

Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Marco António Gonçalves da Cunha Oliveira

**Comportamento térmico de soluções
construtivas com estrutura em madeira**

Setembro de 2012



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Marco António Gonçalves da Cunha Oliveira

**Comportamento térmico de soluções
construtivas com estrutura em madeira**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil
Área de Especialização Perfil Construções

Trabalho efectuado sob a orientação de

Professor Doutor Jorge Manuel Gonçalves Branco
Professora Doutora Sandra Monteiro Silva

Setembro de 2012

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer ao Professor Doutor Jorge Manuel Gonçalves Branco e à Professora Doutora Sandra Monteiro Silva pela disponibilidade em esclarecer todas as minhas dúvidas, pela vossa dedicação e empenho na orientação deste projeto, vocês foram 5 estrelas.

Quero agradecer em especial aos meus Pais por todo o amor, dedicação e incentivos transmitidos durante a minha vida e principalmente nesta fase, em especial, pelos valores e ensinamentos que sempre me transmitiram. Quero agradecer também à minha Namorada que nos momentos de fraqueza, cansaço e dúvidas me apoiou sem limites. E a todos os meus amigos que me apoiaram, pela vossa disponibilidade em me aturar e ajudar e, principalmente, pela boa disposição nos momentos de relax.

Por último quero agradecer à *RUSTICASA* pelo material e recursos humanos disponibilizados sem os quais não era possível a realização deste estudo. Ao Pessoal do Laboratório de Física das Construções da Universidade do Minho, em especial ao Engenheiro Daniel, pelos ensinamentos e sugestões que nunca faltaram no decorrer deste trabalho.

RESUMO

As soluções construtivas com estrutura em madeira são amplamente utilizadas no mercado internacional, nomeadamente nos países nórdicos onde as temperaturas atingem valores negativos. Em Portugal o uso deste tipo de soluções construtivas tem vindo a aumentar justificando-se o estudo do comportamento térmico deste tipo de soluções. Para o efeito, neste trabalho recorre-se à previsão e análise do desempenho térmico de soluções frequentemente utilizadas no mercado nacional e internacional, através da caracterização em laboratório de quatro soluções construtivas. Três das soluções avaliadas são constituídas por troncos de madeira sendo a quarta formada por uma estrutura leve de madeira revestida com aglomerado de madeira e preenchida com lã-de-rocha.

O objetivo central é o de aumentar o conhecimento técnico e científico relativo ao comportamento térmico das mesmas ao colmatar a ausência de valores referentes ao coeficiente de transmissão térmico à disposição de técnicos e investigadores. Assim, pretende-se verificar se estas soluções construtivas cumprem com as exigências relativas ao coeficiente de transmissão térmica definido na regulamentação térmica atual e comparar o desempenho térmico destas soluções construtivas com as soluções mais comuns na construção em Portugal.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Física e Tecnologia das Construções do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho e em colaboração com a empresa Rusticasa.

A análise dos resultados obtidos permitiu verificar que os coeficientes de transmissão térmica destas soluções cumprem os requisitos mínimos definidos na regulamentação térmica atual, sendo a solução com estrutura leve de madeira revestida com aglomerados e preenchida com lã-de-rocha, a que apresenta melhor desempenho.

Comparativamente com os sistemas construtivos mais comuns de paredes de alvenaria, e soluções construtivas em Light Steel Framing, tendo por base os dados apresentados no ITE50 de 2006, as soluções construtivas integralmente em madeira (estrutura e revestimento) apresentam um comportamento térmico superior.

Palavras-chave: Avaliação, Laboratório, Comportamento térmico, Soluções em madeira

ABSTRACT

The constructive solutions in wooden structure are widely used in the international market, particularly in the Nordic countries where temperatures reach negative values in a almost daily basis. In Portugal the use of this type of constructive solutions has increased significantly, justifying the study of the thermal behavior of such solutions. Based on the analysis and prediction of thermal performance solutions often used in domestic and international markets, through laboratory characterization of four constructive solutions. Three of the evaluated solutions consist of wooden trunks and fourth being formed of a lightweight coated wood chipboard and filled with rock wool.

The principal objective off this studie is to increase the scientific and technical knowledge about the thermal behavior of such kind off constructive solutions, to cope with the absence of values, concerning the heat transfer coefficient, of the disposal of researchers and technicians. Thus, is intended to verify whether these constructive solutions meet the requirements for the heat transfer coefficient defined in current thermal regulation and compare the thermal performance of these constructive solutions to the most common solutions in construction in Portugal.

All the tests were performed in the Laboratory of Physics and Technology of Buildings Department of Civil Engineering, University of Minho within an integrated master's thesis in collaboration with the company Rusticasa.

The results obtained showed that the heat transfer coefficients of these solutions meet the minimum requirements defined in the current thermal regulation, with the constructive solution with a lightweight interior frame in wood filled with 10 cm off rock wool showing better thermal performance.

Comparing the results with the most common construction systems in masonry walls, and Light Steel Framing construction solutions, based on the data presented in ITE50 2006, full wood constructive solutions (interior frame and interior and exterior lining) have superior thermal behavior.

Keywords: Evaluation, Testing and Thermal Solutions, wood

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Objetivos.....	1
1.3. Organização da dissertação	2
CAPÍTULO 2 - ESTADO DO CONHECIMENTO.....	3
2.2. Casas de troncos	4
2.2.1. Ligações de paredes.....	5
2.2.2. Isolamento térmico	6
2.2.3. Moldagem de troncos	8
2.2.4. Pormenores gerais	10
2.3. Casas em painel	11
2.3.1. Processo construtivo	12
2.4. Empresas.....	16
2.5. Vantagens e desvantagens das casas de madeira.....	17
2.5.1. Vantagens das casas de madeira.....	17
2.5.2 Desvantagens das casas de madeira.....	17
2.6. Materiais	18
2.6.1. Madeira maciça.....	18
2.6.3. Madeira lamelada colada	20
2.6.5. OSB	22
2.7. Dataholz.....	23
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DE CALCULO.....	26
3.1. Cálculo térmico (ITE 50).....	26
3.1.1. Resistências térmicas superficiais (interior e exterior).....	26
3.2. Norma ASTM C1155 - 95	28

CAPÍTULO 4 - PREPARAÇÃO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO	31
4.1. Soluções construtivas a serem avaliadas	31
4.1.1. Solução construtiva tronco maciço de 16cm de espessura	31
4.1.2. Solução construtiva, tronco maciço de 7cm de espessura	32
4.1.3. Solução construtiva, tronco maciço de 12cm de espessura	33
4.1.4. Solução construtiva Clóvis	35
4.2. Esquema de ensaio.....	36
4.3. Montagem dos provetes.....	37
4.3.1 Montagem do provete 1 - tronco maciço de 16 cm	38
4.2.2 Montagem do provete 4 - Clóvis	39
4.2.3 Montagem do provete 2 - tronco maciço de 7cm	40
4.2.4 Montagem do provete 3 - tronco maciço de 12cm	40
4.2.5 Estabilização dos provetes no pórtico de ensaios	42
4.4. Instrumentação.....	43
4.4.1. Termopares	43
4.4.2. Fluxímetros	44
4.4.3. Datalogger e multiplexador	45
4.4.4. Câmara termográfica	46
4.5. Medições.....	47
4.5.1. Cuidados iniciais	47
4.5.1.1. Ligação dos equipamentos ao datalogger o multiplexador	47
4.5.1.2. Verificação de funcionamento do equipamento	48
4.5.1.3. Cuidados na colocação dos fluxímetros nas superfícies dos provetes de teste .	50
CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO TÉRMICO	
52	
5.1. Análise do comportamento térmico do provete 1 – tronco maciço de 16cm	52
5.2. Análise do comportamento térmico do provete 2 - tronco maciço de 7cm.....	61

5.3. Análise do comportamento térmico do provete 3 - tronco maciço de 12 cm.....	69
5.4. Análise do comportamento térmico do provete 4 - Clóvis.....	75
5.5. Outras medições realizadas	81
CAPÍTULO 6 - ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS	88
6.1. Análise dos resultados do provete 1 – tronco maciço de 16cm.....	88
6.2. Análise dos resultados do provete 2 – tronco maciço de 7cm.....	89
6.3. Análise dos resultados do provete 3 – tronco maciço de 12cm.....	90
6.4. Análise dos resultados do provete 4 – Clóvis.....	92
6.5. Análise comparativa dos resultados	93
6.6. Análise comparativa entre soluções construtivas	95
6.6.1. Análise da solução construtiva parede com panos de alvenaria de tijolo vazado	95
6.6.1.1 Paredes duplas em alvenaria de tijolo vazado	95
6.6.1.2 Paredes simples em alvenaria de tijolo vazado	96
6.6.1.3 Análise comparativa de valores do coeficiente de transmissão térmica.....	98
6.6.1.3.1. Análise comparativa de valores do coeficiente de transmissão térmica de paredes duplas em alvenaria de tijolo vazado.....	98
6.6.1.3.2. Análise comparativa de valores do coeficiente de transmissão térmica de paredes simples em alvenaria de tijolo vazado.....	100
6.6.2 Análise da solução construtiva em aço leve (Light steel framing).....	101
6.6.2.1. Análise comparativa de valores do coeficiente de transmissão térmica de paredes em aço leve (LSF)	102
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E FUTUROS DESENVOLVIMENTOS	105
7.1. Conclusões Gerais	105
7.2. Futuros Desenvolvimentos	107
CAPÍTULO 8 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
ANEXOS I.....	111
ANEXO II	119
ANEXO III	129

Índice de Figuras

Figura 1 - Anexo de arrumos e garagem em madeira.....	3
Figura 2 - Casa modular em madeira.....	3
Figura 3 - Casa típica do arquipélago da Madeira (madeira e colmo)	4
Figura 4 - Perspetiva de uma casa com solução construtiva de paredes de troncos	4
Figura 5 - Pormenor de ligação mecânica em cruz	5
Figura 6 -Pormenor de ligação mecânica simples	6
Figura 7 -Pormenor de ligação mecânica em cruz com isolamento pelo interior	7
Figura 8 -Pormenor de ligação mecânica em cruz com isolamento pelo exterior.....	7
Figura 9 - Pormenor de troncos perfilados em madeira maciça utilizado em parede exterior dupla com isolamento térmico na caixa-de-ar	7
Figura 10 -Pormenor de um tronco com formas gerais	8
Figura 11 - Pormenor de esquina de parede realizada em troncos de formas gerais.....	8
Figura 12 - Pormenor de troncos perfilados maciços, formas e dimensões gerais.....	9
Figura 13 - Pormenor de troncos perfilados em madeira colada verticalmente, formas e dimensões gerais.....	9
Figura 14 - Pormenor de troncos perfilados em madeira colada vertical e horizontalmente, formas e dimensões gerais.....	10
Figura 15 - Pormenor geral de construção de casas com paredes exteriores em troncos.....	11
Figura 16 – Casa em painel com estrutura em madeira.....	12
Figura 17 - Pormenor construtivo de uma parede em painel com estrutura em madeira.....	12
Figura 18 - Corte de peças de madeira em máquina CNC	13
Figura 19 - Realização de entalhes	13
Figura 20 - Realização do painel de parede com auxílio de “mesa” de apoio	14
Figura 21 - Construção de padieira de uma porta.....	14
Figura 22 - Colocação da placa de OSB.....	14
Figura 23 - Colocação da placa de OSB.....	15
Figura 24 – Módulo pronto para acabamentos finais	15
Figura 25 - Painel sandwich com acabamento interior em madeira.....	15
Figura 26 - Painel sandwich com acabamento interior em gesso cartonado	16
Figura 27 - Madeira maciça.....	18
Figura 28 - Madeira lamelada.....	20

Figura 29 - Oriented strand board	22
Figura 30 - Provete 1, solução construtiva tronco maciço de 16 cm de espessura.....	31
Figura 31 - Vista explodida da solução construtiva de tronco de 7 cm de espessura.....	32
Figura 32 - Revestimento exterior da solução construtiva tronco maciço de 7cm de espessura	33
Figura 33 - Vista explodida da solução construtiva de tronco maciço de 12 cm de espessura	34
Figura 34 - Pormenor de acabamento do tronco maciço de 12 cm de espessura	35
Figura 35 - Vista explodida da solução construtiva Clóvis.....	36
Figura 36 – Provetes de teste com o equipamento de medição colocado e com a indicação do fluxo de calor considerado.....	37
Figura 37 - Exemplo do fluxo de calor considerado como possíveis perdas	38
Figura 38 - Provete 1 solução construtiva em tronco maciço de 16cm finalizado.....	39
Figura 39 - Vista interior do provete 3, solução construtiva tronco 12 cm de espessura	41
Figura 40 - Vista geral exterior do pórtico e vista geral interior do pórtico.....	43
Figura 41 - Termopar utilizado no estudo, na figura o termopar número 3	43
Figura 42 - Medidor da temperatura ambiente e humidade relativa do ar	44
Figura 43 - Faces dos fluxímetros	44
Figura 44 - Exemplo de identificação dos fluxímetros, na figura fluxímetro 5	45
Figura 45 - Datalogger modelo CR10-X, da empresa Campbell Scientific	45
Figura 46 - Multiplexador modelo AM 16/32, da empresa Campbell Scientific	46
Figura 47 - Câmara termográfica utilizada.....	46
Figura 48 - Valor a ler no fio do fluxímetro.....	48
Figura 49 - Disposição dos fluxímetros no primeiro teste de funcionamento.....	49
Figura 50 - Disposição dos fluxímetros no segundo teste de funcionamento	49
Figura 51 - Superfície de contacto do fluxímetro envolta em pasta de dentes.....	50
Figura 52 - Preenchimento da zona de junta com pasta de dentes	51
Figura 53 - Posição dos fluxímetros e termopares para a 1ª análise.....	52
Figura 54 - Fluxo de calor considerado.	53
Figura 55 - Representação das áreas consideradas no cálculo da média ponderada para o provete 1	59
Figura 56 - Fluxo de calor considerado no provete 2.....	61
Figura 57 - Disposição dos fluxímetros no provete 2 situação 1.....	62
Figura 58 - 2ª disposição dos fluxímetros no provete 2	62
Figura 59 - Distribuição de áreas A1 do provete 2.....	66

