



**Universidade de
Aveiro**
Ano 2010

Departamento de Ambiente e Ordenamento

**Filipa Andreia da
Costa Santos**

**Avaliação do impacto do isolamento no conforto térmico de um
edifício**



**Universidade de
Aveiro
Ano 2010**

Departamento de Ambiente e Ordenamento

**Filipa Andreia da
Costa Santos**

**Avaliação do impacto do isolamento no conforto térmico de um
edifício**

Dissertação 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 Doutor António Samagaio, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

O júri

| | |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Presidente | Prof. Doutor Luís António da Cruz Tarelho, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro. |
| Arguente Principal | Prof. Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto |
| Orientador | Prof. Doutor António José Barbosa Samagario, Professor Associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro |

Agradecimentos

Ao meu orientador Professor Doutor António Samagaio pela partilha de conhecimento e apoio prestado ao longo do trabalho.

Ao Engenheiro Nelson Soares do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro pelo Apoio prestado na área da construção.

À Engenheira Ana Sá do Departamento de Civil da FEUP pela ajuda dada no programa *Design Builder*.

Um agradecimento especial aos meus pais e irmãos pela paciência comigo não durante esta fase, mas ao longo de todos estes anos.

Aos meus amigos, em especial à Ana Maria, Ana Teixeira e Andreia que me acompanharam nesta etapa.

Palavras-chave

Conforto Térmico, Isolamento Térmico, Construção em Portugal, Eficiência Energética.

Resumo

O conforto térmico dos edifícios é importante para que os ocupantes se sintam confortáveis termicamente e, em caso do local de trabalho, obtenham o maior rendimento possível. Como tal, o conforto térmico é caracterizado pelo índice PMV, que segundo *Fanger* é quantificado de -3 a +3. A percentagem de pessoas insatisfeitas com um ambiente térmico é dada por PPD. Ambos os valores estão apresentados na Norma ISO 7730. Perante isto, é importante aquando do projecto de um edifício, ter em atenção os materiais usados, o tipo de construção, a que fim se destina, para no conjunto se obter um edifício termicamente sustentável evitando o recurso a sistemas de climatização artificial e conseqüente poupança de energia. Deve ser cumprida a legislação existente nesta área tais como o RCCTE e o RSECE (mais importantes) para a elaboração do projecto. De forma a avaliar o conforto térmico, procedeu-se a 20 simulações no programa de computador *Design Builder* para diferentes zonas (4 localidades) e para diferentes soluções construtivas (5 tipos). Após as simulações, concluiu-se que as soluções construtivas mais actuais, tipo III e V, são as que obtêm um melhor índice de conforto térmico e onde as pessoas se sentem mais confortáveis, uma vez que para estes casos o PMV encontra-se entre -1 e +1, que segundo *Fanger*, é o intervalo de conforto térmico. Já para as soluções construtivas mais antigas (Tipo I, II) existe uma grande necessidade de aquecimento, uma vez que o PMV atinge valores de -4.

Keywords

Thermal Comfort, Heat Insulation, Construction in Portugal; Energy Efficiency

abstract

The indoor thermal comfort is important so that the occupants feel comfortable and thermally in the case of the workplace, to gain the highest return possible. As such, thermal comfort is characterized by the PMV index, which according to Fanger is quantified from -3 to +3. The percentage of people dissatisfied with the thermal environment is given by PPD. Both values are presented in ISO 7730. Given this, it is important at the design stage of a building, keep in mind the materials used, type of construction, that order is intended to get together in building a sustainable thermally avoiding the use of artificial air-conditioning systems, there by saving energy. Must be complied with existing legislation in this area such as RCCTE and RSECE (more important) for the preparation of the project. In order to validate the thermal comfort was conducted over the 20 simulations in the computer program Design Builder for different areas (4 sites) and for different constructive solutions (5 types). After the simulations, it was concluded that the most constructive solutions today, type III and V, are those that obtain a better index of thermal comfort and where people feel more comfortable, since in these cases the PMV lies between -1 and +1, which according to Fanger is the range of thermal comfort. As for the oldest building solutions (Type I, II) there is a great need for heating, since the PMV reaches values of -4.

Índice

| | |
|-----------------------------------------------------------------|------------|
| Índice | i |
| Índice de Tabelas | vii |
| Nomenclatura | ix |
| Siglas utilizadas | ix |
| 1 Introdução | 11 |
| 1.1 Motivação do trabalho | 11 |
| 1.2 Objectivos da investigação..... | 12 |
| 1.3 Estrutura da tese | 12 |
| 2 Enquadramento | 13 |
| 2.1 Isolamento Térmico | 13 |
| 2.2 Conforto Térmico..... | 17 |
| 2.3 Consumo Energético vs Eficiência Energética | 26 |
| 2.4 Evolução Histórica da Construção | 29 |
| 2.4.1 Construção em Portugal:..... | 30 |
| 2.4.2 Alvenaria e a sua importância em Portugal: | 32 |
| 2.4.3 Soluções para paredes de alvenaria: | 35 |
| 2.4.4 Vantagens das paredes em alvenaria: | 35 |
| 2.4.5 Fundações: | 36 |
| 2.4.6 Parede: | 38 |
| 2.4.7 Paredes de compartimentação: | 38 |
| 2.4.8 Evolução construtiva: | 39 |
| 2.4.9 Elementos de construção:..... | 41 |
| 2.5 Legislação..... | 45 |
| 2.5.1 Energia..... | 45 |
| 2.5.2 Construção | 49 |
| 2.6 Modelo de Cálculo do <i>Software (Design Builder)</i> | 52 |
| 3 Caso de Estudo | 57 |
| 3.1 Localização & Clima | 57 |
| 3.2 Ganhos Internos | 59 |
| 3.2.1 Ocupação | 59 |
| 3.2.1 Iluminação | 62 |
| 3.2.1 Equipamento Eléctrico..... | 64 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.2.1 | Horários | 65 |
| 3.2.2 | Ventilação | 67 |
| 3.2.3 | Construção | 68 |
| 4 | Resultados e Discussão | 81 |
| 4.1 | Temperaturas | 81 |
| 4.1.1 | Temperaturas para a Região de Évora:..... | 83 |
| 4.1.2 | Temperaturas para a Região de Lisboa | 87 |
| 4.1.3 | Temperaturas para a Região do Porto | 91 |
| 4.1.4 | Temperaturas para a região de Bragança | 94 |
| 4.2 | Humidade Relativa | 98 |
| 4.3 | Índice de conforto térmico vs Percentagem de Pessoas Insatisfeitas | 102 |
| 4.3.1 | Porto | 103 |
| 4.3.2 | Bragança..... | 108 |
| 4.3.3 | Évora..... | 111 |
| 4.3.4 | Lisboa | 114 |
| 5 | Conclusão | 119 |
| | Bibliografia | 123 |
| | Anexo A - Definições..... | III |
| | Anexo B – Tabelas dos Resultados | V |

Índice de Figuras

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1 Percentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD) em função do Voto Médio Estimado (PMV). [Fonte: Brüel e Kjær. Thermal Comfort. Denmark]..... | 23 |
| Figura 2.2 Distribuição do Consumo de Energia pelas diferentes áreas da habitação. [Fonte: DGGE]..... | 28 |
| Figura 2.3 Comparação das soluções estruturais usadas em alguns países europeus. [Fonte: INE] | 33 |
| Figura 2.4 Evolução das paredes de alvenaria. [Fonte: Curso de Engenharia Civil, Disciplina de Processos Gerais de Construção II] | 39 |
| Figura 2.5 Balanço energético das paredes. | 53 |
| Figura 3.1 Relação entre a percentagem previsível de insatisfeitos (PPD) e o voto médio previsível (PMV), segundo Fanger. | 60 |
| Figura 3.2 Tipos de Lâmpadas mais frequentes..... | 63 |
| Figura 3.3 Densidade por metro quadrado de ocupação da habitação do caso de estudo. (Fonte: <i>Design Builder</i>) | 66 |
| Figura 3.4 Cobertura inclinada com esteira horizontal e esquema de ventilação. | 71 |
| Figura 3.5 Parede de Pedra | 72 |
| Figura 3.6 Alvenaria de Pedra (Granito) com isolamento exterior. | 72 |
| Figura 3.7 Parede dupla de tijolo (11 cm + 11 cm) sem isolamento | 73 |
| Figura 3.8 Parede dupla de tijolo (15cm + 11cm) com isolamento. | 74 |
| Figura 3.9 Parede simples (Tijolo 11 cm) com isolamento pelo exterior. | 75 |
| Figura 3.10 Painel do <i>Design Builder</i> onde se criam novos <i>inputs</i> | 76 |
| Figura 3.11 Habitação desenhada no <i>Design Builder</i> (vista geral). (Fonte: <i>Design Builder</i>) | 79 |
| Figura 3.12 Vista do Rés-do-chão da habitação. (Fonte: <i>Design Builder</i>)..... | 80 |
| Figura 3.13 Vista do primeiro andar da habitação. (Fonte: <i>Design Builder</i>) | 80 |
| Figura 4.1 Temperaturas para habitação em Évora (Tipo I) | 84 |
| Figura 4.2 Temperaturas para habitação em Évora (Tipo II) | 84 |
| Figura 4.3 Temperaturas para habitação em Évora (Tipo III) | 85 |
| Figura 4.4 Temperaturas para habitação em Évora (Tipo IV) | 85 |
| Figura 4.5 Temperaturas para habitação em Évora (Tipo V) | 86 |
| Figura 4.6 Temperaturas para habitação em Lisboa (Tipo I) | 88 |
| Figura 4.7 Temperaturas para habitação em Lisboa (Tipo II) | 88 |
| Figura 4.8 Temperaturas para habitação em Lisboa (Tipo III) | 89 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 4.9 Temperaturas para habitação em Lisboa (Tipo IV)..... | 90 |
| Figura 4.10 Temperaturas para habitação em Lisboa (Tipo V)..... | 90 |
| Figura 4.11 Temperatura para habitação no Porto (Tipo I) | 92 |
| Figura 4.12 Temperaturas para habitação no Porto (Tipo II) | 92 |
| Figura 4.13 Temperaturas para habitação no Porto (Tipo III) | 93 |
| Figura 4.14 Temperaturas para habitação no Porto (Tipo IV)..... | 93 |
| Figura 4.15 Temperaturas para habitação no Porto (Tipo V)..... | 94 |
| Figura 4.16 Temperaturas para habitação em Bragança (Tipo I) | 96 |
| Figura 4.17 Temperaturas para habitação em Bragança (Tipo II) | 96 |
| Figura 4.18 Temperaturas para habitação em Bragança (Tipo III) | 97 |
| Figura 4.19 Temperaturas para habitação em Bragança (Tipo IV)..... | 97 |
| Figura 4.20 Temperaturas para habitação em Bragança (Tipo V)..... | 98 |
| Figura 4.21 Humidade Relativa para Évora | 99 |
| Figura 4.22 Humidade Relativa para Lisboa..... | 100 |
| Figura 4.23 Humidade Relativa para o Porto..... | 100 |
| Figura 4.24 Humidade Relativa para Bragança..... | 101 |
| Figura 4.25 PPD vs PMV para Porto (déc.40)..... | 103 |
| Figura 4.26 PPD vs PMV para Porto (dec.40 com isolamento) | 104 |
| Figura 4.27 PPD vs PMV para Porto (déc.70) | 105 |
| Figura 4.28 PPD vs PMV para Porto (Actualmente)..... | 106 |
| Figura 4.29 PPD vs PMV para Porto (parede simples com isolamento) | 107 |
| Figura 4.30 PPD vs PMV para Bragança (déc.40) | 108 |
| Figura 4.31 PPD vs PMV para Bragança (déc.40 com isolamento) | 109 |
| Figura 4.32 PPD vs PMV para Bragança (déc.60) | 109 |
| Figura 4.33 PPD vs PMV para Bragança (actualmente) | 110 |
| Figura 4.34 PPD vs PMV para Bragança (parede simples com isolamento)..... | 111 |
| Figura 4.35 PPD vs PMV para Évora (déc.40) | 111 |
| Figura 4.36 PPD vs PMV para Évora (déc.40 com isolamento) | 112 |
| Figura 4.37 PPD vs PMV para Évora (déc.70) | 112 |
| Figura 4.38 PPD vs PMV para Évora (actualmente) | 113 |
| Figura 4.39 PPD vs PMV para Évora (parede simples com isolamento)..... | 114 |
| Figura 4.40 PPD vs PMV para Lisboa (déc.40)..... | 114 |
| Figura 4.41 PPD vs PMV para Lisboa (déc.40 com isolamento) | 115 |
| Figura 4.42 PPD vs PMV para Lisboa (déc.70)..... | 115 |
| Figura 4.43 PPD vs PMV para Lisboa (actualmente)..... | 116 |

Figura 4.44 PPD vs PMV para Lisboa (parede simples com isolamento) 117

Índice de Tabelas

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabela 2.1 Actividade metabólica correspondente a várias acções. [Fonte: <i>ASHRAE</i> , 1997]..... | 18 |
| Tabela 2.2 Isolamento típico de algumas combinações de vestuário. [Fonte: McCullough and Jones, 1984]..... | 19 |
| Tabela 2.3 População Empregada por sector de actividade principal (CAE-Ver.3) e sexo. [Fonte: INE] | 31 |
| Tabela 3.1 Taxa metabólica para diferentes tipos de actividade realizada..... | 61 |
| Tabela 3.2 Resistência térmica de diferentes tipos de vestuário. | 62 |
| Tabela 3.3 Descrição da iluminação para as diferentes zonas consideradas no caso de estudo..... | 64 |
| Tabela 3.4 Descrição do equipamento eléctrico considerado no caso de estudo | 65 |
| Tabela 3.5 Valores de referência de caudais de ar tipo normal e reduzido | 68 |
| Tabela 3.6 Valores da condutividade, calor específico e Densidade para os diferentes materiais..... | 77 |
| Tabela 3.7 Valores da absorvância (Térmica e Solar) e Rugosidade para os diferentes materiais. | 77 |
| Tabela 3.8 Propriedades do Vidro Simples Liso. | 78 |
| Tabela 4.1 Condições nominais externas no Inverno. [Fonte:RSECE]..... | 82 |
| Tabela 4.2 Condições nominais externas no Verão. [Fonte: RSECE] | 82 |
| Tabela 4.3 Temperatura de bolbo seco médio mensal em °C..... | 83 |
| Tabela 4.4 Temperatura média mensal de bolbo seco em °C..... | 87 |
| Tabela 4.5 Temperatura média mensal de bolbo seco em °C..... | 91 |
| Tabela 4.6 Temperaturas médias mensais do bolbo seco em °C | 95 |
| Tabela B.5.1 Lisboa Tipo I..... | V |
| Tabela B.5.2 Lisboa Tipo II..... | V |
| Tabela B.5.3 Lisboa Tipo III..... | VI |
| Tabela B.5.4 Lisboa (Tipo IV)..... | VI |
| Tabela B.5.5 Lisboa (Tipo V)..... | VII |
| Tabela B.5.6 Évora (Tipo I)..... | VII |
| Tabela B.5.7 Évora (Tipo II)..... | VIII |
| Tabela B.5.8 Évora (Tipo III)..... | VIII |
| Tabela B.5.9 Évora (Tipo IV) | IX |
| Tabela B.5.10 Évora (Tipo V) | IX |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Tabela B.5.11 Porto (Tipo I) | X |
| Tabela B.5.12 Porto (Tipo II) | X |
| Tabela B.5.13 Porto (Tipo III) | XI |
| Tabela B.5.14 Porto (Tipo IV) | XI |
| Tabela B.5.15 Porto (Tipo V) | XII |
| Tabela B.5.16 Bragança (Tipo I) | XII |
| Tabela B.5.17 Bragança (Tipo II) | XIII |
| Tabela B.5.18 Bragança (Tipo III) | XIII |
| Tabela B.5.19 Bragança (Tipo IV) | XIV |
| Tabela B.5.20 Bragança (Tipo V) | XIV |
| Tabela B.5.21 Lisboa (Tipo V) | XV |
| Tabela B.5.22 Lisboa (Tipo IV) | XV |
| Tabela B.5.23 Lisboa (Tipo III) | XV |
| Tabela B.5.24 Lisboa (Tipo II) | XV |
| Tabela B.5.25 Lisboa (Tipo I) | XVI |
| Tabela B.5.26 Évora (Tipo I) | XVI |
| Tabela B.5.27 Évora (Tipo II) | XVI |
| Tabela B.5.28 Évora (Tipo III) | XVI |
| Tabela B.5.29 Évora (Tipo IV) | XVII |
| Tabela B.5.30 Évora (Tipo V) | XVII |
| Tabela B.5.31 Porto (Tipo I) | XVII |
| Tabela B.5.32 Porto (Tipo II) | XVII |
| Tabela B.5.33 Porto (Tipo III) | XVIII |
| Tabela B.5.34 Porto (Tipo IV) | XVIII |
| Tabela B.5.35 Porto (Tipo V) | XVIII |
| Tabela B.5.36 Bragança (Tipo I) | XVIII |
| Tabela B.5.37 Bragança (Tipo II) | XIX |
| Tabela B.5.38 Bragança (Tipo III) | XIX |
| Tabela B.5.39 Bragança (Tipo IV) | XIX |
| Tabela B.5.40 Bragança (Tipo V) | XIX |
| Tabela B.5.41 Humidade Relativa em Évora nos diferentes tipos de casa. | XX |
| Tabela B.5.42 Humidade Relativa para Lisboa nos diferentes tipos de casa. | XXI |

Nomenclatura

| | |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| λ | Condutibilidade Térmica, $\text{Wm}^{-1}\text{°C}^{-1}$ |
| R | Resistência Térmica, $\text{m}^2\text{°C}\text{W}^{-1}$ |
| C_{met} | Energia Metabólica Transformada em calor, Wm^{-2} |
| C_{conv} | Calor Trocado por convecção, Wm^{-2} |
| C_{rad} | Calor Trocado por Radiação, Wm^{-2} |
| C_{ev} | Calor Perdido por Evaporação (transpiração), Wm^{-2} |
| Q | Calor Trocado entre os dois ambientes, Wm^{-2} |
| clo | Unidade do efeito térmico da roupa, $\text{m}^2\text{°C}\text{W}^{-1}$ |
| e | Espessura do elemento da envolvente, m |
| A | Área do elemento, m^2 |
| dT/de | Gradiente de Temperatura, $\text{°C}\text{m}^{-1}$ |
| Q | Fluxo de calor, W |
| U_i | Coefficiente de condutibilidade térmica do elemento i, $\text{Wm}^{-2}\text{°C}^{-1}$ |
| T_i | Temperatura interior, °C |
| T_e | Temperatura exterior, °C |
| $Q_{\text{Nec_Arref}}$ | Necessidade de Arrefecimento |
| $Q_{\text{Nec_Aquec}}$ | Necessidade de Aquecimento |
| Q_{vent} | Trocas de calor por ventilação do espaço |
| Q_{rad} | Ganhos térmicos por radiação Solar |
| Q_{GI} | Ganhos Térmicos através dos equipamentos interiores |
| R_j | Resistência térmica da Camada j, $\text{m}^2\text{°C}\text{W}^{-1}$ |
| R_{ar} | Resistência Térmica de espaços de ar não ventilados, $\text{m}^2\text{°C}\text{W}^{-1}$ |
| q''_{sol} | Fluxo de radiação absorvida directa ou difusa |
| q''_{Lwr} | Fluxo de radiação de comprimento de onda |
| q''_{conv} | Fluxo de calor por convecção |
| q''_{Ko} | Fluxo de calor por condução através da superfície |
| q''_{Lwx} | Troca de Fluxo de radiação de comprimento de onda longo entre superfícies |
| q''_{sx} | Fluxo de radiação de comprimento de onda curto emitida pelas lâmpadas |
| q''_{sol} | Fluxo de radiação solar absorvida pela face interna |
| q_l | Transferência de calor devido à infiltração de ar exterior |
| q_{sist} | Troca de calor com o sistema de climatização |

Siglas utilizadas

| | |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| EPS | Poliestireno Expandido Moldado |
| XPS | Poliestireno Expandido Extrudido |
| MW | Placas de Lã |
| ICB | Aglomerados de Cortiça Expandida |
| PIR | Espuma Rígida poli-isocianurato |
| PUR | Espuma Rígida de poliuretano |
| ETICS | Isolamento térmico pelo exterior (<i>External Thermal Insulation Composite System</i>) |

| | |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| PMV | <i>Predicted Mean Vote</i> – Voto Médio Previsto |
| PPD | <i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i> – Percentagem prevista de pessoas insatisfeitas |
| GEE | Gases com Efeito de Estufa |
| AVAC | Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado |
| CE | Comunidade Europeia |
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> |
| RCCTE | Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios |
| RSECE | Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios |
| PNUMA | Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente |
| DGGE | Direcção Geral de Geologia e Energia |
| CCOP | Construção Civil e Obras Públicas |
| INE | Instituto Nacional de Estatísticas |
| NP | Norma Portuguesa |
| DPC | Directiva dos Produtos de Construção |
| ETA | Aprovação Técnica Europeia |

1 Introdução

1.1 Motivação do trabalho

Nos últimos anos, tem-se verificado uma maior preocupação por parte da humanidade com o futuro do planeta e com o uso abusivo dos recursos naturais, com tendência a diminuir a cada dia que passa. A diminuição das reservas de combustíveis fósseis e os efeitos sentidos no clima, principal influência dos gases com efeito de estufa, actuou como principal factor da discussão que se iniciou na década de 90 até à actualidade.

Então, tornou-se importante a necessidade de reduzir o consumo de energia, bem como na redução ou pelo menos haver um controlo mais apertado no que toca as emissões dos gases com efeito de estufa. Após a discussão sobre a redução de emissões e na poupança dos recursos naturais, surgiu o Protocolo de Quioto (prevê a redução da emissão dos gases com efeito de estufa (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC e SF₆), para oito por cento abaixo dos níveis de 1990 até 2008-2012) este prevê um menor consumo de petróleo, de gás natural e de carvão.

A comunidade mundial foi então ‘convidada’ a assinar o referido Protocolo de Quioto, como forma de compromisso perante todos os países e de responsabilidade de cada país em contribuir para um melhor ambiente para todos.

O conforto térmico e a eficiência energética estão dependentes dos recursos naturais ou de materiais provenientes do ambiente. Para obter energia existem variadíssimas formas, desde as energias renováveis até a centrais termoeléctricas, queima de biomassa entre outros processos que são prejudiciais para o ambiente. No caso do conforto térmico, na sociedade recorre-se a sistemas de climatização artificiais. Se, em vez disso, se optar por uma construção sustentável, pode-se contribuir para a redução das emissões e para a preservação da matéria-prima não renovável.

Para uma construção sustentável deve ter-se em atenção diversos factores, como o clima (o mais importante), a orientação de envidraçados, um bom isolamento e a possibilidade de captação de luz solar, entre outros, de forma a escolher os materiais adequados, a uma arquitectura mais eficiente e assim evitando o recurso a sistemas de climatização artificiais e a uma melhoria do conforto térmico interior do edifício.

Mas, tal como já referido, com a crescente preocupação, surgiu a necessidade de criação de legislação para advertir neste sentido, no uso eficiente da habitação. Então

a legislação mais importante na área do conforto térmico é o RCCTE (Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios) e o RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios).

1.2 Objectivos da investigação

O objectivo desta dissertação consiste na avaliação do impacto do isolamento no conforto térmico em habitações nas últimas décadas em Portugal, simulando, com a ajuda do *Design Builder*, situações de isolamento a tipologias construtivas representativas dos anos 40, anos 70 e actualmente.

Pretende-se também verificar qual o comportamento térmico da habitação, para diferentes tipologias de construção e o associado índice de conforto sentido por parte dos ocupantes.

1.3 Estrutura da tese

A tese está organizada em sete capítulos. Neste primeiro capítulo, está descrita a motivação do trabalho, os objectivos da tese e a respectiva organização.

No segundo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica sobre o isolamento térmico, o conforto térmico a forma como estes contribui para o consumo de energia e eficiência energética quando não são adequados. A evolução do sector da construção e da tipologia de construção nas últimas décadas. Referência à legislação no âmbito da energia e da construção e por último uma abordagem ao Método de cálculo do *Design Builder*.

No terceiro capítulo, é apresentado o caso de estudo, em que se apresenta os dados de entrada no software, a habitação desenhada e todos os parâmetros a ter em conta para a elaboração do mesmo.

No quarto capítulo, são apresentados os resultados obtidos das simulações efectuadas, bem como a discussão dos mesmos resultados.

No quinto capítulo, é feita uma conclusão de todo o trabalho e apresentadas algumas soluções de melhoria para possíveis problemas verificados.

2 Enquadramento

Neste capítulo será feita uma revisão bibliográfica sobre o tema desta dissertação 'Avaliação do impacto do isolamento no conforto térmico de um edifício'. Assim sendo, este capítulo vai ser subdividido em seis secções. Na secção 2.1 irá ser feita uma abordagem ao isolamento térmico. De seguida, a secção 2.2, fala sobre o conforto térmico e como a estes dois temas está associado o consumo energético, na secção 2.3 é feita uma abordagem ao consumo energético, essencialmente no sector da habitação, a nível mundial e nacional.

Um dos objectivos principais desta tese é o conhecimento da tipologia de construção desde os anos 40 até à actualidade, então na secção 2.4 são descritas as características que identificam cada época (desde os anos 40 até aos dias de hoje). Na secção 2.5 é citada a legislação existente referente ao conforto térmico e à construção e, por último vem a secção 2.6 onde são abordados os modelos de cálculo do *Energy Plus* e do *Design Builder*, software de auxílio para as simulações que vão ser realizadas.

2.1 Isolamento Térmico

O isolamento térmico dos edifícios é um factor cada vez mais importante devido às crescentes exigências de conforto térmico por parte da civilização, sendo este igualmente importante pois está associado à crescente preocupação relativa ao consumo de energia e também para protecção ambiental. O bom isolamento permite também uma redução das necessidades de aquecimento ou arrefecimento dos edifícios e leva a uma diminuição dos riscos de ocorrência de pontos de condensação.

A ocorrência de pontos de condensação origina o aparecimento de humidade nos elementos construtivos, originando variadas formas de degradação e de gravidade variável. Este fenómeno depende da constituição do edifício, das condições climáticas onde este 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 para a temperatura em causa, mas o limite de saturação não é constante, este varia proporcionalmente com a temperatura. Assim sendo, à medida que aumenta a humidade relativa a temperatura

aumenta e quando a humidade diminui há, conseqüentemente uma diminuição da temperatura, mas em todo o caso a humidade absoluta mantém-se sempre constante.

Quando se verifica diferenças de pressão de vapor de água entre dois ambientes separados pelo elemento de construção, dá-se a ocorrência do fenómeno de difusão de vapor através desse mesmo elemento. Verificando-se uma diferença de temperatura e onde a cada ponto do elemento de construção corresponderá uma temperatura diferente e, conseqüentemente uma determinada pressão de saturação. Se porventura a pressão parcial do elemento de construção, correspondente à difusão de vapor de água através do elemento, superar a respectiva pressão de saturação ocorrerão condensações nessa zona. Os fenómenos de difusão através dos elementos construtivos dependem das pressões parciais em cada um dos dois ambientes com ele confinantes e das características de permeabilidade de cada um dos vários materiais que o constituem.

Perante estas afirmações, verifica-se que o isolamento térmico dos edifícios é realmente muito importante para uma boa climatização do edifício e para a boa conservação do mesmo, pois o isolamento tem como principal função a aumento da resistência térmica da envolvente do edifício que leva à redução das trocas de calor entre o edifício e o exterior e, conseqüentemente reduz as necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento e diminuindo também o risco de condensações nos elementos construtivos.

Sendo assim, o isolamento térmico é definido como o processo pelo qual, recorrendo a matérias-primas adequadas, se dificulta a dissipação de calor de um corpo ou de um ambiente, isto é, usando os materiais isolantes mais adequados e com as características de um bom isolante (condutibilidade térmica: $\lambda \leq 0.065 \text{ W(m}^{-1}\text{°C}^{-1})$ e resistência térmica: $R > 0.5 \text{ (m}^2\text{°C)W}^{-1}$, é possível reduzir a taxa de transferência de calor. É também o método que evita o calor de escapar ou de entrar num recipiente, por outras palavras, mantém uma área fechada, como um edifício quente ou então mantê-lo frio.

A condutibilidade térmica (λ) caracteriza os materiais ou produtos termicamente homogéneos e 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 (1°C ou 1 K).

Já o valor da resistência térmica (R) é o que indica se o material é um bom ou mau isolante é definida como o quociente da diferença de temperatura verificada entre as

superfícies de um elemento construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário.

Então, sabendo as características acima referidas dos materiais isolantes existentes, é possível proceder a uma correcta escolha do material mais adequado à construção e ao tipo de clima em que se insere.

O isolante térmico para além da principal função que é retardar o fluxo de calor pela envolvente do edifício, possui mais funções, tais como:

- Conservar a energia devida à redução das perdas de calor;
- Controlam a temperatura superficial de equipamentos e estruturas;
- Ajudam a controlar a temperatura de um processo químico, equipamentos e estruturas;
- Previnem as condensações em superfícies com a temperatura inferior ao ponto de orvalho;
- Reduzem as flutuações térmicas dos espaços, aumentando o conforto térmico.

Os materiais isolantes podem ser classificados quanto à natureza (mineral, vegetal ou sintética), estrutura (fibrosa, celular ou mista), modo de produção (pré-fabricados ou formados 'in-situ') e quanto à apresentação (rígidos, semi-rígidos ou granulares). Como tal, existem vários materiais isolantes, sendo os de uso mais frequente os seguintes: 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). O XPS é o isolamento com melhor desempenho, em contrapartida tem um custo de mais de 50% que o ICB e a exposição aos raios ultravioletas podem originar a sua degradação. A cortiça é a que se mostra mais económica e mais ecológica, com oito centímetros de espessura obtém-se um melhor desempenho quando comparado com os outros isolamentos. Dentro dos isolantes mais ecológicos tem-se também a MW e que tem um desempenho similar ao EPS e ao PUR, é também bastante resistente e durável, no entanto a exposição à humidade pode diminuir o seu desempenho.

Durante a escolha do material isolante a usar, deve-se ter em especial atenção a marcação da CE no produto, os sistemas devem ser detentores de uma apreciação idónea e também devem ser objecto de certificação ou de comprovação de qualidade a ser efectuadas por uma entidade reconhecida.

Existem duas formas de se efectuar o isolamento das paredes de um edifício, que são pelo exterior e pelo interior. No isolamento pelo exterior, o isolante térmico deve ser

sensível à humidade do ar e à chuva, isto é, deve ser resistente aos agentes de acção mecânica de forma a não sofrer erosão e degradação muito rapidamente. Esta forma de isolamento é muito frequentemente designada por ETICS e actualmente é a forma mais frequente de isolamento. Normalmente é usado na reabilitação de edifícios, embora seja também usado em novas construções apresentando-se como a melhor forma de isolamento quer em termos construtivos quer em termos energéticos. É reconhecido como uma solução técnica de alta qualidade, pois permite a redução das pontes térmicas (o que se traduz por uma espessura de isolamento térmico mais reduzida para a obtenção de um mesmo coeficiente de transmissão térmica global da envolvente), a diminuição do risco de condensações, o aumento da inércia térmica no interior dos edifícios, a economia na energia, a diminuição da espessura das paredes exteriores e o aumento da área habitável e, conseqüentemente uma redução do peso das paredes, um aumento da protecção conferida ao tosco das paredes face às solicitações dos agentes atmosféricos, uma diminuição do gradiente de temperaturas, uma melhoria da impermeabilidade, uma possibilidade de mutação do aspecto exterior das paredes sem que haja perturbação dos ocupantes, bem como a existência de uma vasta gama de soluções de acabamento.

Existe também o isolamento pelo interior que não se revela tão vantajoso nem tão eficaz, isto devido às características arquitectónicas que acarreta alguns inconvenientes, apesar dos custos desta forma de isolamento serem menores que o isolamento pelo exterior. Outro problema fundamental neste tipo de instalação é o facto de não conseguir corrigir as pontes térmicas que podem ocorrer na intersecção de paredes interiores com as paredes exteriores, à volta das janelas e portas e entre as vigas e pilares.

Nas coberturas devem ser usados isolantes térmicos impermeáveis à água e podem ser placas que deverão apresentar uma espessura mínima de seis centímetros e, no caso de a cobertura ser inclinada as placas deverão ter estrias de madeira para que seja possível assentar as telhas directamente. Nas coberturas tradicionais, o isolante tem um melhor desempenho que na cobertura inclinada. No entanto, na cobertura tradicional é necessário colocar uma barreira ao vapor sobre o isolamento, pois este é permeável ao vapor de água.

No caso das paredes exteriores, o isolamento deve apresentar uma espessura mínima de quatro centímetros e devem ser também permeáveis ao vapor, de forma a eliminar as pontes térmicas e obter uma temperatura constante no interior do edifício. No caso de não ser possível o isolamento na parede exterior, tem-se sempre a opção de o colocar no interior da parede ou então no interior da parede dupla.

Nas paredes simples o isolamento deve ser realizado pelo exterior de forma a reduzir as pontes térmicas, permitindo desta forma aumentar a inércia térmica do edifício, o que é muito vantajoso no Verão pois ajuda a manter a temperatura fresca não havendo necessidade de arrefecimento do edifício e, conseqüentemente torna-o menos dispendioso.

Nos pavimentos térreos pode ser empregado o pavimento de madeira flutuante com caixa-de-ar e pode também ainda aplicar-se o isolamento térmico.

2.2 Conforto Térmico

Nas actividades diárias do ser humano, este produz energia a partir da transformação dos alimentos, que é consumida no funcionamento das funções fisiológicas vitais e na realização de actividade muscular, havendo uma parte que é libertada na forma de calor. Como é sabido, o homem é um ser homo térmico, ou seja, um ser que consegue manter a temperatura corporal a um nível constante independentemente da temperatura ambiente.

Por isso pode dizer-se que o conforto e o balanço térmico do corpo humano estão interligados, da mesma forma que a sensação de bem-estar térmica depende do grau de actuação do sistema termo regulador do corpo. Então, quanto maior for o trabalho desse sistema para manter a temperatura do corpo constante, maior será a sensação de desconforto térmico sentida. Portanto, os parâmetros fundamentais para o conforto térmico subdividem-se em dois: os parâmetros individuais (actividade física, vestuário e metabolismo) e os parâmetros ambientais (temperatura, humidade relativa e velocidade do ar).

Sendo assim, as transferências entre o organismo e o ambiente exterior podem ser representadas pela equação 1:

$$C_{\text{met}} + C_{\text{conv}} + C_{\text{rad}} - C_{\text{ev}} = \pm Q \quad (2.1)$$

onde:

C_{met} = Energia metabólica transformada em calor (Wm^{-2})

C_{conv} = Calor trocado por convecção (Wm^{-2})

C_{rad} = Calor trocado por radiação (Wm^{-2})

C_{ev} = Calor perdido por evaporação (transpiração) (Wm^{-2})

Q = Calor transferido entre os dois ambientes (Wm^{-2})

Então, para que o corpo se encontre em equilíbrio térmico é necessário que o valor de Q seja igual a zero e assim a principal condição para experimentar o conforto térmico é satisfeita. Contudo não é suficiente, é também importante que o C_{met} possa ser igualado à energia metabólica, segundo a norma ISO 8996 (Ergonomia do ambiente térmico – Determinação da taxa metabólica). Isto porque grande parte da energia do metabolismo se transforma em energia térmica, e portanto pode suprimir-se a parcela correspondente ao trabalho mecânico. A unidade usada para caracterizar a actividade metabólica é denominada por *met*, que corresponde ao calor libertado por uma pessoa em descanso (100 W) e, considerando que as pessoas têm, em média, uma superfície de pele de $1,8 m^2$, 1 *met* corresponde a $58,2 Wm^{-2}$. (Dias Castro, 2000)

Tabela 2.1 Actividade metabólica correspondente a várias acções. [Fonte: ASHRAE, 1997]

| Actividade | Taxa de Metabolismo (Met) |
|----------------------------------------|----------------------------------|
| Dormir | 0,7 |
| Sentado | 1,0 |
| Andar ($1,2ms^{-1}$) | 2,6 |
| Escrever | 1,1 |
| Conduzir | 1,2 |
| Cozinhar | 1,6 a 2 |
| Dançar | 2,4 a 4,4 |
| Desportos | 3,6 a 8,6 |

O tipo de vestuário é um factor muito importante na avaliação do conforto térmico, como se irá ver mais a frente. A unidade usada para caracterizar o efeito térmico pela roupa é o clo, onde 1 clo é o equivalente a $0,155 (m^2C)W^{-1}$. Na Tabela 2 são apresentadas algumas combinações de vestuário e o respectivo valor de clo. (Krieger e Rabl, 1994)

Tabela 2.2 Isolamento típico de algumas combinações de vestuário. [Fonte: McCullough and Jones, 1984]

| Vestuário | Efeito térmico do vestuário (Clo) |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Calções, camisa de manga curta | 0,36 |
| Calças, camisa de manga curta | 0,57 |
| Calças, camisa de manga comprida | 0,61 |
| Igual ao anterior mais casaco | 0,96 |
| Calças, camisa de manga comprida, T-shirt, camisola | 1,01 |
| Igual ao anterior mais casaco | 1,30 |
| Saia até ao tornozelo, camisa de manga curta, meias, sandálias | 0,54 |
| Igual ao anterior mais casaco | 1,10 |

Como já foi verificado, o equilíbrio térmico do corpo é conseguido quando o excedente de energia produzida no metabolismo é transformado em calor que deve ser imediatamente libertado, para que a temperatura do organismo se mantenha constante. Existem três formas do calor ser expelido para o ambiente: Convecção, Radiação e a Evaporação.

Começando pela convecção, este ocorre quando o ar apresenta uma temperatura inferior relativamente a temperatura do corpo, ocorrendo transferência de calor pelo contacto com o ar frio circundante, conseqüentemente o aquecimento do ar provoca o seu movimento ascensional e à medida que o ar quente sobe o ar frio ocupa o seu lugar. Caso contrário, se a temperatura exterior for igual à temperatura do corpo, não se verifica a realização da troca e no caso de a temperatura exterior se apresentar mais elevada o ar cede calor ao organismo, ou seja, verifica-se a inversão do ciclo de convecção.

No caso da radiação, esta é transmitida da superfície quente para a superfície fria através das ondas electromagnéticas que ao atingirem a superfície fria se transformam

em calor. Este tipo de energia é emitido continuamente pelos corpos que se encontrem a uma temperatura absoluta superior a zero graus célsius.

No caso de a temperatura das paredes de um ambiente for inferior à da pele do organismo, este perde calor por radiação, mas se as paredes se apresentarem mais quentes que a superfície do corpo, o corpo aumenta o efeito de radiação. Esta não depende do ar ou de outro meio para se propagar e a quantidade emitida pelo corpo depende da temperatura superficial.

Quando as trocas de calor efectuadas através da radiação e da convecção não são suficientes para a libertação do calor do organismo, este intensifica a actividade das glândulas sudoríparas e perde calor por transpiração a também denominada evaporação.

Perante este cenário qual será a melhor definição de conforto térmico? A definição de conforto térmico é um pouco complexa e não se revela muito exacta, pois depende de vários factores, não depende de uma temperatura exacta e pode também ser definida segundo duas vertentes: uma física ou ambiental e pessoal. Começando pela visão pessoal de conforto térmico, este pode ser definido como a condição mental, ou seja, com o sentimento de satisfação com o ambiente térmico envolvente, melhor dizendo tem a ver com a sensação de bem-estar experimentada pela pessoa. No entanto, as sensações que cada pessoa experimenta são também subjectivas, pois varia de pessoa para pessoa por isso considera-se como condições de conforto, aquelas que proporcionam bem-estar a um maior número de pessoas possíveis. Já a definição pela vertente física/ambiental tem a ver mais com as condições que permitam a manutenção da temperatura interna sem a necessidade do recurso a mecanismos termo reguladores para que o corpo humano se encontre em balanço térmico com o meio ambiente. Quando o ser humano tem a percepção psicológica desse equilíbrio pode então dizer-se que este goza do dito conforto térmico, que é definido pela ISO7730 (Ergonomia do Ambiente Térmico – Determinação analítica e interpretação de conforto térmico pelo método de cálculo de PMV e PPD índices locais e critérios de conforto térmico) como o estado de espírito que expressa satisfação com o meio ambiente que envolve uma pessoa (nem quente nem frio).

$$M - W - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot (5733 - 6,99 (M - W) - P_{vap}) - 0,42 [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - P_{vap}) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{vest} \cdot [(t_{vest} + 273)^4 - (t_{rad} + 273)^4] - f_{vest} \cdot h \cdot (t_{vest} - t_{ar}) = +S$$

(2.2)

onde:

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| $M - W$ | Metabolismo e Trabalho |
| $-3,05 \cdot 10^{-3} \cdot (5733 - 6,99 (M - W) - P_{vap})$ | Difusão de Vapor |
| $-0,42 [(M - W) - 58,15]$ | Transpiração |
| $-1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - P_{vap})$ | Respiração Latente |
| $-0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a)$ | Respiração Sensível |
| $-3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{vest} \cdot [(t_{vest} + 273)^4 - (t_{rad} + 273)^4]$ | Radiação |
| $-f_{vest} \cdot h \cdot (t_{vest} - t_{ar}) =$ | Convecção |
| $+S$ | Acumulação de Calor |

Como já foi referido e se pode ver na equação 2.2 (Equação do Conforto Térmico), o conforto térmico depende de vários factores, sendo eles os seguintes: variáveis de natureza individual ou não quantificáveis (tipo de actividade e vestuário) e também as variáveis de natureza ambiental ou quantificáveis (temperatura, humidade relativa, pressão parcial, temperatura média radiante e velocidade do ar). Estas foram divididas em dois grupos apenas para efeito de classificação, pois só com a combinação de ambas as variáveis se consegue obter a sensação de conforto ou desconforto térmico.

As únicas variáveis fisiológicas em que se torna possível afirmar que se verifica ou não o conforto térmico são: a temperatura média da pele (t_p) e o calor eliminado por evaporação do suor (C_{ev}), pois a sensação de conforto térmico está relacionado com a magnitude destas variáveis. No entanto, uma pessoa só estará em neutralidade térmica se todo o seu corpo estiver, mas pode acontecer estar em equilíbrio térmico e ao mesmo tempo haver uma assimetria de perda de calor do corpo por exemplo, quando se tem que estar com as mãos em água gelada, ocorre uma assimétrica perda de calor que deve ser limitada de forma a não comprometer o conforto térmico. A isto chama-se desconforto localizado, que é causado pelo aquecimento ou arrefecimento unilateral do corpo que pode ser provocado pela assimetria de radiação térmica, pela diferença vertical de temperatura do ar, pela velocidade do ar e pelo contacto com as superfícies quentes ou frias.

A radiação assimétrica causada pelas superfícies quentes e frias e da incidência directa do sol pode causar desconforto local e reduzir a aceitabilidade térmica de um ambiente. Por isso, as normas *ASHRAE 55* e *ISO 7730* referem que para actividades

leves a assimetria da temperatura radiante deve ser inferior a 10°C na direcção horizontal e inferior a 5°C na direcção vertical.

A temperatura do ar nos ambientes fechados normalmente evolui do piso para o tecto. Caso a diferença entre as duas temperaturas for muito grande, pode levar ao desconforto, isto porque se tem sensação de calor na cabeça e sensação de frio nos pés. Então, as normas *ASHRAE 55* e *ISO 7730* limitam em 3°C, no caso de actividades leves, a diferença entre as temperaturas do chão e do tecto.

No caso da Velocidade do ar, normalmente a ventilação é usada na indústria para arrefecimento de ambientes quentes. Convém também referir que a grande dificuldade na avaliação da influência da velocidade do ar no conforto térmico está na dificuldade em obter uma velocidade do ar uniforme em todo o compartimento, pois esta está dependente das constantes variações da velocidade do ar e porque a magnitude da velocidade do ar dependem fortemente do tipo e da distribuição do sistema de ventilação usado. Para tal, existem normas que limitam a velocidade do ar em determinados ambientes, tais como: NR nº 17 da Portaria nº 3214 que estabelece a velocidade máxima de 0,75 ms⁻¹ para ambientes nos quais são desenvolvidas actividades leves, a norma *ASHRAE 55* que define para ambientes de actividade metabólica leve uma velocidade máxima, no inverno, de 0,15 ms⁻¹ e no verão de 0,80 ms⁻¹. No entanto, as velocidades relativas do ar que se apresentem até 1,50 ms⁻¹ podem ser consideradas como aceitáveis, desde que em conjunto com as restantes variáveis, dê resultado ao conforto térmico.

Outro factor do qual deriva o desconforto local é o contacto com superfícies quentes ou frias, sendo o mais comum a troca por condução entre os pés, a sola do calçado e o chão. Esta troca está interligada com o tipo de calçado, sola e em especial pela temperatura do piso. Para tal, as normas *ASHARE 55* e *ISO 7730* recomendam que a temperatura do chão deve ter uma temperatura no intervalo entre 19°C e 29°C.

