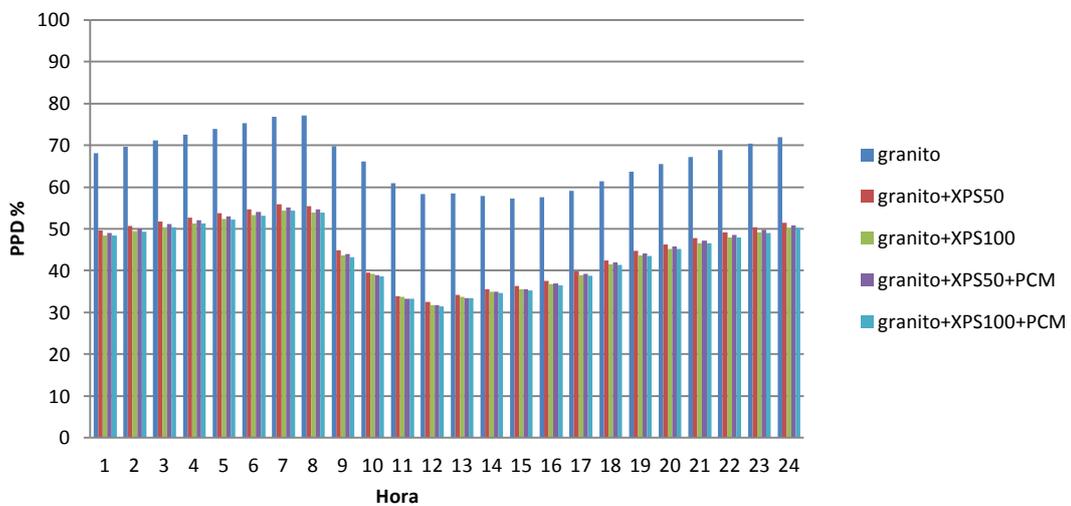


Figura 131: PPD no dia mais frio, na ZNT1.3 em Lisboa

Tabela 40: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.4 para Lisboa

ZNT 1.4					
Hora	PMV Verão				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
2	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
3	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
4	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
5	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
6	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
7	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
8	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
9	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
10	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
11	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
12	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
13	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
14	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
15	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
16	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
17	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
18	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
19	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
20	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
21	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
22	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
23	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
24	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
Hora	PMV Inverno				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,21	-2,14	-2,18	-2,13	-2,18
2	-2,23	-2,16	-2,20	-2,14	-2,20
3	-2,24	-2,17	-2,21	-2,15	-2,21
4	-2,25	-2,18	-2,22	-2,17	-2,22
5	-2,27	-2,20	-2,24	-2,18	-2,23
6	-2,28	-2,21	-2,25	-2,19	-2,25
7	-2,30	-2,23	-2,27	-2,21	-2,26
8	-2,31	-2,23	-2,27	-2,22	-2,27
9	-2,29	-2,21	-2,25	-2,19	-2,25
10	-2,26	-2,18	-2,22	-2,17	-2,22
11	-2,23	-2,15	-2,19	-2,14	-2,19

12	-2,20	-2,12	-2,16	-2,10	-2,15
13	-2,15	-2,08	-2,11	-2,06	-2,11
14	-2,12	-2,04	-2,08	-2,02	-2,07
15	-2,10	-2,02	-2,06	-2,00	-2,05
16	-2,09	-2,02	-2,05	-2,00	-2,05
17	-2,12	-2,04	-2,08	-2,03	-2,08
18	-2,16	-2,09	-2,12	-2,07	-2,12
19	-2,19	-2,12	-2,16	-2,10	-2,15
20	-2,21	-2,14	-2,18	-2,12	-2,17
21	-2,23	-2,16	-2,19	-2,14	-2,19
22	-2,24	-2,17	-2,21	-2,16	-2,21
23	-2,26	-2,19	-2,22	-2,17	-2,22
24	-2,27	-2,20	-2,24	-2,19	-2,24

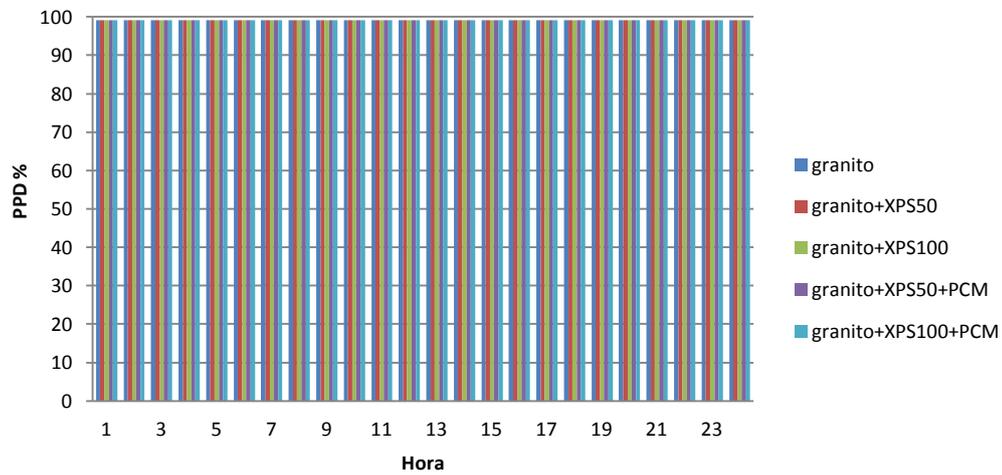


Figura 132: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.4 em Lisboa

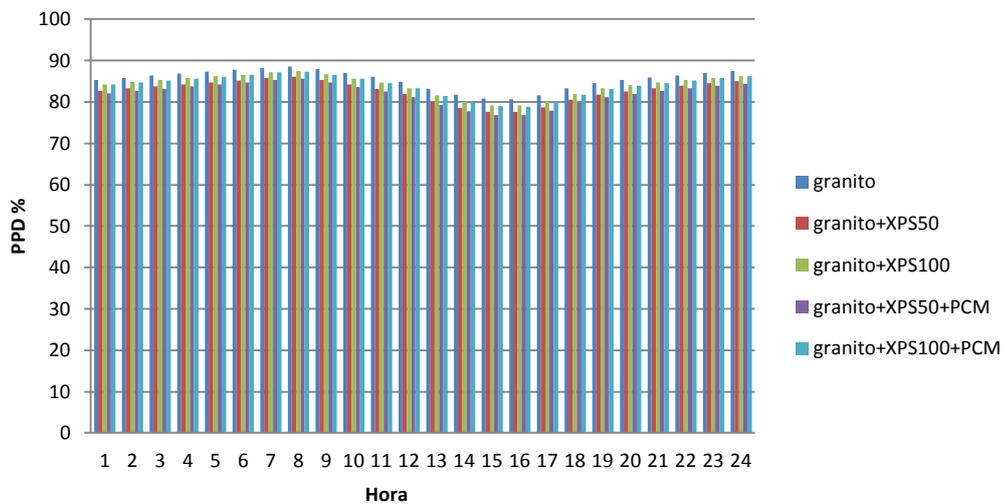


Figura 133: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.4 em Lisboa

Tabela 41: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.5 para Lisboa

ZNT 1.5					
Hora	PMV Verão				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,92	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
2	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
3	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
4	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,93
5	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
6	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
7	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
8	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
9	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
10	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
11	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
12	-2,93	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
13	-2,92	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
14	-2,92	-2,93	-2,94	-2,93	-2,93
15	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
16	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
17	-2,92	-2,93	-2,94	-2,93	-2,93
18	-2,92	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
19	-2,93	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
20	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
21	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
22	-2,92	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
23	-2,92	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
24	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
Hora	PMV Inverno				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,07	-1,92	-1,92	-1,90	-1,91
2	-2,10	-1,93	-1,93	-1,91	-1,93
3	-2,13	-1,95	-1,95	-1,93	-1,94
4	-2,16	-1,96	-1,96	-1,94	-1,96
5	-2,19	-1,98	-1,97	-1,96	-1,97
6	-2,22	-1,99	-1,99	-1,97	-1,98
7	-2,25	-2,01	-2,00	-1,99	-2,00
8	-2,28	-2,02	-2,01	-2,00	-2,01
9	-2,28	-2,00	-2,00	-1,98	-1,99
10	-2,27	-1,97	-1,97	-1,95	-1,96
11	-2,23	-1,94	-1,93	-1,91	-1,92
12	-2,18	-1,89	-1,89	-1,87	-1,88

13	-2,12	-1,84	-1,83	-1,82	-1,83
14	-2,04	-1,78	-1,78	-1,76	-1,77
15	-1,99	-1,75	-1,74	-1,73	-1,74
16	-1,96	-1,75	-1,74	-1,73	-1,74
17	-1,96	-1,78	-1,77	-1,76	-1,76
18	-1,98	-1,82	-1,82	-1,80	-1,81
19	-2,01	-1,86	-1,86	-1,84	-1,85
20	-2,04	-1,89	-1,89	-1,87	-1,88
21	-2,07	-1,91	-1,91	-1,89	-1,90
22	-2,10	-1,93	-1,93	-1,91	-1,92
23	-2,13	-1,95	-1,95	-1,93	-1,94
24	-2,16	-1,97	-1,96	-1,95	-1,96