Figura 60 - Distribuição de áreas A2 do provete 2.....	67
Figura 61 - Fluxo de calor considerado que atravessa o provete 3.....	69
Figura 62 - 1ª disposição dos fluxímetros no provete 3	70
Figura 63 - Distribuição de áreas A1 para o provete 3.....	73
Figura 64 - Distribuição de áreas A2, para o provete 3.....	74
Figura 65 - Fluxo de calor considerado que atravessa o provete 4.....	76
Figura 66 - 1ª disposição dos fluxímetros no provete 4	76
Figura 67 - Distribuição de áreas A1 no provete 4.....	79
Figura 68 - Distribuição de áreas A2, para o provete 4.....	80
Figura 69 - Vista geral interior	82
Figura 70 - Aparelho de medição da humidade relativa.....	82
Figura 71 - Contactos de medição da humidade relativa.....	83
Figura 72 - Medição da humidade relativa, na zona interior, do provete 4.....	83
Figura 73 - Retração do revestimento interior do provete 2.....	84
Figura 74 - Retração do revestimento interior do provete 4.....	85
Figura 75 - Aspeto de um medidor de temperatura e humidade relativa do ar, testostor.....	85
Figura 76 - Localização dos quatro medidores de temperatura e humidade relativa do ar, testostor.....	86
Figura 77 - Soluções construtivas em alvenaria de tijolo vazado.....	96
Figura 78 - Solução construtiva em alvenaria de tijolo vazado de 22cm de espessura e isolamento térmico em EPS colocado pelo exterior.....	97
Figura 79 - Solução construtiva em Light steel framing.	102
Figura 80 - Aspeto do cubo elaborado com os provetes de teste para estudo do comportamento ao longo do tempo.	108

Índice de Quadros

Quadro 1 - Propriedades das madeiras utilizadas em estruturas	19
Quadro 2 - Classe de Qualidade e Classe de Resistência de madeiras correntes	19
Quadro 3 - Espessuras e áreas de secção transversal.....	21
Quadro 4 - Valores da resistência térmica superficial conforme o tipo de fluxo de calor encontrado	26
Quadro 5 - Constituição da solução construtiva tronco maciço de 7cm de espessura (do exterior para o interior).....	32
Quadro 6 - Constituição do provete 3, solução construtiva tronco de 12 cm de espessura.	34
Quadro 7 - Composição da solução construtiva Clóvis.....	35
Quadro 8 - Dados relativos às características dos fluxímetros com os valores a introduzir no software PC200.....	48
Quadro 9 - Pontos onde foram colocados os fluxímetros no provete 1.....	53
Quadro 10 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico do provete 1, solução construtiva tronco maciço de 16 cm de espessura, no ponto 1.....	56
Quadro 11 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do provete 1, solução construtiva tronco maciço de 16 cm de espessura, no ponto 2, zona de junta.	58
Quadro 12 - Média dos valores do coeficiente de transmissão térmica, no intervalo considerado, do provete 1 no ponto 1.....	58
Quadro 13 - Média dos valores do coeficiente de transmissão térmica, no intervalo considerado, do provete 1 no ponto 2.....	59
Quadro 14 - Áreas consideradas no cálculo da área correspondente a zona corrente, ponto 1	60
Quadro 15 - Áreas consideradas no cálculo da área correspondente a zona de junta, ponto 2.....	60
Quadro 16 - Verificação das áreas calculadas.....	60
Quadro 17 - Correspondência dos pontos a medir com as características do provete....	61
Quadro 18 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do provete 2, solução construtiva tronco maciço de 7cm de espessura, no ponto 2.....	65
Quadro 19 - Valores do Coeficiente de transmissão térmica dos cinco pontos considerados no provete 2	65

Quadro 20 - Média aritmética dos coeficientes de transmissão térmica do provete 2 ...	66
Quadro 21 - Áreas totais referentes a cada singularidade com a distribuição A1	67
Quadro 22 - Verificação das áreas consideradas na distribuição A1	67
Quadro 23 - Áreas referentes a cada singularidade na distribuição de áreas A2.....	68
Quadro 24 - Verificação das áreas consideradas na distribuição A2	68
Quadro 25 - Correspondência dos pontos a medir com as características do provete....	69
Quadro 26 - Coeficiente de transmissão térmico dos 5 pontos medidos no provete 3, solução construtiva tronco maciço de 12cm de espessura.....	72
Quadro 27 - Média aritmética dos coeficientes de transmissão térmica do provete 3 ...	73
Quadro 28 - Áreas totais referentes a cada singularidade com a distribuição A1	74
Quadro 29 - Verificação das áreas consideradas na distribuição A1	74
Quadro 30 - Verificação das áreas consideradas na distribuição A2	75
Quadro 31 - Correspondência dos pontos a medir com as características do provete....	75
Quadro 32 - Coeficiente de transmissão térmico dos 5 pontos medidos no provete 4, solução construtiva sistema Clóvis.....	78
Quadro 33 - Média aritmética dos coeficientes de transmissão térmica do provete 4 ...	79
Quadro 34 - Áreas totais referentes a cada singularidade com a distribuição A1, do provete 4	80
Quadro 35 - Verificação das áreas consideradas no provete 4 para a distribuição A1... 80	
Quadro 36 - Áreas totais referentes a cada singularidade com a distribuição A2, do provete 4	81
Quadro 37 - Verificação das áreas consideradas no provete 4 com a distribuição A2... 81	
Quadro 38 - Valores da humidade relativa dos provetes.....	84
Quadro 39 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmica do provete 1 no ponto 2.	88
Quadro 40 - Valores do coeficiente de transmissão térmica do provete 1.	89
Quadro 41 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmica do provete 2 no ponto 1.	89
Quadro 42 - Valores da previsão do coeficiente de transmissão térmica dos pontos que caracterizam o provete 2.....	90
Quadro 43 - Valores do coeficiente de transmissão térmica do provete 2.	90
Quadro 44 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmica do provete 3 no ponto 1	91

Quadro 45 - Valores da previsão do coeficiente de transmissão térmica previstos do provete 3	91
Quadro 46 - Valores do coeficiente de transmissão térmico do provete 3.....	91
Quadro 47 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmico do provete 4 no ponto 2.....	92
Quadro 48 - Valores previstos para o coeficiente de transmissão térmico do provete 4.	92
Quadro 49 - Valores do coeficiente de transmissão térmico do provete 4.....	93
Quadro 50 - Valores do coeficiente de transmissão térmica (previstos e medidos em laboratório) dos 4 provetes de teste	94
Quadro 51 - Valores para o coeficiente de transmissão térmico de paredes em alvenaria de tijolo furado	98
Quadro 52 - Valores para o coeficiente de transmissão térmico paredes em alvenaria com isolamento térmico colocado pelo exterior.....	100
Quadro 53 - Valores para o coeficiente de transmissão térmico de paredes em light steel framing.	103

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Fluxo de calor do provete 1 medição 1.....	54
Gráfico 2 - Fluxo de calor correspondente ao ponto 1 zona corrente.....	55
Gráfico 3 - Temperaturas superficiais interiores e exteriores.....	55
Gráfico 4 - Fluxo de calor do ponto 2 zona de junta.	57
Gráfico 5 - Temperaturas superficiais interiores e exteriores do provete 1 ponto 2, zona de junta.	57
Gráfico 6 - Fluxo de calor referente ao teste da pasta de dentes utilizada no provete 2	63
Gráfico 7 - Fluxo de calor do ponto 2, provete 2	64
Gráfico 8 - Temperaturas superficiais interiores e exteriores do provete 2 no ponto 2 .	64
Gráfico 9 - Humidade relativa do ar durante a inundação.....	70
Gráfico 10 - Fluxo de calor medido no ponto 1 do provete 3	71
Gráfico 11 - Temperaturas superficiais interiores e exteriores no ponto 1 do provete 3	71
Gráfico 12 - Fluxo de calor recolhido nas 3 situações de medição, no ponto 2 do provete 4	77
Gráfico 13 - Temperaturas superficiais interiores e exteriores recolhidas nas 3 situações de medição, no ponto 2 do provete.....	77
Gráfico 14 - Temperatura ambiente medida no interior da câmara.....	86
Gráfico 15 - Humidade relativa do ar, medida no interior da câmara.	87

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. Introdução

Com uso amplamente alargado em revestimentos, a madeira revela características de resistência e de comportamento físico altamente aceitáveis. Muito utilizada a nível estrutural em países nórdicos e nos Estados Unidos, as soluções construtivas com estrutura em madeira podem ocupar um lugar de destaque no panorama Nacional, permanecendo como maior entrave a esta visibilidade a falta de estudos sobre o seu comportamento físico e mecânico.

Os estudos existentes nesta matéria são escassos devido a complexidade da análise do comportamento térmico deste tipo de soluções aliado às características intrínsecas da madeira.

Pretende-se com o presente trabalho avaliar o comportamento térmico de soluções construtivas em madeira, recorrendo à previsão e análise do desempenho térmico de quatro soluções frequentemente utilizadas, através da sua caracterização em laboratório.

1.2. Objetivos

Este trabalho visa aumentar o conhecimento científico e técnico relativo ao comportamento térmico de soluções construtivas de paredes integralmente de madeira, utilizadas no mercado nacional e internacional.

Esta dissertação tem os seguintes objetivos específicos:

- Caracterização do desempenho térmico de quatro soluções construtivas integralmente em madeira, frequentemente utilizadas em Portugal e na Europa;
- Realização de ensaios laboratoriais;

- Análise comparativa dos resultados dos ensaios laboratoriais e os resultados previstos seguindo o método de cálculo preconizado pelo RCCTE (2006) e os dados do ITE50 (2006);
- Análise comparativa das soluções estudadas com soluções construtivas mais comuns (alvenaria) e soluções construtivas em Light Steel Framing.

1.3. Organização da dissertação

Esta dissertação foi organizada em seis capítulos de forma a atingir os objetivos assumidos para este trabalho

No capítulo 1 é apresentada uma introdução ao trabalho, referindo os objetivos da dissertação e respetivo enquadramento e justificação.

No capítulo 2, efetua-se uma revisão bibliográfica sobre a caracterização das soluções construtivas com estrutura em madeira, onde se descreve as principais características deste tipo de soluções, as características dos materiais utilizados, os tipos de habitações construídos neste tipo de soluções, as empresas que comercializam casas com soluções integralmente em madeira e as normas que regem os materiais e estruturas em madeira.

O capítulo 3 apresenta a metodologia de cálculo aplicada no decorrer do processo de análise do comportamento térmico das soluções construtivas e a norma que enquadra os ensaios previstos.

O capítulo 4 apresenta as características das soluções construtivas avaliadas, a instrumentação utilizada e o processo de análise do comportamento térmico das soluções construtivas.

O capítulo 5 é um dos capítulos centrais deste trabalho, onde é analisado o comportamento térmico das soluções construtivas avaliadas em laboratório comparando os valores previstos com os resultados registados em laboratório.

O capítulo 6 apresenta a análise comparativa das soluções construtivas avaliadas com as soluções mais comuns (alvenaria) e soluções em aço leve (Light Steel Framing) (LSF).

Por último, o capítulo 7 apresenta as conclusões retiradas do trabalho realizado.

CAPÍTULO 2 - ESTADO DO CONHECIMENTO

Em Portugal, a madeira enquanto solução construtiva integrando a estrutura e revestimento, ocupa um lugar de pouco destaque, em comparação com o betão e o aço. A madeira é muito usada na construção como revestimento e o seu uso em estruturas tem vindo a aumentar significativamente. Contudo, são poucas as soluções construtivas integralmente em madeira (estrutura e revestimento) sendo inexistentes estudos sobre o seu comportamento físico e mecânico.

Rápidas de construir, as casas em madeira podem ser aplicadas nas mais variadas soluções desde anexos (arrumos, garagens, etc.) como exemplificado na figura 1, passando pelas casas modulares como a da figura 2, até igrejas e empreendimentos hoteleiros de grandes dimensões.

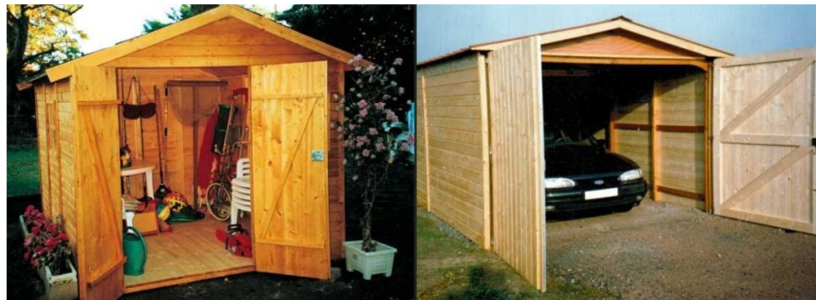


Figura 1 - Anexo de arrumos e garagem em madeira (<http://www.abris-martin.fr/>)



Figura 2 - Casa modular em madeira (<http://www.casaprefab.blogspot.pt>)

Em Portugal as noções depreciativas e erradas sobre as casas em madeira vão sendo dissipadas com os exemplos de construções em madeira por todo o mundo, recordando as tradições portuguesas na construção de casas em madeira, como o exemplo da figura 3 das típicas casas do arquipélago da Madeira.



Figura 3 - Casa típica do arquipélago da Madeira (madeira e colmo)
(<http://ilhadamadeira2004.blogs.sapo.pt>)

2.2. Casas de troncos

As casas de tronco podem ser executadas com troncos maciços de madeira ou em troncos perfilados de madeira colada.

Esta solução construtiva apresenta um acabamento deveras interessante mas algo limitativo, dando um ar rustico mais adequado a uma habitação localizada em ambiente de montanha conforme o exemplo da figura 4.



Figura 4 - Perspetiva de uma casa com solução construtiva de paredes de troncos
(<http://www.rusticasa.pt>)

Os troncos utilizados na construção deste tipo de casas necessitam de passar por 2 tipos de tratamento. O primeiro tratamento a ser executado, considerado o mais importante para uma casa construída com este tipo de solução, é a secagem dos troncos a utilizar. Os troncos passam por um tratamento de secagem, com duração de 3 meses, num secador mecânico. Após esse tratamento de secagem, os troncos são armazenados ao abrigo das chuvas, por um período de 6 meses, para que seja restabelecido o seu equilíbrio higroscópico. É o restabelecimento da humidade que dá ao tronco de madeira a sua solidez. Terminado este período de 6 meses o tronco de madeira está pronto para passar para a segunda fase, a moldagem. O tronco, após secagem, apresenta sempre alguma deformação sendo necessário moldar o tronco para as formas desejadas, é nesta etapa que também são eliminadas algumas características negativas dos troncos como, a existência de nós, manchas ou zonas em que a cor não é uniforme (<http://www.loghomefinland.com/>).

2.2.1. Ligações de paredes

O processo construtivo das casas de troncos inicia-se da mesma forma que uma casa tradicional, à exceção das paredes. Na execução das paredes, os troncos são sobrepostos verticalmente, podendo a ligação entre os mesmos ser executada por colagem ou por ligação mecânica. Na ligação por colagem, os troncos são unidos com cola, podendo esta ser de vários tipos, de entre os quais a cola de linhaça. A ligação mecânica não dispensa a colagem entre troncos, garantindo uma selagem impermeável e melhor isolamento térmico. Este tipo de ligação torna-se mais forte que uma ligação por colagem, é, de certa forma, um complemento destas. A ligação mecânica pode ser executada pelo exterior e pelo interior sendo sempre feita recorrendo a parafusos metálicos. A ligação mecânica pode ser executada em cruz, conforme a figura 5.