Na norma *ISO 7730* é também apresentado o modelo PMV (*Predicted Mean Vote* ou voto previsto médio), que é baseado num modelo estático de transferência de calor, calibrado a partir de um grande número de pessoas numa câmara climática. A escala vai de -3 a 3, ou seja, muito frio até muito quente. O outro índice proposto pela norma *ISO 7730* é o PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) que quantifica a percentagem prevista de pessoas insatisfeitas com um dado ambiente térmico. *Fanger* conclui que a variação deste índice com o PMV pode ser ajustada por uma expressão analítica a que corresponde uma curva cujo aspecto é semelhante a uma curva de *Gauss* invertida, sendo a equação 2.3:

$$PPD = 100 - 95 * e^{(-0,03353 * PMV^4 - 0,2179 * PMV^2)} \quad (2.3)$$

onde:

PMV = Predicted Mean Vote

PPD = Predicted Percentage of Dissatisfied

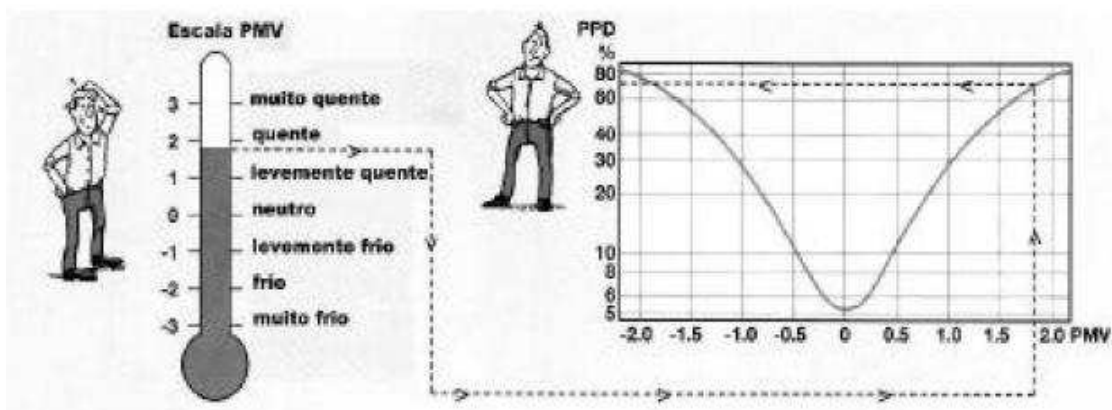


Figura 2.1 Percentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD) em função do Voto Médio Estimado (PMV). [Fonte: Brüel e Kjær. Thermal Comfort. Denmark]

Passando agora ao comportamento térmico de um edifício e as variáveis que influenciam o seu equilíbrio térmico, tem-se que os edifícios dependem principalmente das condições climáticas, do projecto, construção e manutenção e também do uso e ocupação do mesmo. No entanto as variáveis que mais influenciam os edifícios são a transferência de calor, a temperatura do ar exterior e a radiação solar. A radiação tem um papel determinante no conforto térmico, pois no Inverno constitui uma fonte de calor favorecendo o aumento da temperatura interior, contudo no Verão é uma fonte de calor a evitar. A temperatura do ar exterior é a variável indutora das trocas de calor através da envolvente do edifício, determina o estabelecimento de fluxos energéticos do interior para o exterior, fluxos que ocorrem principalmente no Inverno (perdas térmicas) enquanto no Verão o sentido do fluxo inverte e daí os ganhos térmicos.

Como é do conhecimento geral, as condições climáticas são caracterizadas pela temperatura do ar, humidade relativa do ar, velocidade e direcção do vento, da radiação solar directa e difusa.

O projecto, construção e manutenção estão interligados com as condições de implantação caracterizada pela latitude, longitude e orientação do sol, à arquitectura,

às condições de ventilação, aos materiais de construção escolhidos e à preservação das condições inicialmente pensadas. Relativamente ao uso que se dá ao edifício, tem a ver com os equipamentos usados e actividades desenvolvidas, já a ocupação refere-se ao número de ocupantes e ao horário de maior frequência do local por parte dos ocupantes. Todas estas variáveis têm igual importância na avaliação do comportamento térmico do edifício.

Os edifícios filtram a passagem de luz, ar, ruído e energia entre o interior e o exterior, isto é, promovem o contraste entre o meio exterior e o interior.

O exterior também denominado por envolvente do edifício, é toda a construção que separa o interior do edifício do seu exterior. Os elementos que fazem parte da envolvente são as janelas, portas, paredes, cobertura e pavimento. Assim sendo, para proceder ao cálculo do balanço térmico é necessário contabilizar as trocas de calor da envolvente do edifício (ASTM, 1999).

O calor é definido como a energia em trânsito devido à diferença de temperatura. A transmissão de calor pode ocorrer segundo três mecanismos, a condução, convecção e radiação.

A condução é um mecanismo que se efectua através da transferência de energia cinética a nível molecular em sólidos, líquidos ou gases. Nos líquidos e sólidos não condutores eléctricos, a condução térmica dá-se devido às oscilações longitudinais da estrutura. Em metais dá-se de forma similar à condução eléctrica. O fluxo de calor dá-se sempre na direcção da redução da temperatura, como deduzido da segunda lei da termodinâmica. No caso dos edifícios, este processo é o mais significativo e depende da condutividade térmica dos materiais – λ [$\text{Wm}^{-1}\text{°C}^{-1}$] e da espessura do elemento da envolvente - e [m], como mostra a Lei de Fourier para a condução, equação 2.4:

$$— \quad \quad \quad (2.4)$$

onde:

A = área do elemento (m^2);

dT/de = gradiente de temperatura (°Cm^{-1}).

A convecção ocorre quando a energia é transferida pelo movimento dos fluidos, líquidos ou gasosos, e condução molecular. Sendo assim, esta transmissão de calor ocorre de um sólido para o ar adjacente ou então entre duas superfícies a diferentes temperaturas. A transferência de calor aumenta proporcionalmente com a velocidade do fluxo do fluido. Esta pode ser natural (gerada internamente devido à não-

homogeneidade da densidade por diferença de temperaturas) ou Forçada (quando o fluxo é produzido por fontes externas).

Por último tem-se a transferência de energia através das ondas magnéticas que é também denominado por radiação. Para que se dê este mecanismo só é necessária a existência de duas superfícies a diferentes temperaturas, que devido à vibração das moléculas superficiais é emitida energia radiante através do espaço até atingir uma superfície opaca, a qual absorve parte desta energia e reflecte a restante. (ISQ, 2000)

Estas trocas de calor são deduzidas na equação 2.5:

$$(2.5)$$

onde:

U_i = Coeficiente de condutibilidade térmica do elemento i ($Wm^{-2}C^{-1}$);

A_i = Área do elemento i (m^2);

T_i = Temperatura interior ($^{\circ}C$);

T_e = Temperatura exterior ($^{\circ}C$).

Para se obter o coeficiente de condutibilidade térmica, são contabilizadas as parcelas por convecção (h_i e h_e) e a parcela por condução através da resistência térmica ($R = e/\lambda$), como se pode verificar na equação 2.6:

$$- \quad - \quad - \quad - \quad (2.6)$$

onde:

$1/h_i$ = Resistência térmica superficial interior (m^2CW^{-1});

$1/h_e$ = Resistência térmica superficial exterior (m^2CW^{-1}).

O balanço de um edifício deve ser dividido em dois períodos (Inverno e Verão) pois o sentido dos fluxos de calor é diferente em cada um deles. No Verão o parâmetro a calcular é a necessidade de arrefecimento (Q_{Nec_Arref}), já no Inverno é necessário efectuar o cálculo para as necessidades de aquecimento (Q_{Nec_Aquec}). Sendo assim, o balanço energético dos diferentes períodos é representado pelas seguintes equações:

$$Q_{Nec_Arref} = Q_{cond} + Q_{vent} + Q_{GI} + Q_{Rad_sol} \quad (2.7)$$

$$Q_{Nec_Aquec} = Q_{cond} + Q_{vent} - Q_{GI} - Q_{rad_sol} \quad (2.8)$$

onde:

Q_{vent} = Trocas de calor derivados da ventilação do espaço;

$Q_{\text{rad_sol}}$ = Ganhos térmicos devido à radiação solar;

Q_{GI} = Ganhos térmicos devido aos equipamentos interiores.

2.3 Consumo Energético vs Eficiência Energética

Actualmente, a energia é um bem indispensável na vida do ser humano e, constitui um factor crítico no desenvolvimento económico e social, isto porque na indústria é necessária a energia para uma maior produtividade e para um melhor desenvolvimento económico, que se reflecte por sua vez na vida social, pois desta forma a população goza de um maior poder de compra e pode experimentar um nível de qualidade de vida.

A satisfação das necessidades energéticas no mundo assenta na exploração dos combustíveis fósseis, mas tem-se revelado um problema pois as necessidades têm crescido de forma exponencial e, conseqüentemente os recursos naturais diminuem a uma velocidade furiosa. Prevê-se que até 2050 a procura de energia possa duplicar ou triplicar, isto dependendo da forma como a população aumente e como os países desenvolvidos expandem as suas actividades. [Fonte: www.eco.edp.pt]

Perante este cenário medonho, a eficiência energética bem como o seu uso eficiente, têm tido um especial destaque pois estes podem provocar danos irreversíveis no ambiente comprometendo as gerações futuras e, colocando em causa o desenvolvimento sustentável. Então, torna-se necessário a criação e revisão de regulamentos, estratégia e iniciativas de longo prazo de forma a permitir o melhor reaproveitamento dos recursos energéticos.

Sabe-se que a energia está interligada a um maior conforto e qualidade de vida, mas o seu consumo excessivo começa a ser colocado em causa pois representa sérios problemas para o ambiente, podendo trazer repercussões locais e regionais, bem como impactes ao nível global, tal como as emissões dos gases com efeito de estufa (GEE) provocados pelos combustíveis fósseis e, conseqüentemente as alterações climáticas, que já começam a fazer-se sentir. Então, a Comunidade Internacional tem unido esforços para que se faça um melhor uso da energia, realizando várias conferências que visam obter soluções para este problema, tais como: Conferência de Estocolmo, 1972 que teve como resultado a Declaração sobre o Ambiente Humano ou

Declaração de Estocolmo e na criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA. Seguiu-se a Comissão Brundtland em 1983, que se tornou num marco importante para o desenvolvimento sustentável. Em 1992 teve lugar a Cimeira do Rio, também conhecida como a Cimeira da Terra, que com as preocupações com o clima levaram a adopção da Agenda 21 (plano de acção global), seguiu-se o Protocolo de Quioto em 1997 que se incidiu sobretudo nas alterações climáticas e que teve como principal solução a redução da emissão dos gases com efeito de estufa. Mais recentemente realizaram-se a Cimeira de Joanesburgo em 2002 (principal objectivo o desenvolvimento sustentável), o Programa Europeu das Alterações Climáticas (criação de licenças de emissão de gases com efeito de estufa) e a criação da directiva da Eficiência Energética nos Edifícios (16 de Dezembro de 2002) sendo o objectivo melhorar a eficiência energética nos edifícios e, desta forma minimizar a dependência externa de energia e, conseqüentemente reduzir a emissão dos gases com efeito de estufa. Isto deve-se ao facto de o sector dos edifícios ser responsável pelo consumo de 40% da energia consumida a nível Europeu, que passarão a ser obrigados a ter um certificado Energético baseado RCCTE e no RSECE.

Passando agora ao nosso país, Portugal, a energia que o sector da habitação consome (22%) é superior à energia que produzimos, pois apenas produzimos 15% da energia que consumimos, a restante energia que consumimos é obviamente importada. Esta situação reflecte-se na nossa economia, que por sua vez trás conseqüências a nível social pois as pessoas perdem o poder de compra e por último reflecte-se no ambiente, derivado do aumento da emissão de gases nocivos.

Entre 1990 e 2002, a procura energética teve um aumento que atingiu os 61%, ficando para segundo plano a questão da eficiência energética, que nesse mesmo período teve um aumento de apenas 17%. No entanto, é importante referir o crescimento do potencial das energias renováveis, com especial destaque para a energia solar, eólica, hídrica e da biomassa. Em 2003, 36% do consumo bruto de energia eléctrica provinha das energias renováveis e actualmente, ocupamos a quarta posição na União Europeia com mais percentagem do uso de Energias Renováveis no consumo total de energia. [Fonte: www.eco.edp.pt]

De forma a melhorar a eficiência energética e também aumentar a produção de energia, têm sido elaborados alguns planos tais como: Agência para a Energia (1984 – 2000), o Plano Nacional para o Desenvolvimento Económico e Social (2000), o Programa Nacional para as alterações Climáticas (2001), o Programa E4 – Eficiência Energética e Energias Endógenas (2001), o Programa Água Quente Solar para Portugal (2001), Programa para Eficiência Energética em Edifícios – P3E (2001), a

Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (2002), a Estratégia Nacional para a Energia (2005).

O consumo de energia em edifícios pode dizer-se que está relacionado com o bom ou mau isolamento do edifício, ou seja, no caso de haver um bom isolamento do edifício, não é necessário recorrer a sistemas artificiais de climatização para aquecimento ou arrefecimento reflectindo-se numa diminuição do consumo energético. E, juntando a este factor, um reaproveitamento da luz natural n edifício, não haverá grande necessidade do recurso a luz artificial e ajuda também na climatização do edifício.

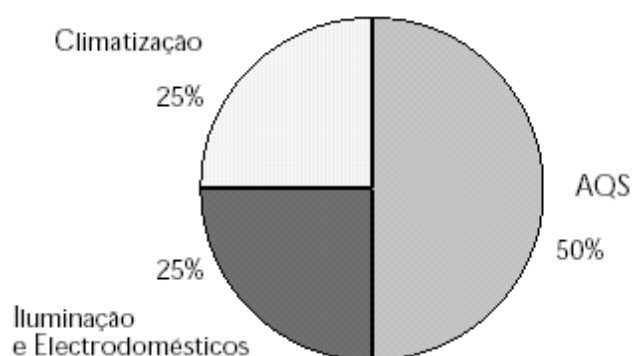


Figura 2.2 Distribuição do Consumo de Energia pelas diferentes áreas da habitação.

[Fonte: DGGE]

Como se observa na Figura 2, metade da percentagem (50%) do consumo de energia é gasto nas cozinhas e nas águas sanitárias quentes, ou seja, na higiene e para confecção dos alimentos. A outra metade é subdividida igualmente pela climatização e pela iluminação e equipamentos, isto é, 25% é no consumo de energia para climatização e os restantes 25% nos equipamentos e iluminação.

No sector residencial doméstico, o aumento do conforto e da taxa de posse de equipamentos consumidores de energia, levou ao crescimento médio anual dos consumos energéticos em edifícios de habitação em 3,7% (dados do início da década 2000). Os 13% em energia final deste sector representam no entanto 27% dos consumos de electricidade em Portugal, evidenciando a importância desta fonte de energia no sector doméstico. Na última década o sector dos edifícios de serviços foi um dos que mais cresceu em consumos energéticos, cerca de 7,1%. Este sector é um dos principais responsáveis pelo acentuado crescimento do consumo em energia eléctrica, que entre os anos 1980 e 1999 aumentou de 19% para 31%. [fonte: DGGE]

Existem três grandes abordagens para a neutralidade ou redução energética:

- Reduzir a procura de energia nos edifícios utilizando, por exemplo, equipamentos que sejam mais eficientes.

- Produção local de energia a partir de fontes renováveis ao contrário do desperdício de recursos energéticos.
- Partilhar energia criar edifícios que possam produzir um excesso de energia para alimentar uma rede inteligente de infra-estruturas.

2.4 Evolução Histórica da Construção

O sector da Construção Civil e Obras Públicas (CCOP) é um sector muito diferenciado dos outros sectores de actividade, quer em termos produtivos, quer em termos de mercado de trabalho. Trata-se de um sector que apresenta uma cadeia de valor muito extensa, porque recorre a uma ampla rede de inputs, proporciona o aparecimento de externalidades positivas às restantes actividades e gera efeitos multiplicadores significativos a montante e a jusante (Nunes, 2001: 7).

A construção é uma actividade económica com especificidades próprias, caracterizada por:

- 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 standardizados;
- 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 interacção 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. (Afonso, et al., 1982).

Segundo um estudo feito pela Miozzo e Ivory, 2000, a indústria da construção não é uma indústria apenas com tecnologias tradicionais e, como é habitual pensar, sem mudanças significativas. As empresas de construção têm vindo a adoptar novas

práticas de gestão, mudanças no design e novas tecnologias relacionadas com os materiais, equipamentos e componentes (Slaughter, 1998; Gann, 1994). Apesar da inovação na construção ter tomado lugar incrementalmente (Male et al., 1991; Arditi et al., 1997), a longo prazo as mudanças tecnológicas e organizacionais originarão transformações dramáticas. Desde os anos 50, estas transformações incluem alterações nos materiais, na industrialização (standardização e pré-fabricação), uso das TI no design (projectos) e na construção (automação e robótica) e alterações na gestão *supply chain*.

Esta transformação inclui mudanças nos materiais tais como custos baixos e melhor performance dos aços; menor peso, e o crescimento de betão pronto misturado; menores custos em vidro de melhor qualidade e de maior resistência, uso de plásticos; custos inferiores de alumínio; e novos adesivos criando melhores juntas laminadas e de partículas. Tem havido também desenvolvimento na pré-fabricação, particularmente no revestimento dos sistemas com o uso do vidro, pedra sintética ou materiais compostos, e mais intensiva produção fabril de subsistemas e componentes.

2.4.1 Construção em Portugal:

Averiguando a situação em Portugal na área da construção, segundo os dados estatísticos do Instituto Nacional de Estatística, fazendo uma referência a este sector em termos quantitativos.

Segundo as estatísticas do INE, em 2008 o número de edifícios registados em Portugal foi na ordem dos 3,4 milhões e 5,7 milhões de fogos, verificando-se um acréscimo relativamente ao ano anterior (de 1,0% e de 1,6%, respectivamente), os quais se inserem em tendências de crescimento nas duas últimas décadas, no entanto com intensidades diferenciadas.

Ainda em 2008, foram licenciados cerca de 39 mil edifícios, que representa um decréscimo de 15,4% relativamente a 2007. O mesmo se verifica nos fogos licenciados em construções novas para habitação familiar, atingindo em 2008 o valor mais baixo desde 1994 e com um decréscimo relativamente a 2007 de 30,3%.

Em comparação com o ano 2000, em 2008 apenas se concluíram 88,6% dos edifícios e 70,7% dos fogos em construções para novas habitações familiares. Relativamente às características das habitações, em 2008, não se registaram alterações significativas em termos estruturais.

No que diz respeito à área licenciada, em 2008 manteve-se o decréscimo que já se tinha sentido em 2007, ou seja, esta área diminuiu em 13,6% relativamente ao ano anterior. Contudo, verifica-se que as obras concluídas por pessoas singulares, teve um acréscimo relativamente ao ano anterior. No caso de empresas privadas, as construções tiveram um decréscimo.

Embora, continuem a ser as empresas particulares a dominar o sector, sendo em 2008 responsáveis por 52,8% do total das obras concluídas em Portugal, e relativamente a outras entidades um valor inferior aos 3%.

No ano de 2008 foram concluídos 53600 edifícios em Portugal, no entanto cerca de 10700 representavam obras de alteração, ampliação e reconstrução, o que significa que aproximadamente 20,1% das obras concluídas dizem respeito à reabilitação dos edifícios. Comparativamente com 2007, verifica-se um aumento de 5,7% do número de edifícios reabilitados (66,3% obras de ampliação e 14,5% obras de reabilitação).

Segundo os dados estatísticos do INE, no sector da indústria, construção, Energia e água, a taxa de empregabilidade tem vindo a diminuir nos últimos trimestres. Desde o quarto trimestre de 2008 até ao quarto trimestre de 2009, houve um decréscimo na empregabilidade neste sector de 1498 para 1389,5, como se pode verificar na tabela abaixo.

Tabela 2.3 População Empregada por sector de actividade principal (CAE-Ver.3) e sexo. [Fonte: INE]

| Portugal | Sexo | Valor Trimestral | | | | |
|--------------------|---------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 2008 | | 2009 | | |
| | | 4ºT | 1ºT | 2ºT | 3ºT | 4ºT |
| Indústria, | Homem/Mulher | 1498,0 | 1455,0 | 1444,6 | 1413,6 | 1389,5 |
| Construção, | Homens | 1104,0 | 1070,4 | 1052,9 | 1028,8 | 1008,3 |
| Energia e | Mulheres | 393,40 | 384,70 | 391,70 | 384,80 | 381,20 |
| Água | | | | | | |

2.4.2 Alvenaria e a sua importância em Portugal:

A importância histórica da alvenaria deve-se sobretudo ao facto de ser o principal material responsável pela habitação dos abrigos contribuídos pelo homem e de ser o principal material estrutural dos edifícios ao longo de 4000 anos de civilização.

Desde os primórdios a alvenaria tem sido exponencialmente usada como forma de construção nas habitações, monumentos e templos religiosos. As primeiras construções em alvenaria datam o ano de 10000 A.C. pelos povos de assírios e persas construíram com tijolos queimados ao sol. Já em 3000 A.C., os tijolos eram queimados em fornos. Como exemplos de alvenaria que se conservam até aos dias de hoje, tem-se as grandes catedrais construídas nos séculos XII a XVII. E a título de exemplo do século XIX existem os solares e palacetes que são uma característica de referência para o nosso país.

No entanto, as construções em alvenaria eram dimensionadas empiricamente daí resultando espessuras das paredes entre 0,3 a 1,3 metros. Alvenaria é definida como o agregado de pedras naturais com argamassa e o agregado de blocos também com argamassa, sendo que uma boa argamassa origina de um modo geral uma boa alvenaria, é um maciço constituído por pedras de diferentes dimensões, partidas de forma aleatória entre si por intermédio da argamassa.

Com a revolução industrial surgiram novos desafios e correntes arquitectónicas tornando as soluções em alvenaria resistente desusadas, sendo aplicadas apenas em construções de pequeno porte. Ainda na época da revolução industrial, o tijolo cerâmico surgiu como um produto industrializado para a construção. As qualidades deste material para elemento do conforto habitacional permitiram uma expansão notável de alvenaria de tijolo cerâmico.

A partir da metade do século XX, as soluções construtivas nos edifícios em Portugal foram sujeitas a uma rápida e profunda evolução. As soluções tradicionais de alvenaria resistentes foram sendo substituídas por betão armado. Este progresso conduziu a que cerca de 98% das estruturas de edifícios realizados em Portugal sejam em estruturas reticulada de betão armado. Esta situação, conduziu a alguns desequilíbrios, na forma como é seleccionada a solução estrutural que melhor se ajuste aos edifícios em termos económicos e de desempenho.

Como se observa na ilustração 3, Portugal encontra-se numa situação diferente da grande maioria dos países desenvolvidos, pois verifica-se um uso maioritariamente do betão armado nas construções quando comparado com outras tipologias de

estruturas. Pode concluir-se perante o gráfico que Portugal não tem sido muito inovador quando se fala em inovação nos materiais usados na construção, uma vez que o recurso a outros materiais que não seja o betão armado e a alvenaria resistente tem sido praticamente nulo. A Dinamarca é a que se revela mais inovadora neste sentido e, em que o uso dos diferentes materiais é quase uniforme.

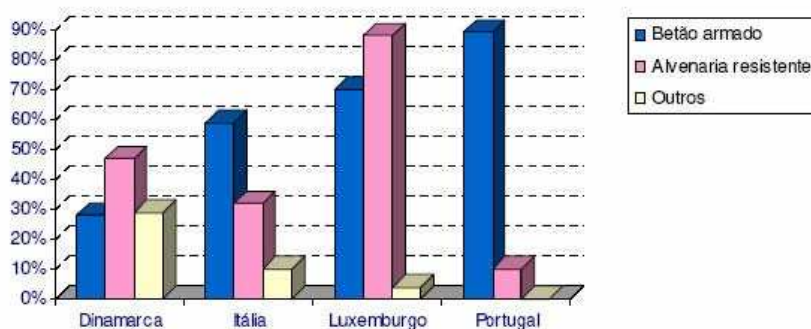


Figura 2.3 Comparação das soluções estruturais usadas em alguns países europeus.

[Fonte: INE]

Actualmente em Portugal na construção de paredes existem diversos elementos de alvenaria, sendo os mais comuns, o tijolo cerâmico de furação horizontal, o tijolo cerâmico para aplicação à vista, os blocos de betão de agregados correntes e leves e mais recentemente os tijolos de furação vertical.

As construções em alvenaria eram dimensionadas com regras empíricas intuitivas, constituídas por paredes muito espessas e em edifícios altos, que perderam o interesse quando comparadas com os edifícios mais bonitos obtidos com recurso às estruturas metálicas e de betão armado. Este desinteresse está interligado com o custo, a funcionalidade, a optimização de espaço e a dualidade custo e tempo de execução das estruturas em alvenaria quando comparadas com as da actualidade.

No entanto, actualmente, começa a notar-se uma tendência para o aumento do volume de construção em alvenaria estrutural. Este facto está relacionado com a visão mais clara das vantagens e desvantagens do processo construtivo.

O seu sucesso económico tem sido alcançado não só pela racionalização da estrutura, mas também porque é possível que as paredes que constituem a edificação desempenham várias funções, tais como: divisão de espaço, isolamento térmico e acústico, protecção ao fogo e adequação às condições climáticas.

Então, as alvenarias têm evoluído, deixando de ser pesadas, espessas e rígidas como nos primórdios, tomaram-se delgadas e os processos de produção mais industrializados.

Em Portugal, os edifícios antigos eram predominantemente construídos com recurso a paredes resistentes de alvenaria simples, englobando materiais diversos. As paredes apresentavam várias possibilidades de soluções, que têm a ver com os materiais usados na sua composição. A localização da matéria-prima condiciona a forma como se distribuem geograficamente ao longo de país as diversas soluções de alvenaria.

Sendo assim, verifica-se que o uso do granito é mais frequente nas zonas de Trás-os-Montes, Beiras, Douro Litoral; tem-se o xisto que é mais usado no Douro e Beiras e existem também os calcários que predominam nas Regiões de Lisboa, algumas zonas do Alentejo e da Beira Litoral.

A argamassa de ligação, também está dependente dos locais, ou seja, entre terra mais ou menos argilosa, o barro e as misturas de areia e cal aérea, sendo as areias mais ou menos argilosas consoante a região, local e a forma de extracção.

Os seguintes edifícios constituem exemplos típicos de construção de alvenaria em Portugal:

1. Agência da Caixa Geral de Depósitos em Avis (fim de construção em 1991)
2. Casa de Queijas (fim de construção em 1973)
3. Biblioteca Bento de Jesus Caraça na Moita (fim de construção em 1997)

As paredes de alvenaria de tijolo e blocos de betão sucederam, em Portugal, às paredes de pedra, com a seguinte sequência, durante o século XX:

1. Paredes simples de tijolo maciço ou perfurado e espessas;
2. Paredes de pedra com pano interior de tijolo furado e eventual caixa-de-ar;
3. Paredes duplas de tijolo com um pano espesso;
4. Paredes duplas de tijolo furado com panos de espessura média ou reduzida;
5. Paredes duplas de tijolo furado com isolamento térmico, preenchendo total ou parcialmente a caixa-de-ar.

O sucesso económico da alvenaria estrutural tem sido alcançado não só pela racionalização da estrutura em si, mas também porque as paredes que constituem a estrutura do edifício desempenhem várias funções simultaneamente, tais como: divisão do espaço, isolamento térmico e acústico, protecção ao fogo e adequação às condições climáticas. Estas evoluíram e deixaram de ser pesadas, espessas e rígidas e tornaram-se delgadas.

2.4.3 Soluções para paredes de alvenaria:

O RGEU foi durante muito tempo a única regulamentação existente no nosso país para a espessura das paredes de alvenaria. Mas no início dos anos 90, alguma da legislação referente aos edifícios passou a condicionar as soluções a adoptar tanto para as paredes exteriores como para as interiores, no que diz respeito à conservação de energia e conforto térmico e acústico, bem como a segurança ao fogo.

Actualmente a generalidade das paredes exteriores são de compartimentação e as soluções mais correntes são:

- Paredes duplas para revestir (tijolo cerâmico de furação horizontal), o isolamento térmico que pode preencher total ou parcialmente a caixa-de-ar (EPS, mais frequente). Estas paredes são normalmente pouco cuidadas em termos de projecto e execução;
- Paredes duplas com pano exterior destinado a ficar à vista (tijolo cerâmico maciço de furação horizontal ou também de blocos de betão) e o pano interior normalmente executado com alvenaria de tijolo cerâmico de furação horizontal (11 cm até 15 cm). O isolamento é realizado da mesma forma que acima referido, ou seja, preenchendo total ou parcialmente a caixa-de-ar.
- As paredes de alvenaria em que são usados os blocos de betão, têm um uso mais reduzido, recorrendo-se a este tipo de alvenaria quando se pretende tirar partido estrutural. Neste caso, o pano interior é de alvenaria de tijolos cerâmicos de furação horizontal.
- O uso de paredes simples tem crescido nos últimos anos, embora não seja ainda muito frequente, sendo usada nesta solução os blocos de betão.
- As paredes interiores são compostas por tijolo cerâmico de furação horizontal (7,9 ou 11 cm), as espessuras maiores apresentam-se nas paredes das casas de banho e cozinhas.

2.4.4 Vantagens das paredes em alvenaria:

Apresenta normalmente um bom desempenho funcional (isolamento térmico e acústico, estanquidade à água, resistência ao fogo e mecânica). Tem uma durabilidade superior à de qualquer outro material. Elementos cerâmicos apresentam uma durabilidade superior aos 1000anos, ou seja, uma durabilidade infinita, enquanto

os restantes elementos apresentam uma durabilidade superior aos 100 anos, isto sem qualquer protecção ou manutenção. Já as argamassas têm uma durabilidade muito superior aos 100 anos.

As paredes em alvenaria apresentam também uma grande flexibilidade e versatilidade, o fabrico dos elementos é fácil e de baixo custo de produção.

Este elemento em termos ambientais não se apresenta muito poluente e o seu custo energético é considerado baixo. Estas alvenarias não poluem o ambiente quando demolidas e podem ser reutilizadas em cerca de 100%.

As alvenarias têm também a vantagem de fácil produção, pois são facilmente manuseáveis, dada a baixa massa por unidade e formato paralelepípedo. Socialmente são de maior aceitação pelo utente e pela sociedade, sendo correctamente a primeira opção de compra do mercado.

Em conclusão, as vantagens das paredes de alvenaria são:

- A melhor relação custo/benefício entre todos os materiais existentes usados para vedação;
- Não existe material de construção mais económico em todo o mundo, considerando-se os investimentos inicial e de manutenção;

Relativamente às desvantagens, tem:

- Necessidade de mão-de-obra especializada para a sua execução;
- Baixa produtividade na execução (elevado consumo de mão-de-obra);
- Domínio técnico centrado na mão-de-obra executora;
- Imagem de ser antiquada e perdulária.

2.4.5 Fundações:

As fundações eram normalmente constituídas por sapatas isoladas, ou contínuas, de alvenaria de pedra ou tijolo, com uma constituição que não se afastava muito da observada para paredes resistentes. Contudo, verificam-se algumas diferenças, tais como:

- Para uma dada parede, a respectiva fundação apresentava uma sobre largura que devia-se a dois aspectos determinantes: a transmissão dos esforços de compressão

de parede ao terreno requeria uma área de contacto superior à parede e à necessidade de serem absorvidos os desvios dimensionais, permitindo uma implantação menos cuidada.

- Para outra parede a respectiva fundação é feita de alvenaria de menor qualidade, explicando-se tal facto pela circunstância de a fundação ser um elemento de transição entre o elemento mais resistente, a alvenaria da pedra e outro menos resistente, o terreno da fundação, podendo apresentar uma classe de resistência mecânica intermédia.

Quando o terreno de fundação não se encontrava à superfície, era vulgar fazer-se caves, de forma a ser possível fundar directamente, ou então criar poços afastados (de 3 em 3 m quadrangulares com cerca de 1 m de lado e com altura suficiente de forma a atingir as camadas resistentes do solo), também havia a possibilidade de colocar estacas de madeira cravadas no solo, embora esta última opção estivesse mais limitada, devido ao porte das árvores e pela moderada energia usada na cravação.

As paredes resistentes de um edifício são as paredes que assumem um papel relevante na estrutura do edifício, no que diz respeito às cargas verticais e a forças horizontais (vento, sismos). Este tipo de paredes nos edifícios tradicionais apresentava traços comuns, existindo no entanto algumas diferenças que as distinguiam. O traço comum a todas elas é o facto de apresentarem uma grande espessura e por serem constituídas por materiais muito heterogéneos. A sua elevada espessura está associada a várias razões de natureza mecânica e estrutural, de estanquidade à água e de conforto. Já no que diz respeito às diferenças, são essencialmente de cariz regional ou até mesmo local, tendo a ver com a disponibilidade dos materiais, da dignidade e importância da obra bem como dos meios do promotor.

No que se refere às paredes resistentes, deve ser dada em especial atenção os seguintes elementos:

- Lintel, verga ou padieira: elemento horizontal atravessando aberturas, apoiado pelas suas extremidades na própria parede, junto ao contorno da abertura. Apenas válida para pequenas aberturas, recorrendo a madeira, pedra talhada ou tosca;

- Arcos que na sua forma mais simples, são toscos e reduzem-se à forma triangular, ou arcos que na construção mais evoluída são uma pedra em tijolo maciço;

- Introdução de reforços, através de peças metálicas, que funcionam como armaduras passivas.

2.4.6 Parede:

É uma vedação vertical com as seguintes características: autoportante, obtida por moldagem, fixa, monolítica, contínua e geralmente pesada.

As paredes podem ser em alvenaria ou maciças e podem ser construídas com blocos de betão, blocos cerâmicos, blocos de betão celular autoclavado, blocos de betão leve e blocos de pedra. As paredes maciças podem ser construídas em betão normal ou leve e em taipa. Com subclassificação podemos assim denominar as paredes:

- Parede estrutural é parte do elemento estrutural ou é o próprio elemento estrutural;
- Parede de contraventamento, ou seja, esta tem uma função estrutural incrementando o grau de rigidez da parede;
- Parede de compartimento, não executa qualquer função estrutural no edifício.

As paredes, de um modo geral, e independentemente da sua constituição podem classificar-se quanto à sua localização e função como:

- Paredes exteriores ou de fachada, que têm como principal exigência funcional proteger o interior dos agentes climáticos, e também garantir o isolamento acústico e térmico.
- Paredes interiores (divisão dos diversos compartimentos).

Características mecânicas das paredes de alvenaria:

- Elevada resistência a esforços de compressão;
- Baixa resistência ao corte;
- Muito baixa resistência à flexão e à tracção.

2.4.7 Paredes de compartimentação:

Este tipo de paredes apresenta soluções construtivas que podem ser consideradas de carácter nacional ou de carácter regional.

A solução de carácter nacional é representada pelo tabique, formado por tábuas coladas verticalmente ou inclinadas ligadas ao pavimento recebendo o fasquiado, constituído por pequenas régua de secção trapezoidal, ao qual aderiria o reboco.

As soluções de carácter regional ou local são caracterizadas pelo uso do adobe, as paredes construídas à base de blocos de argila cozida ao sol, e a taipa à base de terra seleccionada (zonas onde escasseia a pedra).

Ao longo do tempo, as paredes que serviam de divisórias tornaram-se mais leves e finas, tornando mais frequente o uso das alvenarias de tijolo cerâmico, quer por razões económicas, quer por facilidade de execução.

2.4.8 Evolução construtiva:

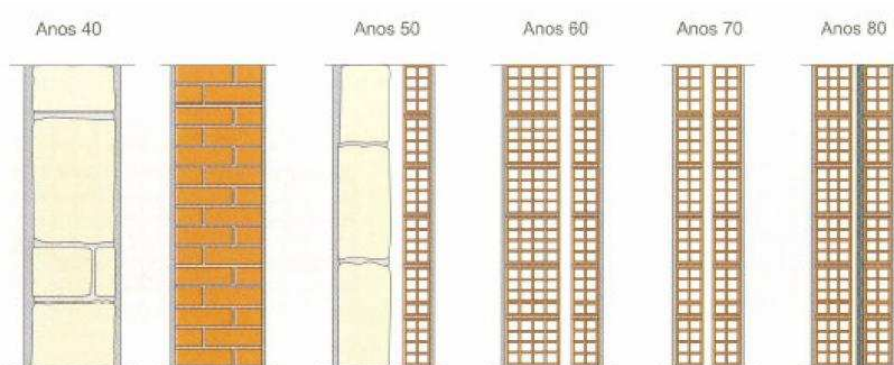


Figura 2.4 Evolução das paredes de alvenaria. [Fonte: Curso de Engenharia Civil, Disciplina de Processos Gerais de Construção II]

As paredes simples têm caído em desuso, embora o seu ressurgimento esteja associado a soluções inovadoras de isolamento térmico pelo exterior (ETICS). Actualmente no sentido da resolução de problemas acústicos e de conforto térmico, adoptou-se pelas paredes duplas, sendo um deles em alvenaria de tijolo e o outro em alvenaria de betão. Outras soluções mais recentes não têm ainda divulgação suficiente, tais como: alvenarias resistentes de furação vertical, alvenarias armadas, alvenarias de montagem simplificada, alvenarias executadas por autómatos e alvenarias com peças complementares, criando soluções construtivas globais para as paredes. Contudo, verifica-se um maior recurso as alvenarias actualmente e, destinam-se a separar o espaço exterior do interior, bem como para a separação dos espaços interiores.

Começando pelos anos 40, os edifícios eram maioritariamente constituídos por um pano de elevada espessura, aproximadamente 40 cm, em alvenaria de pedra sendo no entanto, mais frequentemente o granito ou então por tijolo maciço. As paredes apresentavam várias soluções com diferentes materiais. O tipo de material usado era

influenciado pela localização da matéria-prima, ou seja, onde o elemento construtivo predominava, aí usava-se com maior frequência esse mesmo elemento construtivo. Como exemplo de materiais típicos de algumas localidades temos: nas zonas de Trás-os-Montes, Beiras, Douro litoral predominava o uso de granito; no Douro e Beiras era o xisto e por fim os calcários que se acentuavam nas zonas de Lisboa e em determinadas zonas da Beira Litoral e Alentejo.

Após esta década, surgem as primeiras paredes duplas nos anos 50, constituída por dois panos um interior e outro exterior, sendo o pano exterior de alvenaria de pedra e o interior constituído por tijolo, formando uma caixa-de-ar entre os dois panos que funcionava como caixa-de-ar, ou melhor, como isolamento para o edifício.

Na década seguinte (anos 60), prevaleceram as paredes duplas constituídas por dois panos, embora nesta década os dois panos fossem ambos constituídos por alvenaria de tijolo vazado. Inicialmente o pano exterior era mais espesso que o interior passando posteriormente a ter a mesma espessura.

Na década de 70, as paredes continuaram a ser paredes duplas de tijolo vazado, mas com os panos de iguais dimensões e mais reduzidas.

A introdução do isolamento térmico surge na década seguinte (anos 80), que era preenchido total ou parcialmente por material isolante. Como material isolante, existem diversos materiais que podem ser usados como isolantes, tais como: placas EPS, XPS, MW, PIR, PUR ou ICB;

Actualmente, são usados diferentes formas de isolamento, o ETICS e o isolamento pelo interior. Recorre-se também a diferentes metodologias de construção, tais como:

- Paredes duplas para revestir (paredes exteriores), realizadas a partir de alvenaria de tijolo de furação horizontal, não ultrapassando a parede mais espessa (15 cm). O isolamento térmico é realizado por placas de poliestireno ou por poliuretano projectado, preenchendo parcialmente a caixa-de-ar.
- Paredes duplas com pano exterior destinado a ficar à vista, realizado em alvenaria de tijolo cerâmico maciço de furação horizontal ou ainda de blocos de betão. O pano interior é geralmente realizado por alvenaria de tijolo cerâmico de furação horizontal com 11 cm ou no máximo de 15 cm.
- Paredes duplas empregando alvenaria de blocos de betão (ainda com uso reduzido);
- Paredes simples têm sido cada vez mais usadas na construção, mas ainda não muito frequentes, sendo aplicado o sistema de isolamento ETICS;

- Paredes interiores são realizadas com recurso a alvenaria de tijolo cerâmico de furação horizontal (7, 9 ou 11 cm).

Só no final do século XX é que se verificou a introdução definitiva dos sistemas de reboco pelo exterior, ou seja ETICS. Este sistema é constituído por 6 componentes:

- (1) Fixação ao substrato, através de parafusos e/ou de massa adesiva;
- (2) Placas de EPS, cuja espessura varia conforme a necessidade de protecção térmica;
- (3) Rede em fibra que confere resistência mecânica ao revestimento e cuja espessura varia conforme o nível pretendido de resistência ao impacto;
- (4) Revestimento base que protege o edifício e impede a infiltração de ar;
- (5) Primário e regulador de fundo e
- (6) O revestimento final, de grande elasticidade e disponível numa grande variedade de cores e texturas. Há ainda que contar com os acessórios, tais como eschineiros metálicos e perfis de arranque na base do sistema.

A grande vantagem no uso deste sistema de isolamento é a grande redução ou mesmo eliminação das pontes térmicas, desta forma, fornece um isolamento integrado do edifício, o que impede os ganhos ou perdas de energia através dos elementos estruturais. Tem ainda também a vantagem de uma possível reabilitação das paredes danificadas contribuindo para uma maior longevidade do edifício. Evita também a condensação intersticial derivado da não existência do ponto de orvalho, mantendo desta forma o edifício seco.

No caso do isolamento pelo interior tem-se como principal vantagem, no caso dos edifícios antigos, a arquitectura do edifício e também o facto de ser muito mais económico que o isolamento pelo exterior.

2.4.9 Elementos de construção:

Hoje em dia verifica-se a existência de variadíssimos elementos para alvenaria, tanto para produção industrial como para aplicação mais generalizada, sendo eles os seguintes: os tijolos cerâmicos de furação horizontal, os tijolos cerâmicos para aplicação à vista, os blocos de betão agregados correntes e leves e mais recentemente os tijolos de furação vertical. Os tijolos de furação horizontal são os mais

usados na construção de paredes, tendo uma representação de 90%, quando comparado com o uso de outros materiais.

Como disposições construtivas é necessário ter alguns cuidados durante a realização das alvenarias de pedra, tais como:

- Cunhais, onde se recorria ao uso do travamento singelo e do travamento combinado (cunhais de paredes de pequena e grande espessura);
- Ligações entre panos com recurso às soluções de inter penetração vertical e de caixa contínua;
- Aberturas, mediante o recurso a arcos;
- Redução do número e dimensão das juntas;
- Fluxos de trabalho, onde se preconizava a execução das alvenarias a partir dos cunhais e dos vãos.

Eram usados muito frequentemente gatos metálicos para a ligação de ombreiras e à introdução de elementos metálicos que funcionavam como tirantes, colocados nas extremidades, no caso do tijolo cerâmico, tentava-se respeitar os aspectos já referidos das paredes de alvenaria.

Em Portugal, as paredes em alvenaria de tijolo e blocos de betão surgiram durante o século XX:

- Paredes simples de tijolo maciço ou perfurado e espessas;
- Paredes de Pedra com pano interior de tijolo furado e eventual caixa-de-ar;
- Paredes duplas de tijolo com um pano espesso;
- Paredes duplas de tijolo furado com panos de espessura média ou reduzida;
- Paredes duplas de tijolo furado com isolamento térmico, preenchendo total ou parcialmente a caixa-de-ar.

No entanto, existem outros elementos que são usados, tais como:

- Painéis pré-fabricados de tijolo revestidos a gesso, usados apenas em paredes de compartimentação;
- Blocos de betão de agregados correntes 'splitados,' sendo o seu destino mais frequente nas paredes exteriores;
- Tijolos de cerâmica alveolada de furação vertical;
- Blocos de betão celular autoclavado (produto importado).

Blocos de betão:

Estes surgiram em Portugal durante a década de 60, a sua produção era efectuada em instalações de pequenas dimensões e em linhas de pequena série. Actualmente verifica-se a existência de empresas que investiram em tecnologias de produção em grande série e com níveis de automatização mais actualizados.

Além dos blocos de betão de agregados, verifica-se também a produção exponencial de blocos de betão leve de argila expandida.

Relativamente a este material, as normas portuguesas eram ainda inexistentes, havendo a necessidade de se recorrer a normas de referência, tais como: normas inglesas, BS, normas francesas, NF e as normas americanas ASTM. Mas ultimamente têm-se desenvolvido vários documentos normativos no âmbito dos blocos de betão para alvenaria, no que se refere ao produto, para o ensaio relativo às principais características, bem como para o ensaio relativo a métodos de ensaio para paredes de alvenaria. Assim sendo, as futuras normas para os blocos de betão armado são a prEN773-3:2003 'Especificações para unidades de alvenaria – Parte 3: Blocos de Betão (agregados densos e leves) para alvenaria' e a prEN 773-5:2003 'Especificações para unidades de alvenaria – Parte 5: Blocos de betão de face-à-vista para alvenaria'.

Tijolos:

Os tijolos cerâmicos são dos materiais de construção mais antigos seguidamente da pedra e da madeira. Este é um elemento de substituição, uma vez que inicialmente foi usado em zonas onde não havia predominância da madeira.