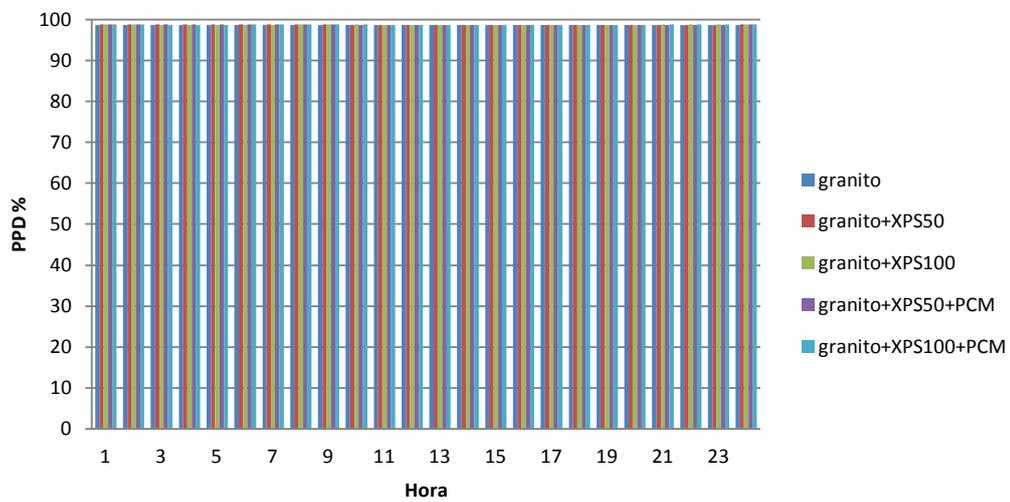


Figura 134: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.5 em Lisboa

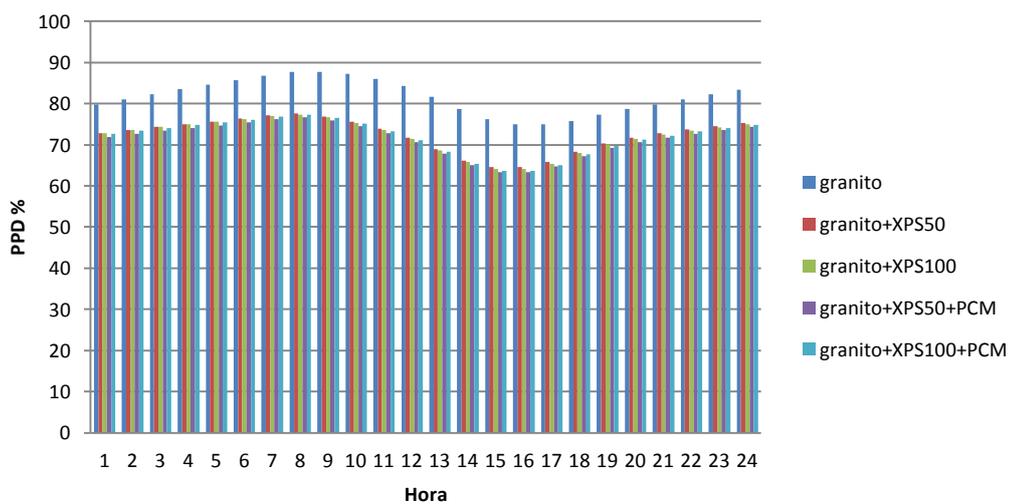


Figura 135: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.5 em Lisboa

Tabela 42: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.6 para Lisboa

ZNT 1.6					
Hora	PMV Verão				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,94	-2,94	-2,94	-2,93	-2,94
2	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
3	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
4	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
5	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
6	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
7	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
8	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
9	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
10	-2,94	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
11	-2,94	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
12	-2,94	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
13	-2,93	-2,92	-2,93	-2,92	-2,93
14	-2,93	-2,92	-2,93	-2,92	-2,92
15	-2,93	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
16	-2,93	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
17	-2,93	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
18	-2,93	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
19	-2,93	-2,92	-2,93	-2,92	-2,93
20	-2,93	-2,92	-2,93	-2,92	-2,93
21	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
22	-2,93	-2,93	-2,94	-2,93	-2,93
23	-2,93	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
24	-2,94	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
Hora	PMV Inverno				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,04	-1,96	-1,99	-1,94	-1,98
2	-2,07	-1,97	-2,00	-1,95	-2,00
3	-2,09	-1,99	-2,02	-1,97	-2,01
4	-2,11	-2,00	-2,03	-1,98	-2,03
5	-2,14	-2,02	-2,04	-2,00	-2,04
6	-2,16	-2,03	-2,06	-2,01	-2,05
7	-2,19	-2,05	-2,07	-2,03	-2,07
8	-2,21	-2,06	-2,08	-2,04	-2,08
9	-2,22	-2,05	-2,08	-2,03	-2,08
10	-2,22	-2,04	-2,06	-2,02	-2,06
11	-2,19	-2,01	-2,03	-1,99	-2,03

12	-2,15	-1,98	-2,00	-1,96	-1,99
13	-2,09	-1,93	-1,95	-1,91	-1,95
14	-2,02	-1,88	-1,90	-1,86	-1,90
15	-1,97	-1,85	-1,87	-1,83	-1,87
16	-1,95	-1,85	-1,87	-1,83	-1,86
17	-1,95	-1,86	-1,88	-1,84	-1,88
18	-1,97	-1,89	-1,91	-1,87	-1,91
19	-2,00	-1,92	-1,94	-1,90	-1,94
20	-2,03	-1,95	-1,97	-1,93	-1,97
21	-2,06	-1,97	-1,99	-1,95	-1,99
22	-2,08	-1,99	-2,01	-1,97	-2,00
23	-2,11	-2,00	-2,02	-1,98	-2,02
24	-2,13	-2,02	-2,04	-2,00	-2,03

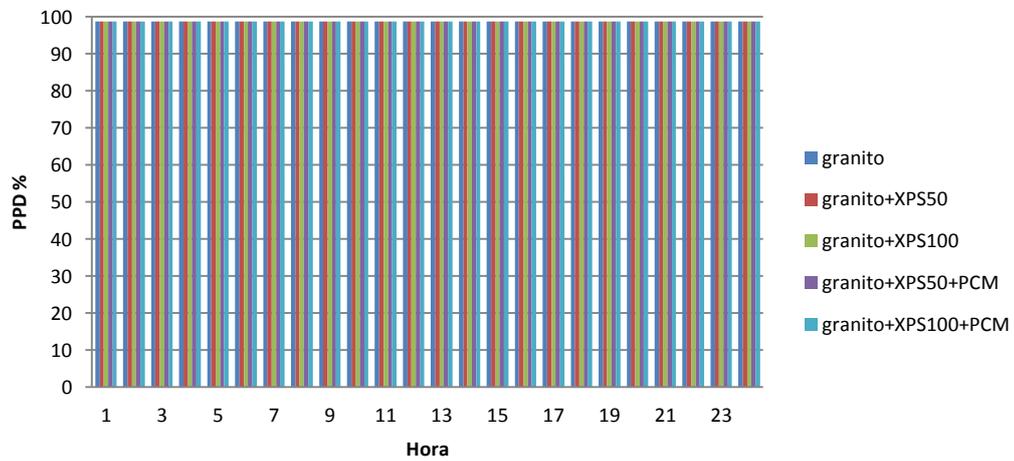


Figura 136: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.6 em Lisboa

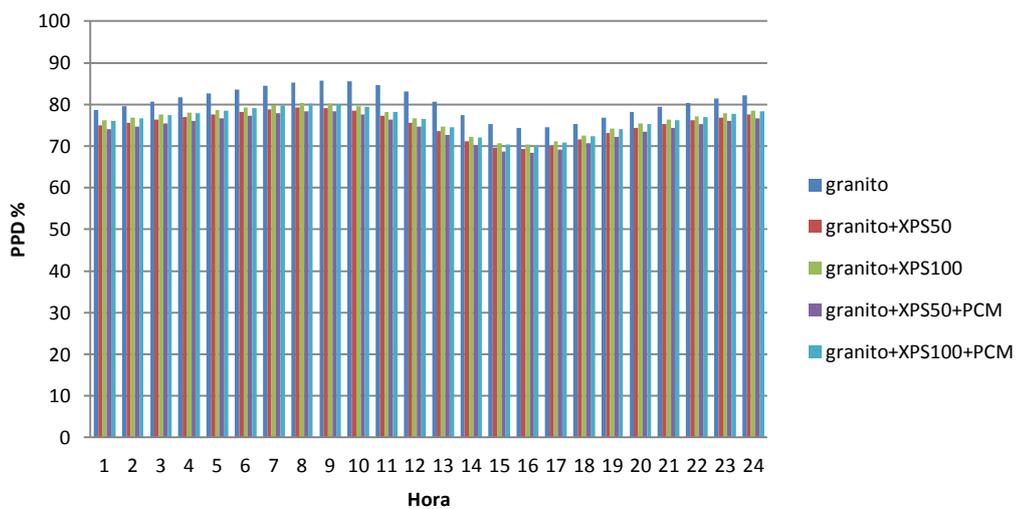


Figura 137: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.6 em Lisboa

Pela análise da Tabela 37, para a ZNT 1.1 verifica-se que no dia mais quente do ano, representativo do que se passa no Verão, a sensação de neutralidade térmica mantém-se constante ao longo do dia e não sofre alteração com a aplicação de isolante nem de PCM. No dia de Inverno, representado pelo dia mais frio, com o aumento da insolação do edifício e consequente aumento da temperatura interna, as condições de desconforto térmico diminuem nunca atingindo as condições de neutralidade térmica. A aplicação do isolante, nesta zona para Lisboa reduz esse desconforto mas não de uma forma significativa, e o aumento da espessura ainda piora o desempenho do isolante. A aplicação de PCM não tem qualquer influência no Verão nem no Inverno.

Pela análise das Tabela 38 à Tabela 42 e das Figura 128 à Figura 137 ,é possível concluir que a aplicação de isolantes não diminui a sensação de frio que se sente dentro do edifício no Verão, nas zonas ZNT 1.2 a 1.6. Isto deve-se ao facto do granito ter uma grande inércia térmica, e a aplicação de isolamento e PCM não vai diminuir nem potenciar essa característica. No Inverno a aplicação do isolante permite que se diminua a sensação de frio dentro do edifício mas não numa escala significativa pois é uma redução muito pequena, não deixando de se sentir frio dentro do edifício. O PCM não tem implicação na redução das condições de conforto térmico no interior do edifício.

Para o distrito da Guarda os parâmetros de conforto térmico mensais que se fazem sentir no edifício construído em granito, com a aplicação de isolamento e com a aplicação de um PCM são apresentados nas Tabela 43, Tabela 44, Tabela 45, Tabela 46 , Tabela 47 e Tabela 48.

Tabela 43: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.1 para a Guarda

ZNT1.1					
Mês	PMV (-)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	-2,64	-2,64	-2,64	-2,64	-2,64
Fevereiro	-2,64	-2,64	-2,64	-2,64	-2,64
Março	-2,03	-2,23	-2,23	-2,23	-2,23
Abril	-2,03	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62
Mai	-0,59	-0,59	-0,80	-0,80	-0,80
Junho	0,02	0,02	-0,18	-0,18	-0,18
Julho	1,03	1,03	0,84	0,84	0,84
Agosto	1,24	1,03	1,03	1,03	1,03
Setembro	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Outubro	0,25	0,40	0,40	0,40	0,40
Novembro	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06
Dezembro	-2,03	-2,64	-2,03	-2,03	-2,03
Mês	PPD (%)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	95,93	95,93	95,93	95,93	95,93
Fevereiro	95,93	95,93	95,93	95,93	95,93
Março	77,99	86,04	86,04	86,04	86,04
Abril	77,99	57,35	57,35	57,35	57,35
Mai	12,30	12,30	18,51	18,51	18,51
Junho	5,01	5,01	5,67	5,67	5,67
Julho	27,40	27,40	19,72	19,72	19,72
Agosto	37,43	27,40	27,40	27,40	27,40
Setembro	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33
Outubro	6,30	8,32	8,32	8,32	8,32
Novembro	28,76	28,76	28,76	28,76	28,76
Dezembro	78,30	95,93	78,30	78,30	78,30

Na ZNT 1.1 a construção em granito fornece a sensação de frio mesmo nos meses de Verão vestindo uma camisola de manga curta e calções, sendo nesta zona a atividade realizada com o nível mais elevado, cozinhar. Isto era de esperar pois devido à inércia térmica do granito o interior do edifício é sempre mais frio que o exterior nos meses mais quentes. Apenas nos meses de Junho e Outubro se obtém a sensação de neutralidade térmica. A aplicação do isolante XPS 50 não aumenta a sensação de conforto térmico nesta zona. Aumentar a espessura do isolante poderia ser uma opção para potenciar os efeitos do XPS 50, mas pela análise da Tabela 43 conclui-se que este aumento de espessura não se traduz nos resultados esperados pois não tem influência nas condições de conforto térmico fornecidas pelo XPS 50.