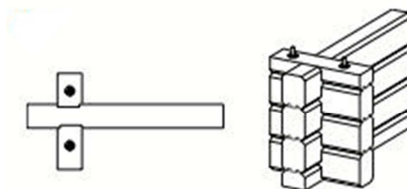


Figura 5 - Pormenor de ligação mecânica em cruz (<http://www.preloc.fi>)

A ligação mecânica em cruz é realizada colocando os parafusos de ligação antes, e após a junção das duas paredes, formando assim uma ligação dupla. No entanto existem situações onde não é possível executar a ligação mecânica em cruz, sendo necessário recorrer a ligações mais simples. Na figura 6 está representada a ligação mecânica a usar neste tipo de situações, a ligação mecânica simples, onde apenas é utilizado um parafuso de ligação.

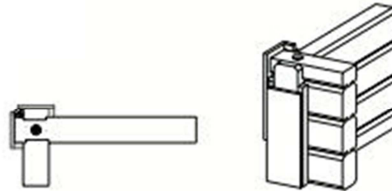


Figura 6 -Pormenor de ligação mecânica simples (<http://www.preloc.fi>)

Este tipo de ligação é mais simples que o tipo de ligação anterior. As ligações em cruz requerem um maior espaço criando complicações em termos de licenciamento, quando usadas em ambiente urbano. Este tipo de ligação é complementado com a proteção dos topos dos troncos de forma a evitar o desgaste ou quebra dos mesmos.

2.2.2. Isolamento térmico

Neste tipo de construção, a colocação do isolamento térmico não é dispensada. Geralmente colocado pelo interior, qualquer que seja o tipo de ligação utilizada, embora, nas ligações simples, o isolamento pode ser colocado pelo exterior, formando uma parede tipo ETICS ocultando o tipo de parede utilizado, protegendo os topos dos troncos e permitindo o uso de qualquer tipo de acabamento exterior. Com a utilização de isolamento térmico pode ser reduzida a espessura dos troncos da parede original, tornando assim a parede mais económica. Na figura 7 está representado um pormenor de uma possível ligação mecânica em cruz com isolamento térmico pelo interior, e, na figura 8 está representado o mesmo tipo de ligação com a colocação do isolamento térmico pelo exterior (<http://www.preloc.fi>).

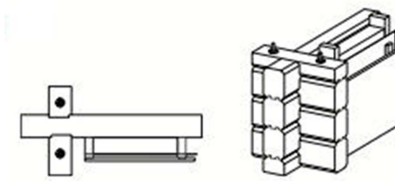


Figura 7 -Pormenor de ligação mecânica em cruz com isolamento pelo interior
(<http://www.preloc.fi>)

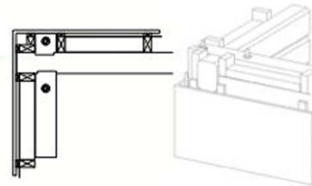


Figura 8 -Pormenor de ligação mecânica em cruz com isolamento pelo exterior
(<http://www.preloc.fi>)

O isolamento térmico pode ser colocado pelo interior de uma parede dupla, como a apresentada na figura 9 (<http://www.belapari.org>).



Figura 9 - Pormenor de troncos perfilados em madeira maciça utilizado em parede exterior dupla com isolamento térmico na caixa-de-ar (<http://www.belapari.org>)

Os tipos de isolamento térmico utilizados são os mesmos da construção em alvenaria e betão, com as características que são já conhecidas.

2.2.3. Moldagem de troncos

Na moldagem dos troncos, as formas do tronco podem ser mantidas (redondo, ovalizado), sendo também realizados entalhes no topo e base dos mesmos de forma a melhorar a ligação entre troncos conforme apresentado na figura 10.



Figura 10 -Pormenor de um tronco com formas gerais (<http://maderacasas.com>)

Na figura 11 é apresentado um pormenor de esquina de parede realizada com troncos de formas gerais, neste caso forma ovalizada.

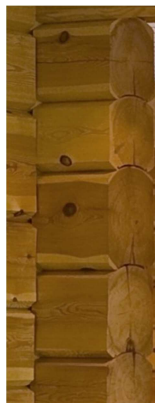


Figura 11 - Pormenor de esquina de parede realizada em troncos de formas gerais
(<http://www.loghomefinland.com/>)

No entanto, a moldagem dos troncos não se limita a manutenção das formas originais, os troncos podem ser moldados para formas específicas, quadradas ou retangulares, dando origem a troncos perfilados. O tronco perfilado apresenta entalhes no topo e na base melhorando a eficácia da ligação entre troncos, isolamento e impermeabilização. Pode ser em madeira maciça, sendo apenas um tronco utilizado, este é moldado para que sejam atingidas

as dimensões finais. A figura 12 apresenta um pormenor de troncos perfilados maciços, formas e dimensões gerais (<http://www.preloc.fi>).

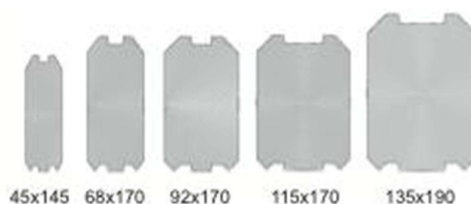


Figura 12 - Pormenor de troncos perfilados maciços, formas e dimensões gerais (<http://www.preloc.fi>)

Devido a dificuldade em obter troncos com as dimensões adequadas para todo o tipo de utilização tornou-se necessário recorrer ao tronco perfilado de madeira colada. A execução destes recorre ao uso de perfis de madeira moldada colados na vertical ou horizontal. Para além de garantir dimensões maiores que as passíveis de encontrar na natureza, apresenta uma mais-valia relativamente ao controlo das formas e continuidade das mesmas, não empena, contrai ou dilata, torce ou abana como os troncos referidos anteriormente, garantindo uma maior estabilidade à parede e estrutura. Na figura 13 é apresentado um pormenor de troncos perfilados em madeira colada (<http://www.preloc.fi>).

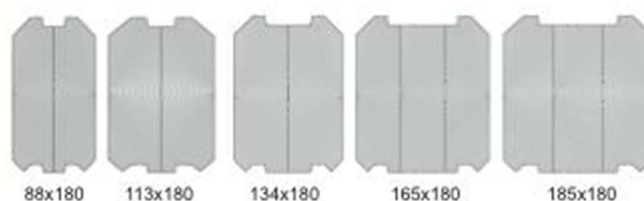


Figura 13 - Pormenor de troncos perfilados em madeira colada verticalmente, formas e dimensões gerais (<http://www.preloc.fi>)

Os perfis com colagens múltiplas, formam um tronco perfilado com vários “andares” de madeira. Para que se possa obter estas dimensões a madeira é colada vertical e horizontalmente, apresentando características que são em tudo semelhantes à dos anteriores, diferindo apenas nas dimensões que podem ser substancialmente maiores, conforme é apresentado na figura 14 (<http://www.preloc.fi>).

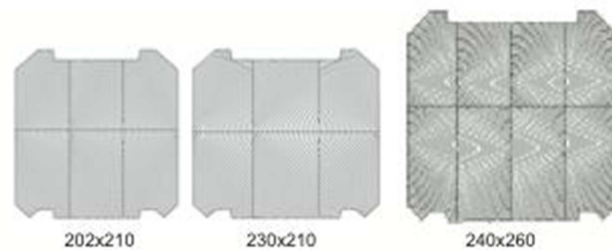


Figura 14 - Pormenor de troncos perfilados em madeira colada vertical e horizontalmente, formas e dimensões gerais (<http://www.preloc.fi>)

2.2.4. Pormenores gerais

A espessura da parede varia conforme a altura a construir. Os troncos, e troncos perfilados são construídos em pinho com uma humidade de aproximadamente 22%. Todos os troncos perfilados (retangulares, quadrados) ou em tronco, possuem ranhuras e rasgos para o encaixe entre si. Os perfis são numerados e cortados conforme o local onde se vão inserir, por exemplo, padieira de uma porta, janelas etc., facilitando a montagem. Na figura 15 é apresentado o pormenor geral de construção de casas com paredes exteriores em troncos.

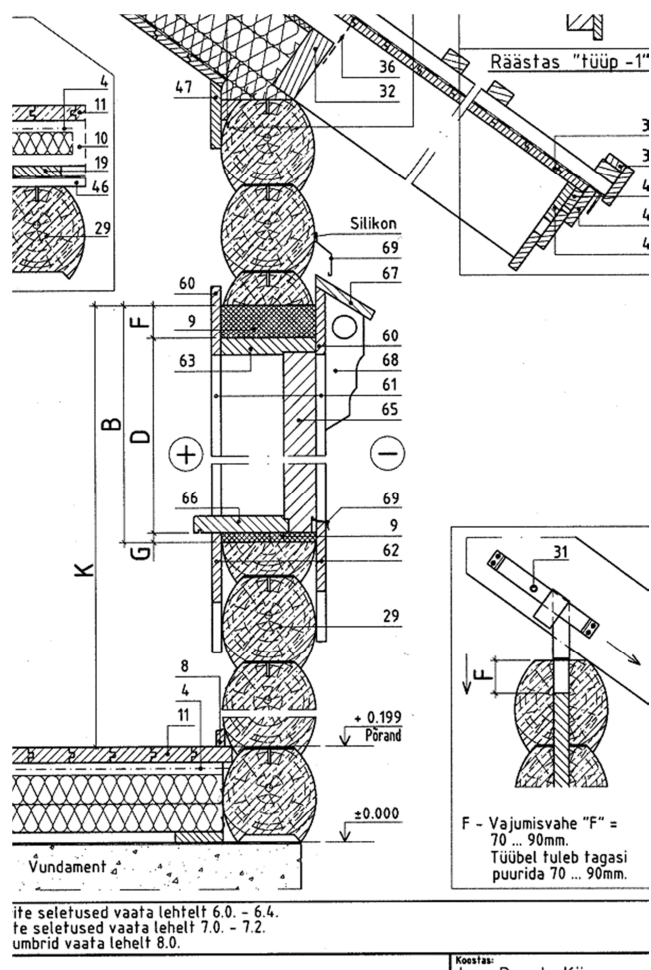


Figura 15 - Pormenor geral de construção de casas com paredes exteriores em troncos
(<http://1st4loghomes.com>)

2.3. Casas em painel

As casas em painel são uma solução interessante e completamente oposta a das casas em troncos. As casas em painel são, geralmente, do tipo modular, que permite uma rápida execução e posterior expansão. As casas modulares estão aliadas a uma arquitetura moderna e cuidada, sendo difícil distinguir entre estas e as de construção normal. Comparativamente com a arquitetura mais tradicional das casas em troncos, este tipo de casas é um passo em frente. Na figura 16 podemos ver uma casa em painel, um modelo da empresa Jular com acabamento em madeira, um aspeto parecido ao das casas em troncos.



Figura 16 – Casa em painel com estrutura em madeira (<http://www.jular.pt/>)

Na figura 17 é apresentado o pormenor construtivo de uma parede em painel com estrutura em madeira.



Figura 17 - Pormenor construtivo de uma parede em painel com estrutura em madeira
(<http://www.abris-martin.fr/>)

2.3.1. Processo construtivo

Os painéis de parede que constituem este tipo de casas possuem a mesma espessura das paredes exteriores correntes sendo em tudo semelhantes a estas são constituídas por, revestimento exterior, suporte (que pode ser placa em madeira OSB ou placas de madeira com cimento), caixa-de-ar preenchida com lã de rocha ou lã de vidro ou outro tipo de isolamento térmico, suporte para revestimento interior e revestimento interior. Para o acabamento exterior pode ser considerado o uso de qualquer tipo de revestimento tendo apenas de se usar o suporte adequado ao acabamento que se vai aplicar. O mesmo se aplica ao acabamento interior que

pode ser bastante variado desde o gesso cartonado cerâmicos e ripado de madeira. O processo de elaboração deste tipo de paredes inicia-se com o corte das peças de madeira nas dimensões necessárias, como ilustrado na Figura 18 e Figura 19, todos os cortes e entalhes são realizados recorrendo ao uso de máquinas CNC o que garante trabalhos com precisão milimétrica (<http://frame-house.eu>).



Figura 18 - Corte de peças de madeira em máquina CNC (<http://frame-house.eu>)



Figura 19 - Realização de entalhes (<http://frame-house.eu>)

Após o corte e realização dos entalhes procede-se a realização da montagem do painel de parede, com a ajuda de uma “mesa” de apoio onde são colocados os pilares que formam a estrutura da parede. Todo o painel de parede vai ser realizado com o auxílio desta “mesa” de suporte, como apresentado na Figura 20 e na Figura 21 podemos ver a realização de uma padieira (<http://frame-house.eu>).



Figura 20 - Realização do painel de parede com auxílio de “mesa” de apoio (<http://frame-house.eu>)

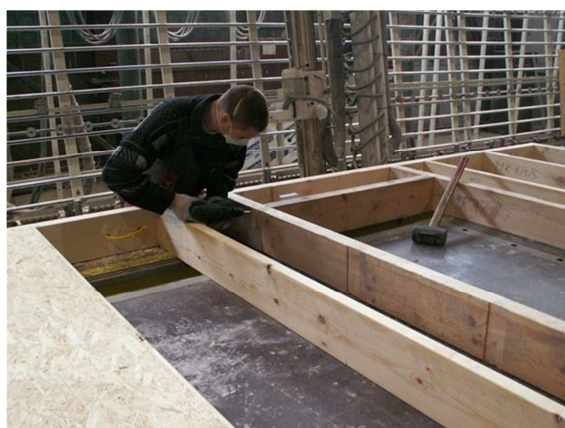


Figura 21 - Construção de padieira de uma porta (<http://frame-house.eu>)

Com a estrutura pronta procede-se a colocação de uma placa em OSB de um dos lados seguida da colocação do isolamento térmico como referenciado na Figura 22 na Figura 23 está ilustrado a colocação do isolamento térmico em lã de rocha ou lã de vidro (<http://frame-house.eu>).



Figura 22 - Colocação da placa de OSB (<http://frame-house.eu>)



Figura 23 - Colocação da placa de OSB (<http://frame-house.eu>)

Procede-se novamente a colocação de uma placa de OSB de forma a fechar a parede como apresentado na Figura 24 ficando assim o módulo de parede pronto para os acabamentos finais (<http://frame-house.eu>).



Figura 24 – Módulo pronto para acabamentos finais (<http://frame-house.eu>)

No caso da Figura 25 e Figura 26, é apresentada a solução em painel com acabamento interior em madeira e em gesso cartonado.



Figura 25 - Painel sandwich com acabamento interior em madeira (<http://1st4loghomes.com>)

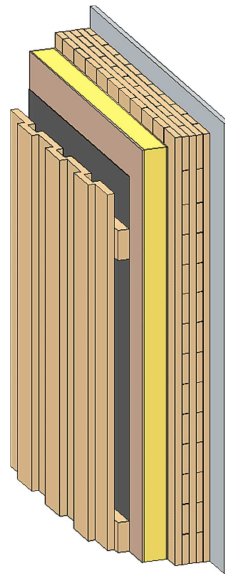


Figura 26 - Painel sandwich com acabamento interior em gesso cartonado
(<http://www.dataholz.com/>)

2.4. Empresas

Relativamente a comercialização de casas em troncos, podemos encontrar em Portugal a empresa Rusticasa, sediada em Vila nova de Cerveira, foi a 1ª empresa a dedicar-se ao desenvolvimento, produção e comercialização de casas de troncos em Portugal. Utiliza madeira proveniente de florestas do norte da Europa e Açores.