Já no século XIX com a revolução industrial, o tijolo cerâmico surge como produto industrializado e, começou-se a destacar as virtudes do mesmo para o conforto da habitação.

Relativamente a normalização para este produto, a existente ainda é dos anos 60 e 70, sendo elas a NP 80 e a NP 834, que estabeleceram as características físicas e dimensionais para os tijolos cerâmicos das alvenarias. No entanto, tem-se vindo a desenvolver documentos de forma a actualizar os já existentes.

Em alguns países da Europa verifica-se um aumento na introdução de novos produtos de alvenaria cerâmica nas técnicas de construção, com ganhos notáveis de produtividade, custo e de melhoria da construção. Portugal é um dos países onde o uso da cerâmica na construção é elevada, no entanto este tipo de materiais não está muito disponível na nossa indústria.

Argamassas:

Este componente é destinado a unir os elementos entre si, transmitindo os esforços existentes na alvenaria, tornando-a monolítica e actuando como um agente de acomodação de deformações. Esta divide-se em dois grupos bastante diferenciados: argamassas com propriedades no estado fresco, ou seja, aquela que ainda é trabalhável ou deformável plasticamente sob a acção de pequenas solicitações e propriedades no estado de endurecimento. E tem também as que são usados no assentamento e no acabamento das alvenarias, que por norma são realizadas na obra (à base de cimento e areia).

Um aspecto importante a ter em conta para o bom desempenho das paredes em alvenaria, é a dosagem de argamassa que contribui para a elasticidade, retracção, entre outros factores, que contribuem para o aparecimento de anomalias.

A normalização referente às argamassas é ainda muito escassa, embora algumas empresas já revelem a sua preocupação, o que induz à inclusão na descrição técnica do produto alguma documentação técnica. No entanto, as empresas produtoras de cimento começaram a dedicar-se mais a este assunto, sendo uma das formas de resolução inicial, a colocação das argamassas no mercado pré-doseadas ou prontas.

Sistemas construtivos:

Existem inúmeros tipos de sistemas construtivos para a materialização das paredes de alvenaria, com vários graus de industrialização, tendo os seus custos de produção uma variação de grande amplitude e uma enorme diferenciação no seu desempenho.

Apesar de a escolha ser difícil e delicada, é fundamental para a qualidade do edifício e é também importante que a escolha seja principalmente técnica, podendo estabelecer-se as seguintes condicionantes fundamentais a ter em conta: de exigência funcional, do projecto, de mercado, de construção, sociopolítico e culturais, de uso e manutenção bem como económicas.

As condicionantes de exigência funcional mais importantes são: a estabilidade, a segurança ao fogo, a segurança na utilização, estanquidade, conforto higrotérmico, o ambiente atmosférico, conforto acústico, conforto acústico, visual, táctil, higiene, adaptação à utilização e durabilidade.

As condicionantes de projecto a ter em conta são: modularidade, coordenação modular com os demais sistemas, flexibilidade arquitectónica, aspectos estéticos e estilísticos, disposições legais e normativas, imposições contratuais e exigências ambientais.

Condicionantes de mercado estão relacionadas com a disponibilidade e prazos de entrega, facilidades de compra, quantidade de fornecedores qualificados, grau de fiabilidade no fornecimento e venda de sistema construtivo.

As condicionantes de construção referem-se às facilidades construtivas, integração e coerência com o sistema construtivo adoptado, disponibilidade de mão-de-obra qualificada para a execução, grau de industrialização e prazo de execução. As sociopolíticas estão relacionadas com a cultura dos utentes, nas tradições construtiva do local e nas políticas sectoriais.

As condicionantes de uso e manutenção dão maior importância à facilidade de substituição e reparação, a facilidade de manutenção, a garantia e assistência técnica e a amovibilidade.

Por último, as condicionantes económicas estão relacionadas com os custos de aquisição, de manutenção da vedação e do edifício, a valorização económica do edifício e estética, bem como a fiabilidade económica e a vida útil.

2.5 Legislação

2.5.1 Energia

A União Europeia publicou a 4 de Janeiro de 2003 a Directiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, que tem como principal objectivo o melhoramento do comportamento térmico dos edifícios novos e reabilitados. A sua implementação nos diferentes estados foi até 2006 e de que forma? Intervindo na climatização (aquecimento e arrefecimento), na iluminação e também ter especial atenção aos materiais usados na construção dos edifícios;

O Programa E4 (Eficiência Energética e Energias Endóneas) foi adoptado pela resolução do conselho de ministros nº 154/2001, de 19 de Outubro como instrumento estratégico para as alterações climáticas, um dos objectivos deste programa era a revisão do RCCTE e do RSECE de forma a aumentar a sua exigência nos edifícios a construir e também para a reabilitação de edifícios. As acções que este programa tem em conta são três tipos:

1. Que condicionam a dimensão e o tipo de climatização necessário

2. Que influenciam directamente com o desempenho do sistema de climatização; (cumprimento da regulamentação RCCTE, etiquetagem de sistemas e incentivos ou subsídios);

3. Que influenciam indirectamente com o desempenho do sistema de climatização (preços de energia, informação ao público).

O primeiro Regulamento em Portugal relativo à térmica dos edifícios é de Fevereiro de 1990, o Decreto-Lei nº 40/90 de 6 de Fevereiro, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) entrou em vigor em 1991, sendo este revisto e saindo uma nova versão em Abril de 2006 como Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril.

Em 1998 temos o Regulamento dos sistemas energéticos de climatização de edifícios, Decreto-Lei nº118/98 de 7 de Maio, revogado pelo Decreto-Lei nº79/2006 de 4 de Abril.

Em 20 de Maio de 2008 cria-se um Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética – Portugal 2015. Este Plano tem como principal objectivo a redução da energia consumida. Sendo o objectivo quantitativo o seguinte, redução até 9% até 2010 e uma redução em 30% até 2015. Este plano visa o melhoramento do rendimento energético dos produtos, dos edifícios, dos serviços, da produção, na distribuição da energia, na redução do impacto dos transportes no consumo energético, em facilitar o financiamento e incentivar a realização de investimentos na área da energia, suscitar e reforçar um comportamento racional em matéria de consumo de energia e consolidar a acção internacional em matéria de eficiência energética. A comissão Europeia prevê que ocorra uma maior redução no consumo de energia no sector dos edifícios (aproximadamente de 27%), no sector comercial (aproximadamente 30%), nas indústrias transformadoras (aproximadamente 25%) e no sector dos transportes (26%). Em termos quantitativos, se ocorrerem estas reduções no consumo de energia, equivale a uma redução no consumo do petróleo na ordem dos 390 milhões de toneladas anuais que representa 100 mil milhões de euros por ano até 2015, permitindo a redução nas emissões de CO2 em 780 milhões de toneladas por ano.

De acordo com o RCCTE, o comportamento térmico de uma parede é caracterizado pelo coeficiente de transmissão térmico de um elemento como sendo a quantidade de calor 'K' que, por unidade de tempo, atravessa uma superfície de área unitária desse elemento, por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ela separa.

No entanto, o RCCTE apresenta algumas limitações sendo uma delas referentes aos ganhos solares passivos, contudo apresenta uma estratégia para estes, baseada nos ganhos directos. Este, tem especificações de compatibilização da iluminação natural com o desempenho higrométrico, isto é, é necessário o edifício ter uma área de envidraçado de 15% da área útil do pavimento.

Ao efectuar o projecto de um edifício deve ter-se em conta os elementos construtivos que nele vão ser aplicados, pois cada elemento tem um factor de transferência de calor de referência (RCCTE) que deve ser respeitado para atenuar as pontes térmicas e, de forma a ter o 'factor de concentração de perdas' igual ou inferior a 1,3. Este facto implica que sejam adoptados um dos seguintes processos:

- Revestimento exterior contínuo com um sistema de isolante recoberto por reboco sintético armado com malha de fibra de vidro;
- Revestimento exterior da estrutura reticulada de betão armado com pano de tijolo de 7 cm;
- Revestimento exterior da estrutura reticulada de betão armado com pano de tijoleira furada de espessura entre 2,5 e 4,0 cm.

No entanto, podem ser usados outros processos além destes, desde que se verifique ganhos solares na situação de Inverno ou então que os ganhos adicionais de calor sejam compensados por melhoria das restantes exigências numa situação de Verão.

As pontes térmicas devem ser corrigidas ou evitadas, uma vez que estas interferem no bom isolamento térmico de um edifício. Estas coincidem com pontos singulares das construções muito solicitadas. Nesses locais verifica-se variações na rigidez e concentração de tensões geradoras de fissuração nos revestimentos e nas paredes, que por sua vez vão provocar infiltrações. A correcção destas consiste no revestimento exterior ou interior dos elementos de construção de betão armado com panos de alvenaria com espessura reduzida.

Necessidades nominais de arrefecimento máximo estão definidas no art.15º do RCCTE, e são:

“2 – Até à publicação da portaria referida no nº1 do artigo 6º, os valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (Nv) de uma fracção autónoma dependem da zona climática do local, e são os seguintes:

- a) Zona V1 (norte), $Nv = 16 \text{ kWhm}^{-2}\text{ano}^{-1}$
- b) Zona V1 (sul), $Nv = 22 \text{ kWhm}^{-2}\text{ano}^{-1}$

- c) Zona V2 (norte), $N_v = 18 \text{ kWhm}^{-2}\text{ano}^{-1}$
- d) Zona V2 (sul), $N_v = 32 \text{ kWhm}^{-2}\text{ano}^{-1}$
- e) Zona V3 (norte), $N_v = 26 \text{ kWhm}^{-2}\text{ano}^{-1}$
- f) Zona V3 (sul), $N_v = 32 \text{ kWhm}^{-2}\text{ano}^{-1}$
- g) Açores, $N_v = 21 \text{ kWhm}^{-2}\text{ano}^{-1}$
- h) Madeira, $N_v = 23 \text{ kWhm}^{-2}\text{ano}^{-1}$

Ultimamente, têm sido realizados estudos acerca da legislação para o conforto térmico de forma a serem actualizadas as normas existentes, desta forma, verificou-se que as normas ISO e ASHARE não se aplicam a todos os locais sendo então apresentadas propostas de forma a melhorá-las.

Nos anos 70, a regulamentação focava em especial o isolamento térmico dos edifícios, já nos anos 80 foi dada maior relevância aos ganhos solares durante o Inverno. Devido ao desconforto térmico sentido durante o Verão, nos anos 90 deu-se maior ênfase à limitação dos ganhos solares para a estação do Verão.

De acordo com o RCCTE (Decreto-Lei nº 78/2006, de 4 de Abril) o comportamento térmico de uma parede é caracterizado pelo seu coeficiente de transmissão térmica.

Para elementos constituídos por várias camadas o coeficiente de transmissão térmica (K) pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{e_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_e}} \quad (2.9)$$

onde:

h_i = Resistências térmicas superficiais, interior e exterior [m^2CW^{-1}]

R_j = Resistência térmica da camada j

R_{ar} = Resistência térmica de espaços de ar não ventilados [m^2CW^{-1}]

Este Regulamento é obrigatório no processo de licenciamento de um edifício e a sua verificação consiste em, confirmar que os materiais apresentam características mínimas exigidas, calcular o valor anual máximo de consumo energético por metro quadrado que é permitido pelo regulamento (aquecimento e arrefecimento) e também regula o uso do formulário para o cálculo do consumo energético anual por metro quadrado que o edifício irá apresentar.

O RSECE apresenta a metodologia de cálculo da potência de aquecimento e arrefecimento de um edifício e tem por objectivo limitar as potências nos sistemas de climatização dos edifícios.

2.5.2 Construção

Inicialmente o dimensionamento das paredes era baseado no conhecimento adquirido dos agentes intervenientes da construção dos edifícios e também obedecia a considerações empíricas associadas à estabilidade, à estanquidade da água da chuva e ao conforto térmico.

Até em pleno século XX, a abordagem em termos de resistência dos materiais era rudimentar e conduzia à adopção de soluções tabeladas em função dos materiais constituintes dos elementos e do porte da construção (Anexo B, ponto 10, 11 e 12).

Apesar de se apresentarem como uma ferramenta legislativa, ambos os documentos não caracterizam, na sua totalidade, a alvenaria, uma vez que não é feita referência relativamente à argamassa a aplicar nas juntas dos elementos.

Mas houve uma evolução no sentido de um melhoramento dos edifícios, quer em termos de construção quer em termos de conforto e para tal criou-se legislação mais adequada.

- Decreto-Lei nº 163/2006, de 8 de Agosto, que aprova o regime de acessibilidades aos edifícios e estabelecimentos que recebem público, via pública e edifícios habitacionais, revogando o Decreto-Lei nº 123/97, de 22 de Maio, determina que os projectistas e donos de obra terão de cumprir regras que permitam eliminar as barreiras arquitectónicas e, assim melhorar a mobilidade dentro e fora de determinado tipo de edifícios.

O Decreto-lei nº 658/74 de 23 de Novembro revogado pelo artigo 17º do Decreto-Lei nº220/83, de 26 de Maio.

O Decreto-lei nº 46/2008, de 12 de Março, o sector da construção civil é responsável por uma parte muito significativa dos resíduos gerados em Portugal.

O Decreto-Lei nº4/2007, terceira alteração ao Decreto-Lei nº 113/93, de 10 de Abril, que transpôs para a ordem jurídica interna a Directiva nº 89/106/CEE, do conselho de 21 de Dezembro de 1998, que aproxima as legislações dos Estados de Membros no que se refere aos produtos de construção.

O Despacho nº 20 824/2006: Lista de normas normalizadas no âmbito da directiva nº89/106/CEE, relativa aos produtos da construção:

Betão: Decreto-lei nº 301/2007, de 23 de Agosto. Estabelece as condições a que deve obedecer a especificação e produção dos betões de ligantes hidráulicos, assim como as disposições relativas à execução das estruturas de betão, e revoga o Decreto-Lei nº 330/95 de 14 de Dezembro.

Aço: Decreto-Lei nº 390/2007 (Decreto-lei nº 237, Série I de 2007-12-10). Estabelece a obrigatoriedade de certificação dos produtos em aço utilizados como armaduras em betão, para efeitos da sua importação ou colocação no mercado, e revoga o Decreto-Lei nº 128/99, de 21 de Abril.

A Directiva dos Produtos de Construção (DPC), de 21 de Dezembro de 1988, é relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas, dos Estados-membros no que respeita aos produtos de construção (Directiva 89/106/CEE) e foi estabelecida com a intenção de eliminar as barreiras técnicas à livre circulação dos produtos de construção no Espaço Económico Europeu (EEE) e que se destinam a ser usados em obras de construção de engenharia civil. A Directiva foi transposta para a ordem jurídica portuguesa através de dois diplomas: o Decreto-Lei nº 113/93, de 10 de Abril, e a Portaria nº 566/93, de 2 de Junho, do Ministério da Indústria e Energia. Com o objectivo de harmonizar as disposições relativas à aposição e à utilização da marcação CE, alguns dos artigos da DPC, bem como de mais onze Directivas da Nova Abordagem, foram modificados pela Directiva do Conselho 93/68/CEE, de 22 de Julho de 1993. Esta directiva foi transposta em Portugal pelo Decreto-Lei nº 139/95, de 14 de Junho, que por sua vez foi posteriormente alterado pelo Decreto-Lei nº 374/98, de 24 de Novembro. Em Janeiro de 2007, o Decreto-Lei nº 113/93 foi novamente alterado pelo Decreto-Lei nº 4/2007, de 8 de Janeiro, o qual, pelo seu Anexo V, procedeu à republicação do Decreto-Lei nº 113/93 incorporando as diversas alterações, bem como a Portaria nº566/93.

A DPC determina que é condição para a introdução no mercado europeu que os produtos de construção - definidos, de acordo com o artigo 1º da DPC, como todos os produtos destinados a ser permanentemente incorporados numa obra de construção, incluindo as obras de construção civil e de engenharia civil -, devem estar aptos ao uso a que se destinam, devendo por isso apresentar características tais que as obras onde venham a ser incorporados satisfaçam às seguintes exigências essenciais:

- Resistência mecânica e estabilidade

- Segurança em caso de incêndio
- Higiene, saúde e protecção do ambiente
- Segurança na utilização
- Protecção contra o ruído
- Economia de energia e isolamento térmico

A Directiva dos Produtos de Construção prevê um conjunto de instrumentos para a sua implementação, dos quais se destacam:

- As especificações técnicas harmonizadas: Normas Europeias harmonizadas ou Aprovações Técnicas Europeias
- Os Organismos Notificados e os Organismos de Aprovação
- Os sistemas de avaliação da conformidade
- A marcação CE nos produtos

São de referir algumas especificidades que distinguem a DPC de outras Directivas da Nova Abordagem:

- A directiva cobre um universo muito maior e mais complexo de produtos (abrangendo praticamente todos os produtos de construção.
- A Directiva define as exigências essenciais das obras e não dos produtos de construção, prevê a demonstração da aptidão ao uso dos produtos por referência a especificações técnicas harmonizadas, estabelece a figura da Aprovação Técnica Europeia (ETA) como uma das especificações técnicas em que se baseia a marcação CE dos produtos da construção e prevê a existência de períodos de transição diferenciados para as diversas especificações técnicas.
- A DPC não visa uma completa harmonização das regulamentações nacionais, uma vez que os Estados-membros ficam livres de regulamentar, nos seus territórios, as características técnicas das construções e o seu controlo de execução. Os Estados-membros têm ainda a possibilidade de, na sua regulamentação, determinar o nível de

protecção em consonância com as exigências essenciais, desde que esses níveis não introduzam novos obstáculos ao comércio.

2.6 Modelo de Cálculo do Software (*Design Builder*)

O *Design Builder* calcula a carga térmica necessária para aquecer ou arrefecer um ambiente, ou seja, calcula a transferência de calor entre o exterior e o interior, através do balanço energético. Este cálculo é baseado no comportamento térmico e energético da edificação, no clima que a edificação está inserida e nos valores de cargas térmicas encontradas.

Este, possui diversas características que o realçam em relação a outros *softwares*, sendo essas características as seguintes:

- Cálculo de energia necessária para arrefecer ou aquecer um ambiente;
- Condução de calor transiente através dos elementos construtivos;
- Modelo de conforto térmico;
- Técnica de solução baseada no balanço de energia para as cargas térmicas dos edifícios;
- Fornece dados de saída de cada componente inserido no programa, possibilitando analisar a influência de cada parâmetro individualmente de acordo com o intervalo definido pelo usuário;
- Analisar a influência dos parâmetros em diversos tipos de clima, uma vez que o programa possui uma biblioteca com um grande número de arquivos climáticos, entre outros.

O balanço de energia do *software* envolve processos de condução (processo em que se verifica diferentes temperaturas no estado estacionário), convecção (a transferência de calor ocorre entre uma superfície e um fluido em movimento) e de radiação (que é a energia emitida por um corpo que se propaga até outros através do espaço que os separa) os quais ocorrem em superfícies internas e externas para cada elemento do edifício.

A metodologia usada para o cálculo é baseada no fluxo de calor por convecção entre as temperaturas internas de cada superfície com a temperatura do ambiente no qual está inserida.

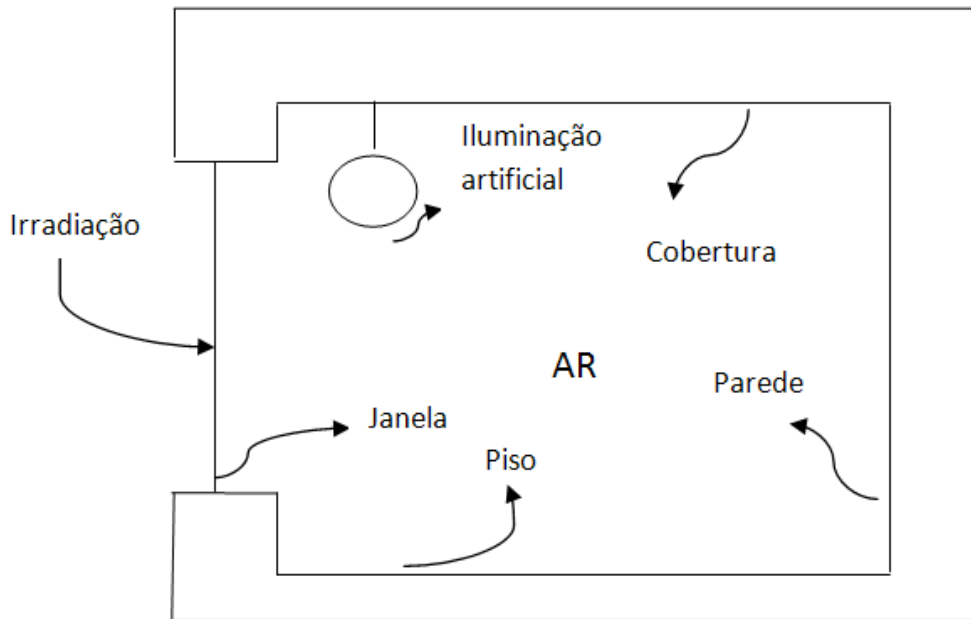


Figura 2.5 Balanço energético das paredes.

O Balanço Energético para superfícies externas:

(2.10)

onde,

q''_{sol} = Fluxo de radiação absorvida directa e difusa;

q''_{Lwr} = Fluxo de radiação de comprimento de onda longa;

q''_{conv} = Fluxo de calor por convecção;

q''_{K0} = Fluxo de calor por condução através da superfície.

O Balanço energético para superfícies internas:

(2.11)

onde,

q''_{LWX} = Troca de fluxo de radiação de comprimento de onda longo entre as superfícies;

q''_{sx} = Fluxo de radiação de comprimento de onda curto emitida pelas lâmpadas;

q''_{Lws} = Fluxo de radiação de comprimento de onda longo;

q''_{Ki} = Fluxo de calor por condução através da superfície;

q''_{sol} = Fluxo de radiação solar absorvida pela face interna;

q''_{conv} = Fluxo de calor por convecção.

O Balanço Energético do volume de ar da zona:

(2.12)

onde,

q_{conv} = Transferência de calor pelas superfícies de convecção;

q_{GI} = Ganhos internos por convecção;

q_I = Transferência de calor devido à infiltração de ar exterior;

q_{sis} = Troca de calor com o sistema de climatização.

Ganhos totais brutos do edifício obtido pela soma dos seguintes factores:

- Através da envolvente do edifício através da incidência da radiação solar;
- Absorção da radiação solar pelos envidraçados;
- Com a renovação do ar;
- Devido à existência dos ocupantes, da iluminação e dos equipamentos.

Como software auxiliar ao *Design Builder* foi usado o *Energy Plus* de forma a facilitar o trabalho e a simulação. Este software é o primeiro interface gráfico exaustivo para o programa de simulação térmica dinâmica *EnergyPlus*. O seu uso é de fácil compreensão e as ferramentas que incluem permitem até que os edifícios mais complexos sejam desenhados e modelados pelos utilizadores menos experientes. Combina as funcionalidades de rápida modelação de edifícios e a facilidade de uso com a simulação energética dinâmica de ponta.

Este pode oferecer dados relativos ao comportamento físico e ambiental do edifício, bem como as fantásticas imagens/ filmes a qualquer fase do desenvolvimento do modelo. Dá também a possibilidade de se obter dados concretos de funcionamento de um edifício quando eles são necessários no processo de concepção do edifício, quando as alterações são ainda fáceis de efectuar.

O *Design Builder* tem como características a existência de uma plataforma de modelação 3D, não há limitações geométricas tridimensionais e estão disponíveis elementos realísticos que fornecem de forma visual e imediata detalhes como espessuras de paredes, janelas, lajes, implementação de caixilhos e molduras de janelas, dá uma boa visualização de áreas e volumes, é possível fazer pré-definições que permitem a atribuição de dados e características de construção, actividades e ocupações e também é possível ao utilizador fazer as suas próprias pré-definições.

A simulação deste software permite a visualização dos dados (componente física) sem recorrer a módulos externos. As descrições do *EnergyPlus* são uma ferramenta versátil e rápida para análise detalhada de sistemas de aquecimento e climatização. Permite a modelação de sistemas de ventilação natural e também as cavidades envidraçadas. As janelas e envidraçados podem ser configurados com diferentes caixilhos, atribuição de iluminação natural e cálculo da respectiva poupança energética de iluminação.

São fornecidos os seguintes dados (anual, mensal, diário ou horário):

- Consumo energético discriminado
- Temperatura do ar interior, média radiante e operacional, humidade relativa
- Índices de conforto
- Dados climatéricos do local
- Transmissão de calor através da envolvente do edifício
- Cargas de aquecimento e climatização
- Produção de CO₂.

São também obtidos os gráficos de análise paramétrica, que permitem investigar os efeitos de variações em vários tipos de parâmetros construtivos, bem como o dimensionamento das unidades de climatização. Os ficheiros IDF podem ser exportados para serem utilizados fora da plataforma.

Relativamente à base de dados deste *software*, este inclui um conjunto de dados climatéricos e de localização *ASHRAE*, possui bibliotecas pré-definidas que permitem

definir materiais de construção, actividades e sistemas de iluminação e AVAC, mas também é possível próprio utilizador criar bibliotecas.

O *Design Builder* tem como potencialidades, a possibilidade de gerar e exportar imagens realísticas do edifício, a análise do sombreamento, gerar filmes AVI de sombreamento e também zonas com diversas *colour-coded layout images show zones activities*.

3 Caso de Estudo

De forma a verificar de que forma tem evoluído o comportamento térmico dos edifícios em Portugal, desde os anos 40 até à actualidade, em termos de variação da temperatura interior, necessidades energéticas e como a introdução do material isolante interfere no conforto térmico de forma a proporcionar conforto térmico aos seus ocupantes, recorreu-se à simulação térmica com o recurso ao programa de computador *Design Builder*, em que para uma casa pré-definida, se introduziram todas as variáveis que influenciam o comportamento térmico do edifício, fazendo variar apenas o tipo de construção, bem como os respectivos materiais, mantendo a mesma arquitectura, uma vez que o que se pretende é a avaliação do impacto do isolamento térmico. De seguida é apresentada a descrição do caso de estudo.

3.1 Localização & Clima

A simulação foi realizada para diferentes zonas do país tais como: Porto, Lisboa, Bragança e Évora, que, segundo o RCCTE, estão classificadas como zona I2 – V1, zona I1 – V2, Zona I3 – V2 e Zona I1 – V3, respectivamente. O RCCTE divide Portugal em diferentes zonas mediante as condições climatéricas nas diferentes estações, então as zonas são classificadas no Inverno por I1, I2 ou I3 e no Verão por V1, V2 ou V3, sendo a classificação I1 e V1 com invernos e verões menos rigorosos e a classificação I3 e V3 com invernos e verões muito rigorosas. De seguida, são descritas as diferentes zonas seleccionadas para as simulações, bem como apresentação das melhores estratégias bioclimáticas a adoptar de forma a obter um melhor conforto térmico. No entanto esta classificação só faz sentido para a casa da actualidade, uma vez que o RCCTE só foi elaborado após a década de 90.

O Porto classificado como Zona I2 – V1, onde a influência marítima minimiza o Verão. Há a necessidade de favorecer e promover a capacidade dos ganhos solares, especialmente no Inverno. No verão verifica-se uma menor amplitude térmica diária devido à influência marítima.

As estratégias bioclimáticas para esta zona na estação de Inverno são a diminuição da condução e promover os ganhos solares. No Verão deve-se restringir a condução e os ganhos solares e promover a ventilação.

Lisboa insere-se na Zona I1 – V2, que é caracterizada pela influência marítima suaviza alguns dos climas (Litoral Sul e Algarve). O Verão merece um cuidado mais especial que no Inverno. No Verão, devido à influência estabilizadora marítima verificam-se menores amplitudes térmicas diárias.

As estratégias bioclimáticas a adoptar no Inverno são a diminuição da condução e promover os ganhos solares. No Verão, restringir a condução e os ganhos solares, dotando os envidraçados com sombreamentos eficazes e promover a ventilação.

Bragança está classificada como Zona I3 – V2, caracterizada por um Inverno mais exigente que o Verão. As condições deverão motivar uma maior capacidade do edifício para absorver ganhos de radiação solar. No Verão verificam-se amplitudes térmicas diárias relevantes devido à influência do clima continental pelo que é muito conveniente uma inércia térmica forte devido aos climas tanto de Inverno como de Verão.

Nesse sentido as melhores estratégias bioclimáticas a ter em atenção, tanto no Inverno como no Verão, deve ser a limitação da condução. No inverno devem ser promovidos os ganhos solares que devem estar associados a uma boa massa de armazenamento térmico. Sistemas solares passivos de aquecimento são muito adequados. No verão, a restrição dos ganhos solares é fundamental, bem como a inércia térmica pesada e os sistemas de arrefecimento evaporativo.

Évora está classificada como Zona I1 – V3, em que as exigências de Verão devem ter mais importância que as de Inverno. Verifica-se uma maior predominância da influência continental que se reflecte em climas mais secos e de altas amplitudes térmicas, por isso deve-se motivar estratégias de arrefecimento evaporativo e de inércia forte.

Relativamente às estratégias bioclimáticas no Inverno incide na limitação da condução, promover os ganhos solares e uma inércia forte. No Verão, restringir a condução e os ganhos solares, promover uma inércia forte e o arrefecimento evaporativo.

Os ficheiros climáticos com toda a informação necessária para que se possa proceder à simulação e com o formato adequado à entrada no programa (.epw) encontram-se disponíveis no *site* do Departamento de Energia do Governo dos Estados Unidos da América, sendo no entanto a fonte original dos arquivos climáticos o *“Worls Design Data 2001 ASHRAE Handbook”*. Estes arquivos são gerados a partir de um período longo de registo, tipicamente 30 anos, de maneira a serem representativos do clima local a que se referem.

Dos elementos climáticos que se encontram no ficheiro climático os que mais directamente influenciam o comportamento térmico dos edifícios são:

- Temperaturas do ar, os valores de temperatura encontram-se sobre a forma de médias mensais, medias horárias para cada mês e de valores extremos com dada probabilidade (pequena) de ocorrência, sendo estes últimos os mais importantes quando se pretende estudar o comportamento térmico dos edifícios.
- Radiação solar, a intensidade de radiação solar encontra-se também sob a forma de médias mensais. Este parâmetro climático tem elevada importância no período de Inverno, contribuindo para um melhor conforto térmico e é o factor mais condicionante desse conforto em período de Verão.
- Ventos, o vento é caracterizado pela sua velocidade e direcção predominante para cada mês e tem uma importância extraordinária no comportamento térmico do edifício.
- Humidade, a humidade é considerada através de valores médios mensais de “temperatura de bolbo húmido”. Embora o nosso país tenha um clima temperado e por isso a humidade do ar não assumir a importância que tem para países de clima quente e húmido, a sua consideração é importante especialmente no dimensionamento de sistemas de condicionamento de ar.

3.2 Ganhos Internos

O consumo energético de um edifício não se deve somente às suas características termo físicas ou às condições climáticas, mas depende também de factores tais como a ocupação, iluminação, equipamentos eléctricos, os ganhos solares interiores e exteriores às janelas. Com este grupo pretende-se descrever os ganhos internos de calor devido à ocupação, iluminação e utilização de vários tipos de equipamento.

3.2.1 Ocupação

É importante definir qual o tipo de ocupação do edifício, pois este permite saber de que forma, os ocupantes, interferem no conforto térmico e também para obter informação necessária para o cálculo do nível de conforto térmico de cada grupo de ocupantes de acordo com a escala de *Fanger*.

De forma a conseguir definir quantitativamente o nível de conforto térmico, *Fanger* (1972) desenvolveu uma equação geral de conforto, assumindo que o equilíbrio térmico é controlado por aspectos fisiológicos quantificáveis e estabelecendo assim um índice – PMV (*Predicted Mean Vote*). Este índice é constituído por uma escala de sensação térmica que avalia as sensações dos indivíduos num determinado ambiente, variando entre o Frio (-3) e o Quente (3), sendo 0 a condição de equilíbrio térmico. Este índice está ainda relacionado com o PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) que quantifica a percentagem de pessoas que num grupo se sentem desconfortáveis. Uma particularidade destes dois índices é o facto de, mesmo quando um grupo de pessoas se sente confortável num ambiente, a percentagem de pessoas que se sentem desconfortáveis nunca é igual a zero, para PMV igual a zero o PPD é 5%. Este facto traduz as singularidades individuais na forma de sentir o conforto térmico. Estes índices assim definidos têm encontrado larga audiência internacional e foram já objecto de Norma ISO.

A Norma ISO atrás referida, EN ISO 7730, apresenta recomendação de exigências de conforto baseadas nos índices PMV e PPD anteriormente descritos, recomendando, para espaços onde se verifique ocupação humana, que o valor de PPD seja inferior a 10%, o que equivale a admitir valores PMV compreendidos entre -0,5 e +0,5 correspondentes às sensações de muito pouco frio e muito pouco quente respectivamente como se pode ver na Figura 15.

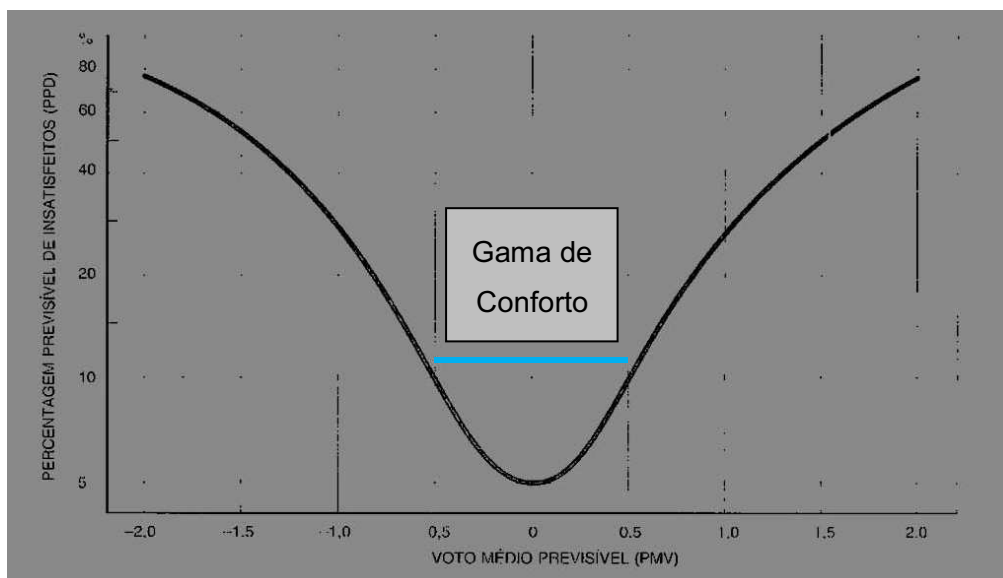


Figura 3.1 Relação entre a percentagem previsível de insatisfeitos (PPD) e o voto médio previsível (PMV), segundo Fanger.

Tal como já foi referido, o conforto térmico no interior de um edifício é importante para o bem-estar dos ocupantes e também para uma melhor produtividade nas actividades

desempenhadas. Deve também ter-se em atenção o vestuário usado, pois este influencia na situação de menor ou maior conforto.

Os parâmetros que influenciam a condição de conforto térmico no corpo humano são:

Ambientais:

Temperatura radiante;

Temperatura do ar;

Humidade do ar; Velocidade do ar.

Individuais:

Actividade metabólica;

Vestuário

Então, para se obter o índice de conforto térmico na simulação que se pretende realizar, os parâmetros descritos anteriormente têm de ser descritos. Os ambientais são calculados pelo programa segundo os balanços energéticos definidos no 2.2. A taxa metabólica e o vestuário têm de ser descritos neste capítulo.

O valor de taxa metabólica varia consoante a actividade que o indivíduo desempenha como pode ser observado na Tabela 3 (Fonte: *Handbook of Fundamentals, ASHRAE*).

Tabela 3.1 Taxa metabólica para diferentes tipos de actividade realizada

| Tipo de Actividade | Taxa Metabólica (Wm⁻²) | Taxa Metabólica (Wpessoa⁻¹) * |
|---------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Dormir | 40,00 | 70,00 |
| Em estado relaxado | 70,00 | 122,5 |
| Cozinhar | 105,0 | 183,8 |
| Caminhar (0,9 m/s) | 115,0 | 201,5 |

Notas:

*Considerando área média do corpo humano igual a 1,75 m²

Assumiu-se que em todas as zonas, excepto na zona 2 (cozinha), os ocupantes se encontram em estado relaxado, o que corresponde a uma taxa metabólica de 122,5 Wpessoa⁻¹, na zona 2 o valor declarado foi de 183,8 Wpessoa⁻¹.

O tipo de vestuário é descrito em relação à sua resistência térmica. Alguns desses valores encontram-se na Tabela seguinte (Fonte: *Handbook of Fundamentals, ASHRAE*)

Tabela 3.2 Resistência térmica de diferentes tipos de vestuário.

| Tipo de Vestuário | Resistência Térmica ($m^2\text{°C}W^{-1}$) |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Calções | 0,016 |
| Roupa Leve de Verão | 0,078 |
| Fato de trabalho | 0,124 |
| Roupa de Inverno | 0,155 |
| Fato Completo | 0,233 |

Como se pretende realizar a simulação para o período de Verão e Inverno foram usados os valores de $0,078 m^2\text{°C}W^{-1}$ e $0,155 m^2\text{°C}W^{-1}$ para cada uma das estações respectivamente.

Quanto ao número de ocupantes, assumiram-se ser quatro ocupantes na habitação que se pretende simular.

3.2.1 Iluminação

A iluminação é descrita em relação à potência total do conjunto de lâmpadas em cada zona, e ainda a fracção de energia emitida sob a forma de radiação visível e radiação térmica.





| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
|  | Halogénio |
|  | Incandescente |
|  | Fluorescente |
|  | Fluorescente compacta |

Figura 3.2 Tipos de Lâmpadas mais frequentes.

Como se pode observar na Figura 7, existem quatro tipos principais de iluminação doméstica. As mais económicas são as fluorescentes e fluorescentes compactas, este tipo de lâmpadas apresenta uma fracção de radiação visível superior às lâmpadas incandescentes que dissipam muita energia que consomem sob a forma de radiação térmica. As lâmpadas fluorescentes apresentam ainda um tempo de vida superior ao das incandescentes para o mesmo nível de utilização. No entanto, hoje em dia ainda se verifica um maior uso de lâmpadas incandescentes contínua em relação as fluorescentes ou outras.

Os dados declarados em relação à iluminação para o caso em estudo encontram-se na seguinte tabela (fonte: *Handbook of Fundamentals, ASHRAE*)

Tabela 3.3 Descrição da iluminação para as diferentes zonas consideradas no caso de estudo.

| | Zona 1 (Quartos) | Zona 2 (Cozinha) | Zona 3 (Sala) | Zona 4 (casa de banho) | Zona 5 (hall) |
|----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Tipo de Lâmpada | Inc. | Fluor. | Inc. | Fluor. | Inc. |
| Potência | 480 W (8x60W) | 69 W (3x23W) | 480 W (8x69W) | 46 W (2x23W) | 120 W (2x60W) |
| Fracção de radiação térmica | 0,80 | 0,20 | 0,80 | 0,20 | 0,80 |
| Fracção de radiação visível | 0,10 | 0,20 | 0,10 | 0,20 | 0,10 |

3.2.1 Equipamento Eléctrico

O uso de equipamento eléctrico é responsável por cerca de 85% do consumo energético doméstico. Nas zonas onde esta utilização é mais acentuada, a carga térmica pode ser muito afectada. É declarada para cada zona a potência nominal instalada e a potência dissipada pelo equipamento.

Na tabela abaixo são apresentados os valores da potência e da potência dissipada térmica dos equipamentos eléctricos (fonte: *Handbook of Fundamentals, ASHRAE*)

Tabela 3.4 Descrição do equipamento eléctrico considerado no caso de estudo

| Zona | Equipamento | Potência (W) | Potência Térmica Dissipada (%) |
|-------------------------|------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Zona 2 (cozinha) | Frigorífico | 1340 | 40 |
| | Combinado | | |
| | Microondas | 1110 | 75 |
| | Forno | 2500 | 75 |
| | Placa vitrocerâmica | 1000 | 100 |
| | Máquina de Lavar loiça | 1050 | 40 |
| | Máquina de lavar roupa | 2300 | 40 |
| Zona 3 (sala) | Televisão | 68,0 | 30 |
| | Aparelhagem de som | 50,0 | 30 |

3.2.1 Horários

Os horários determinam o padrão de uso do espaço, ou seja, definem o percentual de contribuição de carga térmica ao ambiente, proveniente de diversas fontes. Foram definidos horários para a permanência dos ocupantes, para a utilização do equipamento eléctrico e iluminação para cada zona, para cada hora do dia em todos os dias da semana e por fim para todos os dias do ano. As zonas com maior número de horas de ocupação são as zonas 2 e 3, cozinha e sala, respectivamente. Ao fim-de-semana há uma maior frequência de ocupação do que durante a semana, ou seja, durante o fim-de-semana os ocupantes passam mais tempo na habitação que semanalmente. Isto tem a ver com o facto de durante a semana estes permanecerem no mínimo 8h diárias no local de trabalho ou na escola, o que permite dizer que semanalmente as horas de ocupação são maioritariamente da parte da manhã ao levantar, preparação do pequeno-almoço e vestir (7h às 8h) e ao final do dia, após o trabalho e preparação do jantar (após as 19h), estas horas divididas pelas diferentes zonas da habitação, embora a maior percentagem de ocupação esteja localizada na sala e cozinha, tal como já referido.

Segundo o Regulamento RSECE: 'O número de pessoas de referência deve corresponder à ocupação máxima normalmente prevista para o edifício, respeitando, no entanto, os limites máximos e mínimos de 0,02 pessoas m^{-2} nos pequenos espaços com pequenos níveis de ocupação (*halls*, consultórios, bibliotecas) e de 1,2 pessoas m^{-2} nos espaços sujeitos a grande concentração de pessoas (sala de reuniões, auditórios).' [Fonte: RSECE, Anexo IV]

Relativamente aos dados de entrada no *Design Builder*, na definição das diversas propriedades da habitação mais propriamente na actividade da habitação, definiu-se a densidade de pessoas por metro quadrado (ocupação), em termos quantitativos, de 0,2 pessoas m^{-2} (como se pode verificar na Figura 8) isto porque a habitação é para uma família composta por 4 pessoas e tem uma área total no valor de 820,8 m^2 e também porque no conjunto da habitação tem zonas de mais ocupação que outros, como por exemplo a cozinha e sala, sendo os quartos, casas de banho e hall com uma menor ocupação. Então, assumiu-se um valor intermédio dos valores limite dados pelo RSECE para esta habitação.

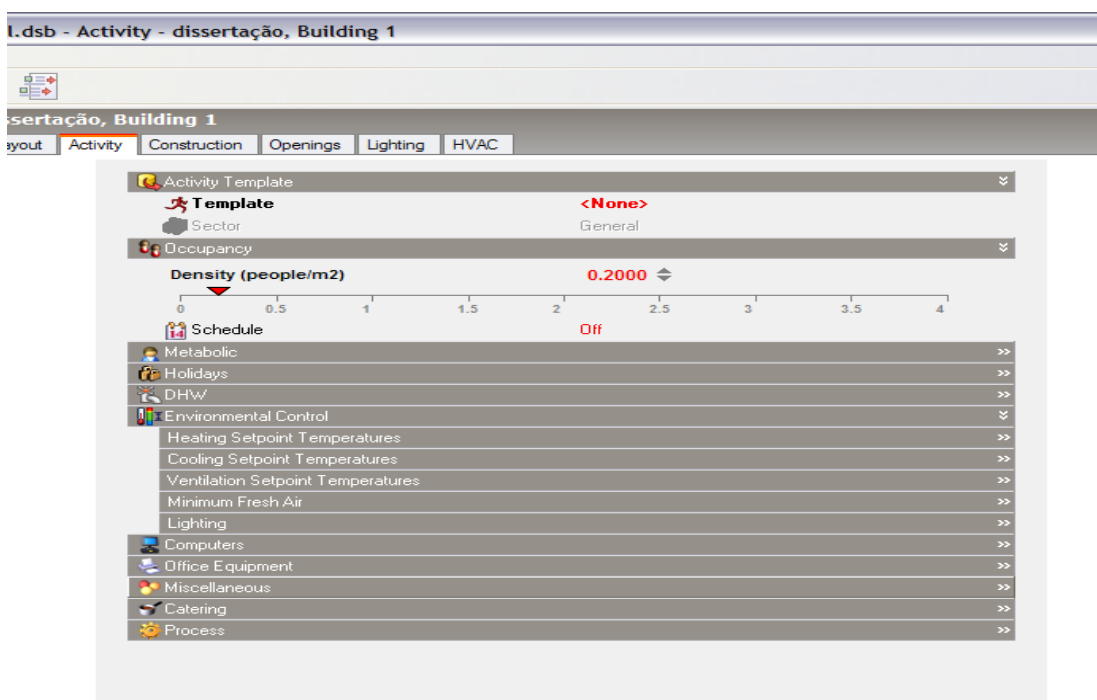


Figura 3.3 Densidade por metro quadrado de ocupação da habitação do caso de estudo. (Fonte: *Design Builder*)

3.2.2 Ventilação

Da utilização corrente da habitação, resultam substâncias que necessitam de ser removidas para que o ambiente interior seja adequado à permanência dos ocupantes e ao seu bem-estar. Estas substâncias são principalmente o vapor de água (cozinha e casa de banho), dióxido de carbono, monóxido de carbono e odores que resultam especialmente da actividade fisiológica humana, da combustão de aparelhos termo domésticos, do uso do tabaco, da actividade doméstica e da utilização de instalações sanitárias.