Tabela 44: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.2 para a Guarda

ZNT1.2					
Mês	PMV (-)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	-2,28	-2,76	-2,52	-2,52	-2,52
Fevereiro	-2,28	-2,52	-2,52	-2,52	-2,52
Março	-1,79	-1,79	-2,03	-2,03	-2,03
Abril	-1,06	-0,75	-1,09	-1,09	-1,09
Mai	-1,82	-2,01	-2,10	-2,10	-2,10
Junho	-1,41	-0,79	-1,25	-1,25	-1,25
Julho	0,44	1,01	-0,20	-0,20	-0,20
Agosto	0,39	1,01	0,44	-0,20	0,44
Setembro	-0,20	-0,12	-0,79	-0,79	-0,79
Outubro	0,40	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09
Novembro	-1,06	-1,55	-1,55	-1,09	-1,55
Dezembro	-2,03	-2,76	-2,52	-2,52	-2,52
Mês	PPD (%)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	87,57	97,47	93,87	93,87	93,87
Fevereiro	87,57	93,87	93,87	93,87	93,87
Março	66,56	66,56	78,30	78,30	78,30
Abril	28,76	16,85	30,06	30,06	30,06
Mai	67,95	77,21	81,10	81,10	81,10
Junho	46,05	18,16	37,84	37,84	37,84
Julho	9,13	26,57	5,83	5,83	5,83
Agosto	8,17	26,57	9,13	5,83	9,13
Setembro	5,83	5,30	18,16	18,16	18,16
Outubro	8,32	5,16	5,16	5,16	5,16
Novembro	28,76	53,50	53,50	30,06	53,50
Dezembro	78,30	97,47	93,87	93,87	93,87

A ZNT 1.2 a aplicação do isolante piora a sensação de conforto térmico na grande maioria dos meses, pois aumenta o número de pessoas que se sentem desconfortáveis com as condições interiores de temperatura. Nos meses de Janeiro e Dezembro essa sensação de frio é acentuada, ou seja, o isolante não reduz a transferência de temperatura entre o interior e o exterior do edifício, diminuindo assim a T_{int} por consequência do arrefecimento da T_{ext} . O aumento do isolante com a aplicação do XPS 100, nos meses de maior frio, relativamente ao XPS 50 permite uma melhoria mínima das condições de conforto. A aplicação do PCM não gera alteração nos parâmetros de conforto térmico fornecidos pelos isolantes. A aplicação do XPS 50 + PCM e o XPS 100 + PCM gera condições de conforto térmico idênticas à aplicação do XPS 100.

Tabela 45: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.3 para a Guarda

ZNT1.3					
Mês	PMV (-)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	-2,52	-2,52	-2,28	-2,03	-2,28
Fevereiro	-2,52	-2,28	-2,28	-2,28	-2,28
Março	-2,03	-1,55	-1,55	-1,55	-1,55
Abril	-0,57	-0,57	-0,57	-0,57	-0,57
Mai	-2,10	-1,41	-1,41	-1,25	-1,25
Junho	-1,25	-0,20	-0,12	-0,79	-0,12
Julho	-0,20	1,57	1,58	0,98	1,58
Agosto	-0,20	1,58	1,58	1,58	1,58
Setembro	-0,79	0,44	0,39	0,39	0,39
Outubro	-0,09	-0,53	-0,11	-0,11	-0,11
Novembro	-1,09	-1,55	-1,06	-1,06	-1,06
Dezembro	-2,52	-2,52	-2,28	-2,03	-2,28
Mês	PPD (%)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	93,87	93,87	87,57	78,30	87,57
Fevereiro	93,87	87,57	87,57	87,57	87,57
Março	78,30	53,50	53,50	53,50	53,50
Abril	11,91	11,91	11,91	11,91	11,91
Mai	81,10	46,05	46,05	37,84	37,84
Junho	37,84	5,83	5,30	18,16	5,30
Julho	5,83	54,71	55,05	25,29	55,05
Agosto	5,83	55,05	55,05	55,05	55,05
Setembro	18,16	9,13	8,17	8,17	8,17
Outubro	5,16	10,91	5,23	5,23	5,23
Novembro	30,06	53,50	28,76	28,76	28,76
Dezembro	93,87	93,87	87,57	78,30	87,57

Pela análise da Tabela 45, conclui-se que o isolamento permite que na ZNT 1.3 o conforto térmico sentido no interior da zona não sofra uma variação significativa, nunca se conseguindo atingir as condições de neutralidade térmica. A interferência sente-se com maior intensidade nos meses de Março, Maio, Junho e Setembro, onde se verifica uma redução do PPD. Nos meses de Julho e Agosto o PPD sofre um subida acentuada com o isolamento, pois dentro nessa zona dentro do edifício as pessoas deixam de se sentir confortáveis com a temperatura interna e passaram a sentir calor. Isto deve-se ao facto de que os ganhos solares com e sem isolantes são os mesmos, mas o isolante diminui a interface entre o interior e o exterior, o que não permite que a temperatura interna arrefeça com o desaparecer do sol (Chvatal, 2007). O PCM aplicado com o XPS 50 permite uma pequena variação do conforto térmico, reduzindo as condições de desconforto térmico da aplicação do XPS 50. Já com o XPS 100 o PCM não tem qualquer influência.

Tabela 46: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.4 para a Guarda

ZNT1.4					
Mês	PMV (-)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	-2,45	-2,88	-2,88	-2,88	-2,88
Fevereiro	-2,45	-2,88	-2,88	-2,88	-2,88
Março	-2,02	-2,45	-2,45	-2,45	-2,45
Abril	-1,17	-1,60	-1,60	-1,81	-1,60
Mai	-2,56	-2,93	-3,00	-3,00	-3,00
Junho	-1,47	-1,83	-1,83	-2,20	-1,83
Julho	0,72	-0,01	-0,01	-0,38	-0,01
Agosto	1,08	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
Setembro	-0,01	-1,10	-1,10	-1,10	-1,10
Outubro	-0,11	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53
Novembro	-1,60	-1,81	-1,81	-1,81	-1,81
Dezembro	-2,45	-2,88	-2,88	-2,88	-2,88

Mês	PPD (%)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	92,30	98,41	98,41	98,41	98,41
Fevereiro	92,30	98,41	98,41	98,41	98,41
Março	77,79	92,30	92,30	92,30	92,30
Abril	33,83	56,17	56,17	67,53	56,17
Mai	94,64	98,74	99,12	99,12	99,12
Junho	49,20	68,71	68,71	84,82	68,71
Julho	15,84	5,00	5,00	7,93	5,00
Agosto	29,71	5,00	5,00	5,00	5,00
Setembro	5,00	30,71	30,71	30,71	30,71
Outubro	5,23	10,91	10,91	10,91	10,91
Novembro	56,17	67,53	67,53	67,53	67,53
Dezembro	92,30	98,41	98,41	98,41	98,41

Na ZNT 1.4, à exceção dos meses de Julho e Agosto, o conforto térmico é prejudicado pela aplicação do isolante. Isto deve-se à redução da transferência de calor entre o exterior e o interior. No Verão na Guarda as diferenças de temperatura entre o dia e a noite são elevadas, e com o pôr do sol a temperatura exterior arrefece e a transferência de calor entre o exterior começa a acontecer de forma a que temperatura interna diminua. Com a aplicação desse isolamento a transferência de calor é reduzida, e como consequência a temperatura interna mantém-se elevada devido aos ganhos solares que são mais elevados nestes dois meses. No Inverno acontece o mesmo, o isolante não permite que os ganhos solares penetrem no edifício e aqueçam a temperatura interna, o que aumenta a sensação de frio. Aumentar a espessura do isolante ainda piora a situação. A aplicação do PCM não trás qualquer alteração no conforto térmico do edifício.

Tabela 47: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.5 para a Guarda

ZNT1.5					
Mês	PMV (-)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	-2,88	-2,76	-2,88	-2,88	-2,88
Fevereiro	-2,88	-2,88	-2,88	-2,88	-2,88
Março	-2,45	-1,79	-2,45	-2,28	-2,28
Abril	-1,09	-0,75	-1,09	-1,09	-1,09
Mai	-3,00	-1,25	-0,42	-0,42	-0,42
Junho	-2,20	-0,12	-1,41	-1,25	-1,25
Julho	-0,38	0,98	0,44	-0,20	-0,74
Agosto	-0,01	1,01	0,44	-0,20	-0,74
Setembro	-1,10	-1,10	-0,79	-0,79	-0,79
Outubro	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09
Novembro	-1,81	-1,79	-1,79	-1,79	-1,79
Dezembro	-2,88	-2,76	-2,76	-2,88	-2,88
Mês	PPD (%)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	98,41	97,47	98,41	98,41	98,41
Fevereiro	98,41	98,41	98,41	98,41	98,41
Março	92,30	66,56	92,30	87,57	87,57
Abril	30,06	16,85	30,06	30,06	30,06
Mai	99,12	37,84	8,68	8,68	8,68
Junho	84,82	5,30	46,05	37,84	37,84
Julho	7,93	25,29	9,13	5,83	16,53
Agosto	5,00	26,57	9,13	5,83	16,53
Setembro	30,71	30,71	18,16	18,16	18,16
Outubro	5,17	5,16	5,16	5,16	5,16
Novembro	67,53	66,56	66,56	66,56	66,56
Dezembro	98,41	97,47	97,47	98,41	98,41

A ZNT 1.5 sofre uma melhoria no conforto térmico após a aplicação do isolante XPS 50, que se traduziu numa diminuição do PPD da construção em granito, como pode verificar pela Tabela 47. As exceções a este comportamento são os meses de Julho e Agosto, como acontece na ZNT 1.4. O aumento da espessura do isolante piorou os parâmetros de conforto térmico assim como a aplicação do isolante em conjunto com o PCM não traz qualquer mais valia ao edifício.