No que concerne ao desenvolvimento e comercialização de casas em painel, em Portugal podemos destacar duas empresas, a ModularSystem e a “Treehouse” da Jular. As duas empresas em questão baseiam-se num sistema de módulos pré-fabricados, o que permite uma rapidez de construção e de posterior expansão. As filosofias são semelhantes diferindo no tipo de madeira utilizado, na ModularSystem temos paredes exteriores constituídos por uma estrutura em madeira de pinho, duplo painel em OSB, caixa-de-ar e isolamento em lã mineral, em que a face exterior possui o acabamento que se desejar, as paredes exteriores também pode ser do tipo fachada ventilada. Na “Treehouse” da Jular, a madeira micro-laminada Kerto foi o produto escolhido para a execução da estrutura das casas modulares.

2.5. Vantagens e desvantagens das casas de madeira

2.5.1. Vantagens das casas de madeira

As casas de madeira apresentam, geralmente, um excelente isolamento térmico. A madeira permite manter a temperatura estável durante o ano inteiro, sendo esta nem muito fria nem muito quente. Outras vantagens das casas em madeira são a resistência e a durabilidade, não sendo estas necessariamente, mais frágeis do que aquelas construídas noutros materiais. Quando construída a partir de madeira de boa qualidade, uma casa deste tipo não apresentará quaisquer tipos de problemas de durabilidade, a prova disso é a existência de casas de madeiras com centenas de anos

A principal vantagem das casas em madeira é a economia, podendo facilmente apresentar valores de poupança na ordem dos 20%. A maior fatia desta economia está na rapidez de construção. Em média, o tempo necessário para a construção de uma casa de madeira será sempre inferior ao necessário para a construção de uma casa de tijolo, dependendo do tipo de construção, a conclusão de todo o processo não deve demorar mais do que uns poucos meses.

2.5.2 Desvantagens das casas de madeira

Apesar dos bons níveis de resistência e durabilidade apresentados pelas casas de madeira de qualidade superior, a verdade é que, este tipo de casas, principalmente as mais económicas, podem revelar-se mais suscetíveis a desastres naturais do que outros tipos de casas.

Apesar de não representar exatamente um problema, o ranger típico da madeira é um ruído incómodo e que poderá causar algum desconforto caso seja necessário lidar com ele numa base diária. Este é um problema minoritário, mas que ainda assim poderá não ser do agrado para muitas pessoas e até constituir uma razão para não investir numa casa deste tipo.

A madeira, para que tenha maior durabilidade e ofereça os níveis de resistência desejados, necessita de ser devidamente tratada. Isso significa, prestar atenção a todas as suas necessidades, e proceder a uma boa manutenção ocasional da mesma, para que todas as suas propriedades sejam preservadas. Este fator representa um grande inconveniente das casas de madeira.

2.6. Materiais

2.6.1. Madeira maciça

Utilizada em estruturas com vãos pequenos (4 a 6m) e médios (6 a 17m) formando uma estrutura integral ou num sistema misto, em que pavimento e cobertura são em madeira.

Para que possa ser utilizada com fins estruturais a madeira tem que ser submetida a uma serie de testes de forma a ser obtida uma classe de resistência. Para as espécies de madeira mais comuns, a prEN1912 indica as Classes de qualidade. Na Figura 27 é apresentada a madeira maciça.

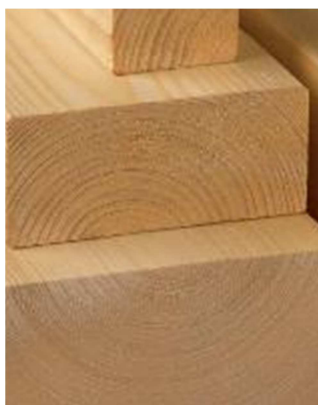


Figura 27 - Madeira maciça

As espécies de madeira mais utilizadas em Portugal são:

- Casquinha (*Pinus sylvestris* L.)
- Pinho bravo (*Pinus pinaster* Ait.)
- Espruce (*Picea abies* Karst)
- Carvalho (*Quercus robur* L.)
- Castanho (*Castanea sativa* Mill.)
- Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill)

No quadro 1 estão representadas as principais propriedades das madeiras utilizadas em estruturas.

Quadro 1 - Propriedades das madeiras utilizadas em estruturas (EN 338:2003)

Propriedades (Valores característicos)	Classes de Resistência					
	Resinosas				Folhosas	
	N/mm ²					
	C16	C18	C24	C30	D40	D60
Flexão Estática	16	18	24	30	40	60
Tração paralela às fibras	10	11	14	18	24	36
Tração perpendicular às fibras	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7
Compressão paralela às fibras	17	18	21	23	26	32
Compressão perpendicular às fibras	4,6	4,8	5,3	5,7	8,8	10,5
Corte	1,8	2,0	2,5	3,0	3,8	5,3
Módulo de Elasticidade	kN/mm ²					
Paralelo às fibras						
(Valor médio)	8	9	11	12	11	17
(Valor Característico)	5,4	6,0	7,4	8,0	9,4	14,3
Perpendicular às fibras (valor médio)	0,27	0,30	0,37	0,40	0,75	1,13
Módulo de Corte (valor característico)	0,50	0,56	0,69	0,75	0,70	1,06
Massa Volúmica	kg/m ³					
Valor médio	370	380	420	460	700	840
Valor característico	310	320	350	380	590	700

O Quadro 2 apresenta a Classe de Qualidade e classe de resistência para algumas madeiras correntemente utilizadas.

Quadro 2 - Classe de Qualidade e Classe de Resistência de madeiras correntes (LNEC – M1, 1999)

Madeira	Classe de Qualidade (Norma)	Classe de Resistência
Pinho bravo	E (NP 4305)	C18
Casquinha	SS (BS 4978)	C24
	GS (BS 4978)	C16
Espruce	S13 (DIN 4074)	C30
	S10 (DIN 4074)	C24
Câmbala	HS (BS 5756)	D40

As normas reguladoras das estruturas de madeira utilizadas são:

- EN 518:1995 – Structural timber – Requisitos de padrões para classificação visual e de resistência.
- EN 519:1995 – Structural timber – Requisitos para métodos de classificação de resistência da madeira.
- LNEC: 1997, Ficha M2: Pinho bravo para estruturas. Série Madeira para construção.
- NP 4305:1995, Madeira Serrada de Pinheiro Bravo para estruturas. Classificação final.
- prEN 1912:1995 – Structural timber – Classificação de espécies de madeira segundo classes de resistência.

2.6.3. Madeira lamelada colada

São também conhecidos por “Glulam”, são constituídos por lamelas de madeira classificadas e selecionadas (Figura 28), justapostas orientadas com o fio na direção longitudinal e ligadas por uma cola apropriada.



Figura 28 - Madeira lamelada (<http://portaldamadeira.blogspot.pt>)

A justaposição das lamelas pode ser na vertical, em vigas de inercia variável, ou na horizontal, em lajes de largura variável e tabuleiros de pequenas pontes. As lamelas são aplainadas para uma largura geralmente inferior a 20cm, sendo sobrepostas e coladas, orientando sempre o interior dos anéis para cima, com exceção para a primeira lamela que é colocada com orientação inversa. A ligação de topo das lamelas é executada por entalhes múltiplos (finger joints), o que permite a obtenção de peças com qualquer comprimento.

A espessura máxima, segundo a norma EN 386, é de 45mm. Mas existem 2 parâmetros que podem baixar o valor da espessura máxima:

- Ambiente de serviço.
- Curvatura da peça já executada.

O Quadro 3 define a espessura (e) e a área da secção transversal (A) limite.

Quadro 3 - Espessuras e áreas de secção transversal (<http://portilame.com>)

	Classe de Serviço					
	1		2		3	
	e (mm)	A (mm ²)	e (mm)	A (mm ²)	e (mm)	A (mm ²)
Resinosas	45	10000	45	9000	35	7000
Folhosas	40	7500	40	7500	35	6000

Para peças curvas, a espessura é definida pela seguinte fórmula:

$$e > \frac{R}{250} \left(1 + \frac{f_{m,k}}{80}\right) \quad (1)$$

Em que:

R - raio de curvatura da lamela (mm)

$f_{m,k}$ – Resistência característica à flexão da madeira constituinte da lamela (N/mm²)

As principais vantagens da madeira lamelada são:

- Permite atingir grandes comprimentos e grandes secções, nem sempre é possível atingir diversas secções se comprimentos com madeiras maciças;
- Em teoria não existem limites nas dimensões das peças obtidas. A limitação está no transporte;
- A espessura máxima das lamelas é bastante baixa (max. 45mm), criando uma dispersão dos efeitos, reduzindo ao mínimo o número de pontos fracos, aliado ao uso de madeiras de melhor qualidade, com poucos defeitos e com melhores condições de secagem, leva a que o resultado seja peças homogéneas de grande qualidade por vezes com melhores características que a madeira que as compõe;
- Liberdade de formas.

As normas que regem a produção de madeiras lameladas são:

- EN 301, Requisitos mínimos de adesivos em phenol e amino plastic para estruturas em madeira.

- EN 385:2001, Requisitos de desempenho e requisitos mínimos de produção de estruturas de madeira unidas por entalhes.
- EN 391:2001, Testes de delaminação em madeira lamelada-colada.
- EN 392, Ensaio de corte em madeira lamelada-colada.
- EN 408, Determinação de propriedades mecânicas e físicas de estruturas em madeira e madeira lamelada-colada.
- NP EN 386:2009, Madeira lamelada-colada. Requisitos de desempenho e requisitos mínimos de fabrico. IPQ.
- NP EN 1194:1999, Estruturas de madeira. Madeira lamelada-colada. Classes de resistência e determinação de valores característicos. IPQ.

2.6.5. OSB

São placas de partículas de madeira orientadas (oriented strand boards OSB) conforme indicado na Figura 29, normalmente compostas por 3 a 5 camadas cruzadas de tiras de madeira. Aglomeradas sob calor e pressão juntamente com produtos que tornam a madeira completamente inerte e resistente à água. As partículas são orientadas numa única direção e sobrepostas em camadas cruzadas formando uma placa de grande resistência estrutural.



Figura 29 - Oriented strand board (<http://www.madeirasimportadas.com/>)

As suas principais características são:

- Qualidade consistente e uniforme devido ao seu processo de construção;
- Não necessita da aplicação de imunizadores;
- Não tem problemas de delaminação, (desfragmentação);
- Sem vazios internos e nós soltos;
- Não é sazonal;
- Maior diversidade nas dimensões;

- Versatilidade de usos;
- Preços competitivos;
- Construções mais baratas. O uso de placas OSB, na construção de paredes em madeira, com pelo menos 22mm de espessura, diminui a necessidade de aplicação de estruturas de apoio.
- Mais seguro e mais ecológico (100% de utilização da árvore).

As placas de OSB possuem dimensões entre 250x62,5 cm ou 250x125cm. Quando a sua aplicação está destinada ao revestimento de paredes e coberturas, a espessura utilizada é de 11mm, no caso de revestimento de pavimentos a espessura a utilizar é de 18mm. Apresenta geralmente uma estabilidade dimensional aceitável. A estabilidade das suas dimensões é aceitável, apresentando, em condições de humidade relativa de 30 a 85%, variações de comprimento de 0,15% e variações de largura na ordem dos 0,25%. As placas de OSB são consideradas um bom isolante acústico, e o seu comportamento térmico, em placas de 11mm de espessura é de $R=0,071 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$.

As placas OSB podem ser fixas através de fixações mecânicas ou por colagem. As ligações mecânicas são feitas através de parafusos ou pregos colocados a uma distância máxima da extremidade de 6mm. As ligações por colagem podem ser executadas recorrendo a qualquer tipo de cola normalmente usada para madeira, no entanto é aconselhável o tratamento da superfície a colar para que seja garantido contato da cola com a superfície.

As placas OSB são tratadas como placas de madeira maciça, podem ser lixadas, cortadas e trabalhadas e aplicado qualquer tipo de acabamento sem qualquer tipo de preocupação (<http://www.madeirasimportadas.com/>).

2.7. Dataholz

A base de dados Dataholz possui para consulta, diversas soluções construtivas, com estrutura e elementos de revestimento em madeira, juntamente com toda a informação técnica acerca dos elementos que constituem a solução construtiva desde isolamentos térmicos, contra o fogo, acústicos, bem como os níveis de desempenho ecológico dos materiais de construção utilizados em cada solução construtiva.

Os níveis de desempenho ecológico são determinados por meio de testes, cálculo ou avaliação. Sendo os mesmos realizados por seis institutos de pesquisa e testes austríacos,

supervisionados pelo Instituto Austríaco de pesquisa de produtos em madeira. O desenvolvimento desta base de dados de soluções construtivas foi encomendado pela Associação da indústria da madeira austríaca, sendo comercializado pela proHolz Áustria. A base de dados DataHolz está organizada por materiais, fornecendo informação detalhada acerca dos materiais utilizados nas soluções construtivas. As soluções construtivas estão separadas por tipo de aplicação, desde paredes interiores, paredes exteriores, coberturas e pavimentos, fornecendo todos os detalhes das soluções em forma de ficha técnica, que pode ser utilizada posteriormente em projeto ou em obra. São também pormenorizadas ligações entre as diferentes soluções. É frequente que uma solução construtiva, que não seja comum no mercado, seja obrigada a cumprir os requisitos presentes na legislação, para que se possa confirmar que os materiais de construção escolhidos e a sua conectividade atende aos regulamentos de construção. As soluções escolhidas terão de demonstrar adequado isolamento térmico, acústico e resistência ao fogo. Os pormenores construtivos disponibilizados pela base de dados Dataholz são geralmente aceites nos países da comunidade europeia, apresentando provas de cumprimento através da legislação utilizada na Áustria. A base de dados da Dataholz é complementada com mais de 15.000 parâmetros de desempenho sendo apoiadas por testes realizados por institutos acreditados, o que permite sua maior aceitação em qualquer País.

A base de dados Dataholz teve como objetivo a criação de um leque de soluções aprovadas sejam facilmente consultadas e utilizadas evitando toda a investigação necessária para comprovar o uso de uma solução para um determinado elemento.

Os dados sobre os impactos ambientais e indicadores de desempenho são também fornecidos, dada a importância crescente da construção sustentável.