Então, de forma a expulsar estas substâncias produzidas bem como os ganhos internos de calor, especialmente no Verão, é necessário que a habitação possua um sistema de ventilação de forma a ventilar o edifício. No nosso país, Portugal, é mais frequente o recurso à ventilação natural do que da mecânica (arrefecimento pelo Solo, por evaporação e radioactivo).

A ventilação natural é promovida pela diferença de pressão de um lado e outro das janelas, portas, chaminés e frinchas, quer por origem na diferença de temperaturas interior – exterior, quer por acção directa do vento entre as fachadas e pela alteração da densidade do ar por acção da temperatura. No entanto deve ser controlada de forma a não gerar correntes de ar incómodas para os ocupantes e não incrementar, desnecessariamente, as perdas energéticas na estação de aquecimento. Relativamente á ventilação mecânica, existem várias formas de ventilação: arrefecimento pelo solo que pode ser realizado directamente (sistemas de ventilação no solo) ou indirectamente (através de permutadores), arrefecimento evaporativo conseguido pela mudança de fase da água do estado liquido para o estado de vapor, normalmente através de piscinas ou então por sistema de vaporização do edifício e por último o sistema de arrefecimento radioactivo realizado principalmente pela cobertura uma vez que este está em contacto mais directo com o ar e a radiação (as coberturas horizontais são mais favorecidas).

Os caudais tipo normais dizem respeito a situações em que os compartimentos se encontram em plena utilização, pelo contrário os caudais tipo reduzido devem ser satisfeitos para ocasiões em que os compartimentos de serviço não estão a ser utilizados ou quando a actividade dos compartimentos principais é reduzida. Os valores referentes a estes caudais encontram-se na Tabela 8 (Fonte: *Ventilação em edifícios de habitação, LNEC*).

Tabela 3.5 Valores de referência de caudais de ar tipo normal e reduzido

| | Compartimentos Principais * | Compartimentos de serviço ** |
|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Caudal tipo normal | Uma renovação por hora | Quatro renovações por hora |
| Caudal tipo reduzido | Maio renovação por hora | Uma renovação por hora |

Notas:

*Referem-se a salas e quartos

**Referem-se a serviços sanitários e cozinhas

No caso da habitação, foi considerado que a ventilação ocorre de forma natural, não sendo usado nenhum sistema de climatização artificial. E a taxa de renovação por hora assumiu-se o valor de 0,6 (ach^{-1}), segundo o RCCTE no Anexo IV no ponto 3.2.1 Ventilação Natural.

3.2.3 Construção

O tipo de construção e as características dos materiais em relação às paredes de fachada, pavimentos, coberturas e portas condicionam bastante as condições de conforto interior. As características exteriores ao edifício também influenciam no bom desempenho térmico do edifício, uma vez que a escolha dos materiais a serem usados, devem estar de acordo com o clima que se faz sentir no local da habitação.

No caso de estudo, são realizadas cinco simulações de habitações com diferentes tipologias que reproduzem, cronologicamente, a evolução da construção desde os anos 40 até à actualidade.

3.2.3.1 Evolução da tipologia construtiva

A evolução social e económica proporcionou, desde os anos 40, a uma rápida evolução das exigências térmicas das construções.

Em Portugal a forma de projectar e executar alvenarias sofreu uma grande evolução após a revolução industrial. Nos anos 40 os projectos eram realizados através de conhecimento empírico, não havendo necessariamente realização de cálculos.

Alvenaria – Paredes de fachada:

Nos anos 40, as paredes eram simples e de pedra (granito, basalto, entre outros) com espessuras bastante grandes (60 cm) estas evoluíram para paredes duplas que se apresentavam com dimensões mais finas e que mais tarde passaram a incorporar material isolante na caixa-de-ar, total ou parcialmente.

A evolução verificada nas alvenarias desde os anos 40 é descrita em seguida em cinco fases:

1º Fase: Nos anos 40 verifica-se um gradual abandono das paredes simples de pedra com cerca de 60 cm de espessura e de outros materiais, tais como: adobe, taipa (materiais de origem local). E, surgem então as paredes simples de alvenaria de tijolo, este aparecimento deveu-se fundamentalmente à exigência de um maior conforto térmico e também ao crescimento e evolução da indústria cerâmica que fez com que a produção dos elementos cerâmicos fosse menos morosa e com menores custos.

Contudo, esta solução não era suficiente para satisfazer as necessidades em termos de conforto térmico, pois verificava-se a abertura de fendas que comprometia a estanquidade da água da chuva.

2º Fase: A melhoria das soluções de alvenaria de tijolo de barro vermelho de furação horizontal proporcionou o aparecimento de soluções com maior desempenho e conforto térmico dos espaços interiores. A parede dupla de tijolo introduzindo um espaço de ar, surgiu nos anos 70, com propriedades importantes para a dissipação da temperatura e controlo de pressões e condensações internas.

3º Fase: A caixa-de-ar das paredes duplas passou a ser preenchida parcial ou totalmente por um material isolante, sendo mais frequentes os isolantes EPS e o XPS.

4º Fase: O crescente interesse pela área do conforto térmico e consequentemente eficiência energética, induz ao aparecimento de regulamentação específica para esta área (anos 90), dando mais ênfase à inércia térmica das soluções de alvenaria. O espessamento dos diferentes panos que constituem a parede dupla evoluiu de forma a melhorar a inércia térmica (pano interior), e melhorar a resistência mecânica e ao fogo

(pano exterior). É então nesta fase que surge a parede dupla (11cm+15cm) com isolante.

5º Fase: Em relação à parede anterior surge um problema, que é o facto de o pano exterior ser mais fino, o que leva a uma maior vulnerabilidade em relação a fissurações.

Após esta descrição, as situações simuladas neste trabalho dizem respeito a cinco tipologias de construção:

Tipo I: Anos 40 – Parede de Pedra (Granito);

Tipo II: Anos 40 - Parede de Pedra (Granito) com aplicação de isolamento exterior (EPS);

Tipo III: Anos 70 – Parede dupla de tijolo (ambos os panos com 11 cm) e sem material isolante térmico na caixa-de-ar;

Tipo IV: Parede Dupla de tijolo (15cm + 11cm) com material isolante na caixa-de-ar, o EPS, uma vez que este é o mais usado na construção em Portugal.

Tipo V: Parede Simples com isolamento pelo exterior e o material isolante a usar é o EPS.

Coberturas:

O tipo de cobertura mais frequente em Portugal é a cobertura inclinada com esteira horizontal, este tipo de cobertura tem como objectivo o fácil e rápido escoamento das águas das chuvas e da neve (caso exista). O revestimento deste tipo de cobertura, não sofreu grandes alterações desde os anos 40 até à actualidade, sendo constituído por elementos descontínuos que podem ser de pequenas dimensões faciais como é o caso da telha cerâmica.

Relativamente a cor da cobertura, este factor é também de extrema importância, principalmente no verão. Em Portugal a cor mais frequente nas telhas é o vermelho, que segundo o RCCTE, é considerada uma cor clara. Desta forma, no verão, não se verifica uma grande absorção da radiação por parte destas telhas e, desta forma não se verifica ganhos internos excessivos por condução.

Até aos anos 40, a esteira horizontal era constituída por um estrado de madeira assente em vigotas de madeira. Mais tarde, com o uso frequente do betão, este tipo de construção por laje de esteira horizontal em madeira é substituída por betão e actualmente ainda é efectuada com betão, mas é-lhe adicionado material isolante.

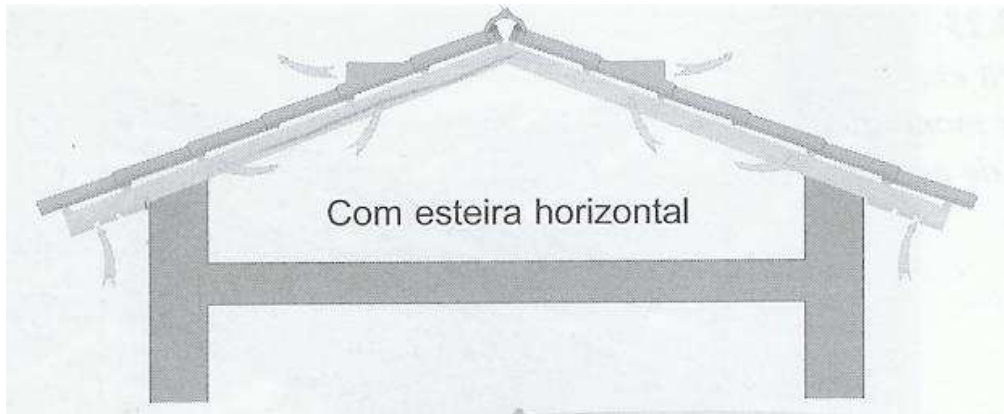


Figura 3.4 Cobertura inclinada com esteira horizontal e esquema de ventilação.

Pavimentos/Pisos:

Os pavimentos inicialmente, na década de 40, eram constituídos por 2 cm de madeira e com uma caixa-de-ar de 20 cm de espessura, no caso dos pisos era acrescentada ainda uma vigas em madeira que serviam de suporte à estrutura.

Já na década de 60 verificam-se algumas mudanças nos pavimentos que foram evoluindo, constituídos por 30 cm de betão e 2 cm de argamassa, nesta época os pisos tinham a mesma composição que os pavimentos. Este tipo de estrutura tem-se mantido até aos dias de hoje.

3.2.3.2 Dados de entrada no *Design Builder*.

Tal como já foi dito, vão ser feitas cinco simulações que descrevem a evolução construtiva em Portugal:

1. Tipo I (Anos 40):

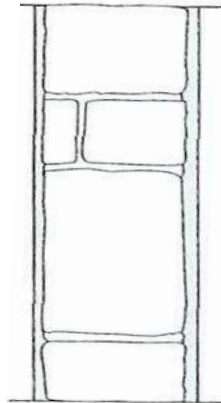
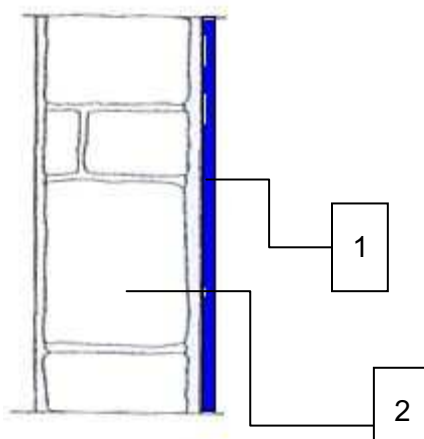


Figura 3.5 Parede de Pedra

A Figura 10 representa o corte de uma fachada de alvenaria de pedra, típica da década de 40 e com as características que de seguida são descritas:

- Parede exterior: 60 cm em pedra
- Parede interior: 10 cm em pedra
- Esteira horizontal: 2cm em madeira
- Piso: 20 cm de ar + 2cm em madeira
- Janelas: 0,04cm de vidro simples com caixilharia em madeira sem corte térmico e com portadas em madeira pelo interior.
- Porta exterior: 5,5 cm em madeira
- Porta interior: 3,5 cm de madeira

2. Tipo II (Anos 40 (com isolamento exterior)):



Legenda:

- 1 – Isolamento térmico pelo exterior (EPS)
- 2 – Alvenaria de Pedra (Granito)

Figura 3.6 Alvenaria de Pedra (Granito) com isolamento exterior.

A Figura 11 representa o corte de uma fachada de alvenaria de pedra com isolamento. Esta fachada não é típica de nenhuma época em especial, é realizada para comparação de resultados com a da Figura 10 de forma a verificar o comportamento da habitação, sendo as características descritas em seguida:

- Parede exterior: 60 cm em pedra
- Parede interior: 10 cm em pedra
- Isolamento exterior com 4 cm (EPS)
- Esteira horizontal: 2cm em madeira
- Piso: 20 cm de ar + 2cm em madeira
- Janelas: 0,04cm de vidro simples com caixilharia em madeira sem corte térmico e com portadas em madeira pelo interior.
- Porta exterior: 5,5 cm em madeira
- Porta interior: 3,5 cm de madeira

3. Tipo III (Anos 70):

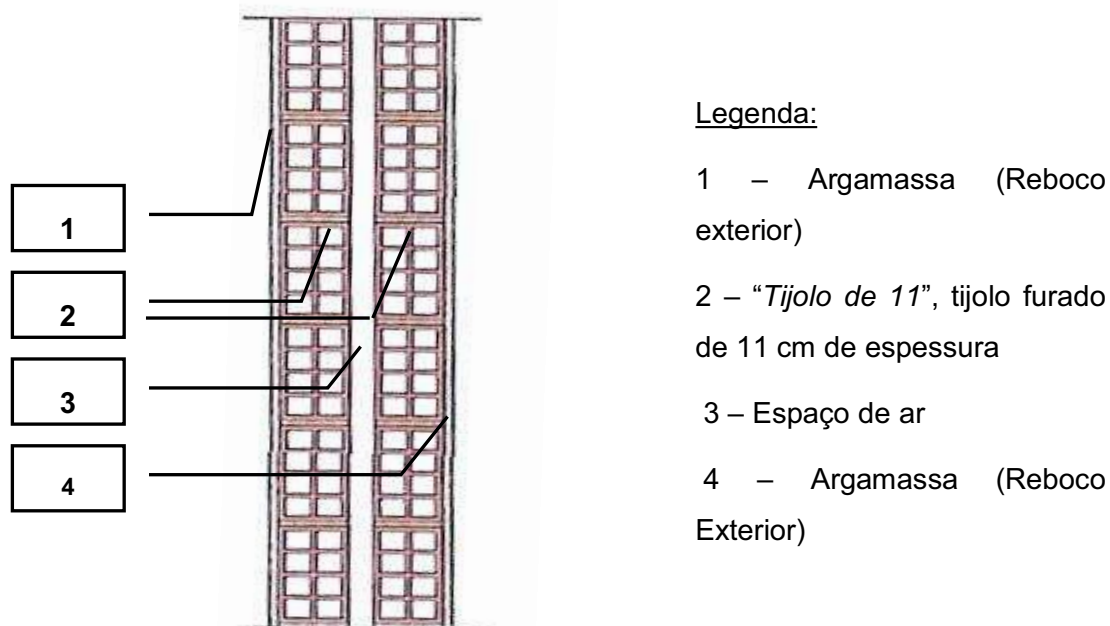


Figura 3.7 Parede dupla de tijolo (11 cm + 11 cm) sem isolamento

A Figura 12 representa o corte de uma fachada de parede dupla com os dois panos de iguais dimensões (11 cm) e sem isolamento. Esta fachada é típica da década de 70, sendo as características descritas em seguida:

- Parede exterior: 3cm argamassa + 11 cm tijolo + 4 cm de ar + 11 cm de tijolo + 3 cm de argamassa

- Parede interior: 3 cm de argamassa + 11 cm de tijolo + 3 cm de argamassa
- Esteira horizontal: 2cm de argamassa + 30 cm de betão + 2 cm de argamassa
- Piso: 30 cm de betão + 2 cm de argamassa
- Janelas: 0,04cm de vidro simples com caixilharia em alumínio sem corte térmico e com persiana.
- Porta exterior: 5,5 cm em madeira
- Porta interior: 3,5 cm de madeira

4. Tipo IV (Actualmente):

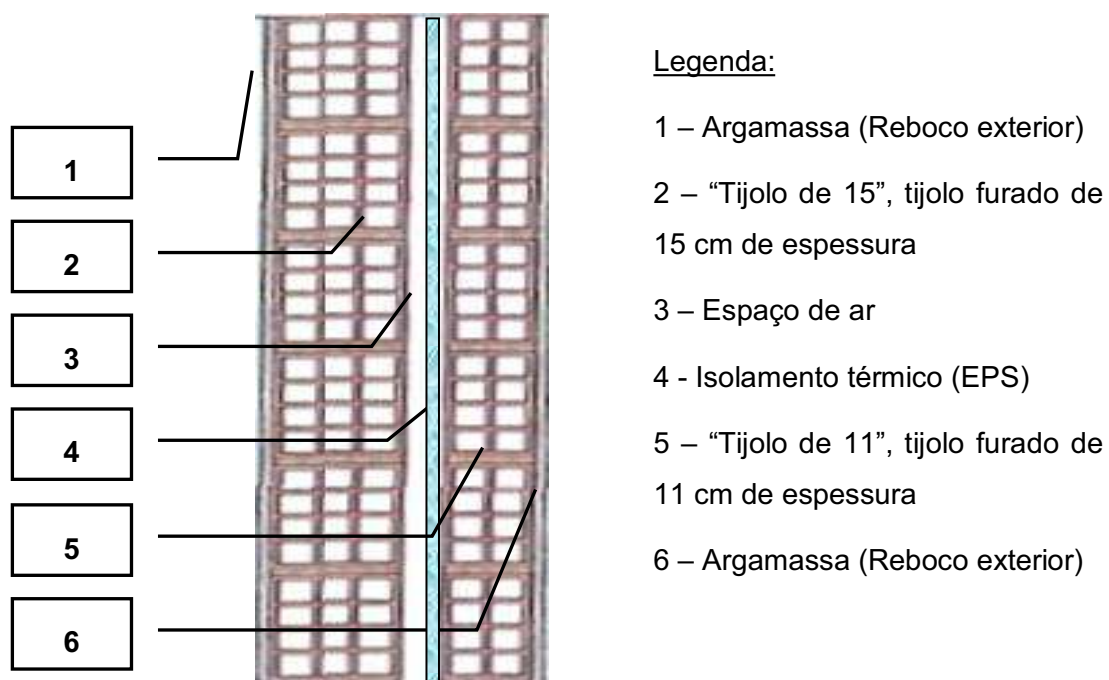


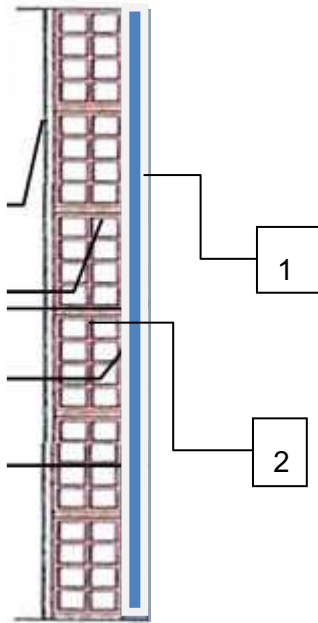
Figura 3.8 Parede dupla de tijolo (15cm + 11cm) com isolamento.

A Figura 13 representa o corte de uma fachada de parede dupla com dois panos, um de 11 cm e outro de 15 cm, e com isolamento parcial. Esta fachada é típica dos edifícios actualmente, sendo as características descritas em seguida:

- Parede exterior: 3 cm de argamassa + 15 cm de tijolo + 3 cm de ar + 2 cm de isolamento (EPS) + 11 cm de tijolo + 3 cm de argamassa
- Parede interior: 3 cm de argamassa + 11 cm de tijolo + 3 cm de argamassa
- Esteira horizontal: 3 cm de argamassa + 25 cm de betão + 5 cm de isolante
- Piso: 30 cm de betão + 2 cm de argamassa
- Janelas: 0,04 cm de Vidro + 0,012 cm de ar + 0,04 cm de vidro, ou seja vidro duplo com caixilharia em alumínio e com corte térmico, uso de persiana.

- Porta exterior: 5,5 cm em madeira
- Porta interior: 3,5 cm de madeira

5. Tipo V (Parede simples com isolamento exterior):



Legenda:

- 1- Isolamento Térmico pelo exterior (EPS)
- 2 – Tijolo de 11cm.

Figura 3.9 Parede simples (Tijolo 11 cm) com isolamento pelo exterior.

A Figura 14 representa o corte de uma fachada de parede simples com a espessura de 11 cm e com isolamento pelo exterior. Esta fachada tem vindo a ser usada nos últimos anos, sendo as características descritas em seguida:

- Parede exterior: 3 cm de argamassa + 15 cm de tijolo + 4 cm de isolamento (EPS) + 3 cm de argamassa
- Parede interior: 3 cm de argamassa + 11 cm de tijolo + 3 cm de argamassa
- Esteira horizontal: 3 cm de argamassa + 25 cm de betão + 5 cm de isolante
- Piso: 30 cm de betão + 2 cm de argamassa
- Janelas: 0,04 cm de vidro simples com caixilharia de alumínio e corte térmico e persianas
- Porta exterior: 5,5 cm em madeira
- Porta interior: 3,5 cm de madeira

Perante os diferentes cenários apresentados em cima e o desenho da habitação realizado, foram criados os vários *inputs* (paredes, pisos/pavimentos, telhados e

também os diferentes materiais usados entre outros) na parte da 'construction', como se pode ver na Figura 15:

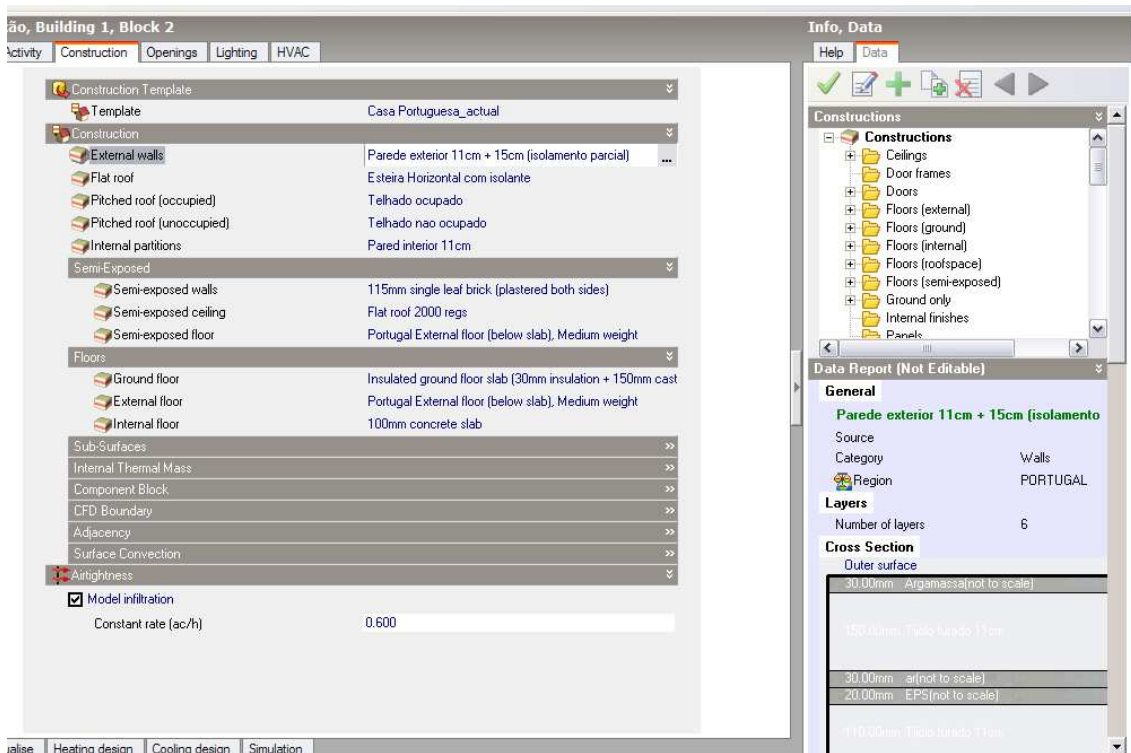


Figura 3.10 Painel do Design Builder onde se criam novos inputs.

Ao criar os diferentes elementos e sistemas construtivos na lista dos dados de entrada, foi necessário o conhecimento de algumas propriedades dos materiais para, posteriormente, ser efectuado o cálculo das diversas variáveis que permitem avaliar o conforto da habitação e das pessoas. Então, as tabelas seguintes (10, 11 e 12) apresentam as propriedades pedidas pelo software (condutividade, calor específico, densidade, absorvância térmica, absorvância solar e a rugosidade).

Tabela 3.6 Valores da condutividade, calor específico e Densidade para os diferentes materiais.

| | Condutividade λ ($\text{Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$) | Calor específico C ($\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$) | Densidade ρ (kgm^{-3}) |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Argamassa | 1,15 | 1046 | 1800-2100 |
| Betão | 1,75 | 840-1040 | 2200-2400 |
| Ar | 0,24 | 1000 | 1223 |
| Tijolo | 1,15 | 920-1000 | 1800-2000 |
| Telha vermelha (cerâmica) | 1,15 | 920-1000 | 2500 |
| Isolante (EPS) | 0,04 | 1550 | 15-35 |
| Isolante (XPS) | 0,035 | 1045 | 25-40 |
| Pedra (Granito) | 3,00 | 650 | 2300-2900 |
| Vidro | 1,10 | 750 | 2500 |
| Madeira | 0,290 | 1500-2510 | 800-1000 |

Tabela 3.7 Valores da absorvância (Térmica e Solar) e Rugosidade para os diferentes materiais.

| | Absorvância Térmica | Absorvância Solar | Rugosidade |
|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------|
| Argamassa | 0,9 | 0,2* | Média |
| Betão | 0,9 | *** | Média |
| Tijolo | 0,9 | *** | Elevada |
| Telha vermelha (cerâmica) | 0,9 | 0,74 | Elevada |
| Pedra (Granito) | 0,9 | 0,2* | Elevada |
| Madeira | 0,9 | 0,3**** | Média |

Notas:

*Considerando que a cor externa desta superfície é o branco.

**Considerando que a cor externa da superfície é o vermelho.

***Materiais que não se encontram expostos.

****Considerando que a cor externa da superfície é o beije.

Tabela 3.8 Propriedades do Vidro Simples Liso.

| | Vidro Liso |
|-----------------------------------------------|-------------------|
| Transmitância Solar Normal | 0,837 |
| Reflectância Solar Normal (Exterior) | 0,075 |
| Reflectância Solar Normal (Interior) | 0,075 |
| Transmitância Visível Normal | 0,898 |
| Reflectância Visível Normal (Exterior) | 0,081 |
| Reflectância Visível Normal (Interior) | 0,081 |
| Transmitância Normal onda Longa | 0,000 |
| Emissividade Hemisférica (Exterior) | 0,840 |
| Emissividade Hemisférica (Interior) | 0,840 |
| Condutibilidade Térmica (W/m °C) | 0,900 |

3.2.3.3 Habitação:

A habitação foi desenhada de origem no *software Design Builder*. A habitação é constituída por dois pisos (rés-do-chão e o primeiro piso). O rés-do-chão é constituído por uma sala (144,9 m²), uma cozinha (67m²), uma casa de banho (38,4m²) e *hall* (78,9 m²). Todos os compartimentos têm envidraçados, estando no caso da cozinha e da casa de banho, virados a norte e no caso da sala estando virados a este, oeste e a sul. Nos envidraçados virados a sul foram também adicionadas palas de sombreamento para evitar a forte radiação solar, especialmente no Verão, e o conseqüente aquecimento desta zona. A aplicação das palas de sombreamento está regulamentada no RCCTE no Anexo IV no ponto 4.3. Ganhos solares e mais especificamente a partir do 4.3.2 Factor solar do vão envidraçado. O primeiro piso é constituído por três quartos (dois com 37,3 m² e outro com 74,6 m²), o *hall* (60,3 m²) que dá acesso a uma varanda orientada a sul. No entanto, foi colocada uma cobertura

na varanda de forma a minimizar a forte radiação solar, tal como descrito anteriormente. Nesta habitação não foi colocada nenhuma parte subterrânea, nem nenhuma garagem.

De seguida, são apresentadas nas Figuras 16, 17 e 18, os diferentes pisos da habitação e a vista da habitação geral, obtidas pelo *Design Builder*.

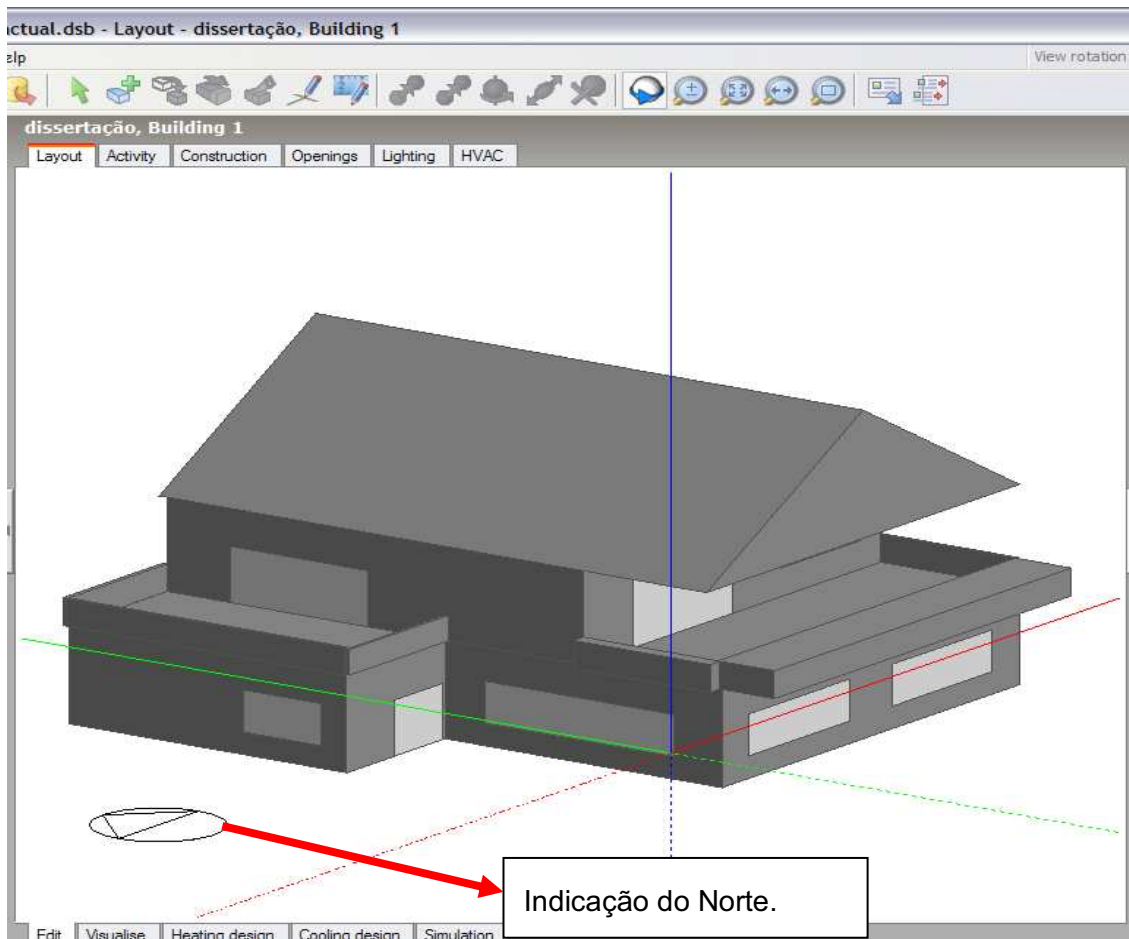


Figura 3.11 Habitação desenhada no *Design Builder* (vista geral). (Fonte:*Design Builder*)

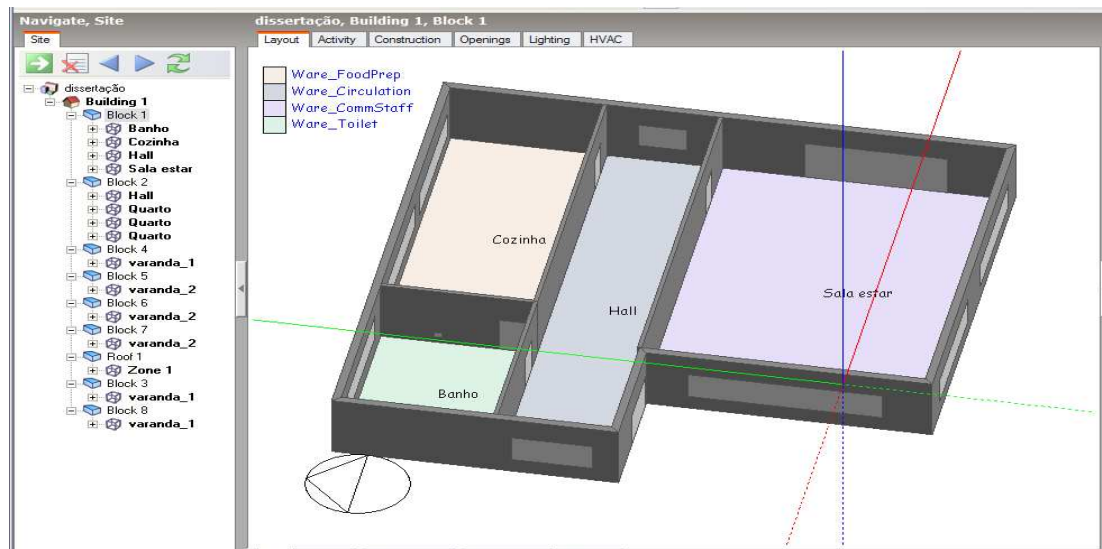


Figura 3.12 Vista do Rés-do-chão da habitação. (Fonte: *Design Builder*)

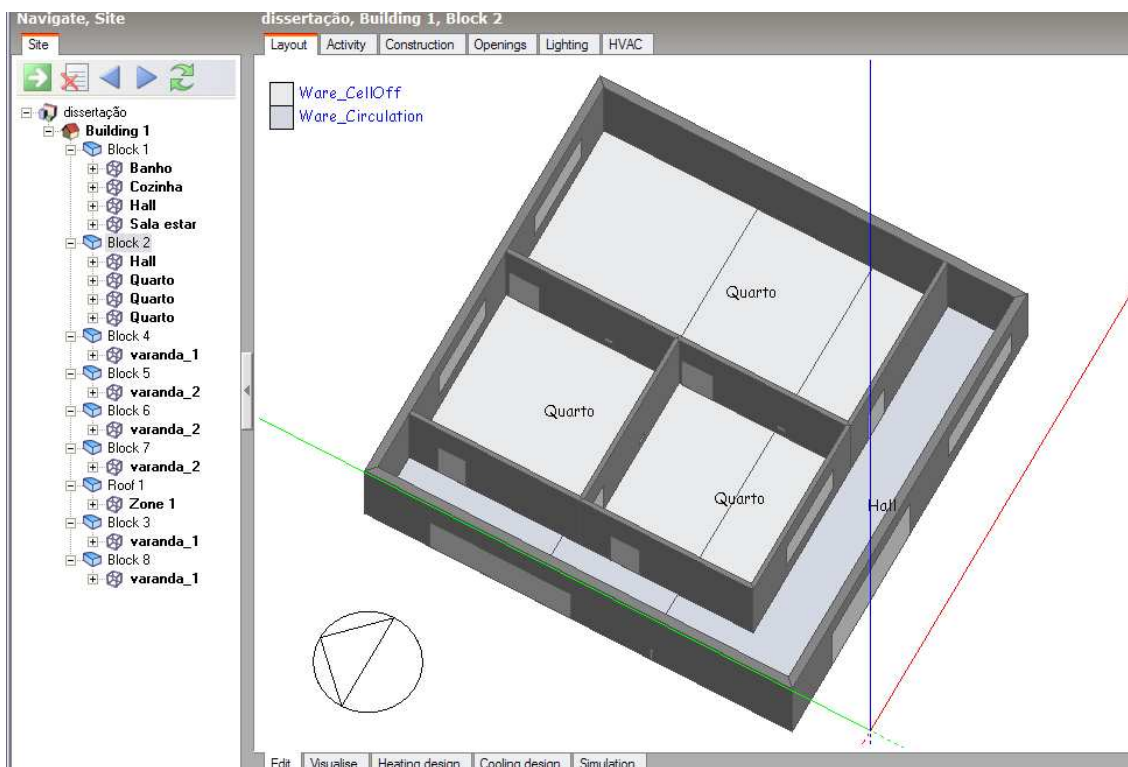


Figura 3.13 Vista do primeiro andar da habitação. (Fonte: *Design Builder*)

4 Resultados e Discussão

Tal como já foi referido, as variáveis que influenciam o conforto térmico são a temperatura do ar, a velocidade do ar, humidade, entre outros factores. No entanto, a temperatura e a humidade são os mais relevantes, por isso vão ser apresentados os valores das temperaturas, humidade e o índice de conforto térmico (PMV).

As simulações foram efectuadas anualmente (desde 1 de Janeiro até 31 de Dezembro), para diferentes regiões classificadas pelo RCCTE (Porto, Bragança, Lisboa e Évora). A arquitectura da habitação foi a mesma para as várias simulações, apenas variou-se as tipologias de construção, diferenciando-se cinco tipos de construção, representantes de diferentes épocas.

Neste capítulo vão ser apresentados os resultados obtidos das temperaturas, humidade e o PMV, bem como o PPD (índice de pessoas que revelam desconforto térmico).

4.1 Temperaturas

Nos dados de saída, o *software* dá diferentes temperaturas, a temperatura do ar, temperatura radiante, temperatura operativa e a temperatura do bolbo seco.

A temperatura mais importante no conforto térmico é a temperatura do ar. Esta é importante, uma vez que a sensação de conforto é dada pela perda de calor entre o corpo e o ar. O calor é produzido pelo corpo através do metabolismo e as suas perdas são menores quando a temperatura do ar se apresenta alta ou são menores quando a temperatura se apresenta mais baixa.

A temperatura operativa (t_o) representa a temperatura uniforme de um compartimento preto imaginário, no qual o ocupante troca as mesmas quantidades de calor, por radiação e convecção, que no ambiente considerado. Esta integra o efeito directo da temperatura do ar e o efeito indirecto da velocidade do ar e deve ter as mesmas propriedades de troca de calor que um manequim térmico não aquecido. (Fonte: Sustentabilidade e Análise do ciclo de vida de Estruturas, FCTUC)

A temperatura radiante expressa a temperatura média dos corpos que trocam calor com o ambiente. O valor desta temperatura é, normalmente, um pouco maior ou menor que a temperatura do ar, pois expressa a presença de corpos em diferentes temperaturas, trocando calor através da radiação (exemplo: ocorre no verão, mm com a diminuição da temperatura ao entardecer, as paredes apresentam temperatura elevada, devido a elevada massa térmica).

A temperatura de bolbo seco representa a temperatura de um local à sombra com ventilação que sofre influência de factores locais e diários, ou seja, o elemento sensível (termómetro) está exposto ao ar ambiente.

Segundo o RCCTE as regiões usadas nas simulações estão classificadas em diferentes zonas quer no Inverno quer no Verão. As condições nominais exteriores são caracterizadas no RSECE, apresentando os valores na tabela seguinte:

Tabela 4.1 Condições nominais externas no Inverno. [Fonte:RSECE]

| Inverno | Te (°C) |
|---------|---------|
| I1 | 3,5 |
| I2 | 0,0 |
| I3 | -3,5 |

Tabela 4.2 Condições nominais externas no Verão. [Fonte: RSECE]

| Verão | Te (°C) |
|-------|---------|
| V1 | 28 |
| V2 | 32 |
| V3 | 35 |

Segundo a Norma ISO 7730 a temperatura do ar interior deve estar entre 10°C e os 30°C. No entanto, segundo o RCCTE, para se usufruir de conforto térmico, as temperaturas de referência para o ar são de 20°C na estação de aquecimento e de 25°C na estação de arrefecimento.

Os gráficos referentes às temperaturas, são apresentadas as médias mensais ao longo de um ano. As temperaturas usadas foram referentes a 2002, uma vez que o

ficheiro 'weather data' do *Energy Plus* só dispõe de dados climatéricos referentes ao ano de 2002 e para algumas das localidades de Portugal, daí a limitação na escolha de outras cidades para além das seleccionadas.

4.1.1 Temperaturas para a Região de Évora:

Para Évora, segundo o RCCTE, a estação de aquecimento tem uma duração de 5,7 meses, regista também uma média para a temperatura externa máxima de 35°C e uma amplitude térmica de 17°C.

Tabela 4.3 Temperatura de bolbo seco médio mensal em °C.

| Mês | Temperatura de Bolbo Seco (°C) |
|------------------|-------------------------------------------|
| Janeiro | 9,10 |
| Fevereiro | 10,32 |
| Março | 12,03 |
| Abril | 13,62 |
| Mai | 16,72 |
| Junho | 18,64 |
| Julho | 22,01 |
| Agosto | 23,22 |
| Setembro | 22,23 |
| Outubro | 16,81 |
| Novembro | 12,58 |
| Dezembro | 10,49 |

Fazendo uma análise à tabela 14, pode-se dizer que a estação de aquecimento tem a duração de 3 meses (Dezembro, Janeiro e Fevereiro), uma vez que apresenta valores entre os 9°C e os 10°C. Já a estação de arrefecimento tem a duração de 4 meses (Junho, Julho, Agosto e Setembro), pois considerando a temperatura média máxima dada pelo RCCTE e a amplitude térmica, aos 18°C ainda se considera estação de aquecimento.

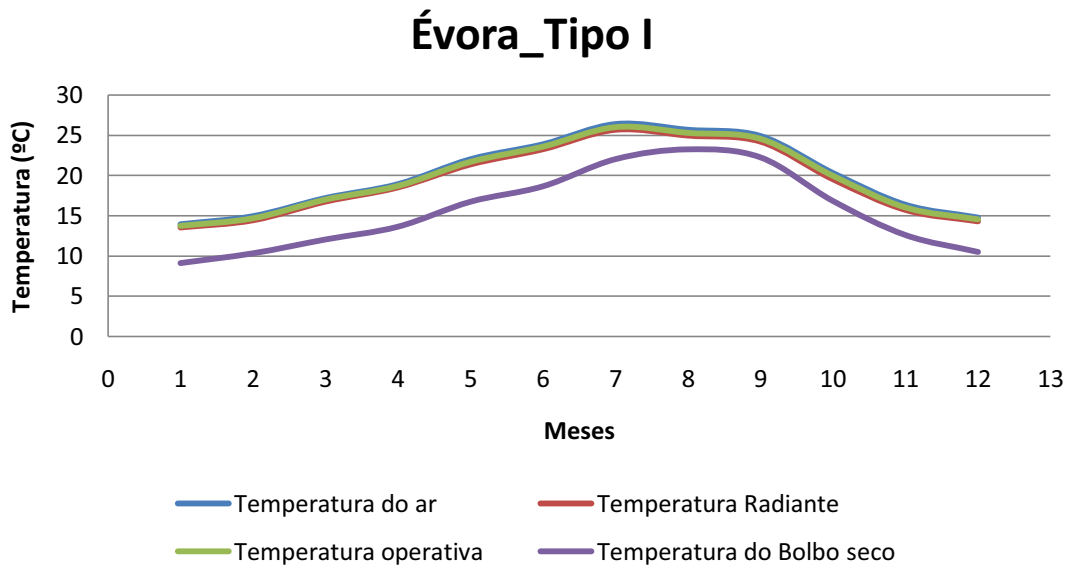


Figura 4.1 Temperaturas para habitação em Évora (Tipo I)

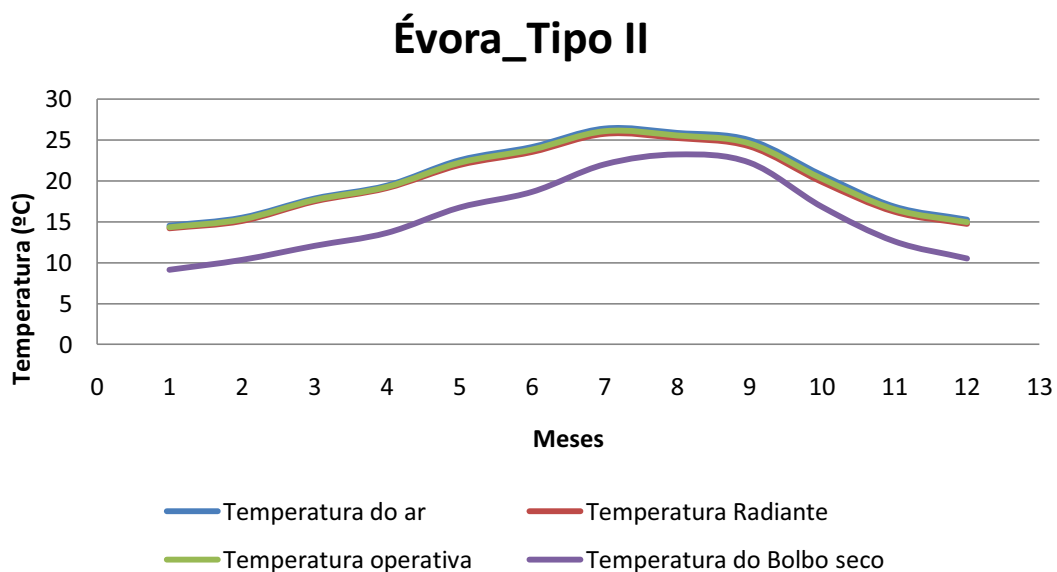


Figura 4.2 Temperaturas para habitação em Évora (Tipo II)

As habitações do Tipo I e II não cumprem os valores de referência do conforto descritos no RCCTE para a estação de aquecimento, isto é, nos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro, a temperatura do ar está por volta dos 15°C e no RCCTE refere que a temperatura é 20°C. Já para a estação de arrefecimento, ou seja, nos meses de Junho a Agosto, verifica-se nos gráficos 1 e 2, que a temperatura do ar cumpre os valores de conforto referidos no RCCTE (25°C).