Tabela 48: Parâmetros de conforto mensais na ZNT 1.6 para a Guarda

ZNT1.6					
Mês	PMV (-)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	-2,88	-2,88	-2,76	-2,76	-2,88
Fevereiro	-2,88	-2,88	-2,88	-2,76	-2,76
Março	-2,45	-2,28	-2,03	-2,28	-2,28
Abril	-1,79	-1,55	-1,06	-1,55	-1,55
Maio	-0,42	-0,42	-0,09	-0,42	-0,57
Junho	-1,25	-1,25	-0,79	-1,25	-1,25
Julho	-0,20	-0,20	1,01	-0,20	-0,20
Agosto	-0,20	-0,20	0,39	-0,20	-0,20
Setembro	-0,79	-0,79	-0,12	-0,79	-0,69
Outubro	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09
Novembro	-1,79	-1,79	-1,79	-1,55	-1,55
Dezembro	-2,88	-2,88	-2,52	-2,52	-2,76
Mês	PPD (%)				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
Janeiro	98,41	98,41	97,47	97,47	98,41
Fevereiro	98,41	98,41	98,41	97,47	97,47
Março	92,30	87,57	78,30	87,57	87,57
Abril	66,56	53,50	28,76	53,50	53,50
Maio	8,68	8,68	5,17	8,68	11,91
Junho	37,84	37,84	18,16	37,84	37,84
Julho	5,83	5,83	26,57	5,83	5,83
Agosto	5,83	5,83	8,17	5,83	5,83
Setembro	18,16	18,16	5,30	18,16	14,91
Outubro	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16
Novembro	66,56	66,56	66,56	53,50	53,50
Dezembro	98,41	98,41	93,87	93,87	97,47

Na ZNT 1.6 e pela análise da Tabela 48 se conclui que a aplicação do isolante nos meses de Março e Abril diminui a quantidade de pessoas que se sentem desconfortáveis no interior do edifício, sendo que nos restantes o isolante não tem qualquer influência. O aumento da espessura do isolante potencia a influência do XPS 50. Aplicar o PCM em conjunto com o isolante não é vantajoso pois não vai ter qualquer influência na funcionalidade do isolante no conforto térmico dos indivíduos no interior do edifício.

O estudo do conforto térmico ao longo do dia é importante para se perceber qual a influência em tempo real do isolante e do PCM no comportamento do edifício. A variação do conforto térmico é determinada pelo PMV e PPD para o dias mais quente e mais frio, e é apresentada na Tabela 49, Tabela 50, Tabela 51, Tabela 52, Tabela 53 e Tabela 54 e da Figura 138 à Figura 149.

Tabela 49: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.1 para a Guarda

ZNT 1.1					
Hora	PMV Verão				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-1,60	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
2	-1,60	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
3	-1,60	-1,61	-1,61	-1,60	-1,61
4	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
5	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
6	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
7	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
8	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
9	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
10	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
11	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
12	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
13	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
14	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
15	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
16	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
17	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
18	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
19	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
20	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
21	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
22	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
23	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
24	-1,60	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
Hora	PMV Inverno				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,12	-2,13	-2,09	-2,13	-2,11
2	-2,14	-2,15	-2,12	-2,15	-2,13
3	-2,16	-2,17	-2,15	-2,17	-2,14
4	-2,18	-2,18	-2,18	-2,18	-2,16
5	-2,19	-2,20	-2,21	-2,20	-2,17
6	-2,21	-2,21	-2,24	-2,21	-2,19
7	-2,23	-2,22	-2,26	-2,22	-2,20
8	-2,23	-2,23	-2,27	-2,23	-2,21
9	-2,19	-2,18	-2,23	-2,18	-2,16
10	-2,11	-2,11	-2,18	-2,10	-2,08
11	-2,04	-2,03	-2,12	-2,03	-2,00
12	-1,94	-1,94	-2,05	-1,93	-1,91

13	-1,86	-1,86	-1,97	-1,85	-1,83
14	-1,77	-1,77	-1,92	-1,76	-1,74
15	-1,69	-1,69	-1,90	-1,68	-1,66
16	-1,65	-1,66	-1,90	-1,64	-1,62
17	-1,69	-1,70	-1,94	-1,69	-1,67
18	-1,79	-1,80	-2,00	-1,80	-1,78
19	-1,87	-1,89	-2,06	-1,88	-1,86
20	-1,92	-1,94	-2,10	-1,94	-1,92
21	-1,97	-1,99	-2,14	-1,99	-1,97
22	-2,00	-2,02	-2,16	-2,02	-2,00
23	-2,04	-2,05	-2,19	-2,05	-2,03
24	-2,06	-2,08	-2,21	-2,08	-2,06

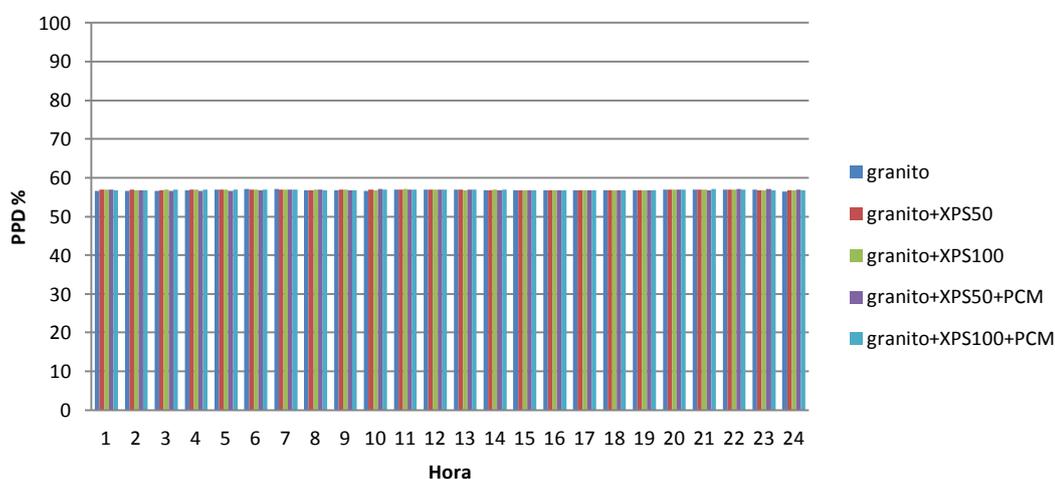


Figura 138: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.1 na Guarda

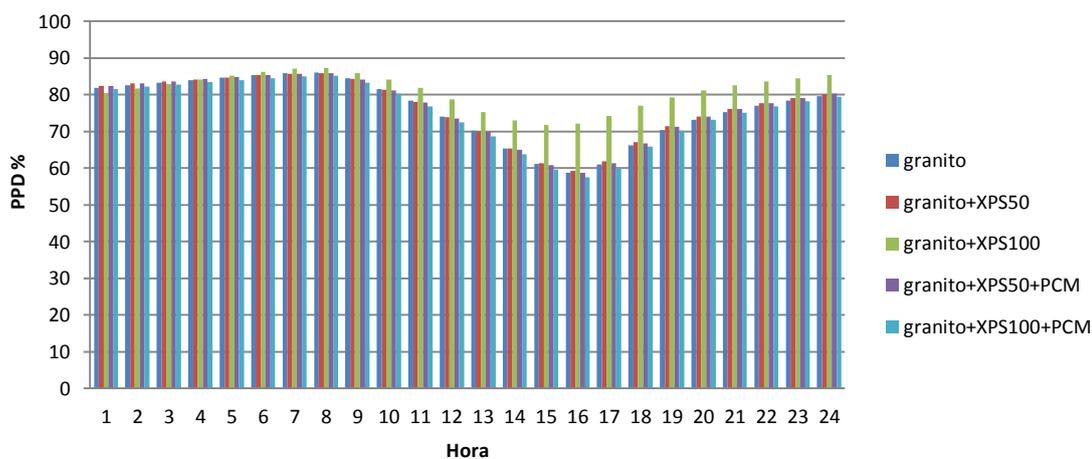


Figura 139: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.1 na Guarda

Tabela 50: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.2 para a Guarda

ZNT 1.2					
Hora	PMV Verão				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
2	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
3	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
4	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
5	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
6	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
7	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
8	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
9	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
10	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
11	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
12	-2,92	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
13	-2,94	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
14	-2,94	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
15	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
16	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
17	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
18	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
19	-2,93	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
20	-2,93	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
21	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
22	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
23	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
24	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
Hora	PMV Inverno				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,13	-2,07	-1,99	-2,06	-2,00
2	-2,16	-2,08	-2,02	-2,08	-2,02
3	-2,20	-2,09	-2,06	-2,09	-2,03
4	-2,23	-2,11	-2,09	-2,11	-2,05
5	-2,27	-2,12	-2,12	-2,12	-2,06
6	-2,31	-2,13	-2,15	-2,13	-2,07
7	-2,35	-2,15	-2,17	-2,15	-2,08
8	-2,38	-2,15	-2,18	-2,15	-2,09
9	-2,40	-2,15	-2,17	-2,15	-2,08
10	-2,37	-2,11	-2,14	-2,11	-2,04
11	-2,31	-2,04	-2,10	-2,04	-1,98
12	-2,18	-1,94	-2,04	-1,93	-1,87

13	-2,02	-1,82	-1,97	-1,82	-1,76
14	-1,87	-1,74	-1,89	-1,74	-1,67
15	-1,76	-1,70	-1,83	-1,69	-1,62
16	-1,69	-1,68	-1,82	-1,67	-1,61
17	-1,66	-1,69	-1,84	-1,69	-1,62
18	-1,68	-1,74	-1,91	-1,73	-1,67
19	-1,74	-1,80	-1,97	-1,79	-1,74
20	-1,81	-1,86	-2,02	-1,86	-1,80
21	-1,88	-1,92	-2,06	-1,92	-1,86
22	-1,94	-1,96	-2,08	-1,96	-1,91
23	-2,00	-2,00	-2,11	-2,00	-1,94
24	-2,05	-2,02	-2,13	-2,02	-1,96