Na elaboração da base de dados foram considerados nove tipos diferentes de componentes de construção (parede externa, parede interna, parede de compartimento, cobertura plana e inclinada, pavimento intermédio, pavimento de compartimento, pavimento para sótão, pavimento (cobertura) cave). Estes são então subdivididos em 42 tipos de pormenor (parede externa com ou sem isolamento térmico, ventilação externa, etc...). As soluções construtivas variam conforme a espessura ou tipo de material de isolamento. Para cada solução construtiva apresentada, são fornecidos os parâmetros de desempenho acústico, térmico e de resistência ao fogo, bem como os parâmetros ecológicos (GWP, AP, PEIe, PEInr, POCP, EP). Todos estes níveis de desempenho foram determinados por institutos acreditados para o efeito, por meio de testes, cálculos ou meios de avaliação.

A ficha técnica de cada solução construtiva contém as seguintes informações:

- Nome da solução construtiva;
- Representação em 3D;
- Representação em corte 2D (com legenda);
- Avaliação de parâmetros: desempenho térmico, acústico e de resistência ao fogo e parâmetros ecológicos;
- Lista detalhada dos materiais de construção usados;
- Informações detalhadas sobre a avaliação de impactos ecológicos.

A avaliação do isolamento térmico, isolamento acústico, resistência ao fogo e condutores ecológicos foram feitas segundo as seguintes normas:

- Resistência ao fogo classe REI (de acordo com ÖNORM EN 13501-2);
- Resistência térmica U [$W / m^2 K$] (de acordo com a ÖNORM B 8110-6 e / ou ÖNORM EN ISO 6946);
- Difusão de vapor de água (de acordo com a ÖNORM B 8110-2). Armazenamento em massa equivalente de energia por unidade de área m_w, B, A [kg / m^2] (de acordo com a ÖNORM B8110-3);
- Índice de redução sonora R_w [dB] (de acordo com a ÖNORM EN ISO 140-1 e / ou EN ISO 717-1 ÖNORM);
- Nível de pressão sonora (sons de percussão), normalizado L_n, w [dB] (de acordo com a ÖNORM EN ISO 140-6 e / ou EN ISO 717-2 ÖNORM).
(<http://www.dataholz.com>).

A utilização da base de dados Dataholz teve como principal objetivo a pesquisa de soluções construtivas existentes no mercado internacional e enquadramento das soluções construtivas existentes no nosso país com as soluções utilizadas em diversos países europeus, sendo apenas utilizada no estudo prévio das soluções construtivas.

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DE CALCULO

3.1. Cálculo térmico (ITE 50)

O ITE 50 baseia-se na utilização de procedimentos de cálculo detalhados e de valores convencionais atualizados de características relevantes (condutividade térmica dos materiais, resistência térmica superficiais coeficientes de transmissão térmica e de espaços de ar), estes valores estão consagrados na normalização europeia e já adotados, ou em vias de adoção, por vários Estados-membros (ITE-50).

3.1.1. Resistências térmicas superficiais (interior e exterior)

As resistências térmicas superficiais R_{si} (interior) e R_{se} (exterior) são valores convencionais a adotar quando se calculam os coeficientes de transmissão térmica (U) dos elementos de construção correntes de edifícios. Estes valores estão representados no Quadro 4 (ITE 50).

Quadro 4 - Valores da resistência térmica superficial conforme o tipo de fluxo de calor encontrado (Fonte: Quadro I.3 do Anexo 1 do ITE 50)

Sentido do fluxo de calor		Resistência térmica superficial [(m ² .°C)/W]	
		Exterior R_{se}	Interior R_{si}
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente	0,04	0,17

Os valores apresentados neste anexo estão representados na norma europeia EN 6946:1996.

Em alguns casos, deve-se optar pelos valores de R_{si} e R_{se} que se adaptem a caracterização dos elementos em estudo quer em termos de velocidade do ar como das características de emissividade da superfície. Os casos mais relevantes são os seguintes:

- a) Elementos da envolvente que separam um espaço útil interior do ambiente exterior:
Os valores de R_{si} e R_{se} a adotar neste caso são os indicados no Quadro 8 (Quadro I.3 do Anexo 1 do ITE 50) e correspondem ao elemento considerado e, se necessário, ao sentido do fluxo.
- b) Elementos da envolvente que separam em espaço útil interior de um local não – aquecido (exemplo: garagens) os valores de R_{si} a adotar serão iguais ao valor de R_{se}

$$R_{si} = R_{se} \quad (2)$$

- c) Pavimentos sobre espaço de ar (ou espaço técnico) ventilado – novamente os valores de R_{si} a adotar serão iguais ao valor de R_{se}

$$R_{si} = R_{se} \quad (3)$$

Estes valores de R_{si} e R_{se} vão depender da direção do fluxo de calor, assim quando temos:

$$\text{Fluxo ascendente: } R_{si} = R_{se} = 0,10 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W} \quad (4)$$

$$\text{Fluxo descendente: } R_{si} = R_{se} = 0,17 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W} \quad (5)$$

Os valores dos fluxos ascendentes ou descendentes estão relacionados com as convenções aplicáveis aos valores das temperaturas dos ambientes (ou superfícies) interiores e exterior.

- d) Elementos de construção verticais ou horizontais que incluam um espaço de ar fortemente ventilado com o ar exterior (exemplo: parede com revestimento exterior descontínuo independente em que forma um espaço de ar fortemente ventilado, estes valores encontram-se no Quadro 9 (Anexo II do ITE 50) consoante o elemento em estudo), e esteiras inclinadas ou sob desvão ventilado (que não seja habitado) de coberturas inclinadas.

$$R_{si} = R_{se} \quad (6)$$

No cálculo da resistência térmica, neste caso particular, do elemento de construção em estudo, as resistências térmicas são desprezadas do espaço de ar fortemente ventilado ($R_{ar} = 0$) e do revestimento exterior.

O cálculo do coeficiente de transmissão térmico processa-se recorrendo a equação 2:

$$U = \frac{1}{R_{se} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{si}} \quad (7)$$

Onde:

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior;

R_s - Resistência térmica superficial no ponto medido (calculada pela equação 8);

R_{si} - Resistência térmica superficial interior;

3.2. Norma ASTM C1155 - 95

A norma ASTM C1155 - 95 permite obter a resistência térmica in-situ dos elementos da envolvente, seguindo alguns pressupostos:

- O fluxo de calor tem que ser perpendicular à superfície em questão, não podendo existir perturbações ao mesmo, como por exemplo pontes térmicas etc.;
- Existência de um gradiente térmico significativo entre o exterior e o interior;
- Uso de intervalos de tempo que não causem diferenças superiores em 10% no valor da resistência térmica calculada.

Garantindo as condições acima descritas, pode proceder-se a colocação de sensores de temperatura e sensores de fluxo de calor nas superfícies exterior e interior do elemento construtivo para o qual se pretende obter o valor da resistência térmica. Com a recolha dos seguintes dados:

- Temperatura superficial interior (T_{is});
- Temperatura superficial exterior (T_{es});
- Fluxo de calor que passa através do elemento.

Com os dados anteriores e com o intervalo de tempo considerado é estimada a resistência térmica calculada pelas equações 8 e 9:

$$R_e = \frac{\sum_{k=1}^M \Delta T_{Sk}}{\sum_{k=1}^M q_{ik}} \quad (8)$$

Onde:

ΔT - Variação da temperatura superficial entre o interior e o exterior calculado pela equação 2;

q - Fluxo de calor;

M - Intervalo de tempo escolhido.

$$\Delta T_s = T_{is} - T_{es} \quad (9)$$

Para que o uso desta técnica seja aplicada corretamente torna-se necessário realizar um teste de convergência da resistência estimada entre dois intervalos de tempo consecutivos, CR_n . Para um intervalo de tempo de 12h, a convergência terá de ser inferior a 0,1. Aplicando a equação 10 é possível calcular a convergência:

$$CR_n = \frac{R_e(t) - R_e(t - n)}{R_e(t)} \quad (10)$$

Juntamente com o teste de convergência é necessário verificar a variância do valor da resistência térmica, $V(R_e)$. Aplicando a equação 11, pode-se determinar o valor da mesma:

$$V(R_e) = \frac{s(R_e)}{Média(R_e)} \times 100 \quad (11)$$

Em que:

$s(R_e)$ – Variância de R_e calculado com $n-1$ graus de liberdade;

N – número de valores de R_e ($N \geq 3$).

Se o valor da variância obtido for inferior a 10%, o valor final da resistência térmica do elemento é o valor médio de todos os R_e calculados.

No estudo em questão foram recolhidos dados relativos a cada singularidade dos provetes, efetuando a medição de cada singularidade em três localizações diferentes do provete. Assim cada singularidade foi caracterizada por três vezes em sítios diferentes do provete e em dias diferentes, com intervalos de recolha de dados que iam desde as 18h15 até as 9h45. A verificação da variância e da convergência é efetuada no intervalo de tempo das 21h às 9h00 e dividindo esses intervalos de tempo em quatro intervalos de 3h. A opção pelo período noturno deveu-se ao facto de ser neste período que os valores do fluxo de calor se mantinham estáveis. Durante o período de utilização do laboratório os valores do fluxo de calor variavam com a presença de pessoas, condições de iluminação e ventilação, impossibilitando a recolha de dados utilizáveis.

O cálculo do coeficiente de transmissão térmica dos provetes de teste não se processa com a mesma linearidade (cálculo da media aritmética dos valores medidos). Para se medir corretamente o coeficiente de transmissão térmica de cada provete, é necessário analisar em pormenor a sua constituição e composição, de forma a identificar o maior número de pontos singulares existentes em cada provete. São estes pontos singulares que caracterizam o provete e que vão influenciar o seu comportamento térmico. Assim, o cálculo do coeficiente de transmissão térmica de cada provete processa-se recorrendo ao cálculo da média ponderada

dos coeficientes de transmissão térmica medidos em cada ponto do provete. A média ponderada é, de certa forma, a avaliação do peso que cada singularidade tem no comportamento térmico do provete. Assim, para o cálculo da média ponderada considera-se a equação 12:

$$\frac{\sum_{n=1}^n (A \times U_n)}{\sum A} \quad (12)$$

Onde:

A – Área de singularidade presente no provete;

U_n – Coeficiente de transmissão térmica medido para essa singularidade.

CAPÍTULO 4 - PREPARAÇÃO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO

4.1. Soluções construtivas a serem avaliadas

De entre as várias possibilidades, selecionaram-se quatro soluções construtivas representativas do mercado nacional e internacional. Três delas têm por base o tronco maciço enquanto a quarta representa uma solução com estrutura ligeira de madeira revestida com placas de derivados de madeira. As soluções construtivas analisadas bem como os provetes usados nos ensaios foram disponibilizados pela empresa Rusticasa.

4.1.1. Solução construtiva tronco maciço de 16cm de espessura

A solução construtiva tronco maciço de 16cm, é uma solução construtiva simples, sem isolamento térmico constituída por troncos maciços de 16cm de espessura. Os troncos são em Pinho nórdico (*Pinus sylvestris*), laminados, constituídos por quatro partes distintas unidas por cola, como o exemplo da Figura 30.



Figura 30 - Provede 1, solução construtiva tronco maciço de 16 cm de espessura

4.1.2. Solução construtiva, tronco maciço de 7cm de espessura

Esta solução construtiva é constituída por um revestimento exterior em tronco maciço de 7cm e um elemento estrutural principal em madeira que suporta o isolamento térmico e o revestimento interior. A rigidez desta solução é garantida pela ação conjunta do revestimento exterior em tronco maciço e pela estrutura interior. No quadro 5 está representada a constituição desta solução construtiva.

Quadro 5 - Constituição da solução construtiva tronco maciço de 7cm de espessura (do exterior para o interior).

Componente	Espessura (mm)	Material
1	70	Tronco maciço de madeira
2	-	Barreira pára vapor
3	50	Lã de rocha (70kg/m ³)
4	50	Estrutura em madeira
5	-	Barreira pára vapor
6	20	Ripa separadora de madeira horizontal (interior) (20x50)
7	20	Ripa separadora de madeira vertical (interior) (20x50)
8	20	Forro interior em madeira

Na Figura 31 é apresentado em vista explodida a constituição do provete 2, solução construtiva tronco maciço de 7cm de espessura.

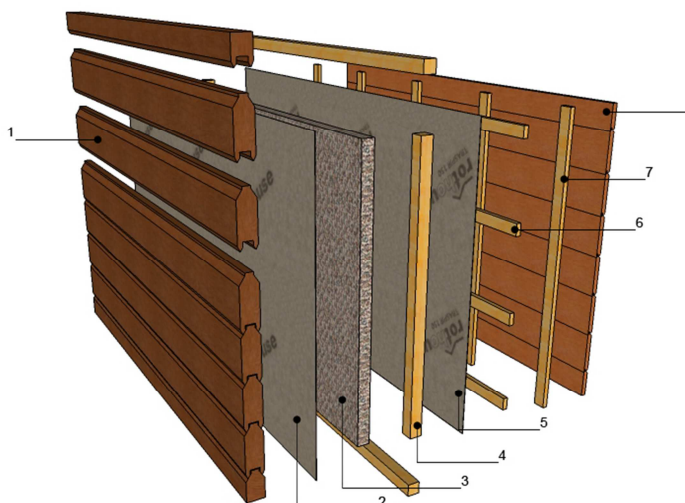


Figura 31 - Vista explodida da solução construtiva de tronco de 7 cm de espessura

O revestimento exterior deste provete é constituído por um tronco maciço semelhante ao tronco maciço utilizado na solução construtiva descrita anteriormente, diferindo apenas na espessura do tronco. Na Figura 32 está representado o revestimento exterior desta solução construtiva.

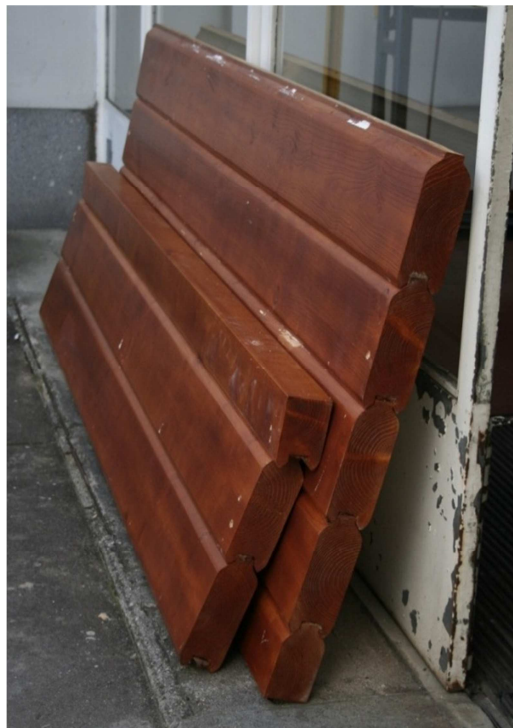


Figura 32 - Revestimento exterior da solução construtiva tronco maciço de 7cm de espessura

4.1.3. Solução construtiva, tronco maciço de 12cm de espessura

A solução construtiva tronco maciço de 12 cm de espessura, apresenta uma constituição muito semelhante a solução construtiva tronco maciço de 7cm de espessura, diferindo no revestimento exterior e em alguns pormenores da estrutura interior. No quadro 6 é apresentada a constituição da solução construtiva tronco maciço de 12 cm de espessura, com a descrição dos componentes do exterior para o interior.