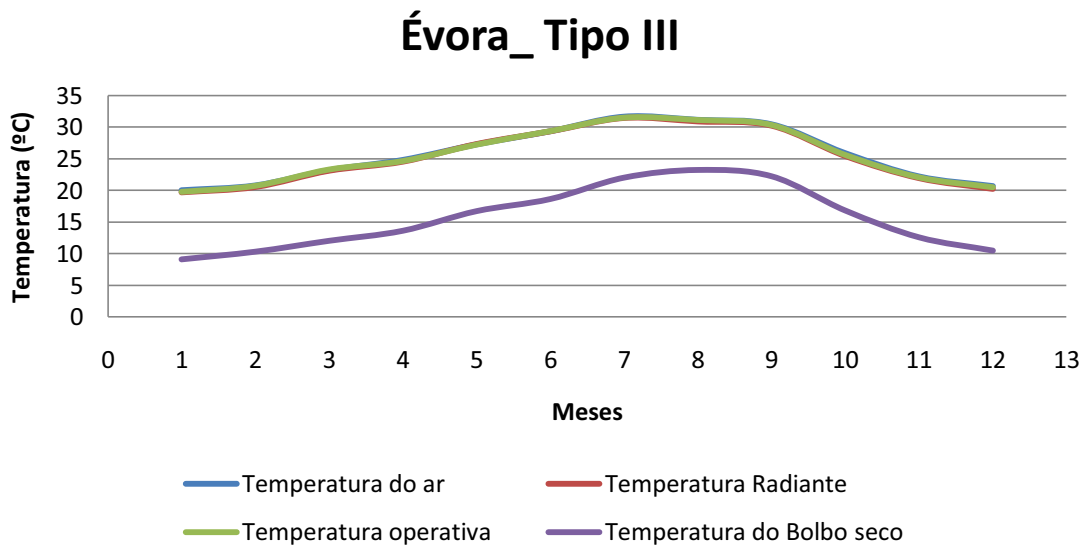


Figura 4.3 Temperaturas para habitação em Évora (Tipo III)

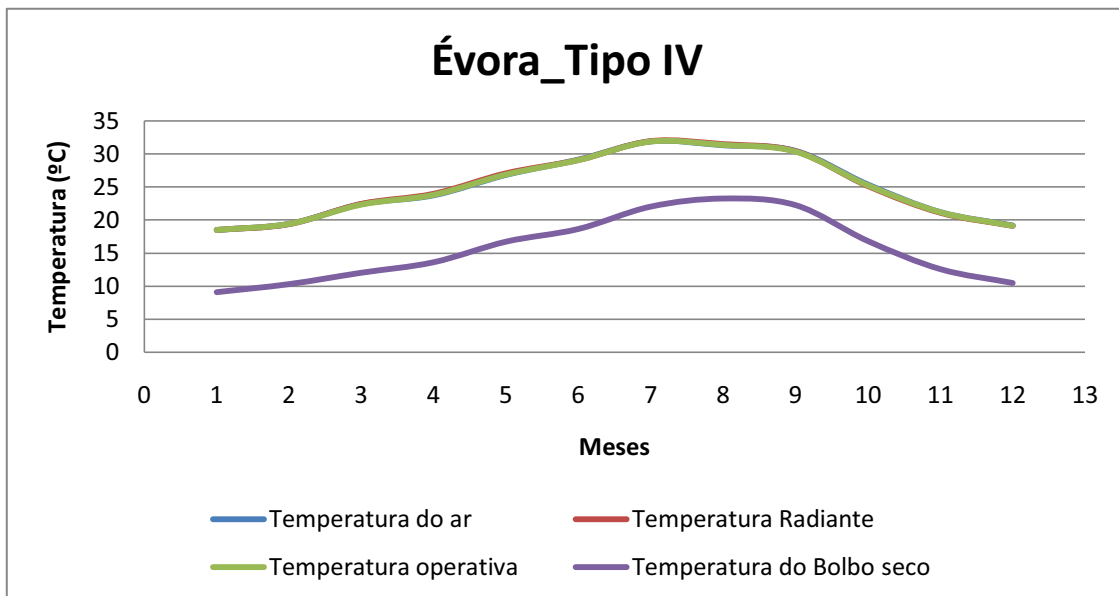


Figura 4.4 Temperaturas para habitação em Évora (Tipo IV)

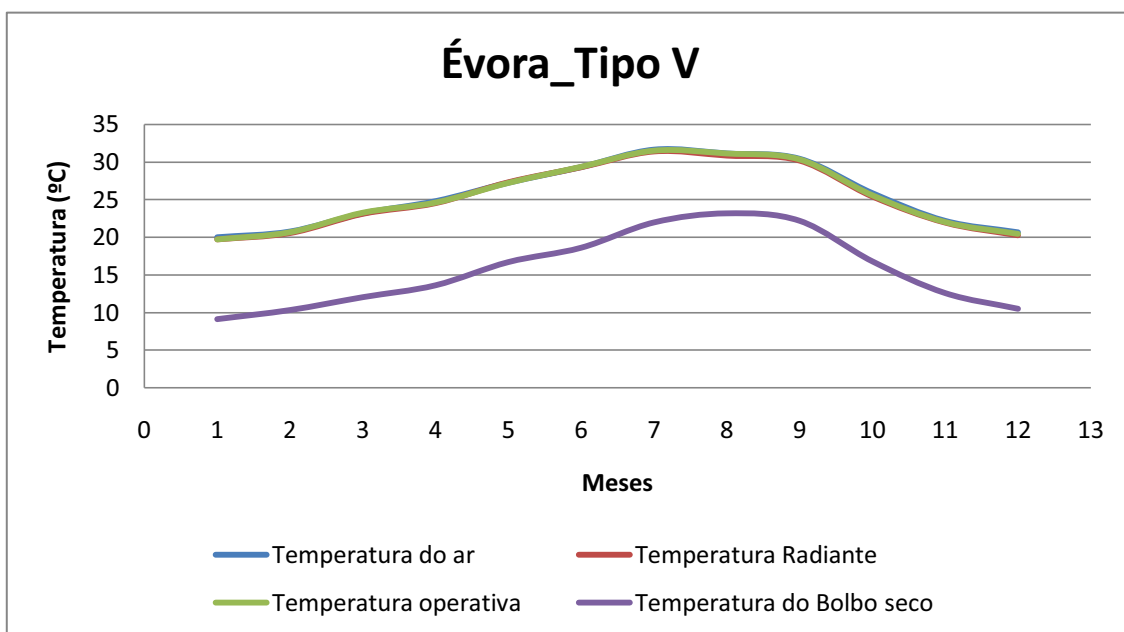


Figura 4.5 Temperaturas para habitação em Évora (Tipo V)

Relativamente aos tipos de habitação III, IV e V, estes cumprem a legislação para a estação de aquecimento, ou seja, nos meses de Dezembro a Fevereiro a temperatura do ar é na ordem dos 20°C. O mesmo não acontece em relação à estação de arrefecimento, uma vez que a temperatura do ar anda na ordem dos 30°C, sendo o limite para conforto os 25°C.

O facto de os dois primeiros tipos de habitação cumprirem a legislação na estação de arrefecimento, tem a ver com a elevada espessura das paredes que dificulta o aquecimento das mesmas e, conseqüentemente da habitação verificando-se a mesma dificuldade de aquecimento na estação do inverno, sendo este facto, a principal razão do não cumprimento da legislação no inverno.

Nos restantes tipos de edifícios, o facto de na estação de arrefecimento não cumprir a legislação, pode estar relacionado com o sombreamento dos envidraçados da fachada sul, não ser totalmente eficiente. No entanto, na habitação do Tipo V, verificam-se temperaturas na estação de arrefecimento um pouco mais baixas que nas habitações do tipo III e IV.

As temperaturas de bolbo seco (\approx temperatura do ar exterior) de ambos os tipos de construção, estão concordantes com as condições nominais exteriores para esta zona, I1 – V3 com temperaturas de 3,5°C e 35°C, respectivamente, de acordo com RSECE.

4.1.2 Temperaturas para a Região de Lisboa

Lisboa, segundo o RCCTE, apresenta uma duração da estação de aquecimento de 5,3 meses, regista também uma média para a temperatura externa máxima de 32°C e uma amplitude térmica [1] de 11°C.

Tabela 4.4 Temperatura média mensal de bolbo seco em °C.

| Mês | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------------------|
| Janeiro | 10,81 |
| Fevereiro | 11,70 |
| Março | 12,83 |
| Abril | 14,69 |
| Mai | 17,72 |
| Junho | 20,07 |
| Julho | 22,32 |
| Agosto | 22,43 |
| Setembro | 21,25 |
| Outubro | 17,80 |
| Novembro | 13,27 |
| Dezembro | 11,06 |

Fazendo uma análise à tabela 15, pode-se dizer que a estação de aquecimento tem a duração de 3 meses (Dezembro, Janeiro e Fevereiro), uma vez que apresenta valores entre os 10°C e os 11°C. Já a estação de arrefecimento tem a duração de 3 meses (Julho, Agosto e Setembro), pois considerando a temperatura média máxima dada pelo RCCTE e a amplitude térmica, aos 21°C ainda se considera estação de aquecimento.

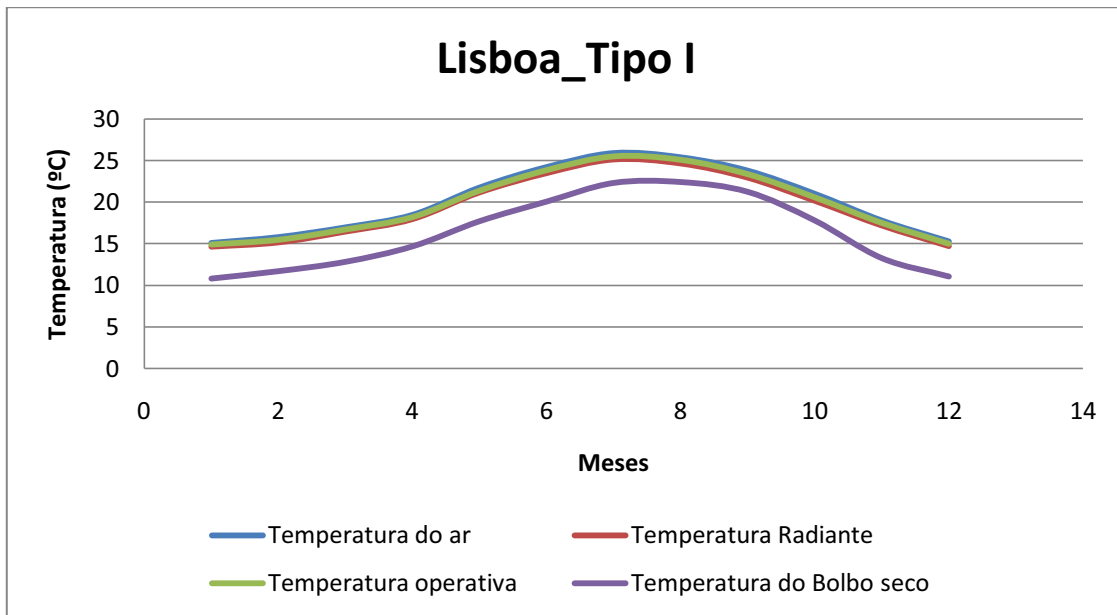


Figura 4.6 Temperaturas para habitação em Lisboa (Tipo I)

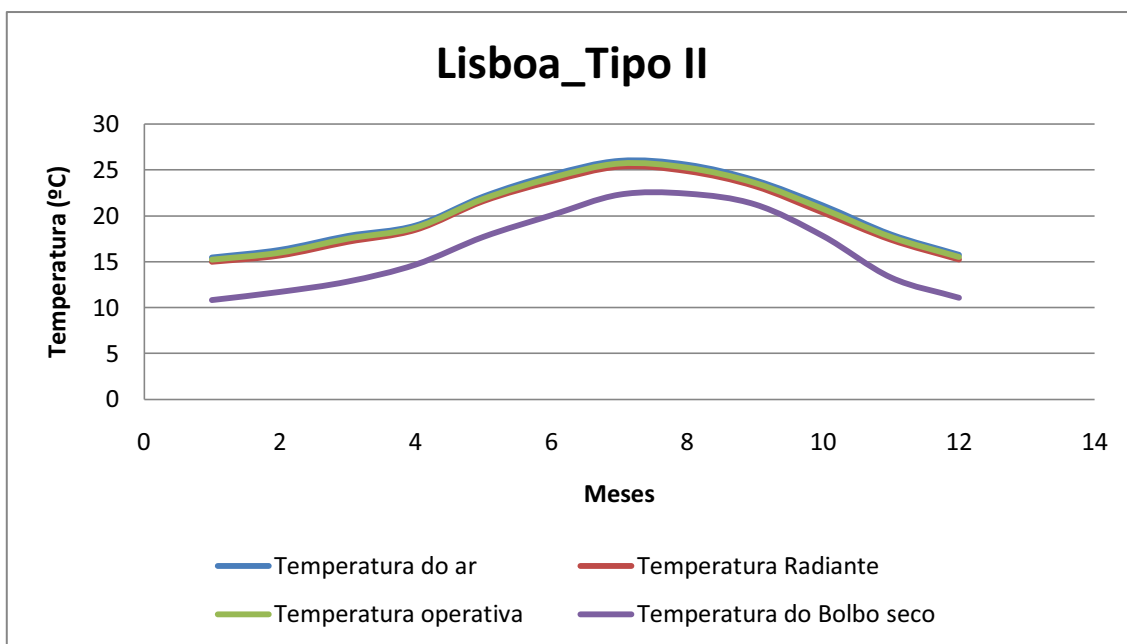


Figura 4.7 Temperaturas para habitação em Lisboa (Tipo II)

Da solução construtiva do Tipo I para a do Tipo II, verifica-se um aumento da diferença entre a temperatura de bolbo seco e a temperatura do ar, embora não muito significativa, mas pode então dizer-se que a aplicação de isolamento pelo exterior contribui para uma melhoria das temperaturas interiores.

Observa-se que a diferença entre a temperatura exterior e o interior não é muito grande, principalmente nos meses de Agosto e Setembro, este facto está relacionado

com o tipo de construção desta época (elevada espessura das paredes). Perante isto pode também dizer-se que o isolamento não é muito bom, uma vez que a diferença entre temperaturas entre o exterior (Bolbo seco) e o interior (temperatura do ar) não é muito grande.

Mais uma vez, verifica-se o cumprimento do RCCTE, relativamente as temperaturas de conforto, mas apenas na estação de arrefecimento (25°C).

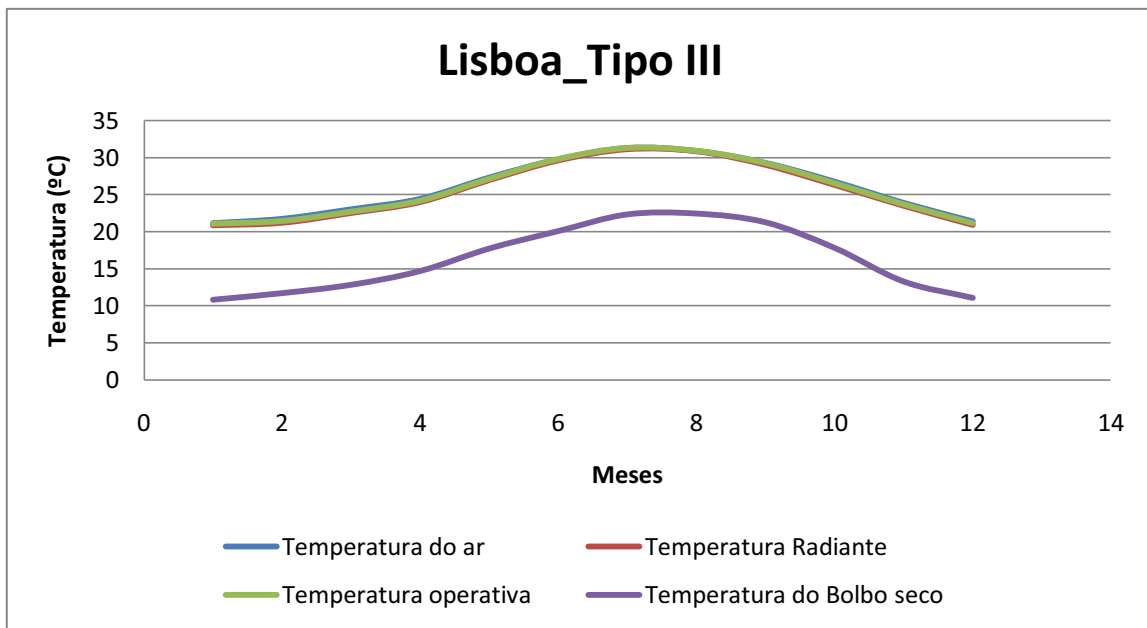


Figura 4.8 Temperaturas para habitação em Lisboa (Tipo III)

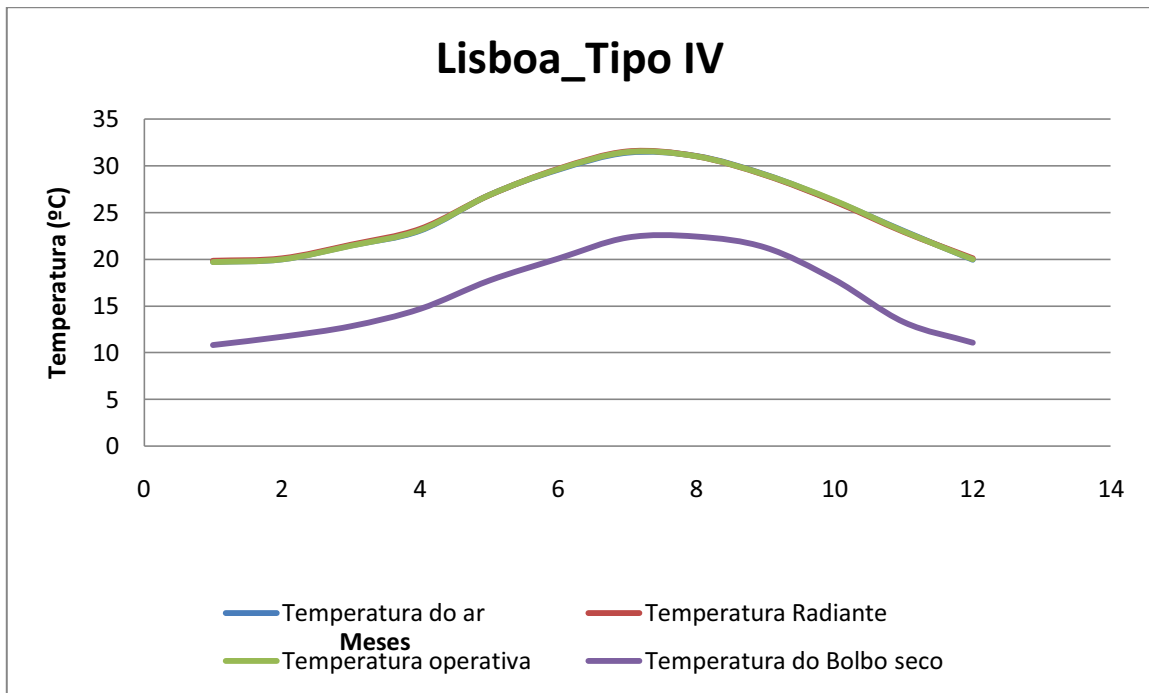


Figura 4.9 Temperaturas para habitação em Lisboa (Tipo IV)

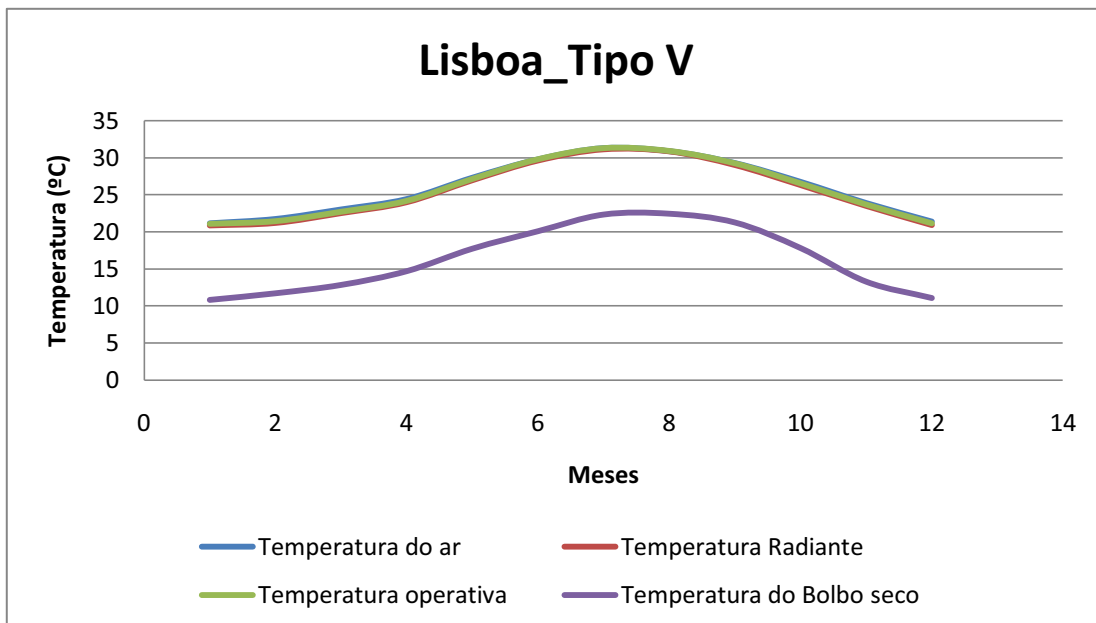


Figura 4.10 Temperaturas para habitação em Lisboa (Tipo V)

As temperaturas dadas pelo RCCTE para esta zona (I1 – V2) são concordantes com os resultados, pois são de 3,5°C para o inverno e 32°C para o Verão.

Nestes três tipos de soluções construtivas, a diferença entre as temperaturas exterior e interior é significativa ($\approx 10^{\circ}\text{C}$), mostrando que qualquer uma das soluções apresenta um isolamento eficaz. No entanto, na estação de arrefecimento não se verifica o

cumprimento da legislação, ou seja, a temperatura do ar (temperatura interna) é superior a 25°C. Este facto pode estar relacionado com os envidraçados orientados a sul terem um sombreamento deficiente, os ganhos internos também contribuem para uma maior temperatura interior do edifício, caso não sejam os mais adequados. A ventilação pode também ser um dos contributos para este incumprimento do RCCTE, pois na estação de arrefecimento há uma maior necessidade de ventilação para fazer circular o ar de forma a renovar o ar quente por ar mais fresco.

4.1.3 Temperaturas para a Região do Porto

Porto, segundo o RCCTE, apresenta uma duração da estação de aquecimento de 6,7 meses, regista também uma média para a temperatura externa máxima de 30°C e uma amplitude térmica [1] de 9°C.

Tabela 4.5 Temperatura média mensal de bolbo seco em °C.

| Mês | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 9,28 |
| Fevereiro | 10,46 |
| Março | 11,86 |
| Abril | 12,56 |
| Mai | 14,82 |
| Junho | 17,47 |
| Julho | 18,37 |
| Agosto | 19,00 |
| Setembro | 18,06 |
| Outubro | 14,95 |
| Novembro | 12,10 |
| Dezembro | 10,62 |

Fazendo uma análise à tabela 16, observa-se que a estação de aquecimento tem a duração de 4 meses (Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março), uma vez que apresenta valores entre os 9°C e os 11°C. Já a estação de arrefecimento tem a duração de 1 mês (Agosto) pois considerando a temperatura média máxima dada pelo RCCTE e a amplitude térmica, aos 21°C ainda se considera estação de aquecimento. No entanto,

no caso do Porto as temperaturas médias são de 19°C para a estação de arrefecimento.

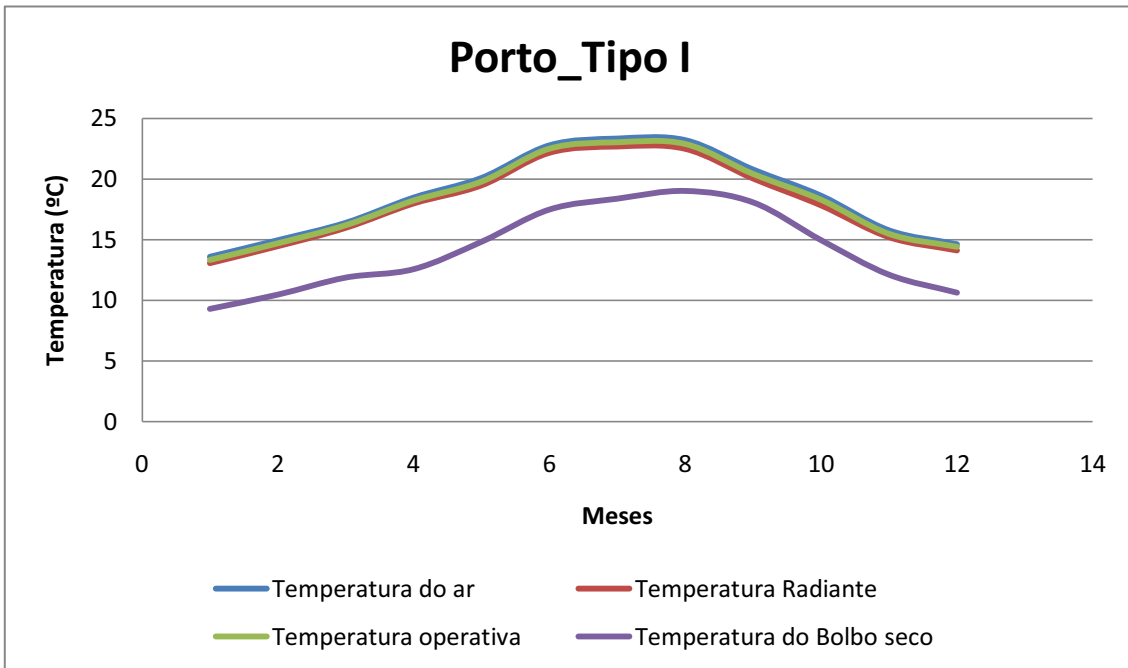


Figura 4.11 Temperatura para habitação no Porto (Tipo I)

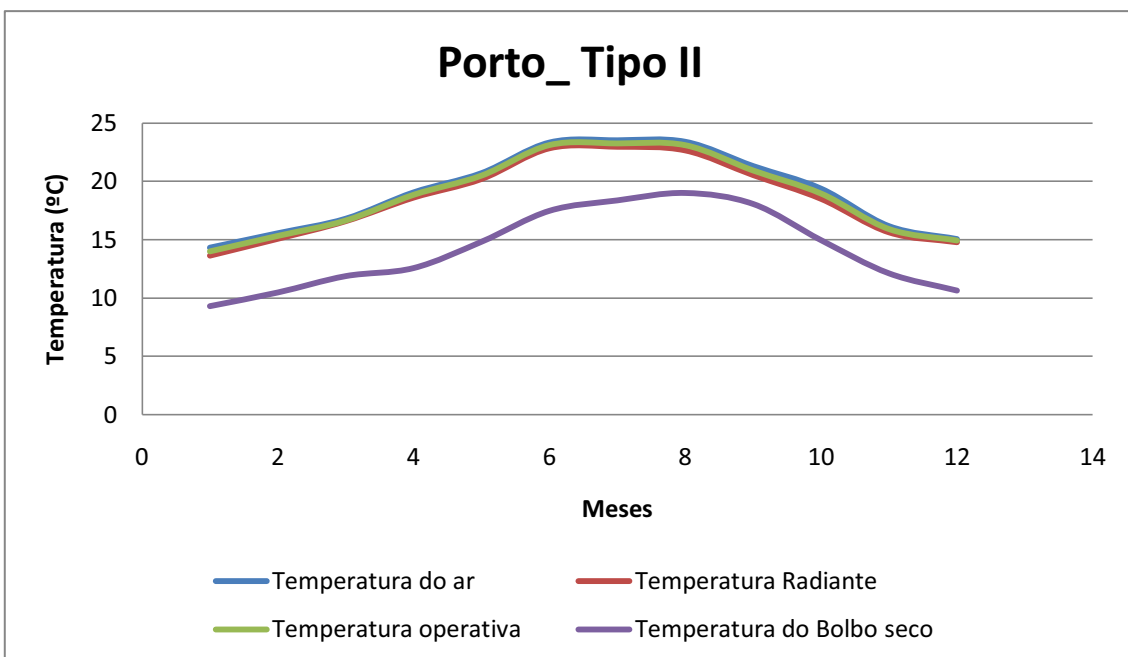


Figura 4.12 Temperaturas para habitação no Porto (Tipo II)

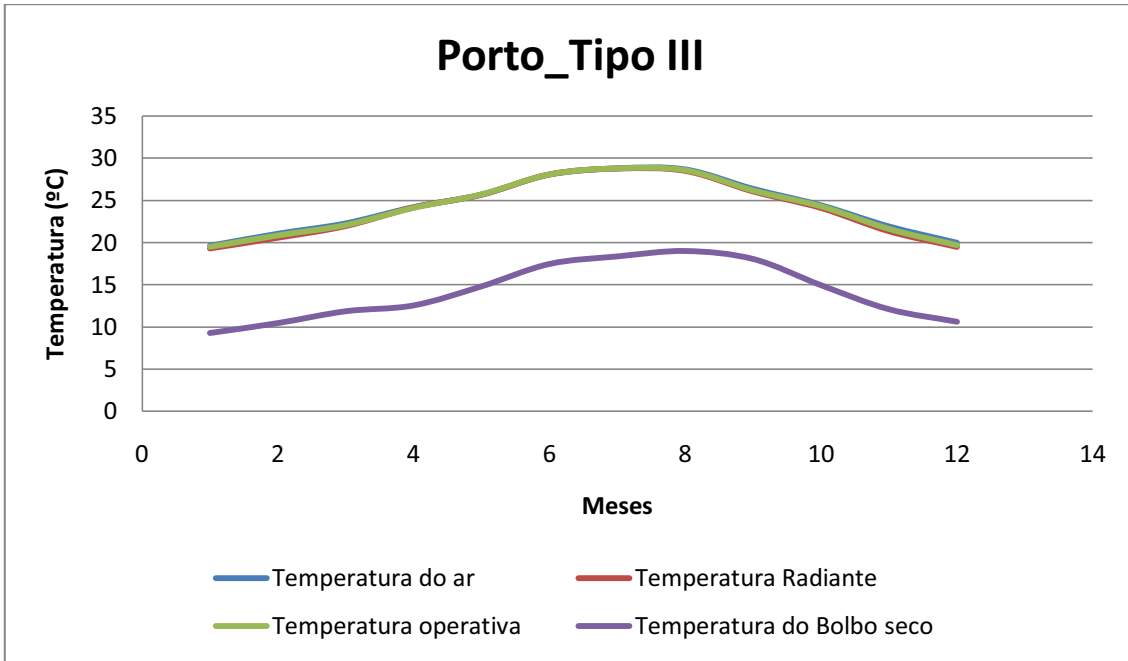


Figura 4.13 Temperaturas para habitação no Porto (Tipo III)

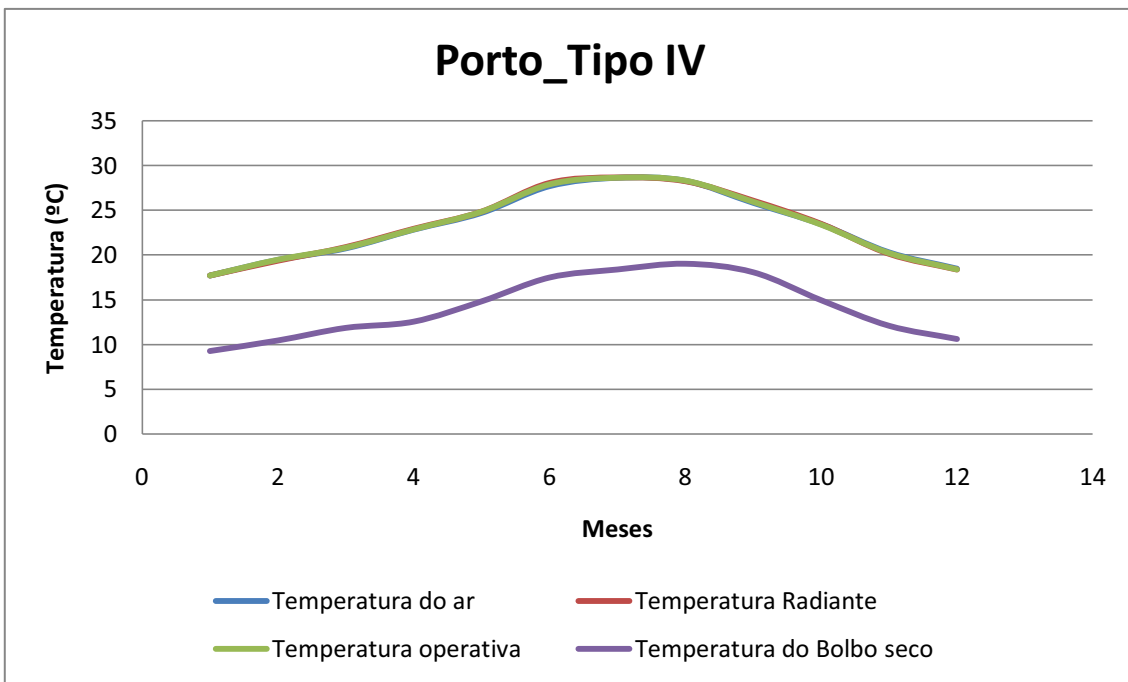


Figura 4.14 Temperaturas para habitação no Porto (Tipo IV)

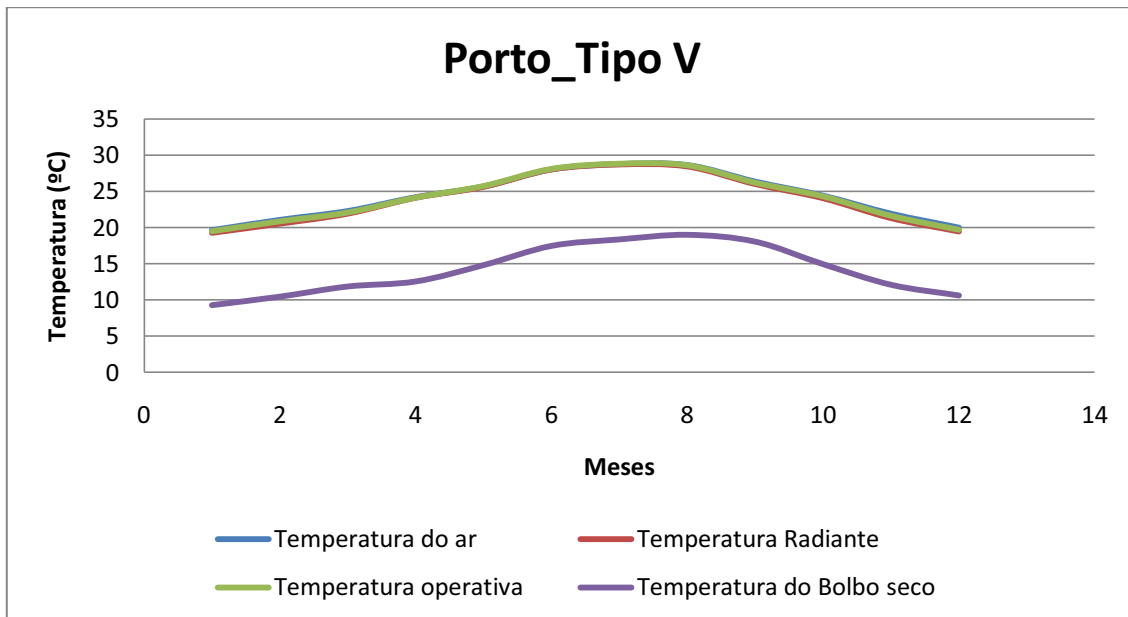


Figura 4.15 Temperaturas para habitação no Porto (Tipo V)

Segundo a classificação do RCCTE, esta zona está inserida em I2 – V1 apresentando as condições nominais exteriores de 0,0 e 28, respectivamente. Mediante estes limites e observando os gráficos 19, 20, 21, 22 e 23, conclui-se que nesta região a temperatura é concordante com o decreto-lei.

O isolamento verifica-se mais eficaz nas soluções do Tipo III, Tipo IV e Tipo V, pois estas apresentam uma diferença entre as temperaturas de bolbo seco e temperatura do ar significativas, enquanto nas soluções Tipo I e II verifica-se que a diferença de temperaturas não é uniforme ao longo de todo o ano e em alguns dos meses é próxima uma da outra, principalmente na estação de arrefecimento (Agosto e Setembro).

4.1.4 Temperaturas para a região de Bragança

Bragança, segundo o RCCTE, apresenta uma duração da estação de aquecimento de 8 meses, regista também uma média para a temperatura externa máxima de 32°C e uma amplitude térmica [1] de 11°C.

Tabela 4.6 Temperaturas médias mensais do bolbo seco em °C

| Mês | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------------------|
| Janeiro | 3,52 |
| Fevereiro | 5,83 |
| Março | 9,88 |
| Abril | 10,81 |
| Mai | 12,35 |
| Junho | 17,81 |
| Julho | 22,31 |
| Agosto | 21,77 |
| Setembro | 17,30 |
| Outubro | 13,25 |
| Novembro | 8,80 |
| Dezembro | 5,95 |

Fazendo uma análise à tabela 17, observa-se que a estação de aquecimento tem a duração de 6 meses (Novembro, Dezembro, Janeiro, Fevereiro, Março e Abril), uma vez que apresenta valores entre os 3°C e os 10°C. Já a estação de arrefecimento tem a duração de 2 mês (Julho e Agosto) pois considerando a temperatura média máxima dada pelo RCCTE e a amplitude térmica, aos 21°C ainda se considera estação de aquecimento. No entanto, para a cidade de Bragança a temperatura média máxima na estação de arrefecimento é de 22°C no mês de Julho.

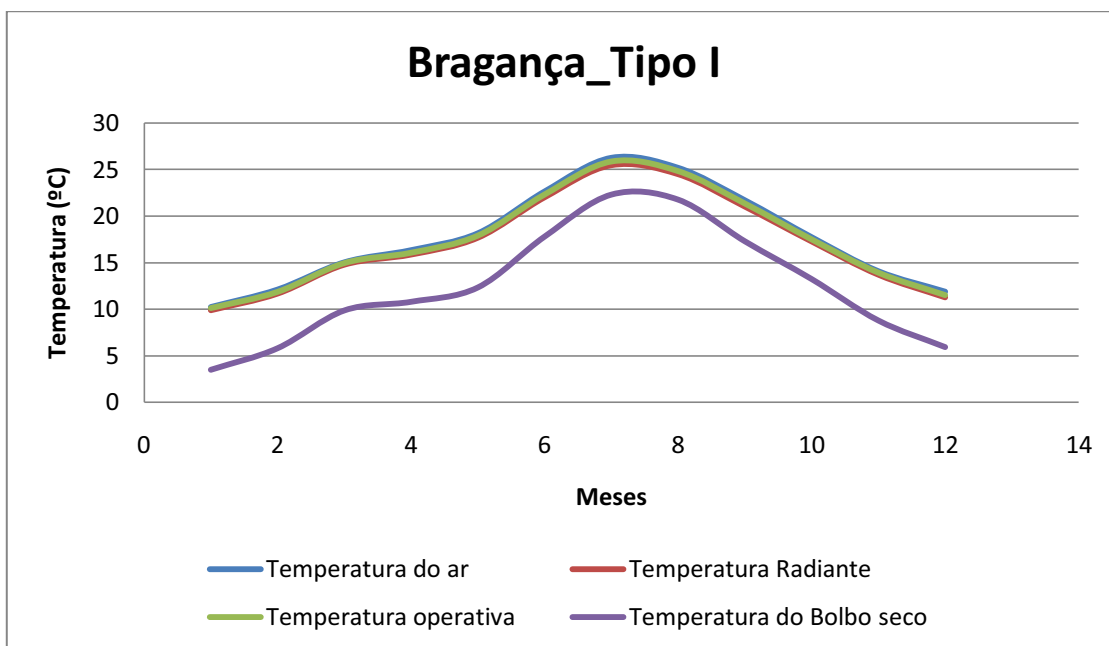


Figura 4.16 Temperaturas para habitação em Bragança (Tipo I)

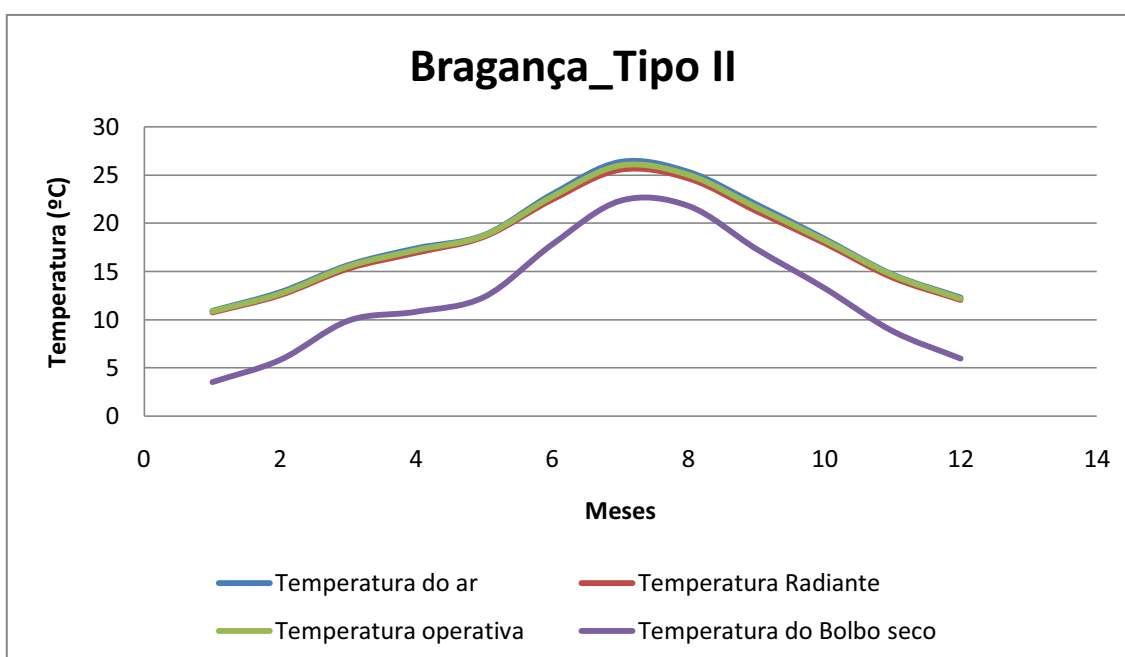


Figura 4.17 Temperaturas para habitação em Bragança (Tipo II)

Nas tipologias construtivas apresentadas nos gráficos 16 e 17, verifica-se que a diferença entre as temperaturas exterior e interior é significativa na estação de aquecimento, mas o mesmo não acontece na estação de arrefecimento. Da tipologia I para a II verifica-se uma ligeira alteração das temperaturas interiores, especialmente nos meses de Janeiro a Abril, este facto está relacionado com a aplicação do isolamento pelo exterior.

Mais uma vez, há o cumprimento da legislação (RCCTE) na estação de arrefecimento o mesmo não se pode dizer em relação à estação de aquecimento que está bastante longe de cumprir, isto porque a temperatura média registada é na ordem dos 10°C e a temperatura exigida pelo RCCTE é de 20°C para esta estação.

Confirma-se mais uma vez que este tipo de solução não é muito indicado, uma vez que na estação de aquecimento é insustentável em termos de conforto térmico.