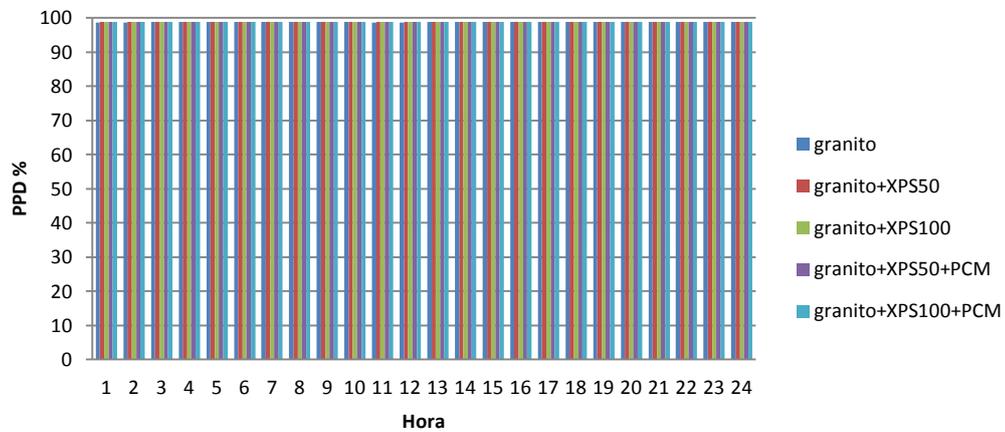


Figura 140: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.2 para a Guarda

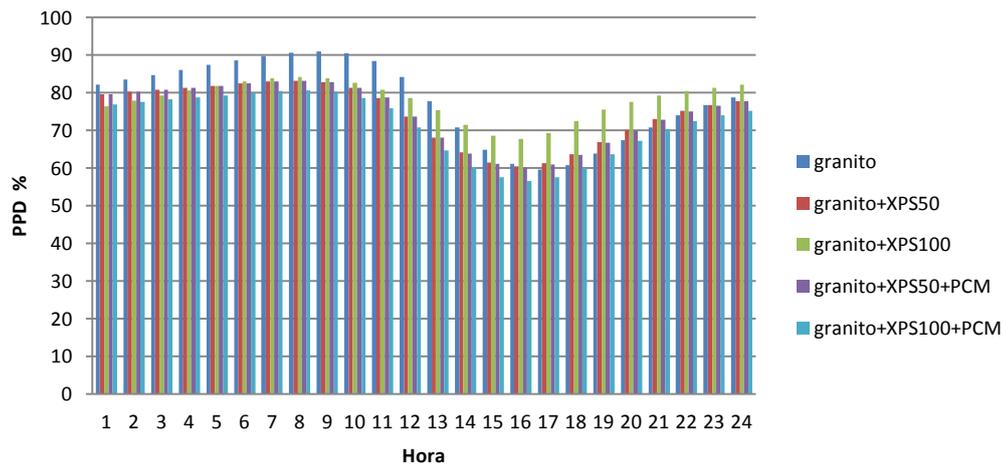


Figura 141: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.2 para a Guarda

Tabela 51: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.3 para a Guarda

ZNT 1.3					
Hora	PMV Verão				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93	-2,92
2	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
3	-2,92	-2,93	-2,93	-2,92	-2,93
4	-2,93	-2,93	-2,93	-2,92	-2,93
5	-2,93	-2,93	-2,93	-2,92	-2,93
6	-2,93	-2,92	-2,93	-2,92	-2,93
7	-2,92	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93
8	-2,92	-2,92	-2,93	-2,92	-2,92
9	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
10	-2,91	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
11	-2,91	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
12	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
13	-2,91	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
14	-2,91	-2,93	-2,91	-2,93	-2,92
15	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
16	-2,91	-2,92	-2,92	-2,92	-2,93
17	-2,91	-2,93	-2,92	-2,93	-2,92
18	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92	-2,92
19	-2,91	-2,92	-2,93	-2,92	-2,93
20	-2,91	-2,92	-2,92	-2,92	-2,93
21	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
22	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93	-2,92
23	-2,92	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
24	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
Hora	PMV Inverno				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-1,85	-1,44	-1,33	-1,44	-1,35
2	-1,89	-1,45	-1,36	-1,46	-1,36
3	-1,93	-1,47	-1,38	-1,47	-1,38
4	-1,97	-1,48	-1,41	-1,49	-1,39
5	-2,01	-1,50	-1,44	-1,50	-1,41
6	-2,05	-1,51	-1,46	-1,52	-1,42
7	-2,08	-1,53	-1,48	-1,53	-1,44
8	-2,09	-1,51	-1,47	-1,51	-1,42
9	-1,90	-1,27	-1,24	-1,27	-1,16
10	-1,75	-1,10	-1,17	-1,09	-1,05
11	-1,66	-1,06	-1,13	-1,06	-1,05
12	-1,60	-1,06	-1,08	-1,06	-1,05

13	-1,58	-1,07	-1,10	-1,06	-1,06
14	-1,52	-1,06	-1,12	-1,06	-1,05
15	-1,46	-1,06	-1,13	-1,06	-1,05
16	-1,43	-1,09	-1,16	-1,09	-1,06
17	-1,46	-1,15	-1,21	-1,15	-1,07
18	-1,51	-1,21	-1,26	-1,21	-1,12
19	-1,56	-1,26	-1,30	-1,27	-1,17
20	-1,61	-1,30	-1,34	-1,30	-1,21
21	-1,65	-1,33	-1,36	-1,33	-1,24
22	-1,69	-1,36	-1,39	-1,36	-1,27
23	-1,73	-1,38	-1,41	-1,39	-1,30
24	-1,78	-1,40	-1,43	-1,41	-1,32

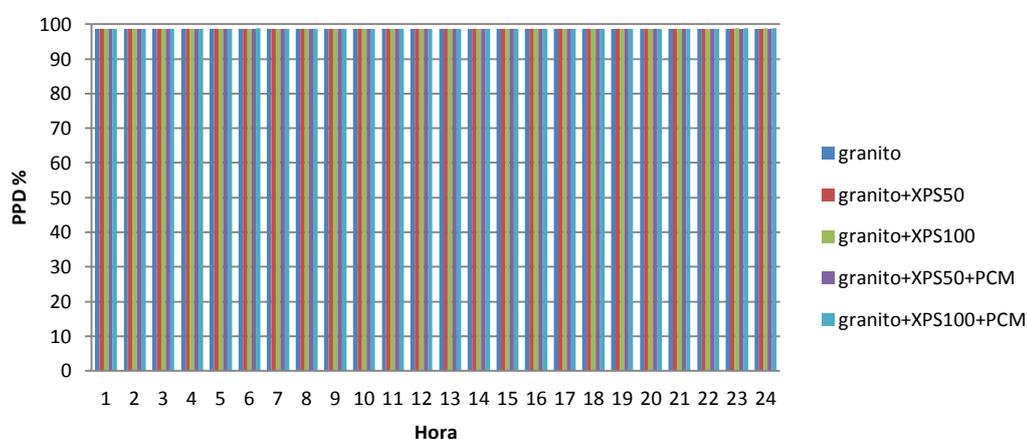


Figura 142: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.3 para a Guarda

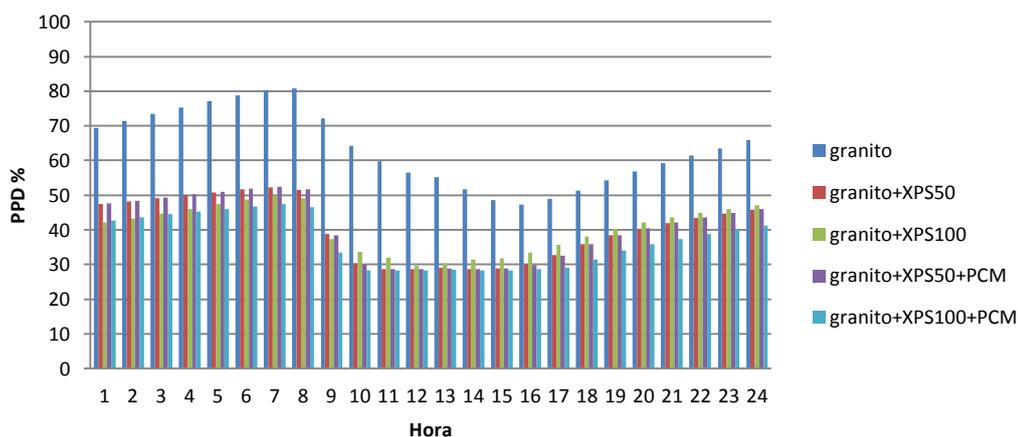


Figura 143: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.3 para a Guarda

Tabela 52: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.4 para a Guarda

ZNT 1.4					
Hora	PMV Verão				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
2	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
3	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
4	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
5	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
6	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
7	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
8	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
9	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
10	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
11	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
12	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
13	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
14	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
15	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
16	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
17	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
18	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
19	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
20	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
21	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
22	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
23	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
24	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
Hora	PMV Inverno				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,44	-2,46	-2,41	-2,45	-2,41
2	-2,45	-2,47	-2,43	-2,46	-2,43
3	-2,46	-2,48	-2,44	-2,47	-2,44
4	-2,47	-2,48	-2,46	-2,48	-2,44
5	-2,49	-2,49	-2,48	-2,49	-2,45
6	-2,50	-2,50	-2,50	-2,50	-2,46
7	-2,50	-2,51	-2,51	-2,51	-2,47
8	-2,50	-2,51	-2,51	-2,50	-2,47
9	-2,48	-2,48	-2,49	-2,48	-2,44
10	-2,45	-2,45	-2,46	-2,45	-2,41
11	-2,42	-2,42	-2,42	-2,41	-2,37
12	-2,37	-2,37	-2,39	-2,37	-2,33

13	-2,32	-2,32	-2,37	-2,31	-2,28
14	-2,26	-2,26	-2,33	-2,25	-2,21
15	-2,21	-2,21	-2,29	-2,21	-2,17
16	-2,19	-2,19	-2,29	-2,18	-2,14
17	-2,21	-2,22	-2,32	-2,21	-2,18
18	-2,27	-2,28	-2,36	-2,27	-2,24
19	-2,32	-2,33	-2,40	-2,33	-2,29
20	-2,35	-2,36	-2,42	-2,36	-2,32
21	-2,37	-2,38	-2,44	-2,38	-2,34
22	-2,39	-2,40	-2,46	-2,40	-2,36
23	-2,40	-2,42	-2,47	-2,42	-2,38
24	-2,42	-2,43	-2,49	-2,43	-2,40