Quadro 6 - Constituição do provete 3, solução construtiva tronco de 12 cm de espessura.

Componente	Espessura (mm)	Material
1	120	Tronco maciço de madeira
2	-	Barreira pára vapor
3	50	Lã de rocha (70kg/m ³)
4	50	Estrutura em madeira
5	-	Barreira pára vapor
6	25	Ripa separadora de madeira horizontal (interior) (25x40)
7	25	Ripa separadora de madeira vertical (interior) (25x40)
8	20	Forro interior em madeira

A constituição da solução construtiva em tronco de 12 cm de espessura, é apresentada na Figura 33.

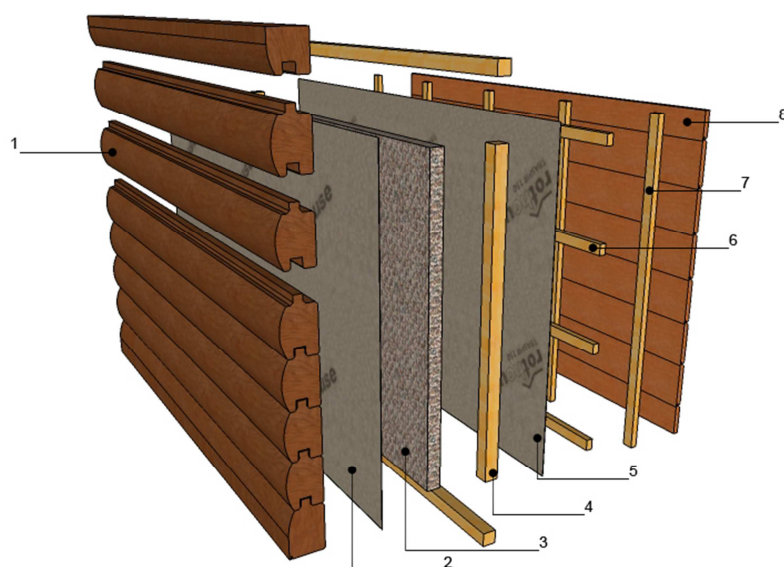


Figura 33 - Vista explodida da solução construtiva de tronco maciço de 12 cm de espessura

O tronco com 12 cm de espessura tem constituição semelhante aos anteriores, tronco lamelado colado constituído por três lamelas coladas entre si, mudando naturalmente a espessura e o acabamento do tronco sendo este arredondado, como apresentado na Figura 34.



Figura 34 - Pormenor de acabamento do tronco maciço de 12 cm de espessura

4.1.4. Solução construtiva Clóvis

A solução construtiva Clóvis é uma solução de construção que tem por base uma estrutura em madeira com 10 cm de espessura. O Quadro 7 7 exhibe a constituição desta solução, descrevendo os elementos constituintes do exterior para o interior.

Quadro 7 - Composição da solução construtiva Clóvis.

Componente	Espessura (mm)	Material
1	20	Forro exterior
2	20	Ripa separadora de madeira vertical (exterior)
3	-	Membrana microporosa
4	100	Lã de rocha (30kg/m ³)
5	100	Estrutura em madeira
6	-	Barreira pára vapor
7	25	Ripa separadora de madeira horizontal (interior) (25x40)
8	25	Ripa separadora de madeira vertical (interior) (25x40)
9	20	Forro interior

Esta solução construtiva recorre ao uso de um elemento estrutural que serve de suporte a todos os elementos constituintes do revestimento exterior e interior. Esta é a única solução construtiva, das quatro que foram analisadas, que permite a utilização de gesso cartonado

como revestimento interior sem que seja necessário a colocação de calhas de suporte deslizantes.

Na Figura 35 é apresentado em vista explodida a constituição da solução construtiva Clóvis.

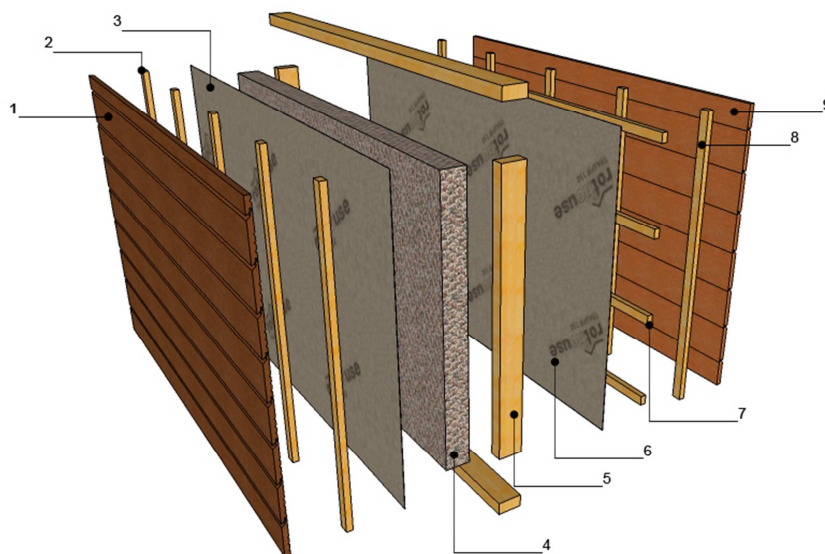


Figura 35 - Vista explodida da solução construtiva Clóvis

4.2. Esquema de ensaio

Os ensaios processaram-se seguindo a ordem de trabalhos:

1. Montagem dos provetes no pórtico da câmara de ensaios do Laboratório de Física das Construções da Universidade do Minho, pela seguinte ordem: provete 1 + provete 4 + provete 2 + provete 3;
2. Aumento da temperatura no interior da câmara com recurso ao ar condicionado;
3. Colocação dos elementos de medição (fluxímetros e termopares) na superfície interior e exterior do provete conforme os pontos que caracterizam o provete. Na figura 36 é apresentado o pormenor dos provetes de teste durante a análise em que as setas a vermelho representam a direção do fluxo de calor considerado;



Figura 36 – Provetes de teste com o equipamento de medição colocado e com a indicação do fluxo de calor considerado

4. Recolha de dados, inseridos numa folha de cálculo, relativos ao fluxo de calor e temperaturas superficiais;
5. Recolocação do equipamento de medição (no mesmo provete) e recolha de dados, medindo de novo os pontos mas em coordenadas diferentes. (tarefa repetida para três coordenadas diferentes de cada ponto)
6. Montagem do equipamento de medição no provete seguinte realizando de novo o processo acima descrito.

4.3. Montagem dos provetes

Com dimensões de 1,965m x 1,24m, os provetes de teste foram especificamente concebidos para esta análise, de forma a poderem ser montados no pórtico da câmara de testes do Laboratório de Física das Construções da Universidade do Minho.

Os provetes chegaram ao local de construção desmontados não necessitando de transporte especial. Com recurso a um porta-paletes, e até mesmo em braços, todo o material para a montagem dos provetes foi transportado para o interior do laboratório, conforme apresentado na figura AI-1 (em anexo).

A montagem dos provetes iniciou-se com a colocação de três camadas de isolamento térmico em poliestireno extrudido (*XPS*), cada uma com 5 cm de espessura. A colocação destas três camadas de isolamento térmico tem como objetivo evitar que existam perdas de calor entre o pórtico e os provetes, garantindo que o fluxo de calor é perpendicular à superfície em análise e que o mesmo se mantém o mais constante possível. Na figura AI-2 (em anexo) está

representada a colocação do isolamento térmico em XPS. Na figura 37 é apresentado o efeito do fluxo de calor considerado como possíveis perdas.

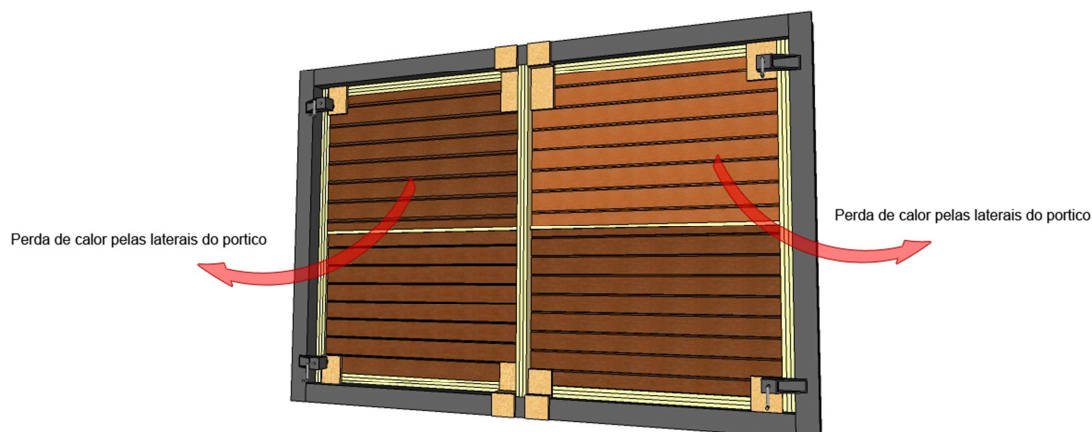


Figura 37 - Exemplo do fluxo de calor considerado como possíveis perdas

4.3.1 Montagem do provete 1 - tronco maciço de 16 cm

A montagem deste provete revelou-se bastante simples, consistindo no encaixe dos troncos entre si. Inicia-se pela colocação de um tronco de arranque que possui uma pingadeira de forma a escoar a água que caia sobre a parede evitando a infiltração da mesma. Na figura AI-3 (em anexo) é apresentado um pormenor do tronco de arranque.

De forma a garantir a estabilidade do provete após o encaixe os troncos são aparafusados entre si. Na figura AI-4 (em anexo) é apresentado o pormenor de fixação dos troncos através dos parafusos

Seguindo a ordem pré-estabelecida de encaixe dos vários troncos, a parede (provete) é montada até a uma altura de 1,24m. À semelhança do tronco de arranque, existe também um tronco de fecho, sendo que este tronco é cortado com a altura necessária para finalizar o provete. Na figura 38 está representado o provete 1 representativo da solução construtiva tronco maciço de 16 cm de espessura



Figura 38 - Provete 1 solução construtiva em tronco maciço de 16cm finalizado

4.2.2 Montagem do provete 4 - Clóvis

O provete 4 representativo da solução construtiva Clóvis não necessitou de qualquer montagem *in situ*, tendo sido transportado já finalizado, incluindo já o acabamento tanto interior como exterior em forro de madeira. Na figura AI-5 (em anexo) está representado o provete 4 antes da sua colocação no pórtico.

Na figura AI-6 (em anexo) está representado o provete após a sua colocação no pórtico.

Devido às diferenças que existem entre o projeto e a execução dos provetes, foi necessário antes da montagem no pórtico dos restantes provetes, colocar uns pequenos marcadores de forma a ser facilmente identificável a localização do ripado vertical e horizontal da estrutura interior, como apresentado na figura AI-7 (em anexo). Este pormenor revela ser uma mais-valia para a rápida identificação dos pontos a analisar.

4.2.3 Montagem do provete 2 - tronco maciço de 7cm

A montagem deste provete inicia-se com a colocação da estrutura interior no pórtico. Na montagem deste provete existiram algumas dificuldades técnicas devido à inexistência de margens que permitam a colocação do provete e também a algumas opções tomadas na montagem. A fixação do isolamento térmico que separa a solução construtiva da parte superior do pórtico, antecede a colocação da estrutura interior. Esta opção não resultou como esperado, dificultando a colocação da estrutura interior no pórtico. Na figura AI-8 (em anexo) é apresentada a colocação da estrutura interior do provete 2.

O processo de montagem do revestimento exterior é semelhante ao do provete 1, tronco maciço de 16 cm de espessura, com os troncos a serem colocados uns em cima dos outros e aparafusados entre si. De forma a tornar a solução construtiva mais segura, o revestimento exterior é aparafusado à estrutura interior.

Resumidamente, a montagem do provete 2, solução construtiva tronco maciço de 7cm de espessura, segue as seguintes etapas:

1. Colocação da estrutura interior no pórtico de ensaios (estrutura interior constituída por estrutura em madeira com isolamento térmico, ripado vertical e horizontal, e revestimento interior);
2. Montagem do revestimento exterior em tronco maciço de 7cm de espessura.

Na figura AI-9 (em anexo) está representada a sequência de montagem.

4.2.4 Montagem do provete 3 - tronco maciço de 12cm

O provete 3, solução construtiva tronco maciço de 12cm de espessura, é o último provete a ser colocado no pórtico. Este provete apresenta um revestimento exterior com acabamento arredondado, razão pela qual foram necessários alguns cuidados na montagem no pórtico.

Para que seja garantida a leitura correta dos dados recolhidos pelos fluxímetros, a fixação dos mesmos deve ser feita numa superfície lisa, o que no caso deste provete, não é possível caso o mesmo fosse montado da forma convencional (revestimento exterior voltado para o exterior da câmara de ensaios). De forma a contornar o problema a montagem deste provete foi feita

com o revestimento exterior voltado para o interior da câmara de ensaios do laboratório, solução que não interfere com as medições a realizar.

O processo de montagem do provete 3, solução construtiva tronco de 12cm de espessura, inicia-se com a colocação da estrutura interior, seguida da colocação do isolamento térmico entre o pórtico e o provete.

A montagem do provete 3, solução construtiva de tronco de 12cm de espessura, processa-se segundo as etapas:

1. Colocação da estrutura interior no pórtico de ensaios (estrutura interior constituída por estrutura em madeira com isolamento térmico, ripado vertical e horizontal, e revestimento interior);
2. Colocação do isolamento térmico entre o pórtico e o provete 3;
3. Montagem do revestimento exterior em tronco maciço de 12cm de espessura.

A sequência de montagem está representada na figura AI-10 (em anexo).

Na figura 39 é apresentado o aspeto final, visto pelo interior da câmara de testes, do provete 3, solução construtiva tronco de 12 cm de espessura.



Figura 39 - Vista interior do provete 3, solução construtiva tronco 12 cm de espessura

4.2.5 Estabilização dos provetes no pórtico de ensaios

Após a montagem do provete 3, o pórtico da câmara de ensaios do laboratório de física das construções encontra-se completo com os quatro provetes de teste. Em resumo foram colocados no pórtico o provete 1, solução construtiva tronco maciço 16 cm de espessura, provete 2, solução construtiva tronco 7 cm de espessura, provete 3, solução construtiva tronco 12 cm de espessura e provete 4, solução construtiva Clóvis. Na figura AI-11 (em anexo) é apresentada a disposição dos provetes no pórtico.