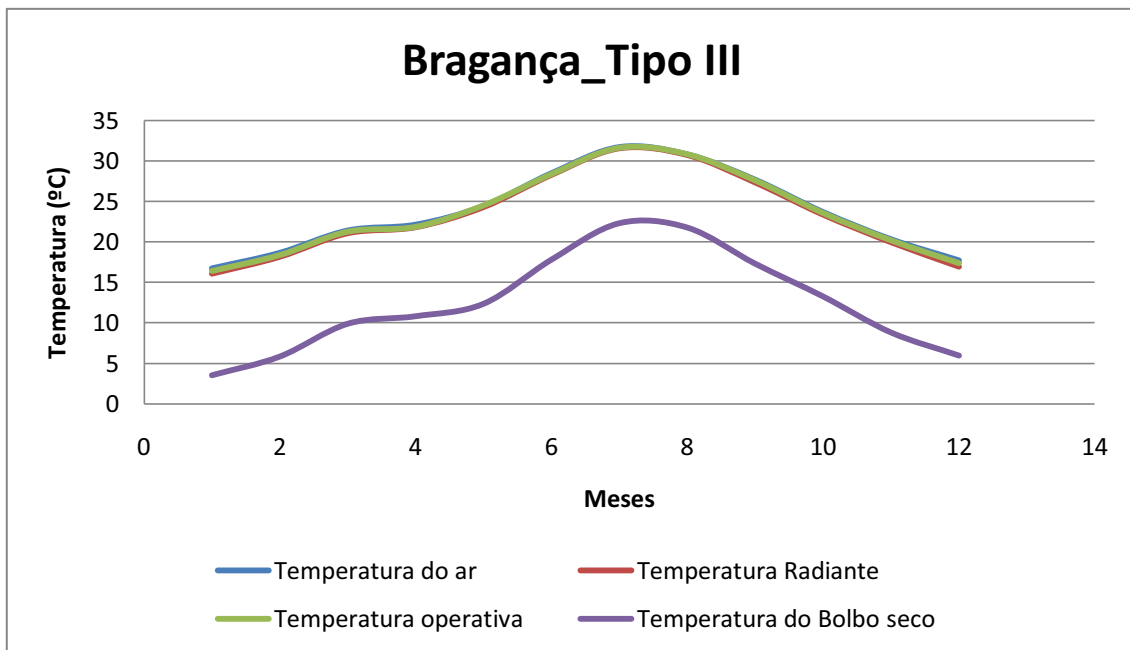


Figura 4.18 Temperaturas para habitação em Bragança (Tipo III)

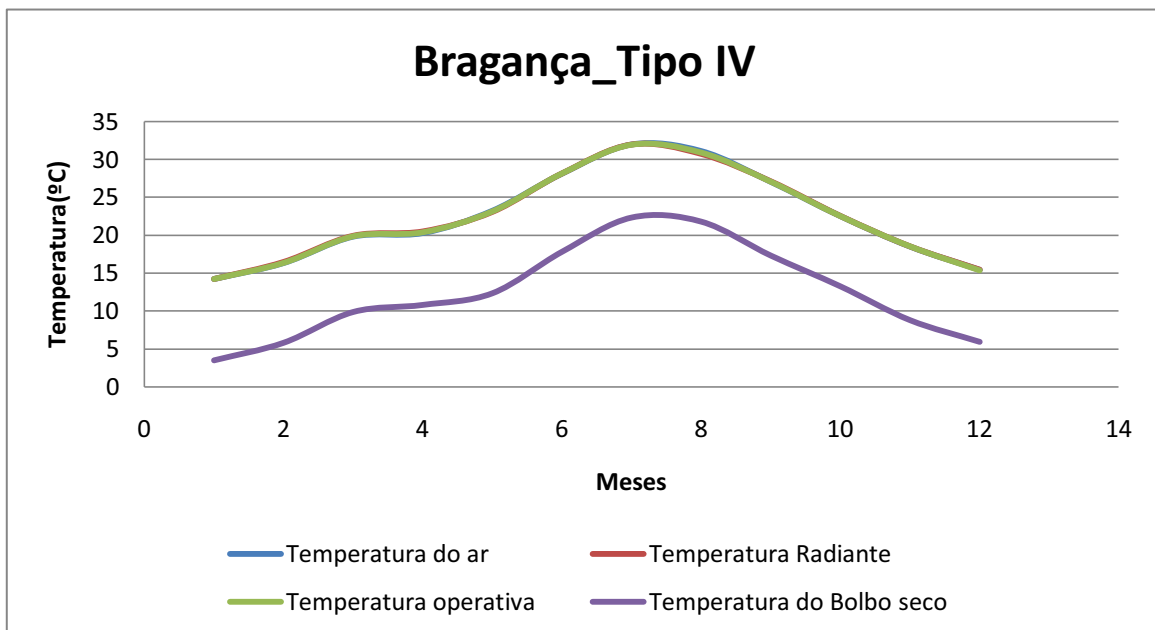


Figura 4.19 Temperaturas par habitação em Bragança (Tipo IV)

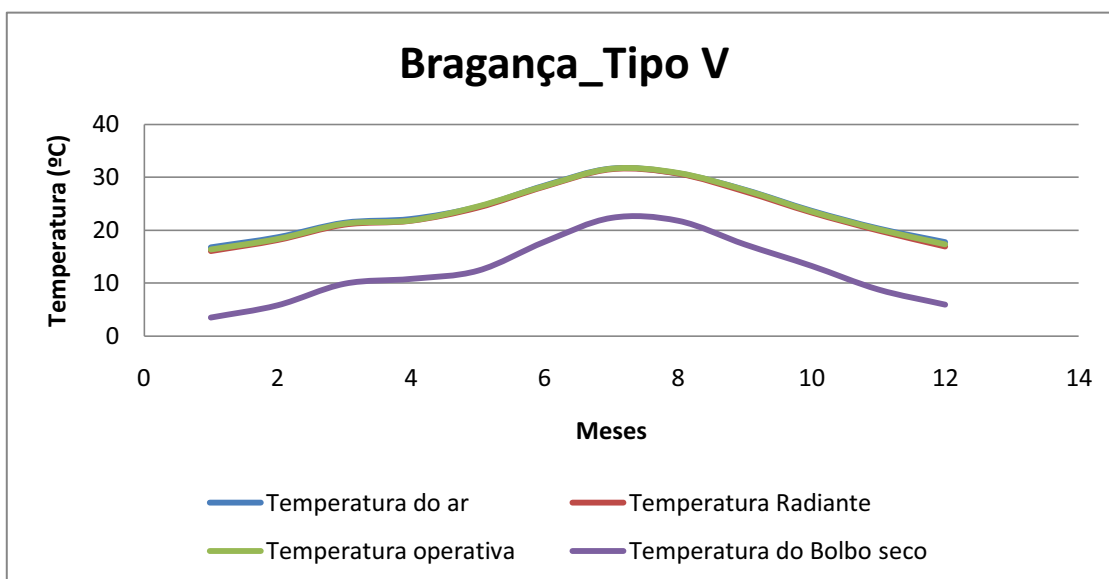


Figura 4.20 Temperaturas para habitação em Bragança (Tipo V)

Nesta região há uma variação muito grande de temperaturas (desde temperaturas negativas até positivas elevadas acima dos 30°C). Bragança situa-se na zona I3-V2 (classificação pelo RCCTE) e as condições nominais exteriores, relativamente à temperatura, no Inverno de -3,5°C e no Verão de 32°C. Nesta situação, verifica-se que a temperatura de bolbo seco é aproximadamente a temperatura exterior da zona, cumpre estes limites, no entanto no verão não chega a atingir temperaturas acima dos 30°C.

Nas soluções construtivas III, IV e V o isolamento é eficaz, pois a diferença entre as temperaturas exterior e interior é bastante significativa ($\approx 10^\circ\text{C}$).

Em relação ao cumprimento das temperaturas de conforto, a tipologia V apresenta-se a mais eficaz em ambas as estações, enquanto as tipologias III e IV, na estação de arrefecimento estão ligeiramente acima e na estação de aquecimento ligeiramente abaixo do limite decretado.

4.2 Humidade Relativa

A humidade relativa representa a quantidade de vapor de água presente no ar, que é formada através da passagem da água do estado líquido para o estado gasoso, mantendo a mesma temperatura.

A humidade do ar juntamente com a velocidade do ar interfere na perda de calor por evaporação. Estas perdas são importantes, pois 25% da energia produzida pelo organismo é eliminada na forma de calor latente (10% por respiração e 15% por transpiração).

Com o aumento da temperatura ambiente, há uma maior dificuldade nas perdas por convecção e radiação, por isso o organismo efectua a perda de calor por evaporação. A maior ou menor eficiência da remoção de calor por evaporação está interligada com a existência de uma menor ou maior humidade relativa (respectivamente), sendo por isto necessário uma boa ventilação.

A presença de humidade no ar é importante quando o balanço térmico do corpo começa a ser desfavorável.

Os valores de humidade relativa considerados aceitáveis estão entre 40% e os 60%, segundo a ISO 7730.



Figura 4.21 Humidade Relativa para Évora

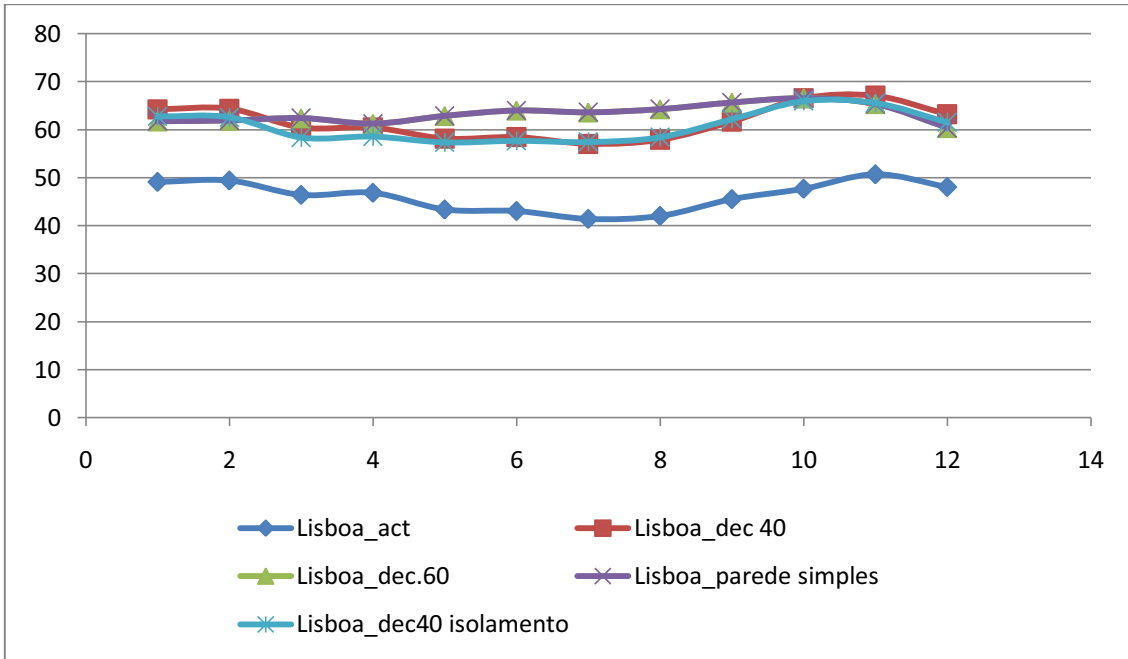


Figura 4.22 Humidade Relativa para Lisboa

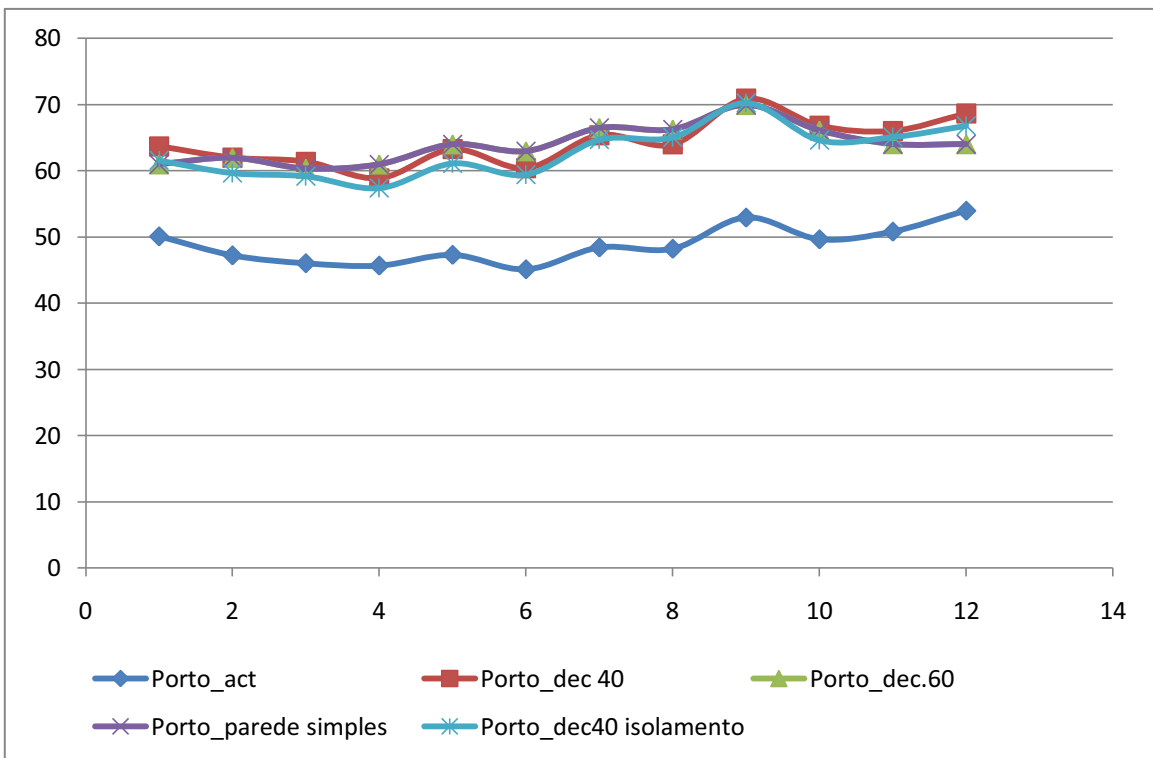


Figura 4.23 Humidade Relativa para o Porto

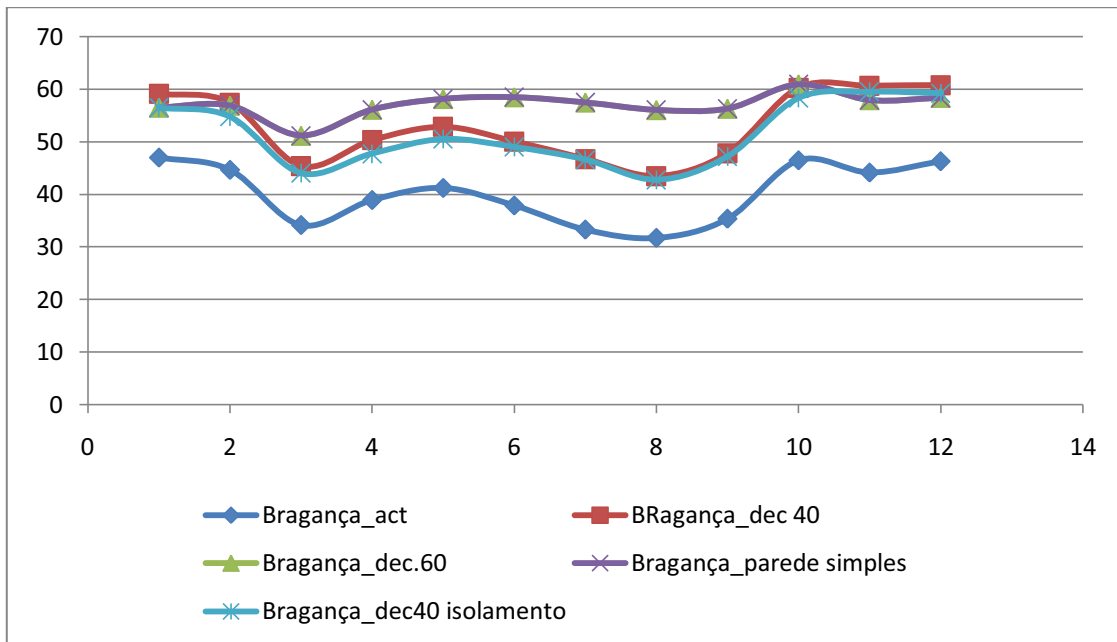


Figura 4.24 Humidade Relativa para Bragança.

Fazendo uma análise geral a todas as zonas e soluções construtivas simuladas, verifica-se que em qualquer uma das zonas e de forma evidente, que a solução construtiva que apresenta a humidade relativa dentro dos parâmetros aceitáveis (40% a 60%) é a solução construtiva do Tipo IV (parede dupla com isolamento parcial e vidros duplos). Nas restantes soluções verificam-se valores para a humidade relativa bastante elevados, no caso do Porto, atinge valores de 70% na década de 40 com e sem isolamento. E, em qualquer uma das soluções, Tipo I, Tipo II, Tipo III e Tipo V, os valores da humidade relativa estão entre os 40% e os 70%. No entanto, em Bragança é onde se verificam menores índices de humidade.

O facto de a habitação do Tipo IV apresentar melhores valores para a humidade relativa, está relacionado com o facto de esta gozar de um isolamento mais eficaz que as restantes soluções construtivas. O facto de apresentar parede dupla já é um bom factor, mas adicionando o material isolante verifica-se uma grande alteração, pois quando comparada a tipologia Tipo IV (actualmente) com a Tipo III (déc.70) observa-se uma grande diferença nos valores da humidade e o que se altera de uma construção para outra é a aplicação de isolante na caixa-de-ar no tipo IV e os panos passam a ter a mesma espessura, ou seja, pode dizer-se que o papel do isolamento é fundamental na prevenção de humidade no edifício. No caso do Tipo V, verifica-se que o isolamento pelo exterior não ajuda na prevenção da humidade no edifício, pois como se observa nos gráficos 21, 22, 23 e 24, vê-se que esta solução construtiva apresenta os valores mais altos de humidade relativa.

4.3 Índice de conforto térmico vs Percentagem de Pessoas Insatisfeitas

O valor do índice de conforto térmico (PMV) é uma estimativa da votação média previsível de um painel de avaliadores relativamente a um dado ambiente térmico e é calculado através do método de *Fanger* (1972) adaptado na Norma ISO 7730. Este estabeleceu uma correlação entre a percepção humana, numa escala de conforto que vai desde os -3 (muito frio) até +3 (muito calor), e a diferença entre o calor gerado e o calor libertado pelo corpo humano e que é obtido pela seguinte equação:

$$PMV = (0,303e^{-2,100 \cdot M} + 0,028) * [(M-W)-H-E_c-C_{res}-E_{res}] \quad (4.1)$$

onde:

M = Nível de actividade Metabólica;

W = Trabalho mecânico exterior;

H = Perda de calor sensível;

E_c = Trocas de calor por evaporação na pele;

C_{res} = Trocas de calor por convecção na respiração;

E_{res} = Trocas de calor evaporativas na respiração.

PMV = Índice de Conforto térmico

Outro índice proposto na Norma ISO 7730 é o PPD que quantifica a quantidade de pessoas insatisfeitas com um dado ambiente térmico. Esta variável é calculada a partir do PMV, como se vê na seguinte fórmula:

$$PPD = 100 - 95 * e^{(-0,03353 * PMV^4 - 0,2179 * PMV^2)} \quad (4.2)$$

onde:

PPD = Percentagem de Pessoas Insatisfeitas com o ambiente térmico

PMV = Índice de Conforto térmico

Tal como já referido, encontra-se num ambiente de conforto térmico quando o PMV se situa no intervalo de -0,5 a +0,5, da curva teórica (PPD vs PMV).

4.3.1 Porto

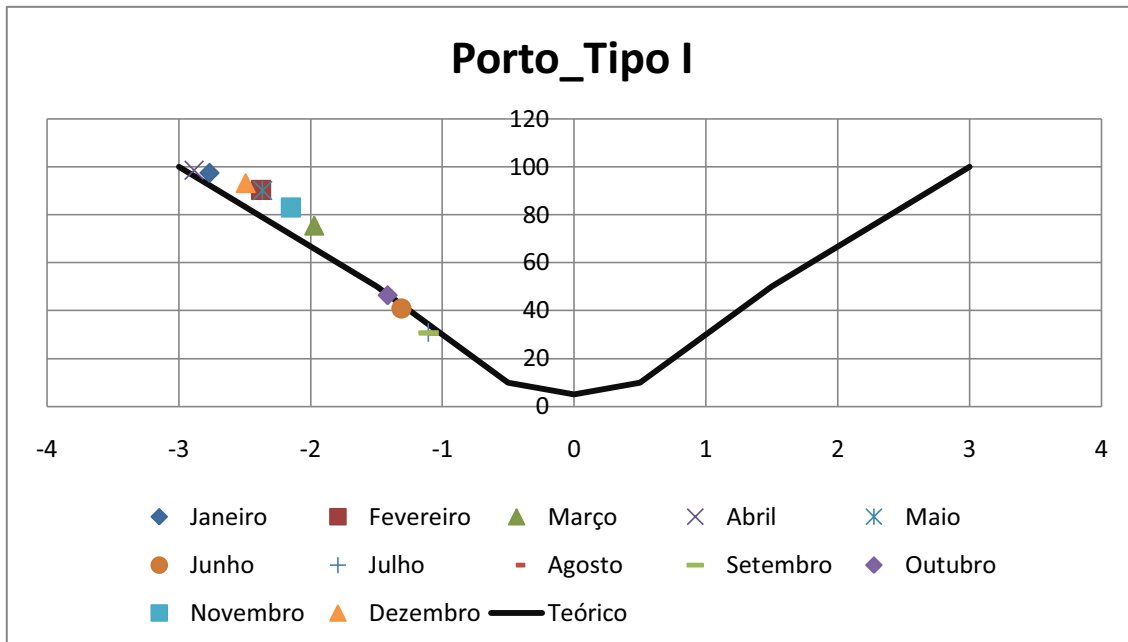


Figura 4.25 PPD vs PMV para Porto (déc.40)

Na década de 40, as pessoas que ocupam a habitação, sentem durante o ano um desconforto térmico, pois a classificação prevista por parte dos ocupantes foi muito negativa (classificada como muito frio). O PMV atinge o valor de -3, para os meses de Janeiro e Abril, como se pode ver no gráfico 33. Esta situação é plausível, pois está relacionada com a elevada espessura das paredes que torna mais difícil o aquecimento do interior da habitação.

Não se verifica nenhum valor situado na gama de conforto (-0,5 a +0,5) ao longo do ano concluindo que este tipo de construção é insustentável em termos de conforto e tem grandes necessidades de aquecimento.

Tal como já referido, o facto do elevado desconforto térmico, tem a ver com a elevada espessura das paredes de alvenaria de pedra que neste caso foi usado o granito (massa entre os 2300 – 2900 Kg/m³). Nos elementos com massa muito elevada, em situações de muito calor (estação de arrefecimento) o calor não se chega a sentir no interior do edifício e havendo temperaturas pouco elevadas. Contudo, tal como no verão não há subida da temperatura interna, no Inverno o mesmo se verifica tornando-

se muito desconfortável e acrescentando a este factor o facto de não existir isolamento das janelas e portas, contribui ainda mais para um fraco índice de conforto.

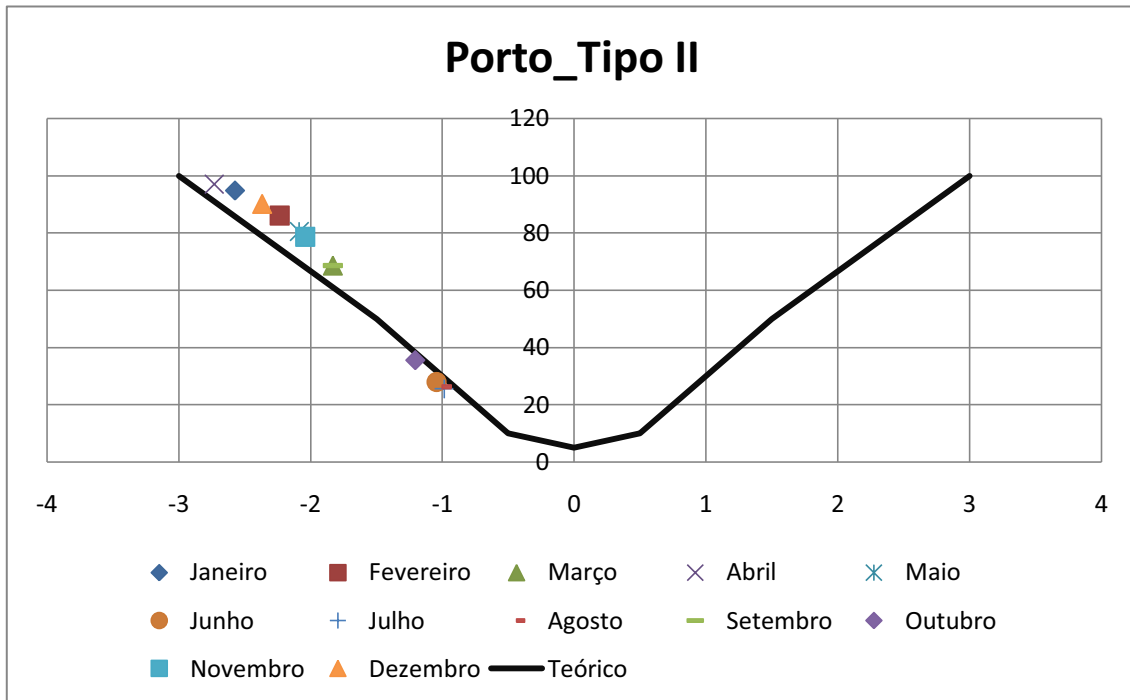


Figura 4.26 PPD vs PMV para Porto (dec.40 com isolamento)

Em relação a solução construtiva anterior verifica-se uma ligeira melhoria no conforto térmico, apesar de não muito significativa, pois na solução I apenas 4 meses estavam abaixo do índice -2 nesta solução (Tipo II) já estão abaixo dos -2 (Frio) 6 meses (Março, Setembro, Outubro, Junho, Julho e Agosto). Esta melhoria está adjacente à aplicação de isolamento pelo exterior na construção do Tipo I. Embora, ainda se faça sentir muito frio nesta solução construtiva que está relacionada com a espessura das paredes, tal como já referido.

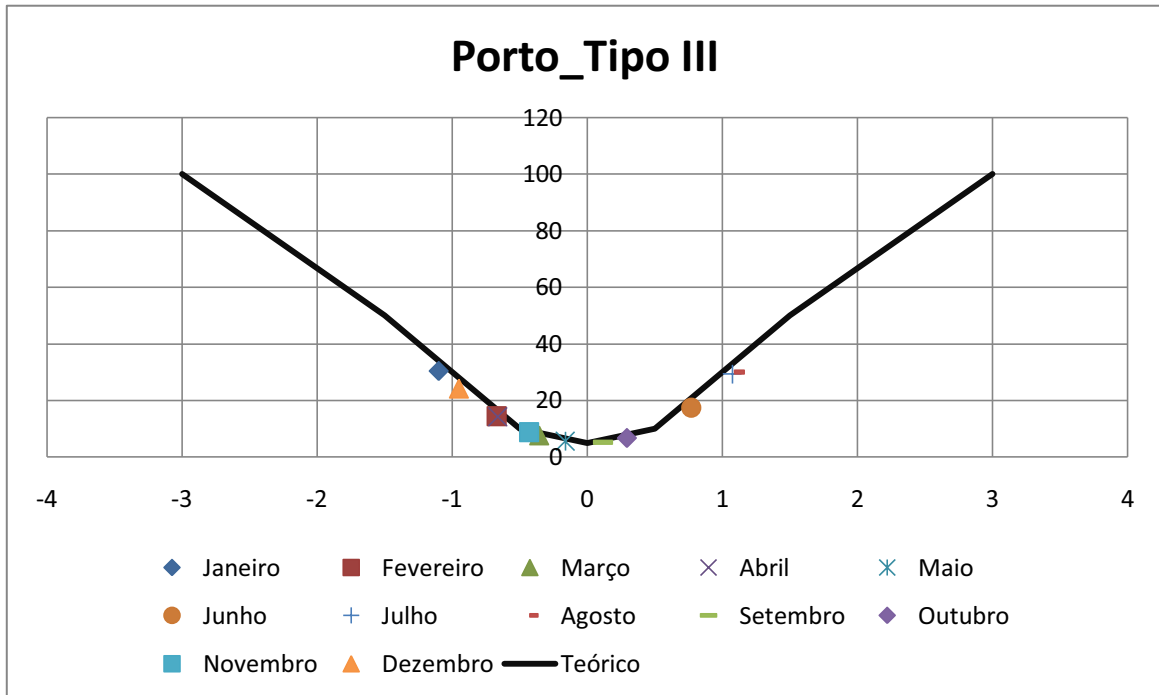


Figura 4.27 PPD vs PMV para Porto (déc.70)

Verifica-se que uma grande percentagem das pessoas sente-se confortável nesta solução construtiva ao longo de todo o ano, pois o PMV encontra-se maioritariamente entre -1 e 1, como se observa no gráfico 27. O aumento do conforto térmico está relacionado com a introdução da caixa-de-ar e pela substituição da alvenaria de pedra (elevada espessura) por dois panos de tijolo furado (menor espessura e menor massa 1800-2000 Kg/m³). A menor espessura contribui para uma maior facilidade no aquecimento das paredes e consequentemente o aquecimento do ambiente interior, na estação de Inverno.

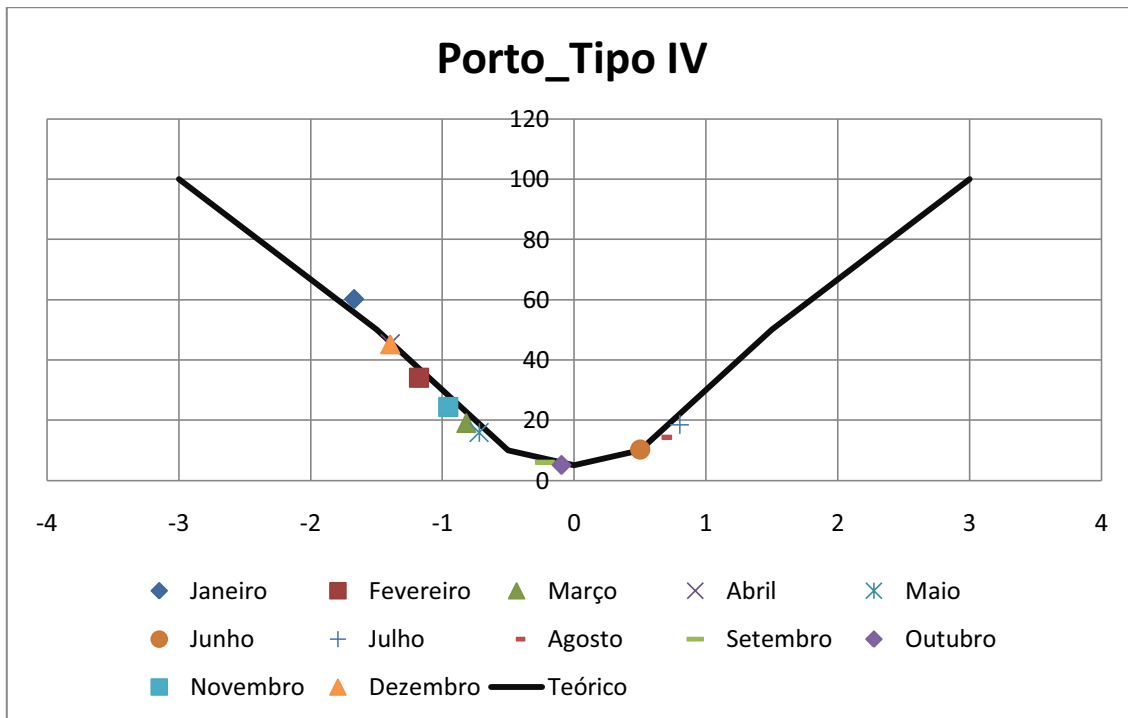


Figura 4.28 PPD vs PMV para Porto (Actualmente)

Nesta solução construtiva há a introdução do material isolante na caixa-de-ar (EPS e parcialmente preenchido) e as janelas apresentam corte térmico (isolamento) e os vidros são duplos. Esta melhoria na construção reflecte-se no aumento do conforto térmico, como se observa no gráfico 28. Existe uma percentagem significativa, ao longo do ano, na gama de conforto térmico (-1 a +1). No entanto, verifica-se também um índice de desconforto na estação de aquecimento elevado ($PMV \approx -2$) que pode estar relacionado com o facto dos envidraçados a sul terem sombreamento o que dificulta a captação de ganhos solares nesta estação e consequentemente uma maior dificuldade no aquecimento da habitação. Segundo o RCCTE os envidraçados devem estar orientados a Sul (média anual), no entanto para a situação do verão estes devem ter sombreamento para não sobreaquecer o edifício. Pode também estar relacionado com o facto de no Porto se apresentarem temperaturas relativamente baixas nesta estação contribuindo para um arrefecimento natural da habitação e, uma vez que a casa não foi simulada com qualquer tipo de sistema de climatização é normal que se verifiquem estas situações.

No entanto, relativamente à anterior esta solução não é mais eficiente, pois tem mais necessidades de aquecimento.

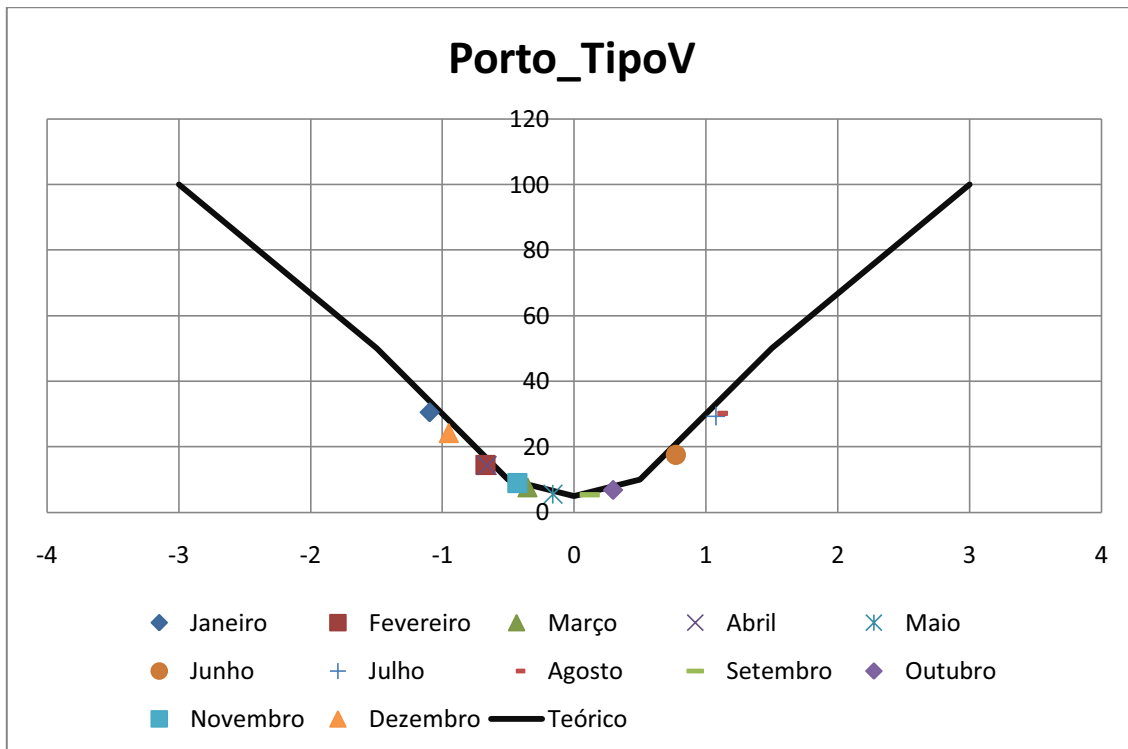


Figura 4.29 PPD vs PMV para Porto (parede simples com isolamento)

De todas as soluções construtivas apresentadas, esta parece ser a mais favorável em termos de conforto térmico para a zona do Porto. O PMV está distribuído uniformemente por ambas as estações (aquecimento e arrefecimento) como se observa no gráfico acima. Ao longo do ano as médias apresentam-se entre os valores de PMV -1 a 1, o que segundo Fanger tem um bom nível de conforto térmico e as pessoas sentem-se satisfeitas.

4.3.2Bragança

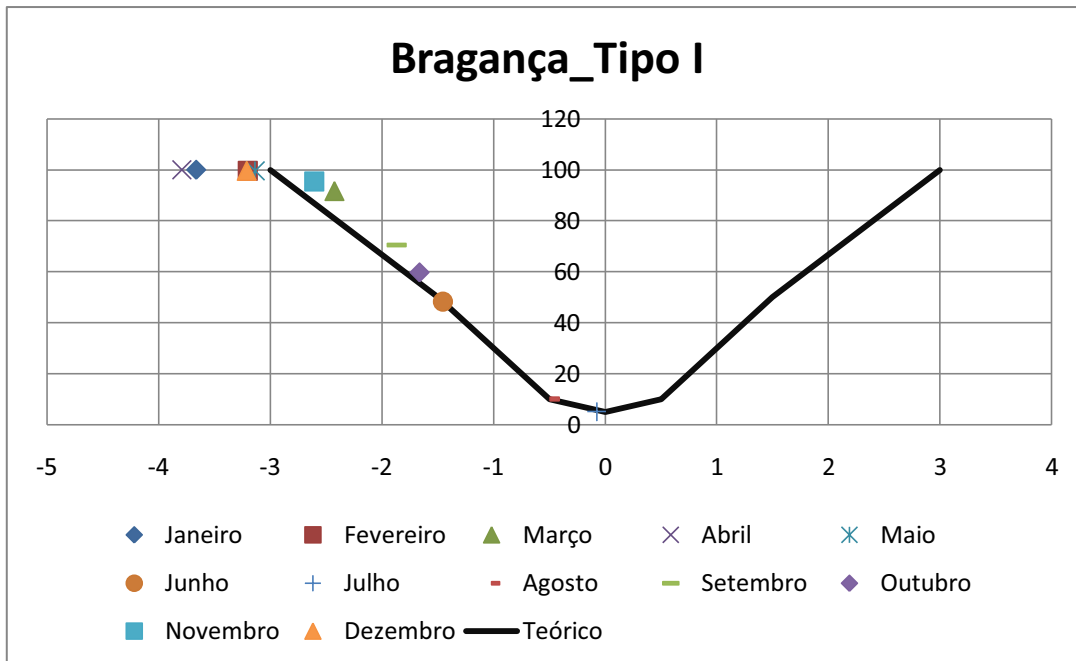


Figura 4.30 PPD vs PMV para Bragança (déc.40)

Tal como já verificado para o Porto, na década de 40, em Bragança verifica-se um índice de desconforto bastante elevado na estação de aquecimento, pois o PMV atinge um valor de aproximadamente -4. Isto pode ser explicado pelas temperaturas que se fazem sentir nesta região, com invernos muito rigorosos (3,5°C) em relação às temperaturas baixíssimas quando comparadas com o resto do país. A juntar a este facto, a construção da habitação, é normal que o resultado seja o verificado pois não existe qualquer tipo de isolamento e a elevada espessura das paredes dificulta o aquecimento da mesma.

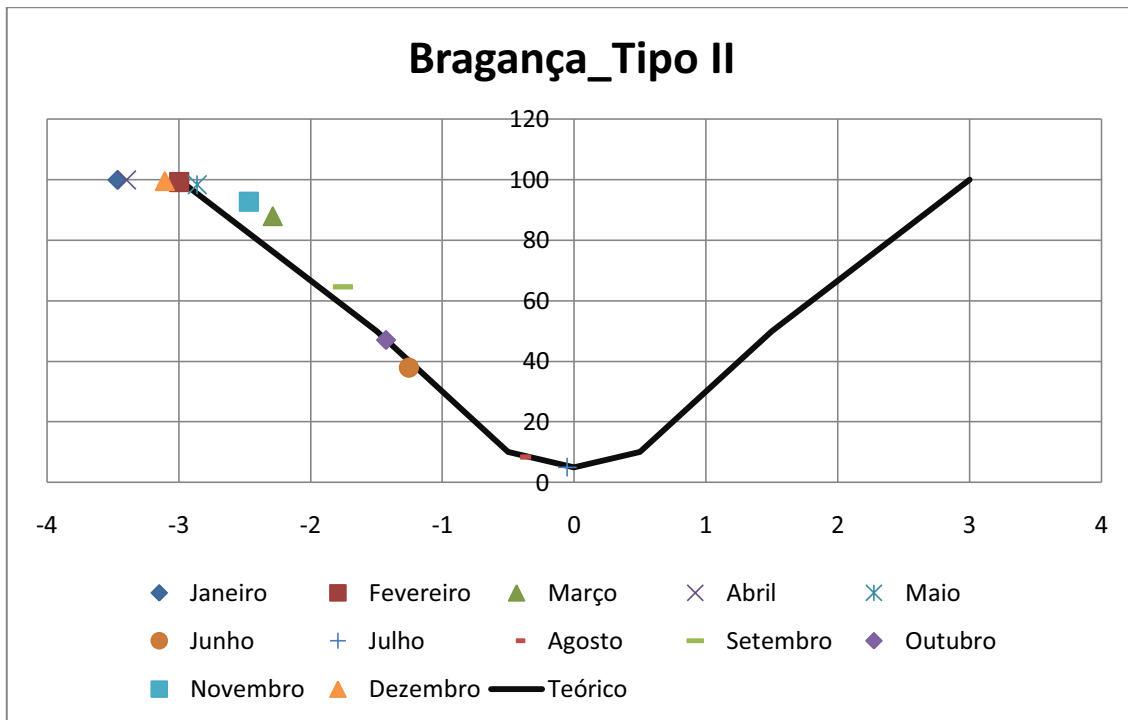


Figura 4.31 PPD vs PMV para Bragança (déc.40 com isolamento)

Neste caso, quando comparado com o anterior, existe uma melhoria no conforto térmico embora não muito significativa, principalmente nos meses de Dezembro, Janeiro, Fevereiro, Abril e Maio. A simples aplicação do isolamento pelo exterior ajuda numa melhoria do conforto térmico sentido por parte das pessoas. Contudo, o cenário não se altera muito em relação ao anterior.

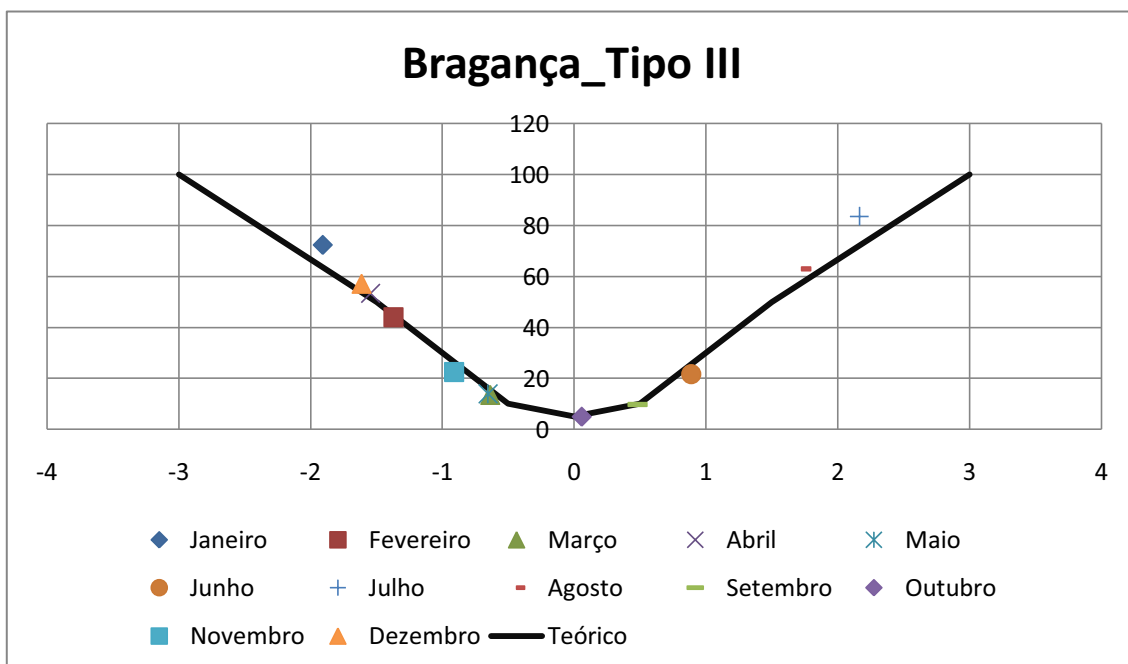


Figura 4.32 PPD vs PMV para Bragança (déc.60)

Observa-se uma distribuição uniforme do índice de conforto ao longo do ano e para ambas as estações. O conjunto de valores está na gama entre -3 e o +3, sendo semelhantes as necessidades de aquecimento e de arrefecimento para esta cidade e esta construção. No entanto, os meses com maior conforto são, Novembro, Março, Maio, Outubro Setembro e Junho pois estão na gama de -1 a +1.