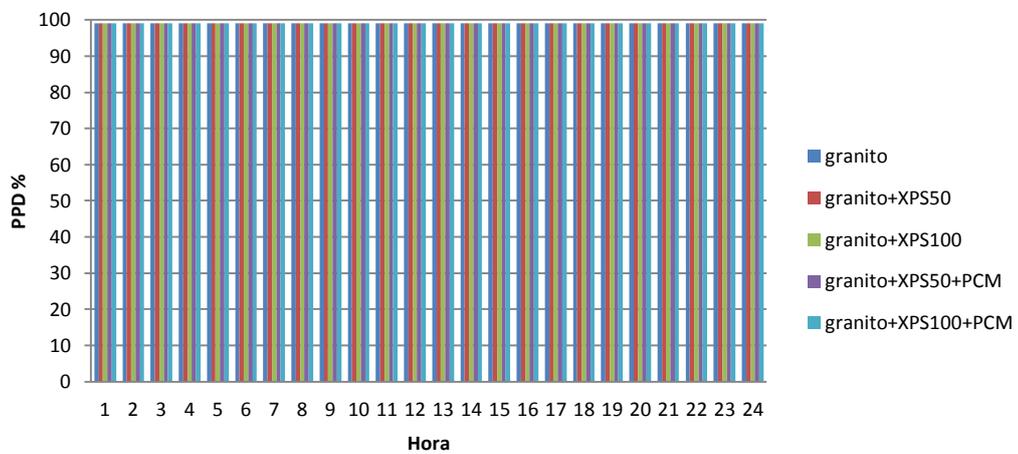


Figura 144: PPD no dia mais quente do ano na ZNT 1.4 para a Guarda

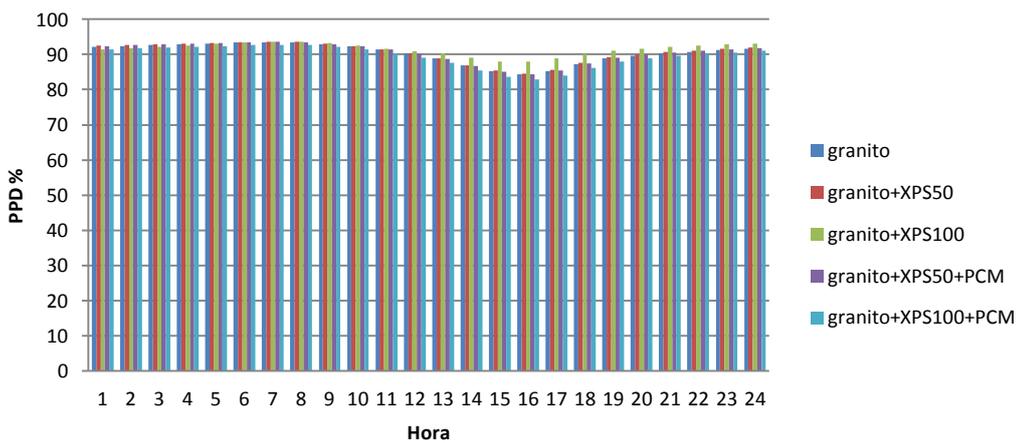


Figura 145: PPD no dia mais frio na ZNT 1.4 para a Guarda

Tabela 53: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.5 para a Guarda

ZNT 1.5					
Hora	PMV Verão				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,93	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94
2	-2,93	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
3	-2,93	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
4	-2,93	-2,94	-2,94	-2,93	-2,94
5	-2,93	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
6	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
7	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
8	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94	-2,94
9	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
10	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
11	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
12	-2,92	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
13	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
14	-2,92	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
15	-2,92	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
16	-2,92	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
17	-2,92	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
18	-2,92	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
19	-2,92	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
20	-2,92	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
21	-2,92	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
22	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
23	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
24	-2,92	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
Hora	PMV Inverno				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,11	-2,20	-2,12	-2,20	-2,12
2	-2,15	-2,21	-2,15	-2,21	-2,13
3	-2,18	-2,22	-2,17	-2,22	-2,14
4	-2,22	-2,23	-2,19	-2,23	-2,15
5	-2,26	-2,24	-2,22	-2,24	-2,16
6	-2,30	-2,25	-2,24	-2,25	-2,17
7	-2,34	-2,26	-2,26	-2,26	-2,18
8	-2,37	-2,27	-2,26	-2,26	-2,18
9	-2,38	-2,25	-2,24	-2,25	-2,16
10	-2,36	-2,22	-2,21	-2,21	-2,13
11	-2,31	-2,17	-2,17	-2,17	-2,08
12	-2,21	-2,10	-2,14	-2,10	-2,02

13	-2,08	-2,03	-2,10	-2,02	-1,94
14	-1,96	-1,97	-2,06	-1,97	-1,88
15	-1,87	-1,94	-2,04	-1,94	-1,85
16	-1,82	-1,94	-2,03	-1,93	-1,85
17	-1,79	-1,96	-2,05	-1,95	-1,87
18	-1,79	-2,00	-2,09	-1,99	-1,91
19	-1,82	-2,04	-2,13	-2,04	-1,96
20	-1,85	-2,08	-2,15	-2,08	-2,01
21	-1,89	-2,11	-2,18	-2,11	-2,04
22	-1,94	-2,14	-2,19	-2,14	-2,06
23	-1,98	-2,16	-2,21	-2,16	-2,08
24	-2,03	-2,18	-2,22	-2,18	-2,10

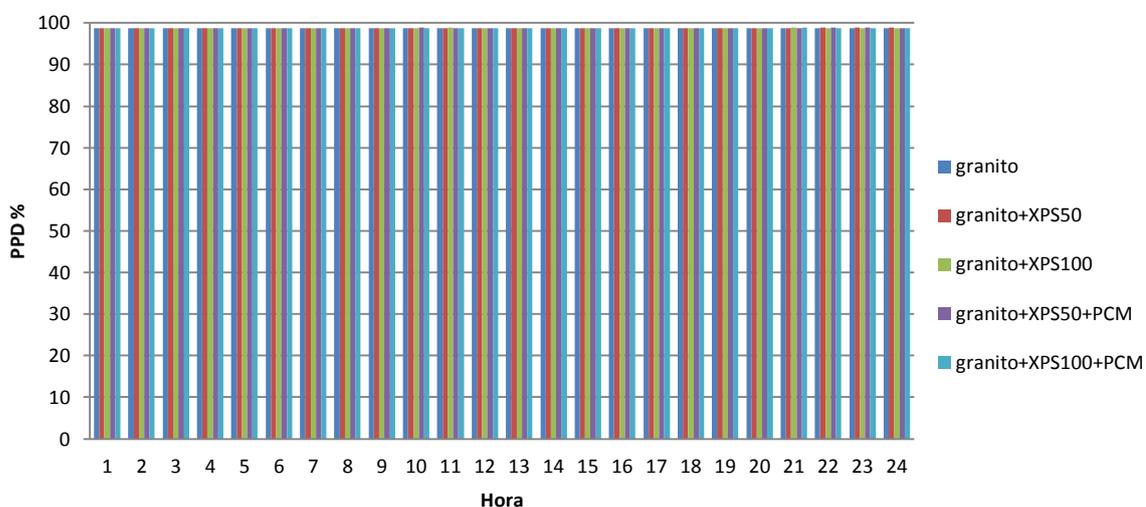


Figura 146: PPD no dia mais quente na ZNT 1.5 para a Guarda

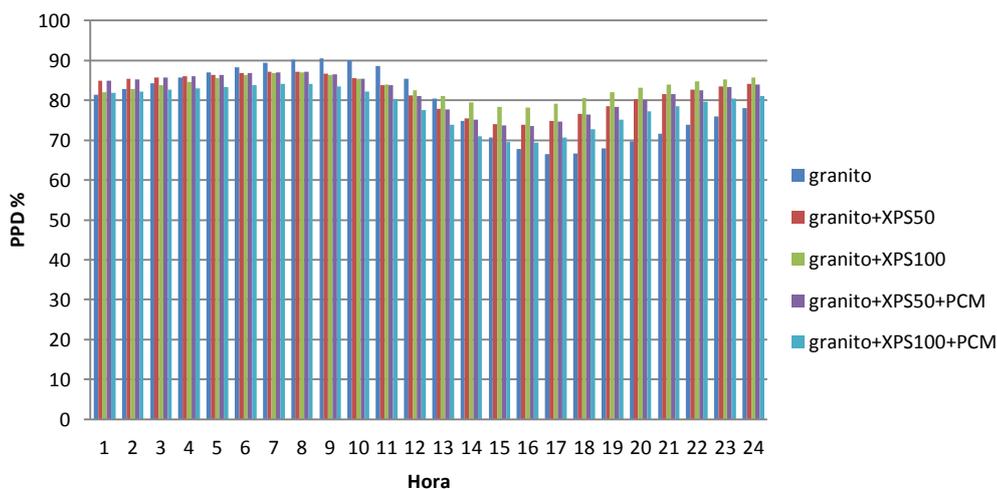


Figura 147: PPD no dia mais frio na ZNT 1.5, para a Guarda

Tabela 54: PMV ao longo do dia mais quente e mais frio na ZNT 1.6 para a Guarda

ZNT 1.6					
Hora	PMV Verão				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
2	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
3	-2,94	-2,94	-2,94	-2,93	-2,94
4	-2,94	-2,94	-2,94	-2,93	-2,94
5	-2,93	-2,94	-2,94	-2,93	-2,94
6	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
7	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
8	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
9	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
10	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
11	-2,94	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
12	-2,94	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
13	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,94
14	-2,93	-2,93	-2,94	-2,93	-2,94
15	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
16	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
17	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
18	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
19	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93
20	-2,93	-2,93	-2,93	-2,93	-2,94
21	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
22	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
23	-2,93	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
24	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94
Hora	PMV Inverno				
	Granito	Granito + XPS 50	Granito + XPS 100	Granito + XPS 50 + PCM	Granito + XPS 100 + PCM
1	-2,25	-2,29	-2,23	-2,29	-2,23
2	-2,28	-2,30	-2,26	-2,30	-2,24
3	-2,30	-2,31	-2,28	-2,31	-2,25
4	-2,33	-2,32	-2,31	-2,32	-2,26
5	-2,37	-2,33	-2,33	-2,33	-2,27
6	-2,40	-2,34	-2,35	-2,34	-2,28
7	-2,43	-2,35	-2,37	-2,35	-2,29
8	-2,46	-2,36	-2,38	-2,36	-2,30
9	-2,48	-2,35	-2,37	-2,35	-2,29
10	-2,47	-2,33	-2,36	-2,33	-2,27
11	-2,43	-2,29	-2,33	-2,29	-2,23
12	-2,35	-2,23	-2,30	-2,23	-2,17

13	-2,24	-2,16	-2,26	-2,16	-2,10
14	-2,14	-2,11	-2,22	-2,11	-2,05
15	-2,06	-2,08	-2,20	-2,08	-2,02
16	-2,01	-2,07	-2,19	-2,07	-2,01
17	-1,97	-2,08	-2,19	-2,08	-2,02
18	-1,97	-2,11	-2,22	-2,10	-2,05
19	-1,99	-2,14	-2,25	-2,14	-2,08
20	-2,03	-2,17	-2,28	-2,17	-2,12
21	-2,07	-2,20	-2,30	-2,20	-2,15
22	-2,10	-2,23	-2,31	-2,22	-2,17
23	-2,14	-2,25	-2,33	-2,25	-2,19
24	-2,18	-2,27	-2,35	-2,26	-2,21