O pórtico da câmara de ensaios do laboratório de física das construções tem o seu próprio sistema de fixação de provetes, através de uns grampos colocados nos quatro cantos da área disponível para montagem dos provetes. No caso em estudo foram montados 4 provetes no pórtico, o que leva à necessidade de fixar a zona central, zona mais crítica. Assim foi projetado um sistema de fixação recorrendo à colocação de suportes em madeira que se prolongam a toda a altura do pórtico, sendo que teriam formatos diferentes devidas as diferentes espessuras dos provetes, sendo posteriormente fixos ao pórtico através de grampos metálicos e também aparafusados aos provetes. Na figura AI-12 (em anexo) é apresentada a sequência de colocação dos suportes.

No entanto, durante a montagem dos provetes, reconhece-se que não seria necessário um suporte perlongado a toda a altura dos provetes. Uma vez que os suportes se encontravam efetuados, optou-se por cortar os mesmos e fixá-los ao pórtico através de grampos em madeira em vez dos grampos metálicos anteriormente previstos. Na figura AI-13 (em anexo) está representado o sistema de fixação da zona central suportando o provete 1 e o provete 4, assim como o sistema de fixação da zona central suportando o provete 2 e 3. Na figura AI-14 (em anexo) é apresentado o grampo em madeira que serve de suporte ao sistema de fixação ao pórtico, este grampo é apenas utilizado na zona central e a placa de madeira entre o grampo e o provete para não danificar o revestimento exterior do mesmo.

A colocação dos suportes de fixação concluiu a montagem dos provetes no pórtico da câmara de ensaios do laboratório de física das construções da Universidade do Minho. A figura 40 apresenta uma vista geral exterior e interior do pórtico.



Figura 40 - Vista geral exterior do pórtico e vista geral interior do pórtico

4.4. Instrumentação

Neste ponto apresentam-se todos os instrumentos e dispositivos que compõem o sistema de leitura e aquisição de dados durante os ensaios.

4.4.1. Termopares

Um termopar é um dispositivo elétrico utilizado para medir a temperatura, no caso do estudo em questão, o termopar mede a temperatura superficial dos provetes. No estudo foram utilizados termopares do tipo T (Cobre/Constantan). Na figura 41 é apresentado um exemplo de um termopar.



Figura 41 - Termopar utilizado no estudo, na figura o termopar número 3

Um termopar mede a temperatura superficial de um elemento através da comparação com um valor base. Para se obter o valor de comparação utiliza-se um medidor de temperatura ambiente e humidade relativa do ar (ver figura 42).



Figura 42 - Medidor da temperatura ambiente e humidade relativa do ar

Ao longo deste estudo foram utilizados dez termopares para medir a temperatura superficial em ambas as faces dos provetes, cinco são colocados na face exterior junto aos fluxímetros e cinco na face interior.

4.4.2. Fluxímetros

Um fluxímetro é um sensor que permite medir a fluxo de calor que atravessa um elemento. Possuem duas faces, uma vermelha e outra azul, sendo que a vermelha deve ser colocada voltada para o exterior, enquanto a face azul é colocada em contacto com o elemento. Na figura 43 estão representadas as faces do fluxímetro.



Figura 43 - Faces dos fluxímetros

Os fluxímetros são compostos por uma placa em plástico com 8cm de diâmetro e 5mm de espessura e no centro o sensor com 3,2cm de diâmetro (<http://www.hukseflux.com/>).

Os fluxímetros foram limpos e identificados através de um código numérico de 1 a 5 (“Flux 1”), a facilitando a sua identificação. Na figura 44 é apresentada a forma de identificação de um fluxímetro.

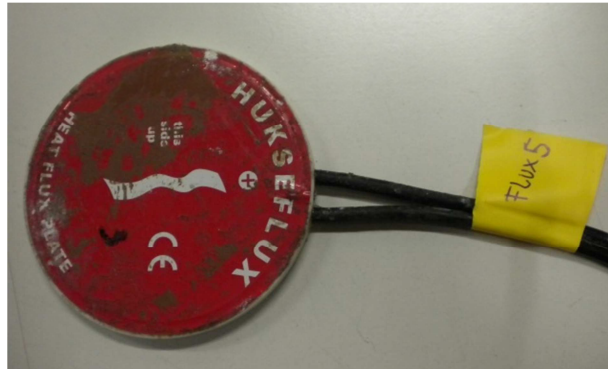


Figura 44 - Exemplo de identificação dos fluxímetros, na figura fluxímetro 5

4.4.3. Datalogger e multiplexador

O *datalogger* faz a ligação do equipamento ao computador, que juntamente com um o software adequado, permite ler e armazenar os dados registados. Neste estudo utilizou-se um *datalogger* da empresa Campbell Scientific modelo CR10-X (figura 45).

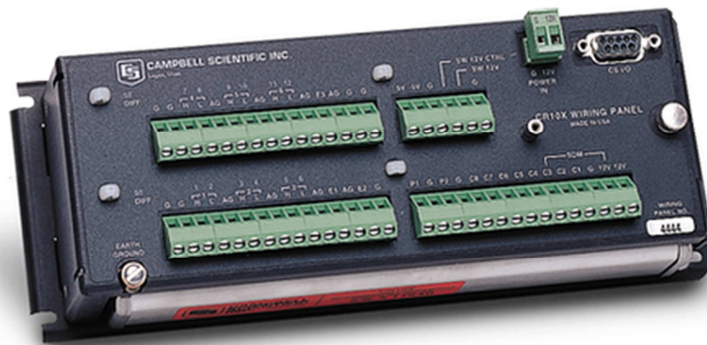


Figura 45 - Datalogger modelo CR10-X, da empresa Campbell Scientific,(
<http://www.campbellsci.com/>)

O *datalogger* modelo CR10-X possui uma capacidade de armazenamento até 62000 pontos. De forma a reduzir a possibilidade de medições incorretas, optou-se por ligar o aparelho a uma fonte de alimentação adicional. Uma vez que o *datalogger* modelo CR10-X possui apenas 6 canais de ligação, utilizou-se ainda multiplexador, modelo AM16/32, fabricado pela

empresa Campbell Scientific, que permitiu passar dos 6 canais de ligação para 16 (figura 46) (<http://www.campbellsci.com/>).



Figura 46 - Multiplexador modelo AM 16/32, da empresa Campbell Scientific, (<http://www.campbellsci.com/>)

4.4.4. Câmara termográfica

Com recurso a uma câmara termográfica foi possível verificar a estanquidade térmica entre os provetes e o pórtico. Para o efeito usou-se uma câmara termográfica modelo T400 da empresa *Flir* que garante medições até temperaturas de 1200°C com um erro máximo de 2% (Fonte: <http://www.poupenergia.com>). A figura 47 apresenta a câmara termográfica utilizada.



Figura 47 - Câmara termográfica utilizada

Devido à natureza higroscópica da madeira, a câmara termográfica teve uma utilização quase constante ao longo das várias medições de forma a verificar a estanquidade térmica entre pórtico e provetes de teste.

4.5. Medições

4.5.1. Cuidados iniciais

A fim de garantir a boa qualidade das medições experimentais é necessário verificar o funcionamento de todo o equipamento tendo cuidados adicionais na colocação dos fluxímetros nas superfícies dos provetes de teste.

4.5.1.1. Ligação dos equipamentos ao datalogger e ao multiplexador

Para que os fluxímetros e os termopares funcionem é necessário ligá-los ao *datalogger* e ao multiplexador utilizando o *software PC200*. Este *software* pertence também à mesma empresa do *datalogger* e faz parte do pacote básico de utilização do mesmo permitindo a programação e ligação do *datalogger* através do computador. A programação do *datalogger* pelo *software PC200* é bastante simples, basta escolher o equipamento que se pretende ligar e o tempo de medição. Na programação são precisos certos cuidados, principalmente na introdução dos fluxímetros, estes medem os dados em $\mu\text{V}/\text{w}/\text{m}^2$ os quais serão necessário converter em $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{C}$, para isso devem ser encontrados os fatores de multiplicação, através da aplicação da equação 13.

$$\text{Multiplicador} = \frac{1}{(\text{Valor fio}) \times 1000} \quad (13)$$

Na figura 48 está representado o valor que é necessário ler no fio do fluxímetro, de forma a ser aplicado o fator de multiplicação.



Figura 48 - Valor a ler no fio do fluxímetro

São necessários mais padrões para a programação dos fluxímetros no *software* PC200, sendo os restantes parâmetros fornecidos pelo fabricante do fluxímetro. No quadro 8 são apresentados os dados a inserir na programação dos fluxímetros através do *software* PC200.

Quadro 8 - Dados relativos às características dos fluxímetros com os valores a introduzir no *software* PC200

Fluxímetro	Valor fio ($\mu\text{V}/\text{w}/\text{m}^2$)	Offset	Integração (Hz)	Escala (mv)	Multiplicador
Flux 1	62,5	0	50	+/- 2,5	16,0000
Flux 2	61,7	0	50	+/- 2,5	16,2070
Flux 3	62,4	0	50	+/- 2,5	16,0256
Flux 4	61,3	0	50	+/- 2,5	16,3132
Flux 5	62,1	0	50	+/- 2,5	16,1031

Após a programação do *datalogger* consulta-se no *software* PC200 o esquema de ligação dos equipamentos e efetua-se as respetivas ligações.

4.5.1.2. Verificação de funcionamento do equipamento

Antes de dar início à montagem dos provetes de teste foi necessário confirmar o bom funcionamento de todo o equipamento, procedendo-se ao teste do mesmo e à familiarização com a natureza dos dados a recolher.

Foi elaborado um plano de testes de funcionamento de fluxímetros e termopares. Para os fluxímetros foram preparados 2 testes.

O primeiro teste consistiu na colocação dos fluxímetros no chão, aproximadamente no centro de cada retângulo do revestimento cerâmico do chão do laboratório, assumindo que cada retângulo de pavimento apresentava um fluxo de calor semelhante. Os valores para o fluxo de calor, foram recolhidos num intervalo de 1h, verificou-se que o fluxo de calor medido por todos os fluxímetros apresentou-se muito semelhante. A figura 49 apresenta a disposição dos fluxímetros considerada no primeiro teste de funcionamento.

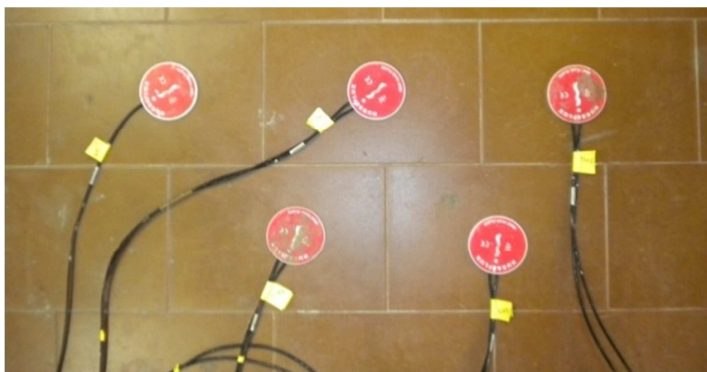


Figura 49 - Disposição dos fluxímetros no primeiro teste de funcionamento

O segundo teste funcionamento consistiu na colocação dos fluxímetros empilhados uns em cima dos outros, sendo novamente recolhidos os dados do fluxo de calor referentes a um intervalo de 1h de duração, onde se verificou que o valor do fluxo de calor medido pelos fluxímetros que neste teste era igual, o que era espectável, revelando que os mesmos estavam em boas condições podendo ser utilizados com confiança. Na figura 50 é apresentada a posição dos fluxímetros para este segundo teste.



Figura 50 - Disposição dos fluxímetros no segundo teste de funcionamento

Para verificar a funcionalidade de todos os termopares recorreu-se ao uso de um fervedor de água elétrico, procedendo-se do seguinte modo; os termopares foram ligados em simultâneo de forma a medir a temperatura ambiente, para verificar se estes mediam em pleno, foram aproximados da água quente existente no fervedor elétrico verificando-se igualmente a subida de temperatura em todos os termopares. Através deste pequeno teste podemos verificar que os termopares estavam em boas condições de utilização.

4.5.1.3. Cuidados na colocação dos fluxímetros nas superfícies dos provetes de teste

A qualidade das leituras é fortemente condicionada pela forma de colocação dos fluxímetros nos diferentes pontos de medição. Os fluxímetros são fixos aos provetes utilizando fita-cola de alumínio e, para garantir que toda a superfície do fluxímetro está em contacto com o elemento, não existindo bolhas de ar entre o fluxímetro e a superfície, usa-se pasta de dentes. A pasta de dentes permite uma ligação estanque entre a superfície do provete e a superfície do fluxímetro não alterando os valores medidos pelo mesmo.

Para a colocação de um fluxímetro na superfície do elemento primeiro espalha-se pasta de dentes uniformemente sobre a superfície do fluxímetro, conforme apresentado na figura 51.



Figura 51 - Superfície de contacto do fluxímetro envolta em pasta de dentes

No caso da colocação do fluxímetro numa junta, previamente é necessário preencher cuidadosamente a junta com pasta de dentes (ver figura 52). De seguida, envolve-se o fluxímetro com pasta de dentes garantindo que se coloca uma maior quantidade na zona central do fluxímetro de forma a garantir o preenchimento da zona de junta com pasta de dentes.



Figura 52 - Preenchimento da zona de junta com pasta de dentes

CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO TÉRMICO

A análise do comportamento térmico dos provetes inicia-se com o aumento de temperatura no interior da câmara de ensaios de forma a criar um gradiente de temperatura entre o interior e o exterior da câmara dando origem a um fluxo de calor constante e perpendicular à superfície (provetes). Para aumentar a temperatura no interior da câmara utiliza-se um aparelho de ar condicionado instalado no interior da câmara de testes.

5.1. Análise do comportamento térmico do provete 1 – tronco maciço de 16cm

O primeiro provete analisado foi o provete 1 representativo da solução construtiva em tronco maciço de 16cm de espessura. A escolha dos pontos de análise neste provete é simples, dada a existência de apenas duas singularidades: zona corrente e zona de junta. Os fluxímetros foram distribuídos de forma a cobrir o máximo de área do provete. A figura 53 apresenta o provete 1 após a colocação dos fluxímetros e respetivos termopares enquanto o quadro 9 descreve a posição dos fluxímetros.



Figura 53 - Posição dos fluxímetros e termopares para a 1ª análise.

Quadro 9 - Pontos onde foram colocados os fluxímetros no provete 1

Fluxímetro	Ponto
Flux 1	Superfície (corrente)
Flux 2	Junta
Flux 3	Junta
Flux 4	Superfície (corrente)
Flux 5	Superfície (corrente)

Foi utilizado um código de cores e de numeração ao longo de toda a medição, cada ponto medido tem uma cor distinta e os valores referentes ao fluxo de calor, resistência térmica e coeficiente de transmissão térmica são identificados, numericamente, conforme o fluxímetro que foi utilizado nessa medição. No caso do provete 1 o código de cores seguido foi a cor verde para os fluxímetros colocados em zona corrente (ponto 1) e a cor amarela para os fluxímetros colocados na zona de junta (ponto 2).