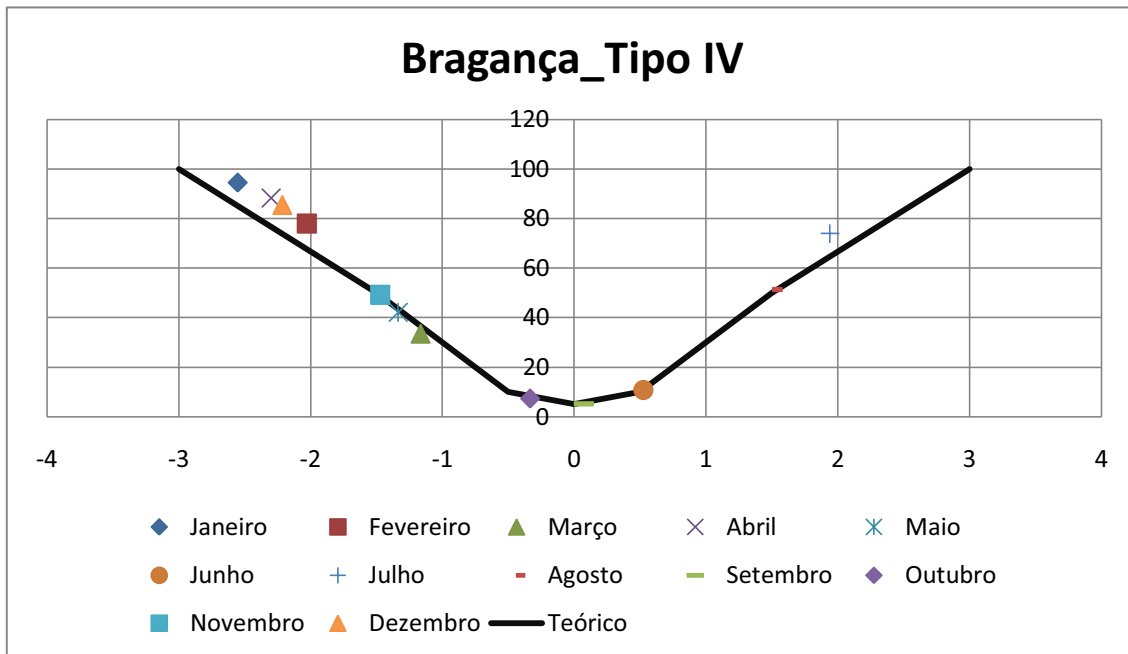


Figura 4.33 PPD vs PMV para Bragança (actualmente)

A distribuição dos valores não se verifica muito uniforme para ambas as estações, observa-se uma maior percentagem de desconforto na estação de aquecimento (PMV \approx -3). Mais uma vez o facto pode estar relacionado com os envidraçados orientados a sul mas com sombreamento o que dificulta os ganhos internos por radiação no Inverno e também pelo facto de as temperaturas nesta estação serem mais rigorosas. Em relação a construção anterior, tem um índice de conforto térmico muito baixo. Mas é duvidoso, pois esta solução construtiva tem isolamento, paredes duplas, vidro duplo com corte térmico e mesmo assim revela uma grande necessidade de aquecimento.

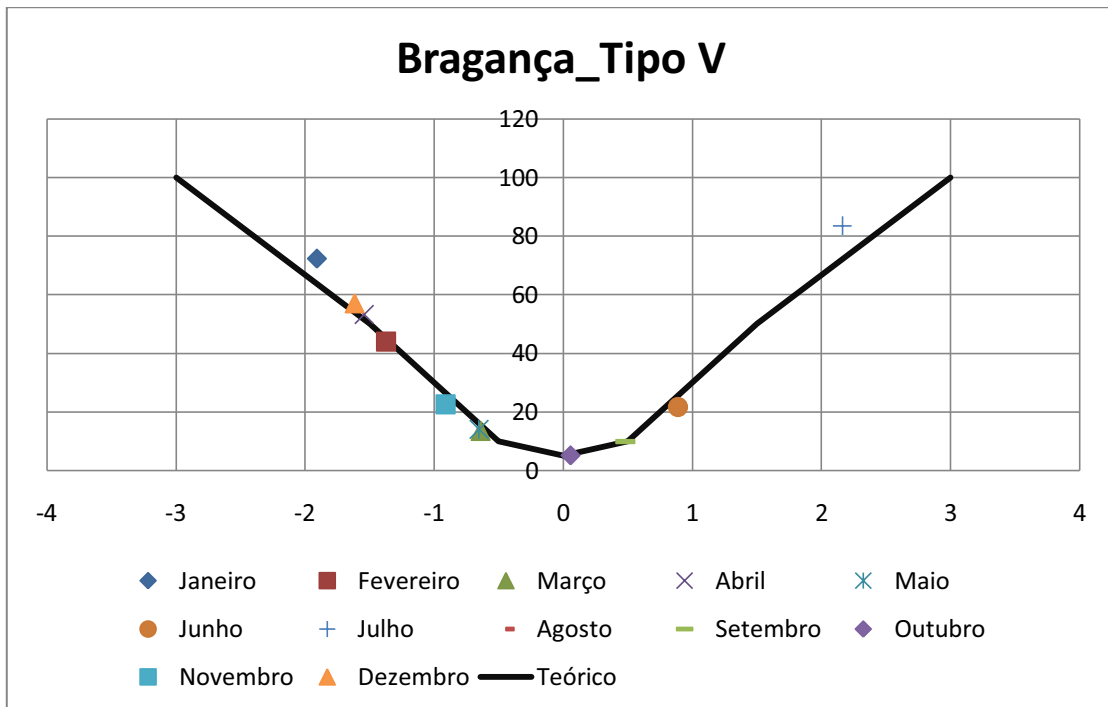


Figura 4.34 PPD vs PMV para Bragança (parede simples com isolamento)

De todas as soluções esta apresenta-se a mais razoável em termos de conforto térmico, isto porque apresenta uma distribuição uniforme do índice de conforto ao longo do ano e nas diferentes estações.

4.3.3 Évora

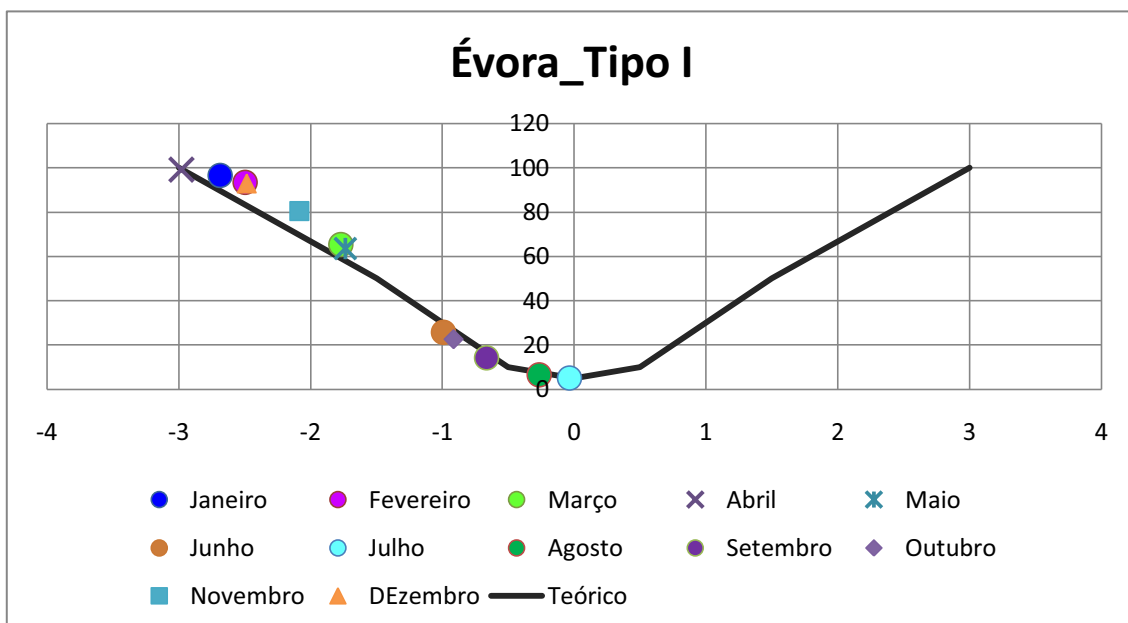


Figura 4.35 PPD vs PMV para Évora (déc.40)

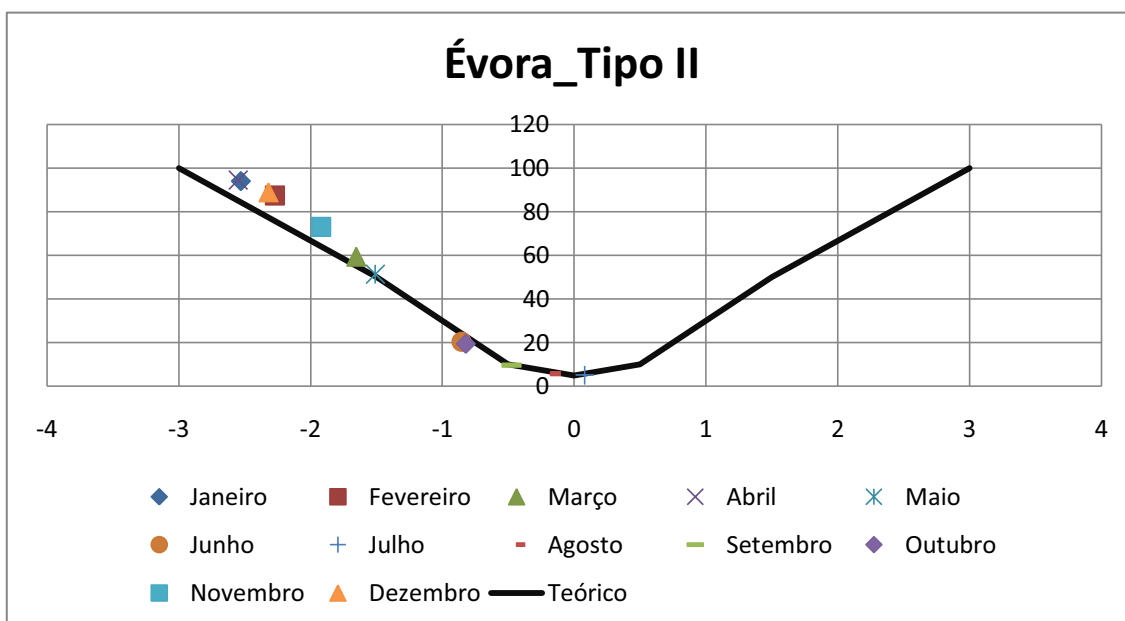


Figura 4.36 PPD vs PMV para Évora (déc.40 com isolamento)

Comparando estas duas soluções construtivas, verifica-se que a aplicação do isolamento térmico pelo exterior contribui para um aumento do índice de conforto térmico no edifício. No entanto, regista-se um índice de desconforto bastante elevado, em ambas as soluções, na estação de aquecimento. Relacionado com a dificuldade de aquecimento devido a espessura das paredes e com o material usado. Pois quanto maior a massa térmica menor a variação da amplitude térmica no interior do edifício, no entanto torna-se mais difícil o seu aquecimento.

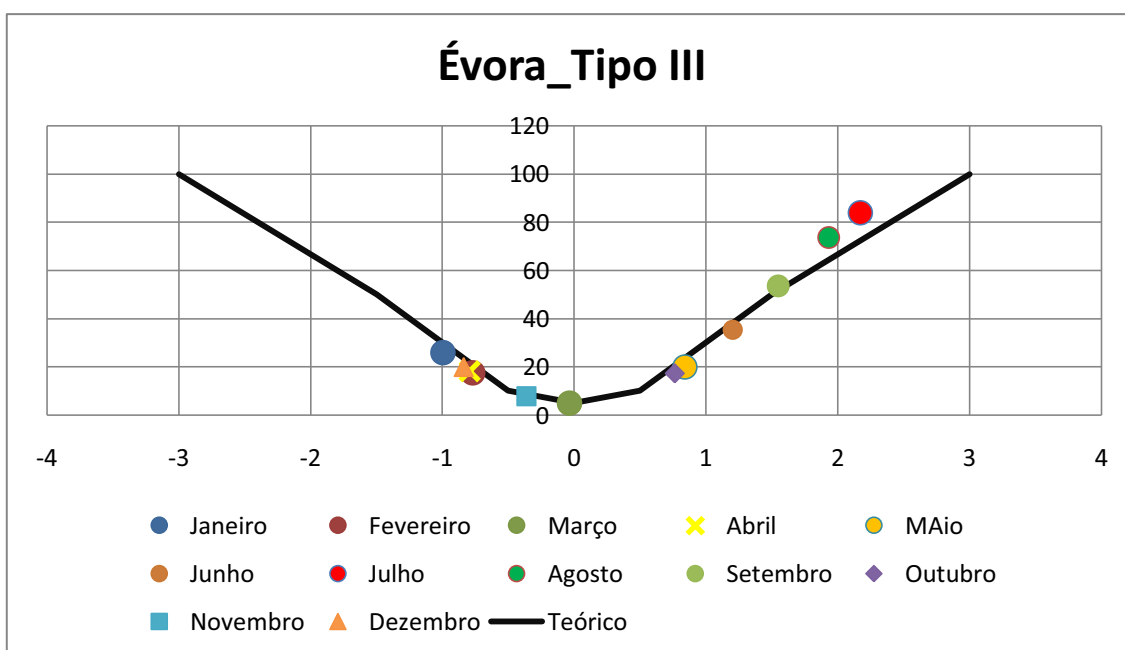


Figura 4.37 PPD vs PMV para Évora (déc.70)

Maior índice de conforto térmico, mas verifica-se um desconforto considerável na estação de arrefecimento (PMV $\approx +3$), que está relacionado com as elevadas temperaturas na estação de aquecimento nesta zona (V3) e o facto dos envidraçados orientados a sul não apresentarem um bom sombreamento. O facto de as janelas não apresentarem isolamento pode também influenciar, uma vez que permite a entrada de calor que proporciona o aumento da temperatura no interior devido a uma maior facilidade das trocas de calor entre o interior e o exterior.

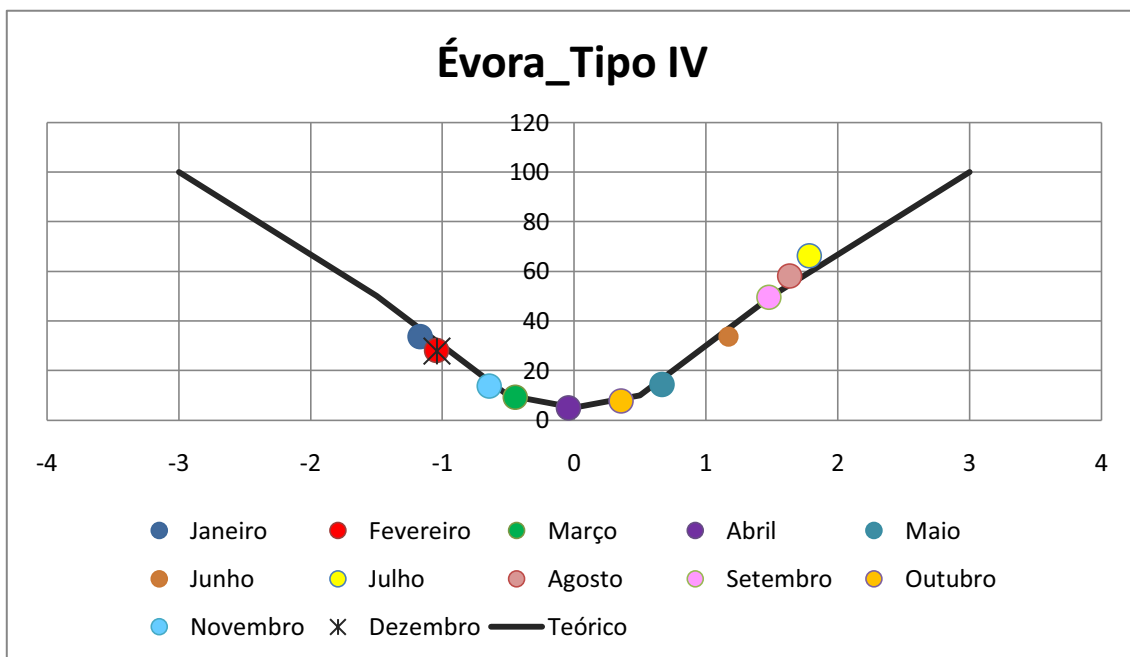


Figura 4.38 PPD vs PMV para Évora (actualmente)

Distribuição uniforme do índice de conforto e na estação de aquecimento o PMV não excede os +2, que apesar de classificado, pelo Método de Fanger, como quente não ultrapassa a escala ditada pelo mesmo. Esta apresenta-se uma boa opção de construção para esta zona.

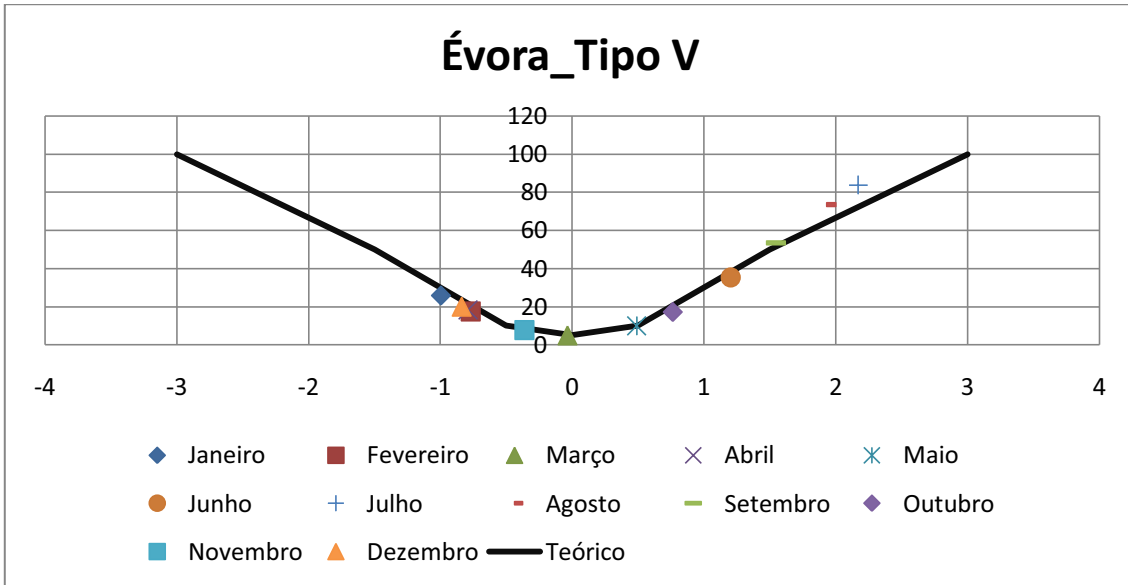


Figura 4.39 PPD vs PMV para Évora (parede simples com isolamento)

Mais uma vez, o problema está na estação de arrefecimento, embora uma grande percentagem se situe na gama de conforto térmico.

4.3.4 Lisboa

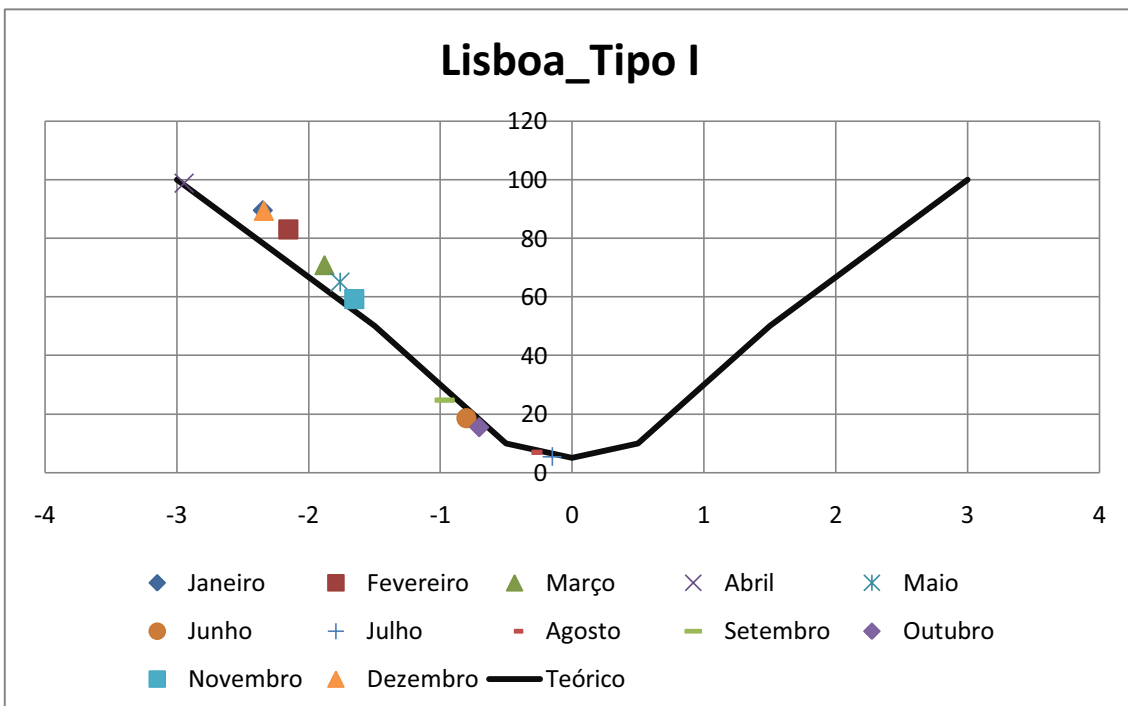


Figura 4.40 PPD vs PMV para Lisboa (déc.40)

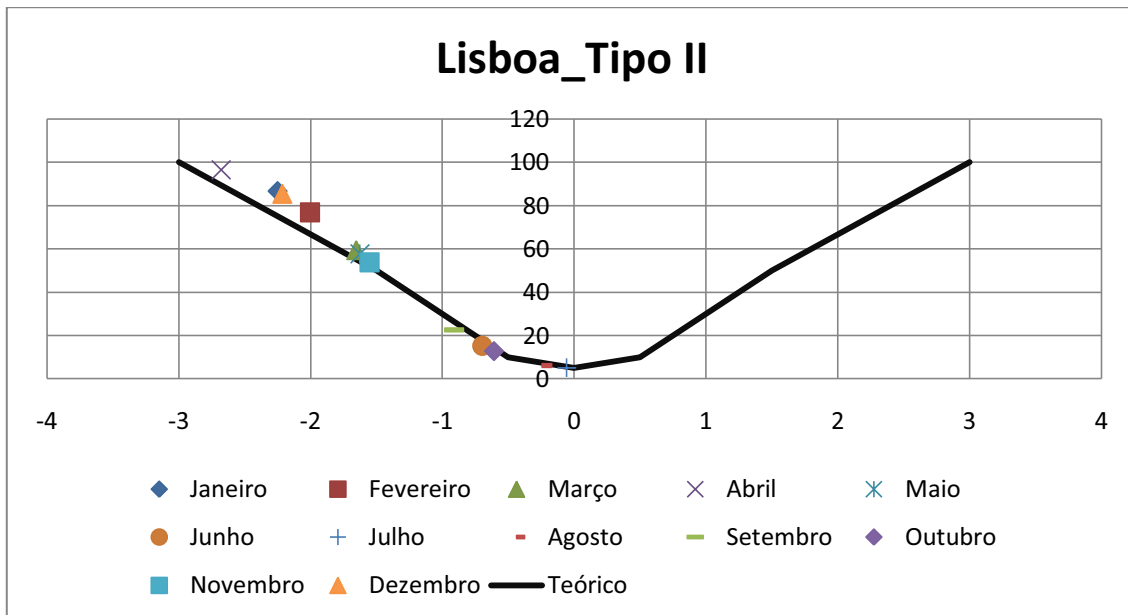


Figura 4.41 PPD vs PMV para Lisboa (déc.40 com isolamento)

Não se observa grande diferença no PMV tanto na solução construtiva do Tipo I quer no Tipo II, apresentam uma distribuição do conforto térmico semelhante. A aplicação do isolamento pelo exterior não parece ser uma boa solução para esta zona, nem para esta década. Verifica-se também que carece de aquecimento na estação de inverno, pois segundo os gráficos 48 e 49, verifica-se um elevado desconforto térmico nesta estação.

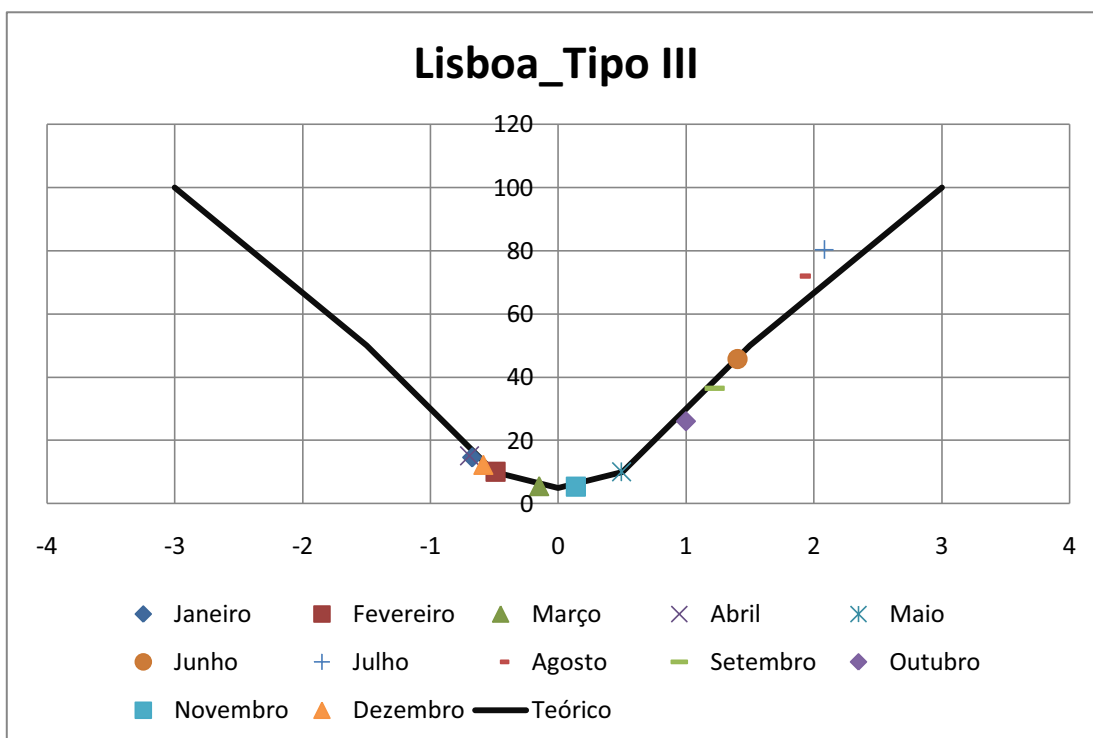


Figura 4.42 PPD vs PMV para Lisboa (déc.70)

Mediante os resultados, verifica-se que o edifício tem necessidades de arrefecimento. No entanto, apresenta-se como uma possível solução construtiva para a zona de Lisboa pois a gama de valores do PMV está entre -1 e entre +2, o que pode ser considerada com um nível satisfatório de conforto térmico.

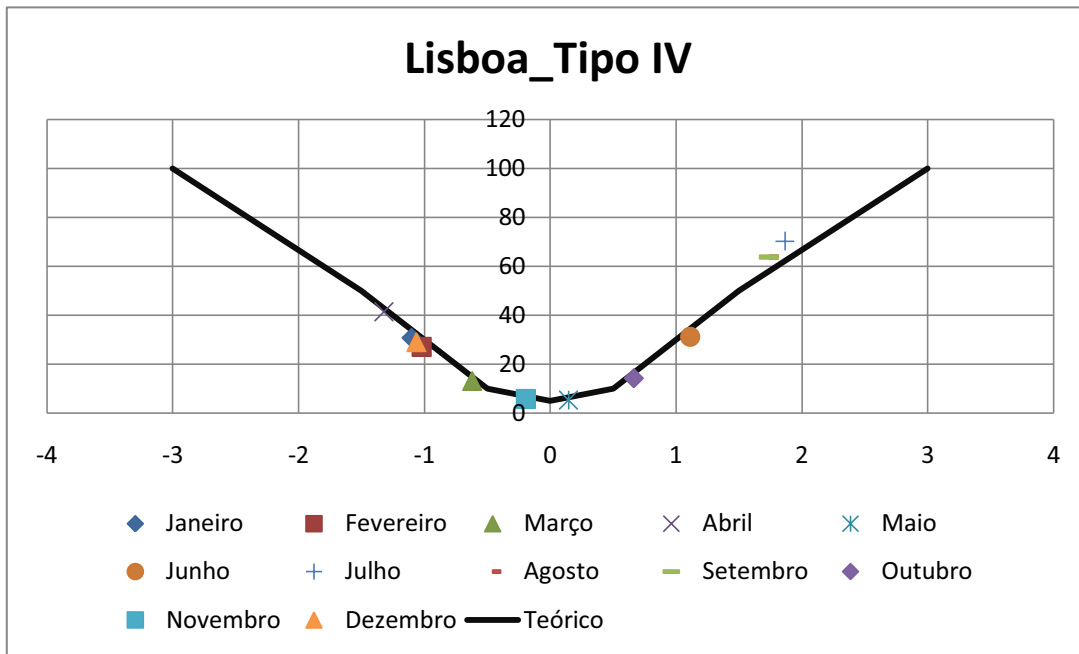


Figura 4.43 PPD vs PMV para Lisboa (actualmente)

Uma boa solução construtiva, uma vez que os valores de PMV estão na gama de -1,5 a +2 e apresenta uma distribuição uniforme, pelo que não exige grandes necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento.

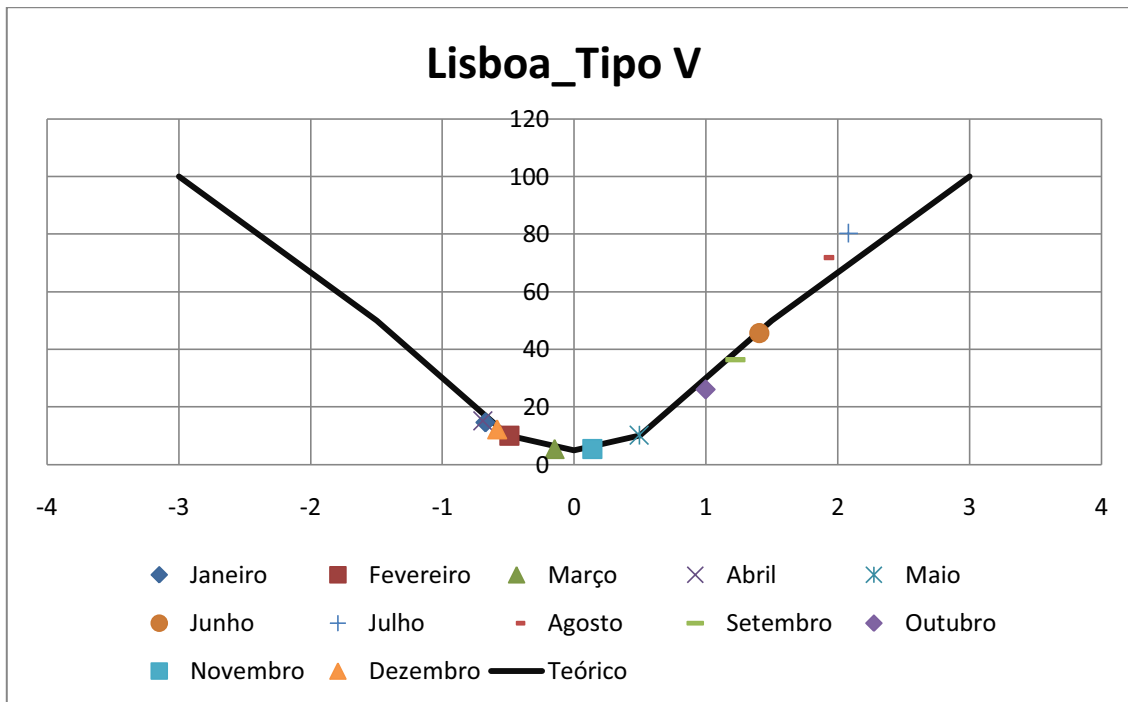


Figura 4.44 PPD vs PMV para Lisboa (parede simples com isolamento)

Maior necessidade de arrefecimento do que aquecimento, contudo, verifica-se um índice de conforto térmico satisfatório.

5 Conclusão

Após a realização desta dissertação, constatou-se que o isolamento surgiu na construção na década de 90 relacionado com a evolução da construção. Este proporciona um melhor conforto para os ocupantes das habitações. O surgimento da parede dupla com isolamento e sem isolamento proporcionaram também uma melhoria no ambiente térmico interior dos edifícios devido à redução da espessura das paredes, que conjugado com o aparecimento da caixa-de-ar (forma de isolamento), conduz a um resultado satisfatório quando comparado com qualquer uma das soluções da década de 40.

Na solução construtiva do tipo I, conclui-se que, em relação às temperaturas esta comporta-se de forma similar para todas as zonas abordadas, ou seja, a diferença entre a temperatura do ar e a temperatura de bolbo seco não é muito grande, principalmente nos meses de Agosto a Outubro, o que leva a concluir que em termos de isolamento esta solução é muito pobre como era de esperar. Isto está relacionado com a elevada espessura das fachadas que dificulta no aquecimento da mesma e conseqüente desconforto por parte dos ocupantes, uma vez que nesta solução construtiva o PMV atinge valores de -4, sendo a zona mais crítica a de Bragança. Este desconforto é crítico, principalmente, na estação de arrefecimento sendo por isso necessário o recurso a sistemas de aquecimento artificial não sendo uma construção de todo sustentável termicamente e energeticamente.

Relativamente à solução construtiva do Tipo II, verifica-se uma ligeira melhoria em relação às temperaturas e conseqüente melhoria no conforto térmico. No entanto a melhoria não é muito significativa, uma vez que em relação à temperatura do ar, tem variação aproximadamente 1°C relativamente à do Tipo I (Anexo B nas tabelas B.1 à B.20), que se reflecte no índice de conforto térmico, PMV, que embora seja uma melhoria pouco significativa demonstra que o papel do isolamento é vantajoso.

Construção do Tipo III apresenta-se como uma boa construção para todas as zonas. A amplitude térmica apresenta valores na ordem dos 10°C, ou seja, a diferença entre as temperaturas do ar e as temperaturas de bolbo seco são mais ou menos 10°C como se pode verificar nas tabelas do Anexo B (B.1 à B.20). Relativamente ao índice de conforto térmico, PMV, este é quantificado, em geral, entre os valores de -1,5 a +2 o que é considerado bom em termos de isolamento, uma vez que segundo *Fanger*, é classificado qualitativamente de Frio a Quente sendo a escala de Muito Frio (-3) a

Muito Quente (+3). O índice de pessoas desconfortáveis com o ambiente térmico também é baixo, não excedendo os 40% ao longo do ano, excepto nos meses de Julho e Agosto, que se verifica percentagens bastante elevadas como se pode verificar nas tabelas do Anexo B (B.21 à B.40).

O tipo de construção IV não apresenta alterações muito significativas em relação ao Tipo III, uma vez que a amplitude térmica é na ordem dos 10°C e os índices de PMV são similares, no entanto, verifica-se que na estação de arrefecimento (Verão) à uma melhoria deste índice e do PPD ou seja uma diminuição da percentagem, aproximadamente 10% (Anexo B da tabela B.21 à B.40), de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico que se deve à introdução de material isolante na caixa-de-ar.

Por último, a solução construtiva do Tipo V quando comparada com a do Tipo III e Tipo IV, não apresenta grandes alterações no que respeita à temperatura, isto porque mais uma vez a amplitude térmica é na ordem dos 10°C. Os índices PPD e PMV são similares aos do Tipo III.

Comparando as habitações da década de 40 (Tipo I) e da década de 40 com isolamento (Tipo II), conclui-se que o facto de acrescentar o isolamento pelo exterior contribui para um maior conforto da mesma habitação, embora não seja uma diferença muito relevante.

Em termos de conforto térmico, a solução construtiva que, em geral, se apresenta mais eficaz é a do Tipo IV, ou seja, com parede dupla e isolamento parcial na caixa-de-ar. Contudo a parede simples com isolamento pelo exterior também se mostra uma construção eficiente em termos de conforto térmico.

Desta forma, conclui-se que o material isolante surgiu na construção de forma a proporcionar um melhor conforto para as pessoas e também a tornar as construções menos pesadas. Qualquer construção sem isolamento quando comparada com uma solução construtiva com isolamento, apresenta níveis de desconforto superiores. Isso verificou-se na comparação do Tipo III e o Tipo IV: ambas as soluções incluem paredes duplas, mas uma sem isolamento e outra com isolamento, respectivamente.

Como foi referido na parte introdutória, após a pesquisa bibliográfica, o conforto térmico está relacionado com diversos factores (ambientais e individuais), o que se verificou ao longo das simulações, pois a mesma solução construtiva pode não ser eficaz em duas zonas diferentes, uma vez que depende principalmente do clima.

O isolamento previne os edifícios da humidade, como se viu nos resultados. O tipo IV (parede dupla com isolamento parcial) apresentava os valores mais baixos para a humidade relativa (Gráficos 4.21 ao 4.24), já a aplicação do isolamento pelo exterior

não apresenta ser vantajoso em termos de humidade, pois esta solução construtiva apresenta valores de humidade relativa bastante elevados.

O sombreamento da fachada sul é bastante importante numa habitação, pois evita o sobreaquecimento na estação de arrefecimento, mas em contrapartida dificulta os ganhos solares na estação de arrefecimento. No entanto pode sempre efectuar-se a colocação de sistemas de sombreamento amovíveis, de forma a poderem ser deslocados no inverno para o edifício obter ganhos solares mais elevados.

Deixa-se aqui possíveis continuações deste trabalho, tais como, comparação numa mesma década a aplicação do isolamento interior e do isolamento exterior para avaliar qual o mais eficaz, quer em termos de conforto quer em termos de eficiência energética, avaliação de custos de poupança de energia de uma habitação com e sem isolamento. A aplicação de um sistema de aquecimento (simples aquecedor) e que forma como influência o conforto térmico na estação de aquecimento.

Bibliografia

- Andolsun, Simge e Charles, H. Culp, A comparison of EnergyPlus to DOE-2.1E: Multiple Cases Ranging from Sealed Box to a Residential Building, Texas A&M University;
- Anes, António A. Almeida, A Influência da Massa e da Exposição Solar no Comportamento Térmico dos Edifícios, ISEL;
- Apicer (2000), Manual de Alvenaria de Tijolo, Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica, Coimbra;
- Baião, Manuel; Appleton, João, Pavimentos de Madeira de edifícios antigos. Constituição, Patologia e Reabilitação: LNEC, 1994 (pp. 233 – 242);
- Baganha, Maria Ioannis; Marques, José Carlos e Góis, Pedro, O sector da Construção Civil e Obras Públicas em Portugal: 1999 – 2000;
- Belo, Domingos Beirão, Comportamento Térmico de um Grande Átrio periférico Envidraçado de um edifício de Serviços, Instituto Superior Técnico, Lisboa;
- Climatização e Refrigeração: Trabalho 3.2. Condições de Conforto em interiores, Engenharia Mecânica, Escola Superior de Tecnologia de Abrantes, Instituto Politécnico de Tomar;
- Cruz, Sílvia Isabel Dias da (2007), Inovação em Portugal: o caso do sector da Construção, Dissertação, Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial, Universidade de Aveiro;
- Decreto – Lei nº 80/2006, de 4 de Abril, Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE) aprovado pelo Decreto – Lei nº 40/90, de 6 de Fevereiro, Diário da República – I Série-A, Nº 64;
- Decreto – Lei nº 118/98, de 7 de Maio, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE) aprovado pelo Decreto – Lei nº 156/92, de 29 de Julho, Diário da República – I Série-A, Nº105;
- Dinis, João Diogo Matias (2008), Análise do nível óptimo de Isolamento térmico de edifícios residenciais em Portugal, Dissertação, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro;
- Direcção Geral da Energia (2002), Eficiência Energética nos Edifícios;

- Direcção Geral da Geologia e Energia (2003), Consumo de Energia Eléctrica em Portugal para o período de 1990 a 2003;
- ENDESA (2007), Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Eléctrica para 2007: Medidas Intangíveis Aprovadas;
- EOTA (2000), Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering, Brussels;
- Fanger, P.O. (1972), Thermal Comfort Analysis and Applications environmental engineering. New York, McGraw-Hill. Book Company, 1972;
- Faria, Francisco, Análise dos Sistemas Construtivos Portugueses;
- Ferreira, Ana Luisa (2003), Causas e Classificações de Patologias em Paredes de Alvenaria de Pedra, Monografia de Mestrado em Construção, ed. Construlink, Oeiras;
- Figueiredo, Cíntia Mara e Frota, Anésia Barros, Ventilação Natural para o Conforto Térmico em Edifícios de Escritório – Avaliação com Modelos Adaptativos, Faculdade de Arquitectura e Urbanismo, Universidade de São Paulo;
- Freitas, Vasco Peixoto de (2005), Evolução na Concepção das Fachadas em Portugal em Função do Desempenho Térmico, Laboratório de Física das Construções, FEUP, ENITA;
- Freitas, Vasco Peixoto de (2002), Isolamento Térmico de Fachadas pelo Exterior – Reboco Delgado Armado Sobre Poliestireno extrudido: ETICS, maxit – Tecnologias de Construção e Renovação, Lda, Porto;
- Freitas, Vasco Peixoto de e Gonçalves, Pedro Filipe (2005), Isolamento Térmico de Fachadas pelo Exterior – Reboco Delgado Armado Sobre Poliestireno Expandido, FEUP;
- Gonçalves, Hélder e Graça, João Mariz (2004), Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal, INETI, Lisboa;
- Gonçalves, Mariana Mendes (2009), Estudo de novos materiais de mudança de fase, Dissertação, Departamento de Química, Universidade de Aveiro;
- Illston, J.M., K. e Domone, P.L.J. (2001), Construction Materials: Their nature and behaviour;
- INE (2008), A Actividade Económica, Lisboa;
- INE (2008), Anuário Estatístico de Portugal, Lisboa;

- ISO 7730, Moderate Thermal Environmental Determination of the PMV and PPD indices for thermal comfort. International Organization for standardization, Geneva, 1995;
- Lisboa, Carlos (2007), Conforto Térmico na habitação. Necessidades e Soluções., Escola Superior de Tecnologia de Viseu;
- Lourenço, P.B., Sousa, H. (edt) (2002), Paredes de Alvenaria – Situação Actual e Novas Tecnologias, Seminário sobre paredes de Alvenaria, Universidade do Minho, Guimarães;
- Lucas, Sandra Manuel Simaria de Oliveira (2008), Critérios Ambientais na Utilização de Materiais de Construção, Dissertação, Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, Universidade de Aveiro;
- Lyra, Débora Santa Fé Monteiro (2007), Aplicabilidade dos Índices de Conforto Térmico: Um Estudo de caso em Salvador – BA, Dissertação do final do Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana, Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia;
- Mascarenhas, Jorge, Sistemas de construção: descrição ilustrada e detalhada de processos construtivos utilizados correntemente em Portugal. 3ª ed. Lisboa: Livros Horizonte, 2009;
- Mendonça, Luís Viegas (2005), Condensações em Edifícios, Artigo Publicado na Revista “Arquitectura & Vida”, nº63, Set.2005, pp. 71 – 74;
- Monteiro, Leonardo Marques e Alucci, Márcia Peinado, Modelo Adaptativo de Temperatura operativa neutra para a avaliação de espaços semi – confinados, Universidade de São Paulo;
- Monteiro, Leonardo Marques e Alucci, Márcia Peinado (2007), Questões Teóricas de Conforto Térmico em Espaços Abertos: Consideração histórica, discussão do estado de arte e proposição de classificação de modelos, Artigo Científico, Universidade de São Paulo;
- Paya, M. (1999), Isolamento Térmico e Acústico. Plátano, Edições Térmicas, 2ªed, Lisboa;
- Pessoa, Carlos Eduardo Regadas (2009), Relação dos consumos energéticos dos edifícios de Habitação com as emissões do ciclo de produção das soluções construtivas, Dissertação, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho;

- Piedade, A. Canha da, *Térmica de edifícios*. 3ª ed. Lisboa : LNEC, cop. 2000;
- Pinheiro, M. D. (2006), *Ambiente e Construção Sustentável*. Instituto do Ambiente, Amadora;
- Pinto, Armando, *Componentes de edifícios: aspectos de segurança e resistência mecânica do vidro*. Lisboa: LNEC, 2008;
- Portugal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, *Caracterização térmica de elementos de construção*, Lisboa: LNEC, 1985;
- Ribeiro, António José Rodrigues Fernandes (2009), *Barreiras Térmicas compósitas obtidas por projecção térmica*, Dissertação, Departamento de Engenharia da Cerâmica e do Vidro, Universidade de Aveiro;
- Rocha, Joana Maciel Estima Coelho da (2008), *Eficiência Energética em Edifícios Históricos da Universidade de Coimbra*, Dissertação, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro;
- Roriz, Luís Filipe Canhão e Piedade, A. Canha da e Rodrigues, A. Moret (2000), *Climatização em Edifícios – Envolvente e comportamento Térmico*, Edições Orion;
- Roriz, Luís Filipe Canhão, *Climatização: concepção, instalação e condução de sistemas*. 2ª ed. rev. Amadora: Edições Orion, 2007;
- Rosenbom, Kim, *SerpoTherm – Um Sistema de Isolamento Térmico de Fachadas pelo Exterior, As vantagens e requisitos do sistema SerpoTherm – ETICS*, maxitGroup;
- Ruas, Álvaro César, *Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho*, Ministério do Trabalho, Fundacentro;
- Ruivo, Celestino Rodrigues; Inverno, Armando Costa e Lamarão, António Hugo, *Qualidade Térmica Ambiental em Salas de Aula*, Área Engenharia Mecânica, EST/UAlg;
- Sansana, J. (2004), *Avaliação do Comportamento Térmico de um Edifício*, Projecto final de curso, Universidade de Aveiro;
- Santos, Carlos A. Pina dos, *Caracterização térmica de paredes de alvenaria*. 8ª ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2008;
- Santos, Carlos A. Pina dos, *Caracterização Térmica das Paredes de Alvenaria*

- Santos, Carlos A. Pina dos e Matias, Luís (2006), Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios, LNEC, Lisboa;
- Simões, Fausto, Arquitectura e Construção;
- Silva, Luiz Bueno; Coutinho, António Souto; Másculo, Francisco Soares; Xavier, Antónia Augusto de Paula e Fialho, Francisco António Pereira (1999), Análise Comparativa entre um modelo teórico e a sensação térmica declarada por trabalhadores em ambientes com VDT;
- Silva, Manuel Carlos Gameiro da, Aplicação computacional para avaliação do Conforto Térmico, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra;
- Silva, Pedro Correia Pereira da (2006), Análise do comportamento térmico de construções não convencionais através de simulação em VisualDOE , Dissertação, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Minho, Capítulo 3;
- Silveira, Paulo Alexandre Malta da, Estuques antigos: caracterização construtiva e Análise Patológica. Dissertação para obtenção de grau de mestre em Construção, IST, 2000;
- Silveira, Paulo Alexandre Malta da, Tectos efectuados sob fasquias ou abóbadas em edifícios antigos: Caracterização Construtiva, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa;
- Sequeira, António Manzonei de, Construção: a aposta na qualidade de vida: repensar e revalorizar a actividade. Lisboa: ANEOP - Associação Nacional de Empreiteiros de Obras Públicas, cop. 2008;
- Smith, W. F. (1998), Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais, McGraw-Hill, Lisboa, Portugal;
- Talaia, M.A.R., O Conforto Humano e as Alterações Ambientais um estudo de caso em Ambiente Quente, Artigo Científico, Departamento de Física, Universidade de Aveiro.
- Urban, Bryan J. e Gliksman, Leon R. (Member ASHRAE), A simplified Rapid Energy Model and Interface for Nontechnical Users;
- Viegas, João Carlos Godinho, Ventilação natural de edifícios de habitação. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1995;

- URL 1:
www.isolamentotermicopt.com
- URL 2:
ecoorkitekt.com/eficiencia-energetica/isolamento-termico-paredes-esteriores/
- URL 3:
www.por7ugal.net.energia.html
- URL 4:
www.eco.edp.pt
- URL 5:
www.infopedia.pt
- URL 6:
www.iso.org
- URL 7:
www.casacertificada.pt
- URL 8:
www.iapmei.pt
- URL 9:
engenhariacivil.wordpress.com/legislacao
- URL 10:
www.construcaosustentavel.pt
- URL 11:
www.construlink.com
- URL 12:
www.ecocasa.org

Anexos

Anexo A - Definições

- Ponte térmica: Toda e qualquer zona da envolvente dos edifícios em que a resistência térmica é significativamente alterada em relação à zona corrente. Essa alteração pode ser causada pela existência localizada de materiais de diferentes condutibilidades térmicas e/ou por uma modificação na geometria da envolvente, como é o caso das ligações entre diferentes elementos construtivos.
- Amplitude Térmica (Verão): é o valor médio das diferenças registadas entre as temperaturas máximas e mínimas diárias do mês mais quente.
- Gestão Supply Chain: Cadeia de fornecimento é o grupo de fornecedores que supre as necessidades de uma empresa na criação e no desenvolvimento dos seus produtos.
- Assírios: Antigo povo do Médio Oriente, oriundo do Norte da Mesopotâmia posteriormente Curdistão), região montanhosa, de clima duro e solos pouco férteis, os Assírios surgiram em finais do III milénio A. C. como um pequeno reino governado por uma dinastia acadiana que terá tornado o país próspero. Distinguiram-se pela sua crueldade e qualidades guerreiras, para além de terem sido magníficos construtores de cidades e edifícios colossais, como o provam as ruínas das cidades de Assur, Nínive e Nimrud.
- Persas: A dinastia governante na Pérsia, com sede em Fars (Parsa), tinha como antepassado o rei Haxamanish ou Aquemenes. Sucederam-lhe três reis: Teispes, Ciro I e Cambises I. Não sabemos praticamente nada destes, excepto que Ciro I foi, provavelmente, o rei persa que jurou submissão a Asurbanipal da Assíria pouco depois do ano de 639 a. C. Quando Ciro II, a quem justamente se apelida "o Grande", acedeu ao trono em 559 a. C., já tinha decidido revoltar-se contra o controlo do seu avô Astiages. Após a vitória sobre este, fundou o Império Persa, através de uma série de brilhantes conquistas que o celebrizaram a par de Alexandre, embora menos conhecido. Às regiões centrais, tradicionalmente constituindo a força dos Impérios mesopotâmicos, Babilónia, Assíria, Urartu, acrescentou, a oeste, a Alta Mesopotâmia e a Lídia (tomada de Sardes a Creso, em 546 a. C.), e na direcção do oriente conquistou, com dificuldade, os nómadas arianos, as províncias do Irão e do actual Afeganistão (Sogdiana, Bactriana, Aracósia, Gedrósia), colocando-o em contacto directo com a civilização do Vale do Indo.
- Coeficiente de Transmissão Térmica: É a quantidade de calor que, por unidade de tempo, atravessa uma superfície de área unitária desse elemento, por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ela separa.
- Normas Europeias Harmonizadas: Uma Norma Europeia harmonizada é uma Norma Europeia preparada pelo CEN, sob mandato da Comissão Europeia, com vista ao cumprimento das

exigências essenciais de uma Directiva da Nova Abordagem, tal como a Directiva dos Produtos da Construção (DPC). As normas harmonizadas são normas de características de produto contendo, na maioria dos casos, partes voluntárias ou não-harmonizadas, referentes a características dos produtos não regulamentadas em nenhum Estado-membro. Por esse motivo, em todas as normas harmonizadas elaboradas no âmbito da DPC inclui-se um anexo informativo ZA, cuja primeira parte, designada ZA.1, identifica os requisitos objecto de regulamentação e as cláusulas da norma onde eles são tratados, constituindo assim a parte harmonizada da norma a partir da qual a marcação CE é atribuída.