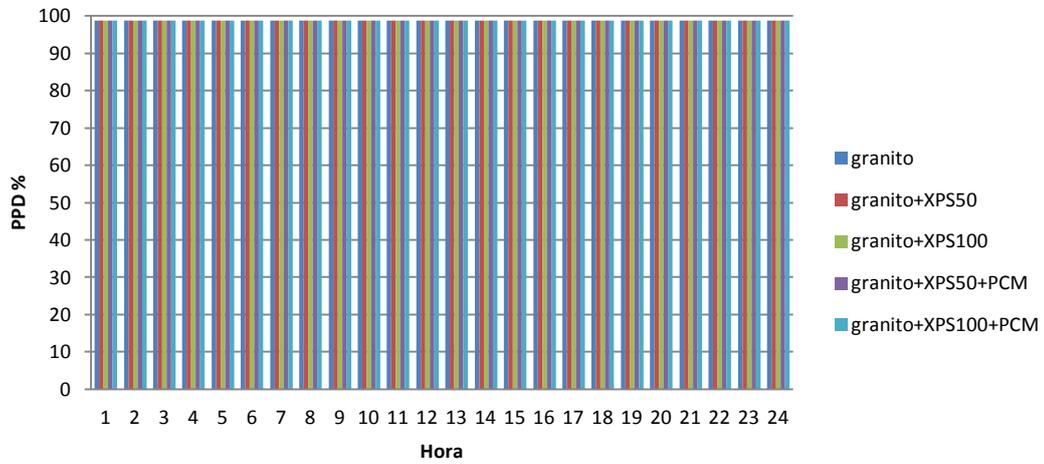


Figura 148: PPD no dia mais quente, na ZNT 1.6 para a Guarda

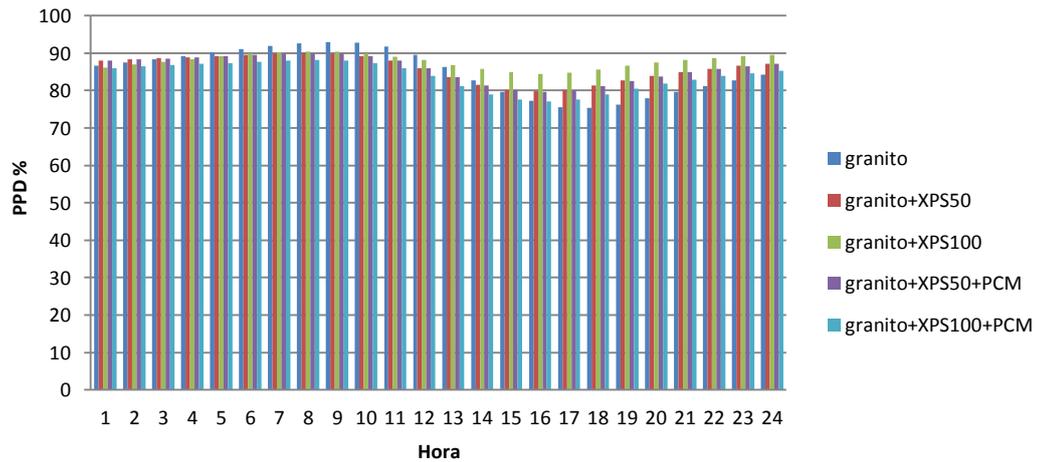


Figura 149: PPD no dia mais frio, na ZNT 1.6 para a Guarda

Na ZNT 1.1 onde a atividade praticada é cozinhar e o vestuário usado no Verão e no Inverno é o mesmo, camisola de manga curta e calções, o PMV no Verão não sofre qualquer alteração com a aplicação do isolante e do PCM. No Inverno a situação altera-se, pois com a aplicação do XPS 100 o PPD aumenta nas horas de maior insolação, ou seja diminui o conforto térmico. O XPS 50 diminui o desconforto sentido dentro do edifício não sendo uma diminuição significativa.

Pela análise da Tabela 51 e das Figura 140 e Figura 141, é possível apurar que no Verão o isolamento não melhora o conforto térmico transmitido pelo edifício, nem melhora com a aplicação do PCM. No Inverno, o isolamento aumentou o conforto térmico do edifício entre a 1 h e as 14 h da tarde. Entre as 11 h e as 24 h do dia mais quente do ano, o isolamento com o XPS 50 diminui o conforto térmico, pois aumenta o número de pessoas desconfortáveis com as condições no interior do edifício mais concretamente a temperatura interna, esse desconforto é aumentado com a aplicação do XPS 100.

A ZNT 1.3 é a zona mais afetada pela aplicação do isolante pois no Inverno a aplicação de isolantes leva a uma redução significativa do PPD, indiciando uma diminuição da sensação de frio no interior do edifício. O aumento da espessura do isolante, no Inverno, entre a 1 h e as 9 h da manhã, leva a uma redução ainda maior mas após essa hora o comportamento inverte-se aumentando novamente o PPD. No Verão o isolamento e a aplicação de PCMs não traz qualquer vantagem ao edifício pois o conforto térmico não é afetado.

Pela análise da Tabela 52 e da Figura 144 verifica-se que no Verão a percentagem de indivíduos desconfortáveis com o frio que se faz sentir dentro desta zona é elevadíssimo, cerca de 100%. Essas condições de desconforto não são modificadas com aplicação do isolante e do PCM. Na Figura 145 observa-se que para o Inverno a percentagem de indivíduos que não se sentem confortáveis dentro desta zona não é tão elevada como no Verão mas ainda assim continua a não ser afetada de forma significativa pela aplicação de isolantes. O Inverno requer que se vista mais roupa mesmo dentro do edifício, como a diferença entre a temperatura interna de Verão e de Inverno não é muito grande e que no Inverno se veste mais roupa o desconforto não é tão grande.

As zonas ZNT 1.5 e 1.6 assumem comportamentos térmicos semelhantes não fugindo à regra seguida pelas restantes zonas. No Verão o isolamento não diminui a sensação de frio que se sente dentro do edifício, e no Inverno essa interferência não é muito significativa. Para todas as zonas do edifício o PCM não acrescenta nenhuma influência no conforto térmico dentro do edifício proporcionado pelo isolante.

5. Conclusões

No decorrer do presente estudo, foi possível chegar a algumas conclusões. Relativamente ao conforto térmico do edifício em granito que é caracterizado pelos parâmetros PMV e PPD, concluiu-se que, no Verão, vestindo uma camisola de manga curta e uns calções, este causará uma sensação de frio e que cerca de 90% das pessoas expostas a estas condições terão a mesma sensação. De Inverno, vestindo uma camisola de manga comprida, umas calças e um casaco, o PPD médio é de 60 a 80 %, ou seja, entre 60 a 80 % da população terá a sensação de frio no interior do edifício. A aplicação do XPS 50 fará diminuir o desconforto térmico sentido no edifício no Inverno, mas, no Verão, não tem qualquer influência. A aplicação do PCM não é justificável, pois não melhora o desempenho do edifício isolado.

Em todas as zonas do edifício, a temperatura interna no Verão, é sempre inferior à temperatura externa e, no Inverno, acontece o contrário, sendo a temperatura interna superior à temperatura externa, para a construção em granito, em qualquer dos três locais estudados.

Ao aplicar o isolamento ao edifício pela parte exterior, seria de esperar que este tivesse uma influência significativa na variação da temperatura interna, o que não se verificou. Pelo contrário, verificou-se apenas uma influência apreciável a nível das necessidades de aquecimento e arrefecimento, encontrando-se estas diminuídas com a aplicação do XPS 50 e ainda mais diminuídas com a substituição pelo XPS 100. Assim se conclui que o aumento da espessura do isolamento conduz a uma diminuição das necessidades energéticas.

Estudos anteriores realizados sobre a aplicação de PCMs em edifícios poderiam indiciar que esta trouxesse vantagens nos meses mais quentes, pois é nesta altura que se atingem as temperaturas de mudança de fase do PCM. Nos restantes meses, em que a temperatura exterior é inferior a 24 °C, o PCM não tem qualquer utilidade, pois não exerce a função para o qual foi projetado. Possuindo o granito uma elevada inércia térmica, os edifícios construídos com este material apresentam no Verão necessidades de arrefecimento reduzidas. Portanto, seria de esperar que a aplicação de PCMs não trouxesse grandes vantagens nas necessidades de arrefecimento, o que efetivamente se verificou.

No que diz respeito a necessidades de aquecimento, o PCM não traz qualquer benefício em relação à aplicação do isolante. Nas necessidades de arrefecimento, o PCM tem uma influência relativamente pequena.

A sensação de conforto térmico sentida no interior do edifício, quer no Verão quer no Inverno, não sofre alterações significativas com a aplicação de isolantes e PCMs. Como a respetiva influência a nível da temperatura interna é quase nula e o conforto térmico é uma consequência desse fator, este não sofre grandes alterações, mantendo-se a sensação de frio.

Em suma, como conclusão final, não é viável a aplicação de PCMs em edifícios construídos em granito, pois a forte inércia térmica deste material sobrepõem-se à função do PCM. A aplicação de um isolante é um caso que deveria ser estudado mais a fundo, pois, a nível de poupança de

energia, o isolamento com este material corretamente dimensionado pode ser uma solução viável do ponto de vista económico.

Após a realização deste estudo, aquando da reabilitação de edifícios construídos em granito, sugere-se, de acordo com a prática corrente, a aplicação de janelas com vidro duplo de baixa emissividade e caixilharia de corte térmico e utilização de portadas ou persianas para controlar a entrada de luz solar no interior do edifício e minimizar as trocas de calor entre o exterior e o interior através dos vidros.

Bibliografia

ADEME, (Agence De L'Environnement Et De La Maîtrise De L'Énergie) - L'Isolation Thermique: Les Maisons Individuelles Gagnent en Confort. 2011). .

ADENE - **Agência para a Energia** [Em linha], atual. 2014. Disponível em WWW:<URL:http://www.adene.pt>.

AFONSO, João - **Estudo do Comportamento térmico de Edifícios Antigos: Um caso de estudo.** [S.l.] : Faculdade de ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2009

ANAH, Agence Nationale Pour L'Amélioration De L'Habitat - **Fiche Technique: Confort Thermique.** Paris .

APEMIP, Associação Dos Profissionais E Empresas De Mediação Imobiliária De Portugal - **Certificação Energética** Disponível em WWW:<URL:http://www.apemip.pt/LinkClick.aspx?fileticket=6a2derZjUrY=&tabid=151&language=pt-PT>.

APREN, Associação Portuguesa De Energias Renováveis - **ESTRATÉGIA NACIONAL PARA A ENERGIA 2020**, atual. 2010.

ASCENSO, Rita - Nearly zero energy buildings O que vai mudar com os NZEB? **Edifícios e energia, Setembro/Octubre.** 2012).

ASHRAE, American Society Of Heating Refrigerating And Air-Conditioning Engineers - 1989 ASHRAE HANDBOOK- Fundamentals. 1989).

ASHRAE, American Society Of Heating Refrigerating And Air-Conditioning Engineers - 2009 ASHRAE HANDBOOK- Fundamentals. 2009).

BROEGA, Ana Cristina - **CONTRIBUIÇÃO PARA A DEFINIÇÃO DE PADRÕES DE CONFORTO DE TECIDOS FINOS DE LÃ.** [S.l.] : Universidade do Minho, 2007

CAMELO, Susana *et al.* - **Manual de apoio à aplicação do RCCTE.** Lisboa.

CARDOSO, Filipa - ENE 2020: Recuperar a economia via renováveis. **Edifícios e energia.**

CASCÃO, Vanda; SOUSA, Ana Luís - **PNAEE 2016 e PNAER 2020 As novas metas da Eficiência Energética e das Energias Renováveis**

CHVATAL, Karin Maria Soares - **Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e o potencial de sobreaquecimento no Verão.** Universidade do Porto, 2007

COMISSÃO EUROPEIA - **The 2020 climate and energy package** [Em linha], atual. 2014. Disponível em WWW:<URL:http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm>.

CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL - **Inércia Térmica** [Em linha], 2012. Disponível em WWW:<URL:<http://www.construcaosustentavel.pt/index.php?/O-Livro-|-Construcao-Sustentavel/Eficiencia-Energetica/Inercia-Termica>>.