- Aprovações Técnicas Europeias (ETA – European Technical Approval) consiste numa apreciação técnica favorável da aptidão ao uso de um produto, estabelecida com base nas exigências essenciais das obras de construção onde esse produto seja incorporado. Uma ETA pode ser concedida a um produto de construção desde que se verifique uma das seguintes condições: Não exista Norma Europeia harmonizada aplicável a esse produto e a Comissão Europeia não tenha emitido nenhum mandato para a sua elaboração; O produto se desvie significativamente das Normas Europeias harmonizadas.
- Organismos notificados e organismos de Aprovação: Os Organismos de avaliação da conformidade, correntemente designados por Organismos Notificados, são entidades qualificadas e designadas pelos Estados-membros à Comissão Europeia (CE) para intervir nos sistemas de avaliação da conformidade com as especificações técnicas previstas na Directiva dos Produtos da Construção (DPC).
- Sistemas de avaliação de conformidade: A avaliação da conformidade dos produtos da construção com as especificações técnicas necessárias para a marcação CE (Normas Europeias harmonizadas e Aprovações Técnicas Europeias) utiliza um conjunto de métodos de avaliação da conformidade definido na Directiva dos Produtos da Construção (DPC) que, devidamente escolhidos e combinados entre si, originam seis sistemas de avaliação da conformidade distintos: 1+, 1, 2+, 2, 3 e 4
- Marcação da CE: Apenas se aplica a produtos abrangidos pelas Directivas da Nova Abordagem que, definindo as exigências essenciais a satisfazer pelos produtos, visam essencialmente a segurança, a saúde e a protecção do ambiente, remetendo para especificações técnicas as características e requisitos a assegurar.

Anexo B – Tabelas dos Resultados

Temperaturas

Tabela B.5.1 Lisboa Tipo I

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|-----------|------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Janeiro | 15,12 | 14,62 | 14,91 | 10,81 |
| Fevereiro | 15,82 | 15,14 | 15,48 | 11,70 |
| Março | 16,99 | 16,45 | 16,72 | 12,83 |
| Abril | 18,48 | 17,96 | 18,21 | 14,69 |
| Maio | 21,76 | 21,19 | 21,40 | 17,72 |
| Junho | 24,22 | 23,51 | 23,87 | 20,07 |
| Julho | 25,90 | 25,16 | 25,53 | 22,32 |
| Agosto | 25,39 | 24,68 | 25,12 | 22,43 |
| Setembro | 23,79 | 22,96 | 23,39 | 21,25 |
| Outubro | 21,01 | 20,17 | 20,60 | 17,80 |
| Novembro | 17,81 | 17,18 | 17,51 | 13,27 |
| Dezembro | 15,30 | 14,69 | 15,00 | 11,06 |

Tabela B.5.2 Lisboa Tipo II

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|-----------|------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Janeiro | 15,47 | 14,96 | 15,21 | 10,81 |
| Fevereiro | 16,30 | 15,65 | 15,97 | 11,70 |
| Março | 17,81 | 17,14 | 17,49 | 12,83 |
| Abril | 18,96 | 18,45 | 18,70 | 14,69 |
| Maio | 22,12 | 21,58 | 21,82 | 17,72 |
| Junho | 24,46 | 23,74 | 24,10 | 20,07 |
| Julho | 26,01 | 25,32 | 25,67 | 22,32 |
| Agosto | 25,58 | 24,84 | 25,21 | 22,43 |
| Setembro | 23,88 | 23,19 | 23,55 | 21,25 |
| Outubro | 21,13 | 20,31 | 20,72 | 17,80 |
| Novembro | 17,98 | 17,36 | 17,67 | 13,27 |

| | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| Dezembro | 15,76 | 15,21 | 15,50 | 11,06 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|

Tabela B.5.3 Lisboa Tipo III

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 21,13 | 20,86 | 21,07 | 10,81 |
| Fevereiro | 21,72 | 21,21 | 21,43 | 11,70 |
| Março | 23,01 | 22,53 | 22,70 | 12,83 |
| Abril | 24,42 | 24,00 | 24,16 | 14,69 |
| Mai | 27,30 | 26,97 | 27,11 | 17,72 |
| Junho | 29,79 | 29,63 | 29,76 | 20,07 |
| Julho | 31,31 | 31,14 | 31,26 | 22,32 |
| Agosto | 30,90 | 30,86 | 30,88 | 22,43 |
| Setembro | 29,29 | 29,02 | 29,21 | 21,25 |
| Outubro | 26,74 | 26,31 | 26,51 | 17,80 |
| Novembro | 23,88 | 23,50 | 23,67 | 13,27 |
| Dezembro | 21,37 | 20,91 | 21,14 | 11,06 |

Tabela B.5.4 Lisboa (Tipo IV)

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 19,73 | 19,82 | 19,69 | 10,81 |
| Fevereiro | 20,01 | 20,08 | 19,99 | 11,70 |
| Março | 21,49 | 21,54 | 21,45 | 12,83 |
| Abril | 23,08 | 23,24 | 23,12 | 14,69 |
| Mai | 26,89 | 26,86 | 26,87 | 17,72 |
| Junho | 29,60 | 29,69 | 29,65 | 20,07 |
| Julho | 31,42 | 31,55 | 31,49 | 22,32 |
| Agosto | 31,06 | 31,04 | 31,03 | 22,43 |
| Setembro | 29,07 | 29,00 | 29,03 | 21,25 |
| Outubro | 26,24 | 26,18 | 26,28 | 17,80 |
| Novembro | 23,04 | 22,92 | 22,98 | 13,27 |
| Dezembro | 19,96 | 20,08 | 19,99 | 11,06 |

Tabela B.5.5 Lisboa (Tipo V)

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 21,13 | 20,86 | 21,07 | 10,81 |
| Fevereiro | 21,72 | 21,21 | 21,43 | 11,70 |
| Março | 23,01 | 22,53 | 22,70 | 12,83 |
| Abril | 24,42 | 24,00 | 24,16 | 14,69 |
| Mai | 27,30 | 26,97 | 27,11 | 17,72 |
| Junho | 29,79 | 29,63 | 29,76 | 20,08 |
| Julho | 31,31 | 31,14 | 31,26 | 22,32 |
| Agosto | 30,90 | 30,86 | 30,88 | 22,43 |
| Setembro | 29,29 | 29,02 | 29,21 | 21,25 |
| Outubro | 26,74 | 26,31 | 26,51 | 17,80 |
| Novembro | 23,88 | 23,50 | 23,67 | 13,27 |
| Dezembro | 21,37 | 20,91 | 21,14 | 11,06 |

Tabela B.5.6 Évora (Tipo I)

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 13,96 | 13,55 | 13,77 | 9,10 |
| Fevereiro | 14,97 | 14,44 | 14,71 | 10,32 |
| Março | 17,22 | 16,75 | 17,03 | 12,03 |
| Abril | 18,94 | 18,51 | 18,72 | 13,62 |
| Mai | 22,03 | 21,36 | 21,71 | 16,72 |
| Junho | 23,89 | 23,24 | 23,60 | 18,64 |
| Julho | 26,39 | 25,65 | 26,02 | 22,01 |
| Agosto | 25,68 | 24,93 | 25,31 | 23,22 |
| Setembro | 24,91 | 24,18 | 24,57 | 22,23 |
| Outubro | 20,32 | 19,51 | 19,97 | 16,81 |
| Novembro | 16,39 | 15,72 | 16,05 | 12,58 |
| Dezembro | 14,79 | 14,31 | 14,57 | 10,49 |

Tabela B.5.7 Évora (Tipo II)

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 14,53 | 14,18 | 14,35 | 9,10 |
| Fevereiro | 15,50 | 15,07 | 15,31 | 10,32 |
| Março | 17,84 | 17,47 | 17,67 | 12,03 |
| Abril | 19,42 | 19,10 | 19,27 | 13,63 |
| Mai | 22,51 | 21,91 | 22,21 | 16,72 |
| Junho | 24,13 | 23,51 | 23,82 | 18,64 |
| Julho | 26,39 | 25,72 | 26,05 | 22,01 |
| Agosto | 25,86 | 25,21 | 25,53 | 23,22 |
| Setembro | 24,98 | 24,19 | 24,56 | 22,23 |
| Outubro | 20,70 | 19,84 | 20,27 | 16,81 |
| Novembro | 16,85 | 16,20 | 16,53 | 12,58 |
| Dezembro | 15,26 | 14,72 | 14,97 | 10,49 |

Tabela B.5.8 Évora (Tipo III)

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 20,05 | 19,71 | 19,76 | 9,10 |
| Fevereiro | 20,81 | 20,55 | 20,71 | 10,32 |
| Março | 23,21 | 23,12 | 23,30 | 12,03 |
| Abril | 24,83 | 24,55 | 24,64 | 13,62 |
| Mai | 27,27 | 27,33 | 27,25 | 16,72 |
| Junho | 29,34 | 29,33 | 29,39 | 18,64 |
| Julho | 31,65 | 31,44 | 31,52 | 22,01 |
| Agosto | 31,15 | 30,89 | 31,15 | 23,22 |
| Setembro | 30,44 | 30,22 | 30,36 | 22,23 |
| Outubro | 25,88 | 25,43 | 25,60 | 16,81 |
| Novembro | 22,22 | 21,94 | 22,05 | 12,58 |
| Dezembro | 20,70 | 20,25 | 20,49 | 10,49 |

Tabela B.5.9 Évora (Tipo IV)

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 18,48 | 18,54 | 18,52 | 9,10 |
| Fevereiro | 19,39 | 19,42 | 19,43 | 10,32 |
| Março | 22,40 | 22,46 | 22,36 | 12,03 |
| Abril | 23,74 | 23,98 | 23,85 | 13,62 |
| Mai | 26,84 | 27,07 | 26,92 | 16,72 |
| Junho | 29,16 | 29,06 | 29,10 | 18,64 |
| Julho | 31,92 | 31,90 | 31,91 | 22,01 |
| Agosto | 31,33 | 31,45 | 31,39 | 23,22 |
| Setembro | 30,47 | 30,37 | 30,38 | 22,23 |
| Outubro | 25,37 | 25,14 | 25,26 | 16,81 |
| Novembro | 21,18 | 21,13 | 21,21 | 12,58 |
| Dezembro | 19,15 | 19,15 | 19,14 | 10,49 |

Tabela B.5.10 Évora (Tipo V)

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 20,05 | 19,71 | 19,76 | 9,10 |
| Fevereiro | 20,81 | 20,55 | 20,71 | 10,32 |
| Março | 23,21 | 23,12 | 23,30 | 12,03 |
| Abril | 24,83 | 24,55 | 24,64 | 13,62 |
| Mai | 27,27 | 27,33 | 27,25 | 16,72 |
| Junho | 29,35 | 29,33 | 29,39 | 18,64 |
| Julho | 31,65 | 31,44 | 31,52 | 22,01 |
| Agosto | 31,15 | 30,89 | 31,15 | 23,22 |
| Setembro | 30,44 | 30,22 | 30,36 | 22,23 |
| Outubro | 25,88 | 25,43 | 25,60 | 16,81 |
| Novembro | 22,22 | 21,94 | 22,05 | 12,58 |
| Dezembro | 20,70 | 20,25 | 20,49 | 10,49 |

Tabela B.5.11 Porto (Tipo I)

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 13,59 | 13,06 | 13,34 | 9,28 |
| Fevereiro | 14,96 | 14,46 | 14,71 | 10,46 |
| Março | 16,40 | 15,98 | 16,20 | 11,86 |
| Abril | 18,48 | 17,99 | 18,24 | 12,56 |
| Mai | 20,11 | 19,49 | 19,80 | 14,82 |
| Junho | 22,80 | 22,18 | 22,51 | 17,47 |
| Julho | 23,36 | 22,69 | 23,04 | 18,37 |
| Agosto | 23,23 | 22,50 | 22,89 | 19,00 |
| Setembro | 20,80 | 20,04 | 20,42 | 18,06 |
| Outubro | 18,63 | 17,83 | 18,30 | 14,95 |
| Novembro | 15,78 | 15,20 | 15,49 | 12,10 |
| Dezembro | 14,63 | 14,11 | 14,42 | 10,62 |

Tabela B.5.12 Porto (Tipo II)

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 14,33 | 13,65 | 13,99 | 9,28 |
| Fevereiro | 15,57 | 15,09 | 15,32 | 10,46 |
| Março | 16,82 | 16,60 | 16,64 | 11,86 |
| Abril | 19,08 | 18,62 | 18,85 | 12,56 |
| Mai | 20,73 | 20,21 | 20,50 | 14,82 |
| Junho | 23,36 | 22,84 | 23,12 | 17,47 |
| Julho | 23,55 | 22,96 | 23,26 | 18,37 |
| Agosto | 23,42 | 22,65 | 23,10 | 19,00 |
| Setembro | 21,33 | 20,54 | 20,93 | 18,06 |
| Outubro | 19,39 | 18,50 | 18,95 | 14,95 |
| Novembro | 16,17 | 15,64 | 15,90 | 12,10 |
| Dezembro | 15,06 | 14,79 | 14,92 | 10,62 |

Tabela B.5.13 Porto (Tipo III)

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 19,64 | 19,28 | 19,47 | 9,28 |
| Fevereiro | 21,07 | 20,55 | 20,83 | 10,46 |
| Março | 22,30 | 21,94 | 22,06 | 11,86 |
| Abril | 24,22 | 24,14 | 24,11 | 12,56 |
| Mai | 25,70 | 25,65 | 25,71 | 14,82 |
| Junho | 28,06 | 28,07 | 28,08 | 17,47 |
| Julho | 28,80 | 28,75 | 28,79 | 18,37 |
| Agosto | 28,67 | 28,48 | 28,57 | 19,00 |
| Setembro | 26,37 | 26,04 | 26,17 | 18,06 |
| Outubro | 24,42 | 24,08 | 24,28 | 14,95 |
| Novembro | 21,93 | 21,32 | 21,60 | 12,10 |
| Dezembro | 20,00 | 19,46 | 19,67 | 10,62 |

Tabela B.5.14 Porto (Tipo IV)

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 17,70 | 17,72 | 17,71 | 9,28 |
| Fevereiro | 19,44 | 19,37 | 19,48 | 10,46 |
| Março | 20,73 | 20,90 | 20,82 | 11,86 |
| Abril | 22,82 | 22,94 | 22,87 | 12,56 |
| Mai | 24,69 | 24,86 | 24,84 | 14,82 |
| Junho | 27,67 | 28,06 | 27,90 | 17,47 |
| Julho | 28,61 | 28,68 | 28,64 | 18,37 |
| Agosto | 28,27 | 28,26 | 28,32 | 19,00 |
| Setembro | 25,81 | 26,08 | 25,95 | 18,06 |
| Outubro | 23,42 | 23,49 | 23,40 | 14,95 |
| Novembro | 20,28 | 20,14 | 20,22 | 12,10 |
| Dezembro | 18,47 | 18,39 | 18,39 | 10,62 |

Tabela B.5.15 Porto (Tipo V)

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 19,64 | 19,28 | 19,47 | 9,28 |
| Fevereiro | 21,07 | 20,55 | 20,84 | 10,46 |
| Março | 22,29 | 21,94 | 22,06 | 11,86 |
| Abril | 24,22 | 24,14 | 24,11 | 12,56 |
| Maio | 25,70 | 25,65 | 25,71 | 14,82 |
| Junho | 28,06 | 28,07 | 28,08 | 17,47 |
| Julho | 28,80 | 28,75 | 28,79 | 18,37 |
| Agosto | 28,67 | 28,48 | 28,57 | 19,00 |
| Setembro | 26,37 | 26,04 | 26,17 | 18,06 |
| Outubro | 24,42 | 24,08 | 24,28 | 14,95 |
| Novembro | 21,93 | 21,32 | 21,60 | 12,10 |
| Dezembro | 20,00 | 19,46 | 19,67 | 10,62 |

Tabela B.5.16 Bragança (Tipo I)

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 10,24 | 9,89 | 10,13 | 3,52 |
| Fevereiro | 12,11 | 11,68 | 11,87 | 5,83 |
| Março | 15,04 | 14,79 | 14,97 | 9,88 |
| Abril | 16,34 | 15,88 | 16,08 | 10,81 |
| Maio | 18,15 | 17,69 | 17,92 | 12,35 |
| Junho | 22,64 | 22,04 | 22,34 | 17,81 |
| Julho | 26,26 | 25,49 | 25,88 | 22,31 |
| Agosto | 25,18 | 24,52 | 24,85 | 21,77 |
| Setembro | 21,70 | 21,04 | 21,37 | 17,30 |
| Outubro | 17,73 | 17,29 | 17,51 | 13,25 |
| Novembro | 14,08 | 13,71 | 13,93 | 8,80 |
| Dezembro | 11,89 | 11,27 | 11,52 | 5,95 |

Tabela B.5.17 Bragança (Tipo II)

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 10,93 | 10,77 | 10,84 | 3,52 |
| Fevereiro | 12,87 | 12,58 | 12,68 | 5,83 |
| Março | 15,67 | 15,32 | 15,51 | 9,88 |
| Abril | 17,41 | 16,97 | 17,19 | 10,81 |
| Mai | 18,79 | 18,64 | 18,72 | 12,35 |
| Junho | 23,02 | 22,49 | 22,75 | 17,81 |
| Julho | 26,35 | 25,57 | 25,96 | 22,31 |
| Agosto | 25,31 | 24,66 | 24,98 | 21,77 |
| Setembro | 21,95 | 21,27 | 21,61 | 17,30 |
| Outubro | 18,38 | 17,96 | 18,20 | 13,25 |
| Novembro | 14,69 | 14,39 | 14,60 | 8,80 |
| Dezembro | 12,30 | 12,07 | 12,15 | 5,95 |

Tabela B.5.18 Bragança (Tipo III)

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 16,75 | 16,09 | 16,40 | 3,52 |
| Fevereiro | 18,66 | 18,18 | 18,37 | 5,83 |
| Março | 21,41 | 21,08 | 21,25 | 9,88 |
| Abril | 22,14 | 21,82 | 21,85 | 10,81 |
| Mai | 24,43 | 24,31 | 24,50 | 12,35 |
| Junho | 28,48 | 28,29 | 28,35 | 17,81 |
| Julho | 31,70 | 31,56 | 31,60 | 22,31 |
| Agosto | 30,80 | 30,73 | 30,80 | 21,77 |
| Setembro | 27,67 | 27,35 | 27,57 | 17,30 |
| Outubro | 23,68 | 23,37 | 23,54 | 13,25 |
| Novembro | 20,33 | 19,97 | 20,19 | 8,80 |
| Dezembro | 17,73 | 16,95 | 17,37 | 5,95 |

Tabela B.5.19 Bragança (Tipo IV)

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 14,22 | 14,22 | 14,22 | 3,52 |
| Fevereiro | 16,33 | 16,47 | 16,35 | 5,83 |
| Março | 19,80 | 19,93 | 19,86 | 9,88 |
| Abril | 20,28 | 20,50 | 20,39 | 10,81 |
| Mai | 23,21 | 23,09 | 23,15 | 12,35 |
| Junho | 28,10 | 28,17 | 28,16 | 17,81 |
| Julho | 31,94 | 31,98 | 31,95 | 22,31 |
| Agosto | 31,06 | 30,74 | 30,90 | 21,77 |
| Setembro | 27,01 | 27,11 | 27,06 | 17,30 |
| Outubro | 22,49 | 22,54 | 22,52 | 13,25 |
| Novembro | 18,49 | 18,53 | 18,52 | 8,80 |
| Dezembro | 15,42 | 15,45 | 15,36 | 5,95 |

Tabela B.5.20 Bragança (Tipo V)

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura Radiante (°C) | Temperatura operativa (°C) | Temperatura do Bolbo seco (°C) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Janeiro | 16,75 | 16,09 | 16,40 | 3,52 |
| Fevereiro | 18,66 | 18,18 | 18,37 | 5,83 |
| Março | 21,41 | 21,08 | 21,25 | 9,88 |
| Abril | 22,14 | 21,82 | 21,85 | 10,81 |
| Mai | 24,43 | 24,31 | 24,50 | 12,35 |
| Junho | 28,48 | 28,28 | 28,35 | 17,81 |
| Julho | 31,70 | 31,56 | 31,60 | 22,31 |
| Agosto | 30,80 | 30,73 | 30,80 | 21,77 |
| Setembro | 27,67 | 27,35 | 27,57 | 17,30 |
| Outubro | 23,68 | 23,37 | 23,54 | 13,25 |
| Novembro | 20,33 | 19,97 | 20,19 | 8,80 |
| Dezembro | 17,73 | 16,95 | 17,37 | 5,95 |

PPD vs PMV

Tabela B.5.21 Lisboa (Tipo V)

| Mês | PPD | PMV |
|-----------|-------|-------|
| Janeiro | 14,53 | -0,67 |
| Fevereiro | 10,01 | -0,49 |
| Março | 5,46 | -0,15 |
| Abril | 15,12 | -0,69 |
| Maio | 10,09 | 0,49 |
| Junho | 45,66 | 1,40 |
| Julho | 80,30 | 2,08 |
| Agosto | 71,90 | 1,90 |
| Setembro | 36,43 | 1,22 |
| Outubro | 25,99 | 1,00 |
| Novembro | 5,40 | 0,14 |
| Dezembro | 12,17 | -0,58 |

Tabela B.5.22 Lisboa (Tipo IV)

| Mês | PPD | PMV |
|-----------|-------|-------|
| Janeiro | 30,70 | -1,10 |
| Fevereiro | 27,00 | -1,02 |
| Março | 13,07 | -0,62 |
| Abril | 41,48 | -1,32 |
| Maio | 5,43 | 0,15 |
| Junho | 31,12 | 1,11 |
| Julho | 70,27 | 1,86 |
| Agosto | 63,81 | 1,74 |
| Setembro | 63,81 | 1,74 |
| Outubro | 14,28 | 0,66 |
| Novembro | 5,80 | -0,20 |
| Dezembro | 28,99 | -1,07 |

Tabela B.5.23 Lisboa (Tipo III)

| Mês | PPD | PMV |
|-----------|-------|-------|
| Janeiro | 14,53 | -0,67 |
| Fevereiro | 10,01 | -0,49 |
| Março | 5,46 | -0,15 |
| Abril | 15,12 | -0,69 |
| Maio | 10,09 | 0,49 |
| Junho | 45,66 | 1,40 |
| Julho | 80,30 | 2,08 |
| Agosto | 71,90 | 1,90 |
| Setembro | 36,43 | 1,22 |
| Outubro | 25,99 | 1,00 |
| Novembro | 5,40 | 0,14 |
| Dezembro | 12,17 | -0,58 |

Tabela B.5.24 Lisboa (Tipo II)

| Mês | PPD | PMV |
|-----------|-------|-------|
| Janeiro | 86,73 | -2,25 |
| Fevereiro | 76,90 | -2,00 |
| Março | 59,35 | -1,66 |
| Abril | 96,44 | -2,68 |
| Maio | 57,81 | -1,63 |
| Junho | 15,24 | -0,70 |
| Julho | 5,07 | -0,06 |
| Agosto | 6,23 | -0,24 |
| Setembro | 22,55 | -0,91 |
| Outubro | 12,77 | -0,61 |
| Novembro | 53,81 | -1,55 |
| Dezembro | 85,47 | -2,22 |

Tabela B.5.25 Lisboa (Tipo I)

| Mês | PPD | PMV |
|------------------|------------|------------|
| Janeiro | 89,61 | -2,35 |
| Fevereiro | 83,11 | -2,15 |
| Março | 70,94 | -1,88 |
| Abril | 98,85 | -2,95 |
| Mai | 65,01 | -1,76 |
| Junho | 18,63 | -0,80 |
| Julho | 5,48 | -0,15 |
| Agosto | 6,90 | -0,30 |
| Setembro | 24,72 | -0,97 |
| Outubro | 15,45 | -0,71 |
| Novembro | 59,27 | -1,65 |
| Dezembro | 89,43 | -2,34 |

Tabela B.5.26 Évora (Tipo I)

| Mês | PPD | PMV |
|------------------|------------|------------|
| Janeiro | 96,25 | -2,66 |
| Fevereiro | 91,65 | -2,42 |
| Março | 67,70 | -1,81 |
| Abril | 97,68 | -2,79 |
| Mai | 62,43 | -1,71 |
| Junho | 24,53 | -0,96 |
| Julho | 5,02 | 0,03 |
| Agosto | 6,39 | -0,26 |
| Setembro | 11,10 | -0,54 |
| Outubro | 21,30 | -0,88 |
| Novembro | 77,68 | -2,02 |
| Dezembro | 91,49 | -2,42 |

Tabela B.5.27 Évora (Tipo II)

| Mês | PPD | PMV |
|------------------|------------|------------|
| Janeiro | 93,99 | -2,53 |
| Fevereiro | 87,34 | -2,27 |
| Março | 59,33 | -1,66 |
| Abril | 94,42 | -2,55 |
| Mai | 51,39 | -1,51 |
| Junho | 20,38 | -0,85 |
| Julho | 5,13 | 0,08 |
| Agosto | 5,66 | -0,18 |
| Setembro | 9,72 | -0,48 |
| Outubro | 19,30 | -0,82 |
| Novembro | 73,04 | -1,92 |
| Dezembro | 88,88 | -2,32 |

Tabela B.5.28 Évora (Tipo III)

| Mês | PPD | PMV |
|------------------|------------|------------|
| Janeiro | 25,00 | -0,97 |
| Fevereiro | 17,22 | -0,76 |
| Março | 5,17 | -0,09 |
| Abril | 11,28 | -0,55 |
| Mai | 8,48 | 0,41 |
| Junho | 38,07 | 1,26 |
| Julho | 80,98 | 2,10 |
| Agosto | 74,47 | 1,95 |
| Setembro | 60,59 | 1,68 |
| Outubro | 16,84 | 0,75 |
| Novembro | 7,50 | -0,35 |
| Dezembro | 18,83 | -0,81 |

Tabela B.5.29 Évora (Tipo IV)

| Mês | PPD | PMV |
|------------------|------------|------------|
| Janeiro | 48,44 | -1,45 |
| Fevereiro | 37,68 | -1,25 |
| Março | 8,63 | -0,42 |
| Abril | 27,08 | -1,02 |
| Mai | 5,05 | 0,05 |
| Junho | 22,94 | 0,92 |
| Julho | 72,07 | 1,90 |
| Agosto | 65,58 | 1,77 |
| Setembro | 65,07 | 1,76 |
| Outubro | 8,47 | 0,41 |
| Novembro | 16,13 | -0,73 |
| Dezembro | 38,39 | -1,26 |

Tabela B.5.30 Évora (Tipo V)

| Mês | PPD | PMV |
|------------------|------------|------------|
| Janeiro | 25,94 | -1,00 |
| Fevereiro | 17,53 | -0,77 |
| Março | 5,03 | -0,04 |
| Abril | 18,20 | -0,79 |
| Mai | 10,02 | 0,49 |
| Junho | 35,37 | 1,20 |
| Julho | 83,79 | 2,17 |
| Agosto | 73,55 | 1,93 |
| Setembro | 53,49 | 1,55 |
| Outubro | 17,33 | 0,77 |
| Novembro | 7,75 | -0,36 |
| Dezembro | 19,89 | -0,84 |

Tabela B.5.31 Porto (Tipo I)

| Mês | PPD | PMV |
|------------------|------------|------------|
| Janeiro | 97,49 | -2,77 |
| Fevereiro | 90,42 | -2,37 |
| Março | 75,58 | -1,97 |
| Abril | 98,46 | -2,88 |
| Mai | 90,13 | -2,36 |
| Junho | 40,90 | -1,31 |
| Julho | 30,91 | -1,11 |
| Agosto | 30,69 | -1,10 |
| Setembro | 78,92 | -2,05 |
| Outubro | 46,41 | -1,42 |
| Novembro | 82,99 | -2,15 |
| Dezembro | 93,29 | -2,49 |

Tabela B.5.32 Porto (Tipo II)

| Mês | PPD | PMV |
|------------------|------------|------------|
| Janeiro | 94,85 | -2,57 |
| Fevereiro | 86,12 | -2,23 |
| Março | 68,57 | -1,83 |
| Abril | 97,08 | -2,73 |
| Mai | 80,50 | -2,09 |
| Junho | 28,03 | -1,04 |
| Julho | 25,59 | -0,99 |
| Agosto | 26,28 | -1,00 |
| Setembro | 68,55 | -1,83 |
| Outubro | 35,53 | -1,21 |
| Novembro | 78,60 | -2,04 |
| Dezembro | 90,25 | -2,37 |

Tabela B.5.33 Porto (Tipo III)

| Mês | PPD | PMV |
|------------------|------------|------------|
| Janeiro | 30,44 | -1,10 |
| Fevereiro | 14,49 | -0,67 |
| Março | 7,63 | -0,36 |
| Abril | 14,23 | -0,66 |
| Mai | 5,55 | -0,16 |
| Junho | 17,54 | 0,77 |
| Julho | 29,37 | 1,07 |
| Agosto | 30,12 | 1,09 |
| Setembro | 5,29 | 0,12 |
| Outubro | 6,80 | 0,29 |
| Novembro | 8,87 | -0,43 |
| Dezembro | 24,14 | -0,95 |

Tabela B.5.34 Porto (Tipo IV)

| Mês | PPD | PMV |
|------------------|------------|------------|
| Janeiro | 60,15 | -1,67 |
| Fevereiro | 34,08 | -1,18 |
| Março | 19,12 | -0,82 |
| Abril | 45,32 | -1,40 |
| Mai | 15,95 | -0,72 |
| Junho | 10,28 | 0,50 |
| Julho | 18,52 | 0,80 |
| Agosto | 14,37 | 0,67 |
| Setembro | 6,00 | -0,22 |
| Outubro | 5,20 | -0,10 |
| Novembro | 24,35 | -0,96 |
| Dezembro | 45,30 | -1,40 |

Tabela B.5.35 Porto (Tipo V)

| Mês | PPD | PMV |
|------------------|------------|------------|
| Janeiro | 30,44 | -1,10 |
| Fevereiro | 14,49 | -0,67 |
| Março | 7,63 | -0,36 |
| Abril | 14,23 | -0,66 |
| Mai | 5,55 | -0,16 |
| Junho | 17,54 | 0,77 |
| Julho | 29,37 | 1,08 |
| Agosto | 30,12 | 1,09 |
| Setembro | 5,29 | 0,12 |
| Outubro | 6,80 | 0,29 |
| Novembro | 8,87 | -0,43 |
| Dezembro | 24,14 | -0,95 |

Tabela B.5.36 Bragança (Tipo I)

| Mês | PPD | PMV |
|------------------|------------|------------|
| Janeiro | 99,99 | -3,66 |
| Fevereiro | 99,70 | -3,20 |
| Março | 91,76 | -2,43 |
| Abril | 100,0 | -3,79 |
| Mai | 99,57 | -3,14 |
| Junho | 48,32 | -1,45 |
| Julho | 5,12 | -0,08 |
| Agosto | 10,13 | -0,50 |
| Setembro | 70,49 | -1,87 |
| Outubro | 59,79 | -1,66 |
| Novembro | 95,36 | -2,60 |
| Dezembro | 99,71 | -3,21 |

Tabela B.5.37 Bragança (Tipo II)

| Mês | PPD | PMV |
|------------------|------------|------------|
| Janeiro | 99,94 | -3,46 |
| Fevereiro | 99,11 | -3,00 |
| Março | 87,88 | -2,29 |
| Abril | 99,91 | -3,40 |
| Mai | 98,32 | -2,86 |
| Junho | 37,93 | -1,25 |
| Julho | 5,06 | -0,05 |
| Agosto | 8,40 | -0,40 |
| Setembro | 64,60 | -1,75 |
| Outubro | 46,95 | -1,43 |
| Novembro | 92,74 | -2,47 |
| Dezembro | 99,49 | -3,11 |

Tabela B.5.38 Bragança (Tipo III)

| Mês | PPD | PMV |
|------------------|------------|------------|
| Janeiro | 72,39 | -1,91 |
| Fevereiro | 43,98 | -1,37 |
| Março | 13,56 | -0,64 |
| Abril | 53,26 | -1,54 |
| Mai | 13,98 | -0,65 |
| Junho | 21,67 | 0,89 |
| Julho | 83,56 | 2,16 |
| Agosto | 63,03 | 1,72 |
| Setembro | 9,84 | 0,48 |
| Outubro | 5,06 | 0,06 |
| Novembro | 22,55 | -0,91 |
| Dezembro | 57,16 | -1,62 |

Tabela B.5.39 Bragança (Tipo IV)

| Mês | PPD | PMV |
|------------------|------------|------------|
| Janeiro | 94,45 | -2,55 |
| Fevereiro | 78,00 | -2,03 |
| Março | 33,59 | -1,17 |
| Abril | 88,29 | -2,30 |
| Mai | 42,09 | -1,34 |
| Junho | 10,75 | 0,53 |
| Julho | 73,95 | 1,94 |
| Agosto | 51,29 | 1,51 |
| Setembro | 5,11 | 0,07 |
| Outubro | 7,33 | -0,34 |
| Novembro | 49,26 | -1,47 |
| Dezembro | 85,46 | -2,22 |

Tabela B.5.40 Bragança (Tipo V)

| Mês | PPD | PMV |
|------------------|------------|------------|
| Janeiro | 72,39 | -1,91 |
| Fevereiro | 43,98 | -1,37 |
| Março | 13,56 | -0,64 |
| Abril | 53,26 | -1,54 |
| Mai | 13,98 | -0,65 |
| Junho | 21,67 | 0,89 |
| Julho | 83,56 | 2,16 |
| Agosto | 63,03 | 1,72 |
| Setembro | 9,84 | 0,48 |
| Outubro | 5,06 | 0,06 |
| Novembro | 22,55 | -0,91 |
| Dezembro | 57,16 | -1,62 |

Humidade Relativa

Tabela B.5.41 Humidade Relativa em Évora nos diferentes tipos de casa.

| Mês | Tipo IV | Tipo I | Tipo III | Tipo V | Tipo II |
|------------------|----------------|---------------|-----------------|---------------|----------------|
| Janeiro | 47,22 | 61,66 | 59,46 | 59,46 | 59,71 |
| Fevereiro | 41,24 | 53,69 | 55,49 | 55,49 | 52,15 |
| Março | 36,71 | 49,48 | 55,04 | 55,04 | 48,35 |
| Abril | 40,90 | 54,04 | 58,12 | 58,12 | 52,39 |
| Maio | 37,07 | 49,81 | 58,03 | 58,03 | 48,79 |
| Junho | 37,07 | 50,02 | 59,00 | 59,00 | 49,24 |
| Julho | 37,10 | 51,84 | 60,76 | 60,76 | 52,07 |
| Agosto | 36,22 | 51,25 | 60,09 | 60,09 | 51,86 |
| Setembro | 40,86 | 56,25 | 62,42 | 62,42 | 56,87 |
| Outubro | 46,88 | 63,02 | 64,61 | 64,61 | 62,50 |
| Novembro | 46,63 | 60,75 | 57,82 | 57,82 | 58,76 |
| Dezembro | 51,02 | 65,98 | 62,90 | 62,90 | 63,70 |

Tabela B.5.42 Humidade Relativa para Lisboa nos diferentes tipos de casa.

| Mês | Tipo IV | Tipo II | Tipo III | Tipo V | Tipo II |
|------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|
| Janeiro | 49,08 | 64,26 | 61,73 | 61,73 | 62,77 |
| Fevereiro | 49,37 | 64,38 | 61,89 | 61,89 | 62,60 |
| Março | 46,39 | 60,43 | 62,39 | 62,39 | 58,39 |
| Abril | 46,83 | 60,40 | 61,23 | 61,23 | 58,59 |
| Mai | 43,36 | 58,11 | 62,86 | 62,86 | 57,37 |
| Junho | 43,04 | 58,41 | 64,01 | 64,01 | 57,71 |
| Julho | 41,40 | 57,01 | 63,61 | 63,61 | 57,45 |
| Agosto | 42,03 | 57,87 | 64,29 | 64,29 | 58,43 |
| Setembro | 45,51 | 61,70 | 65,69 | 65,69 | 62,19 |
| Outubro | 47,67 | 66,55 | 66,60 | 66,60 | 65,93 |
| Novembro | 50,67 | 67,07 | 65,37 | 65,37 | 65,54 |
| Dezembro | 48,02 | 63,18 | 60,35 | 60,35 | 61,54 |

Tabela B.5.43 Humidade Relativa para o Porto nos diferentes tipos de casa.

| Mês | Tipo IV | Tipo I | Tipo III | Tipo V | Tipo II |
|------------------|----------------|---------------|-----------------|---------------|----------------|
| Janeiro | 50,07 | 63,68 | 60,97 | 60,97 | 61,54 |
| Fevereiro | 47,20 | 61,95 | 61,93 | 61,93 | 59,65 |
| Março | 46,01 | 61,35 | 60,31 | 60,31 | 59,18 |
| Abril | 45,66 | 58,84 | 60,95 | 60,95 | 57,38 |
| Mai | 47,28 | 63,22 | 63,98 | 63,98 | 61,12 |
| Junho | 45,10 | 60,37 | 62,94 | 62,94 | 59,43 |
| Julho | 48,40 | 65,36 | 66,44 | 66,44 | 64,70 |
| Agosto | 48,20 | 63,96 | 66,23 | 66,23 | 65,03 |
| Setembro | 52,92 | 70,87 | 69,91 | 69,91 | 70,23 |
| Outubro | 49,63 | 66,80 | 66,08 | 66,08 | 64,60 |
| Novembro | 50,79 | 66,01 | 64,02 | 64,02 | 65,08 |
| Dezembro | 53,96 | 68,62 | 64,00 | 64,00 | 66,78 |

Tabela B.5.44 Humidade Relativa para Bragança nos diferentes tipos de casa.

| Mês | Tipo IV | Tipo I | Tipo III | Tipo V | Tipo II |
|------------------|----------------|---------------|-----------------|---------------|----------------|
| Janeiro | 47,01 | 59,15 | 56,50 | 56,50 | 56,51 |
| Fevereiro | 44,67 | 57,46 | 56,88 | 56,88 | 54,79 |
| Março | 34,18 | 45,38 | 51,17 | 51,17 | 44,03 |
| Abril | 38,94 | 50,29 | 56,11 | 56,11 | 47,75 |
| Maió | 41,24 | 52,82 | 58,16 | 58,16 | 50,52 |
| Junho | 37,91 | 50,05 | 58,48 | 58,48 | 49,00 |
| Julho | 33,33 | 46,73 | 57,48 | 57,48 | 46,61 |
| Agosto | 31,75 | 43,44 | 56,05 | 56,05 | 42,76 |
| Setembro | 35,39 | 47,84 | 56,30 | 56,30 | 47,22 |
| Outubro | 46,48 | 60,29 | 60,94 | 60,94 | 58,36 |
| Novembro | 44,16 | 60,67 | 57,93 | 57,93 | 59,52 |
| Dezembro | 46,31 | 60,79 | 58,37 | 58,37 | 59,27 |