COSTA, Santos Filipa Andreia Da - **Avaliação do impacto do isolamento no conforto térmico de um edifício** : Universidade de Aveiro, 2010

COUTINHO, Mário - **Arquitetura Popular Portuguesa- Volume 2**. 7.º ed. Lisboa : Editorial Estampa, 1979. pag 37–107 .

Directiva nº 89/106 do Conselho de 21 de Dezembro de 1988 publicada no JO L 40 de 11/02/89 relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas dos Estados-membro no que respeita aos produtos de construção, modificada pela.

EUR-LEX - **L'accès au droit de l'Union Européenne**. 2010. Disponível em WWW:<URL:<http://eur-lex.europa.eu/homepage.html>>.

EUROPEAN INVESTMENT BANK - **European Commission and European Investment Bank launch European Local Energy Assistance (ELENA) facility** [Em linha], atual. 2010. Disponível em WWW:<URL:http://europa.eu/rapid/press-release_BEI-09-255_en.htm>.

FEIO, Mariano; MARTINS, António - O Relevo do Alto Alentejo. **Finisterra**. Lisboa. XXVIII:55-56 (1993) pag 149–199.

FEITAS, Vasco Peixoto - **Apontamentos sobre RCCTE das aulas de Térmica de edifícios** . Porto Disponível em WWW:<URL:<http://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/RCCTE200502.pdf>>.

FREITAS, Vasco Peixoto De - **Isolamento térmico de fachadas pelo exterior: Reboco delgado armado sobre poliestireno expandido – ETICS**. Porto : [s.n.]

FUNDAÇÃO CALOUSTRE GULBENKIAN - **Espólio Raul Lino [Projectos de arquitectura]** [Em linha], atual. 2009. Disponível em WWW:<URL:<http://biblarte.gulbenkian.pt/biblarte/pt/Artigo?a=170>>.

FUTURENG - **FuturEng** [Em linha] Disponível em WWW:<URL:<http://www.futureng.pt/isolamento-termico>>.

GIL, Catarina - **O Sector da Construção em Portugal - 2012**

GRÜNTAL, Gottfried - **European macroseismic scale 1998 (EMS-98)**

HAWES, D. W.; FELDMAN, D.; BANU, D. - Latent heat storage in building materials. **Energy and Buildings**. 20:1 (1993) pag 77–86.

HUANG, M. J.; EAMES, P. C.; HEWITT, N. J. - The application of a validated numerical model to predict the energy conservation potential of using phase change materials in the fabric of a building. **Solar Energy Materials and Solar Cells**. 90:13 (2006) pag 1951–1960.

INE, Institutio Nacional De Estatística; DGEG, Direcção-Geral De Energia E Geologia - **Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico-2010**

INE, Instituto Nacional De Estatística - **Estatísticas do Emprego: 4.º Trimestre 2012**

INE, Instituto Nacional De Estatística; LNEC, Laboratório Nacional De Engenharia Civil - **O Parque Habitacional e a sua Reabilitação Análise e Evolução**. Lisboa.

IPMA - **Intituto Português do mar e da atmosfera**. 2014. Disponível em WWW:<URL:http://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/>.

Norma ISO 8996:1990 Ergonomics - Determination of metabolic heat production.

ITECONS, Instituto De Investigação E Desenvolvimento Em Ciências Da Construção - **Certificação Energética**, atual. 2014.

JAISWAL, Kishor; WALD, David; PORTER, Keith - A Global Building Inventory for Earthquake Loss Estimation and Risk Management. **Earthquake Spectra**. 26:2010) pag 731–748.

Jardim Escola João de Deus, Mortágua -2014. Disponível em WWW:<URL:http://jardimescola.wix.com/mortagua>.

Diretiva 2010/31/EU DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO.

LEAL, João - Arquitectos, Engenheiros, Antropólogos: Estudos sobre arquitectura popular no século XX português. In **Conferência arquitecto Marques da Silva**

PROJECTO DE JARDIM-ESCOLA JOÃO DE DEUS, MORTÁGUA. LINO, Raúl. 1944, Disponível em WWW:<URL:http://www.bibartepac.gulbenkian.pt/ipac20/ipac.jsp?session=1401650374TS4.104254&menu=tab13&aspect=subtab86&npp=20&ipp=20&spp=20&profile=ba&ri=&index=.GW&term=mortágua&limitbox_1=COL01+==+RL&x=0&y=0&aspect=subtab86>.

LINO, Raúl - **Casas Portuguesas - Alguns apontamentos sobre a arquitetura das casas simples**. Lisboa pag 32–85.

MALDONADO, Pedro Arce; CABEZA, Lluïsa F.; MEDRANO, Marc - **Application of Passive Thermal Energy Storage in Buildings Using PCM and Awnings**. [S.l.] : Universitat de Lleida, 2011

MANIQUE, Carlos - Projetos de escolas primárias do arquiteto Raúl Lino durante a I républica portuguesa. **Revista Linhas**. Florianópolis. 2011) pag 33–50.

MENDONÇA, Paulo Jorge Figueira De Almeida Urbano - **Habitar sobre uma Segunda Pele : Estratégias para a redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados**. [S.l.] : Universidade do Minho, 2005

NESDE, Núcleo De Engenharia Sísmica E Dinâmica De Estruturas - **Evolução das tipologias construtivas em Portugal**, atual. 2005.

NÓVOA, António - Biografia de Raúl Lino. In EDIÇÕES ASA (Ed.) - **Dicionário de Educadores Portugueses**

OLBNL, Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory - **GettingStarted with EnergyPlus BasicConceptsManual -Essential Information You Need about Running EnergyPlus**. Estados Unidos : [s.n.]

RAMOS, Rui Jorge Garcia - Disponibilidade moderna na arquitetura doméstica de Raúl Lino e Ventura Terra na abertura do século XX. **Revistas de arquitetura: Arquivo(s) da modernidade, Centro de Investigação em Arquitetura Urbanismo e Design**. Porto. 2011) pag 77–89.

Decreto-Lei 80/2006, de 4 de Abril- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). (06-

RIBEIRO, Agostinho Sampaio - **Comportamento Térmico de Sistemas Solares Passivos Usando PCMs**. [S.l.] : Universidade de aveiro, 2012

SALUNKHE, Pramod B.; SHEMBEKAR, Prashant S. - A review on effect of phase change material encapsulation on the thermal performance of a system. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 16:8 (2012) pag 5603–5616.

SAMAGAIQ, António - **Protocolo de Quioto; Perguntas e Respostas**

SEPÚLVEDA, Jacinto - Novo RCCTE (Dec^o-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril). **Tudo sobre Engenharia civil, a arte do engenho**. [Em linha] (23 feb. 2007). . Disponível em WWW:<URL:http://engenhariacivil.wordpress.com/2007/02/23/novo-rccte-dec^o-lei-nº-802006-de-4-de-abril/>.

SILVA, Nelson - **Incorporação de Materiais de Mudança de Fase em materiais de construção**. [S.l.] : Universidade do Minho, 2009

TYAGI, Vineet Veer; BUDDHI, D. - PCM thermal storage in buildings: A state of art. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 11:6 (2007) pag 1146–1166.

Norma ISO 7730:2005- Ergonomics of the thermal environment- Analytical determination and interpretation of the thermal comfort using calculation of the PMv and PPD indices and local thermal comfort criteria.

WIKIPÉDIA 1 - **Granito** [Em linha] Disponível em WWW:<URL:http://pt.wikipedia.org/wiki/Granito>.

WIKIPÉDIA2 - **Clima de Portugal** [Em linha], atual. 2014. Disponível em WWW:<URL:http://pt.wikipedia.org/wiki/Clima_de_Portugal>.

Anexo

Anexo A

Tabela A. 1: PMV uma taxa metabólica igual a 1 met, velocidade do vento igual 0,10 m s⁻¹ e humidade relativa de 50%. (Adaptação do Anexo E da Norma ISO 7730:2005)

Clo	U (W ⁻¹ m ² K)	Temperatura de funcionamento (°C)	PMV	Clo	U (W ⁻¹ m ² K)	Temperatura de funcionamento (°C)	PMV
0,5	0,078	11	-3,00	1,5	0,233	7	-2,88
		12	-3,00			8	-2,66
		13	-3,00			9	-2,45
		14	-3,00			10	-2,24
		15	-3,00			11	-2,02
		16	-3,00			12	-1,81
		17	-3,00			13	-1,60
		18	-2,93			14	-1,38
		19	-2,56			15	-1,17
		20	-2,20			16	-0,96
		21	-1,83			17	-0,74
		22	-1,47			18	-0,53
		23	-1,10			19	-0,32
		24	-0,74			20	-0,11
		25	-0,38			21	0,11
		26	-0,01			22	0,32
		27	0,35			23	0,53
		28	0,72			24	0,75
		29	1,08			25	0,96
		30	1,45			26	1,17
		31	1,81			27	1,39
		32	2,18			28	1,60

Tabela A. 2: PMV uma taxa de metabolismo igual 1,2 met ,velocidade do vento igual a 0,10 m s⁻¹ e humidade relativa igual a 50%. (Adaptação do Anexo E é da Norma ISO 7730:2005)

Clo	U (W ⁻¹ m ² K)	Temperatura de funcionamento (°C)	PMV	Clo	U (W ⁻¹ m ² K)	Temperatura de funcionamento (°C)	PMV
0,5	0,078	11	-3,00	1,5	0,233	7	-2,52
		12	-3,00			8	-2,28
		13	-2,95			9	-2,03
		14	-2,67			10	-1,79
		15	-2,38			11	-1,55
		16	-2,10			12	-1,30
		17	-1,82			13	-1,06
		18	-1,54			14	-0,82
		19	-1,25			15	-0,57
		20	-0,97			16	-0,33
		21	-0,69			17	-0,09
		22	-0,40			18	0,16
		23	-0,12			19	0,40
		24	0,16			20	0,64
		25	0,44			21	0,89
		26	0,73			22	1,13
		27	1,01			23	1,37
		28	1,29			24	1,62
		29	1,58			25	1,86
		30	1,86			26	2,10
		32	2,42			27	2,35
		33	2,71			28	2,59

Tabela A. 3: PMV para uma taxa de metabolismo de 1,8 met ,velocidade do vento igual a 0,10 m s⁻¹ e humidade relativa de 50%. (Adaptação do Anexo E é da Norma ISO 7730:2005)

Clo	U (W ⁻¹ m ² K)	Temperatura de funcionamento (°C)	PMV
0,5	0,078	6	-3,00
		7	-2,85
		8	-2,64
		9	-2,44
		10	-2,23
		11	-2,03
		12	-1,82
		13	-1,62
		14	-1,41
		15	-1,21
		16	-1,01
		17	-0,80
		18	-0,60
		19	-0,39
		20	-0,19
		21	0,02
		22	0,22
		23	0,43
		24	0,63
		25	0,84
		26	1,04
		27	1,24
		28	1,45
		29	1,65
		30	1,86
		31	2,06
		32	2,27