Esta distribuição permite a recolha dos dados necessários para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica na zona corrente, ficando a faltar a recolha de um intervalo de dados para a zona de junta, com essa recolha a ser feita mais tarde, através da colocação do fluxímetro 1 (Flux 1) na junta. Considera-se que o fluxo de calor se comporta do interior para o exterior, conforme apresentado na figura 54.

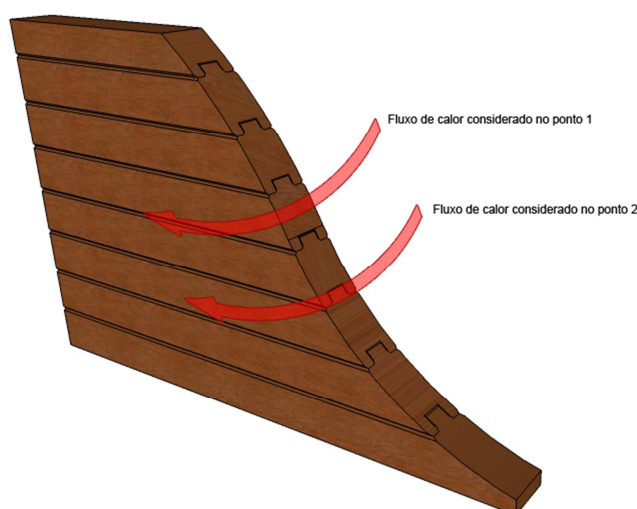


Figura 54 - Fluxo de calor considerado.

A primeira recolha de valores decorreu desde as 18h15 até as 10h00 do dia seguinte, onde foram analisados os dados verificando-se que o fluxo de calor não tinha estabilizado o

suficiente, pois apresentava um comportamento de contínuo crescimento. No gráfico 1 está representado o fluxo de calor do provete 1 na primeira medição registada, no qual é perceptível que o fluxo de calor não estava ainda estabilizado.

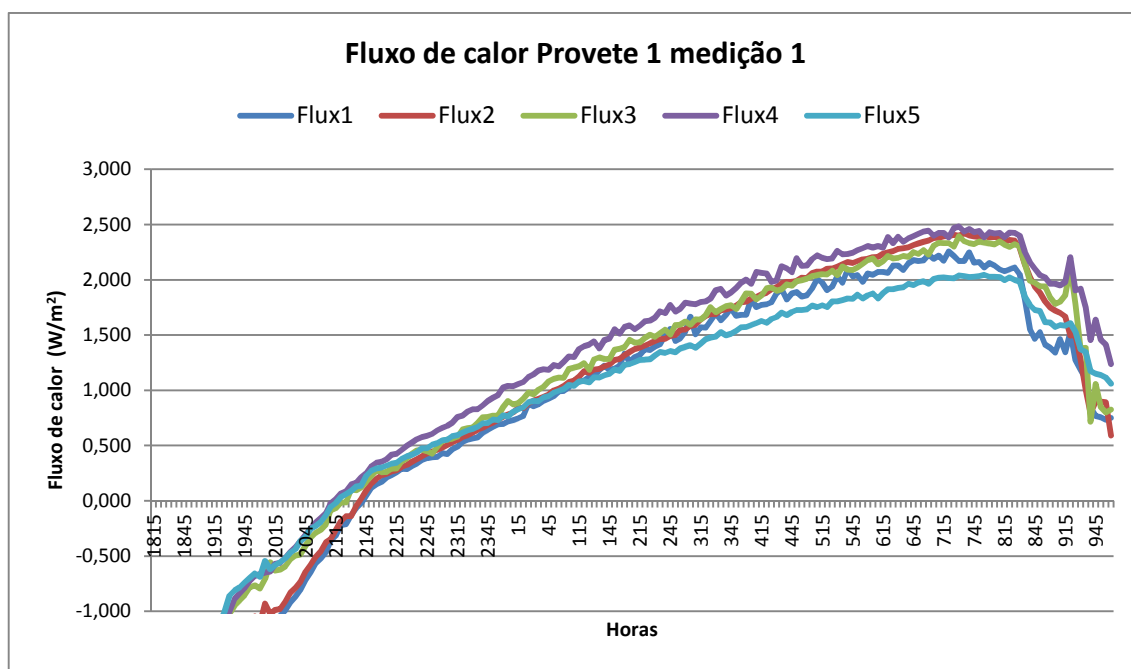


Gráfico 1 - Fluxo de calor do provete 1 medição 1.

A causa mais provável para este resultado deve-se à estabilização dos provetes à temperatura interior. O período de estabilização dos provetes teve uma duração de aproximadamente dois dias, após os quais os valores do fluxo de calor já se apresentavam estáveis e passíveis de serem utilizados. Correspondendo os pontos às zonas em questão, nomeadamente, ponto 1 correspondendo a zona corrente e ponto 2 a zona de junta, de forma a facilitar a organização dos dados recolhidos. O gráfico 2 apresenta os valores para o fluxo de calor no ponto 1, no intervalo de horas decorrente das 18h15 até as 9h45 do dia seguinte.

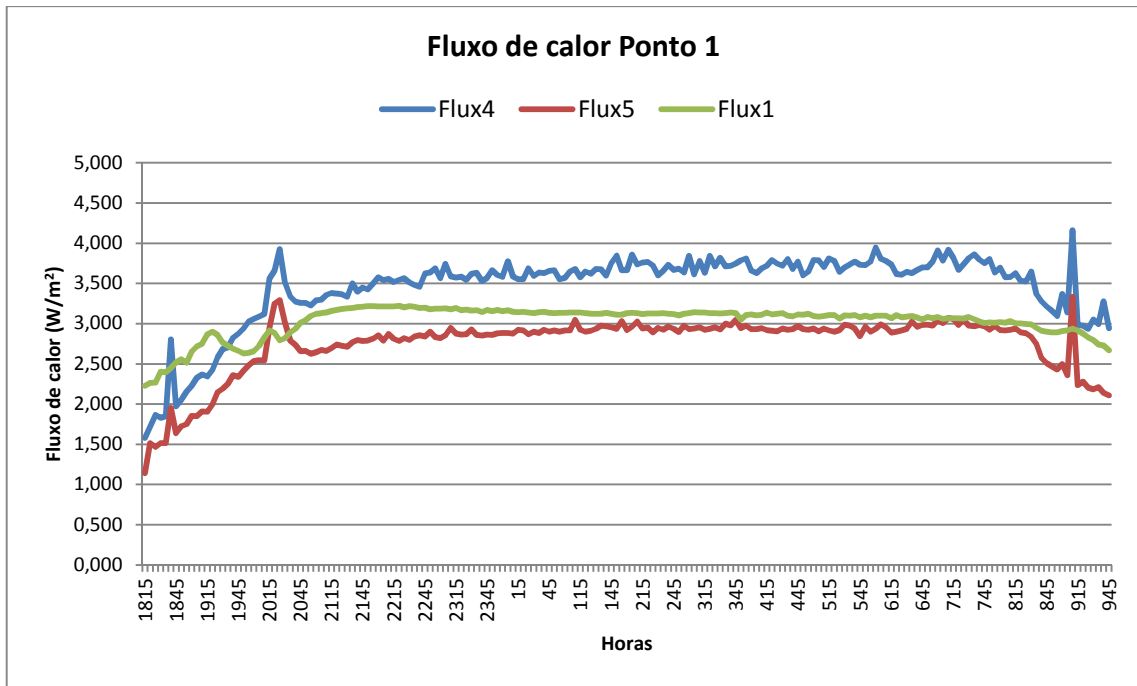


Gráfico 2 - Fluxo de calor correspondente ao ponto 1 zona corrente.

As temperaturas superficiais foram também medidas e são apresentadas no gráfico 3. Os Tp (diminutivo de termopar) numerados de Tp 1 a Tp5 referem-se aos termopares colocados na zona exterior, os restantes, numerados de Tp5 a Tp10, referem-se aos termopares colocados no interior da câmara de testes.

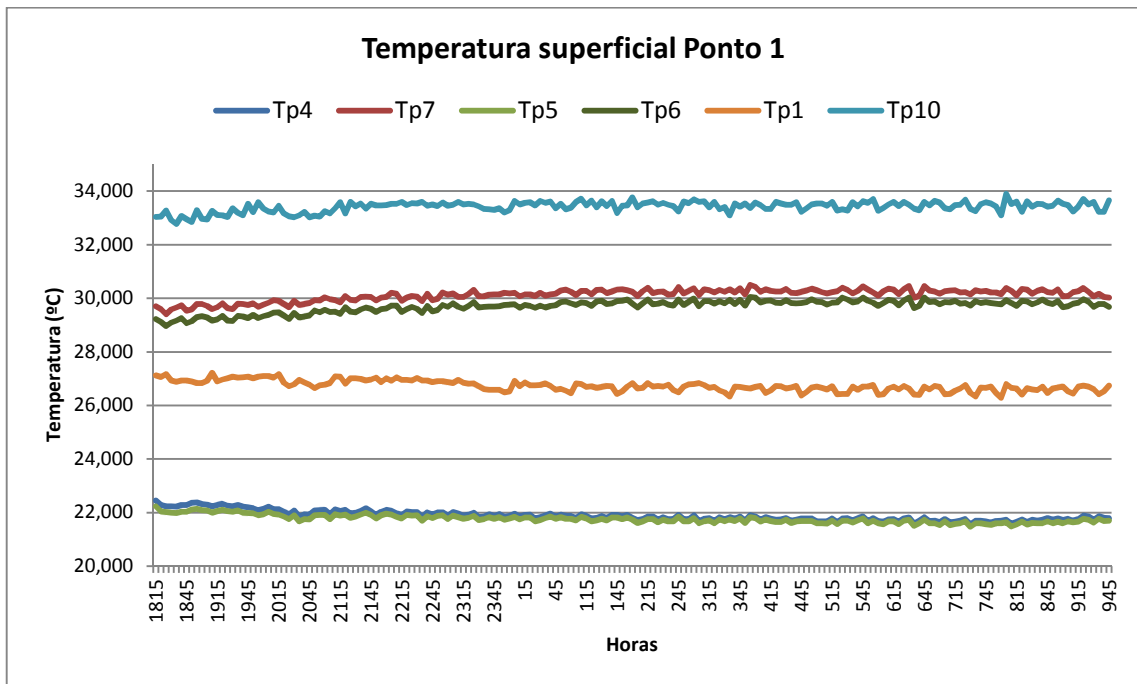


Gráfico 3 - Temperaturas superficiais interiores e exteriores.

Utilizando os valores da temperatura superficial interior e exterior é possível calcular a diferença de temperatura existente (ΔT), valor necessário para o cálculo da resistência térmica do provete.

As verificações a efetuar são as descritas na norma ASTM C1155 - 95. O quadro AII-1 (que se encontra em anexo) apresenta a verificação da variância e da convergência para o cálculo do valor da resistência térmica. No anexo I são apresentados todos os quadros referentes à verificação da resistência térmica segundo os pressupostos da norma ASTM C1155 – 95, o quadro AII-1 e o quadro AII-2 referem-se às verificações efetuadas para o provete 1.

Da análise dos resultados obtidos, expostos em detalhe no quadro AII-1, verifica-se que os valores da resistência superficial são passíveis de serem utilizados no cálculo do coeficiente de transmissão térmica através da equação 7. No quadro 10 são apresentados os valores do coeficiente de transmissão térmico (U) do provete 1 correspondente à solução construtiva tronco maciço de 16 cm de espessura onde a numeração presente U4, U5 e U1 corresponde ao número do fluxímetro utilizado para se recolher os dados referentes ao ponto 1.

Quadro 10 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico do provete 1, solução construtiva tronco maciço de 16 cm de espessura, no ponto 1.

U (W/m ² .°C)		
U4	U5	U1
0,406	0,341	0,447
0,408	0,343	0,426
0,409	0,338	0,422
0,398	0,332	0,409

Seguindo o mesmo método utilizado para o cálculo do coeficiente de transmissão térmico do ponto 1, efetua-se o cálculo do coeficiente de transmissão térmico do ponto 2, zona de junta. O gráfico 4 apresenta o valor do fluxo de calor para o ponto 2.

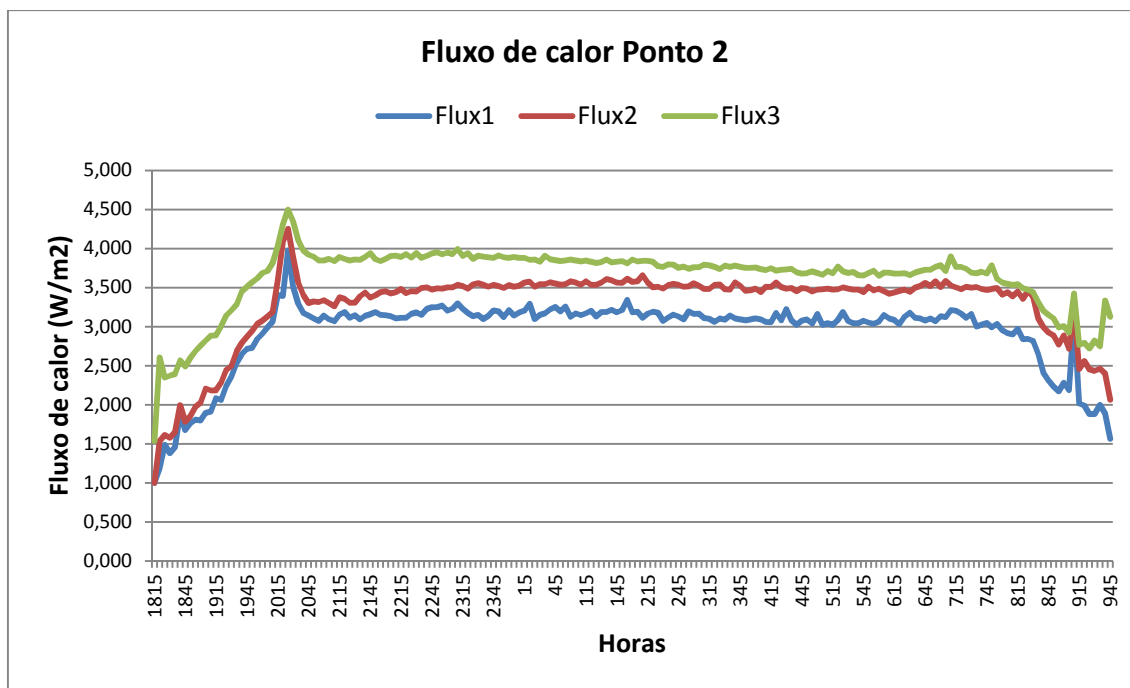


Gráfico 4 - Fluxo de calor do ponto 2 zona de junta.

Os valores para o fluxo de calor do ponto 2, zona de junta, estão bastante aproximados aos obtidos para o ponto 1, zona corrente.

No gráfico 5 são apresentados os valores das temperaturas superficiais interiores e exteriores do provete 1 no ponto 2.

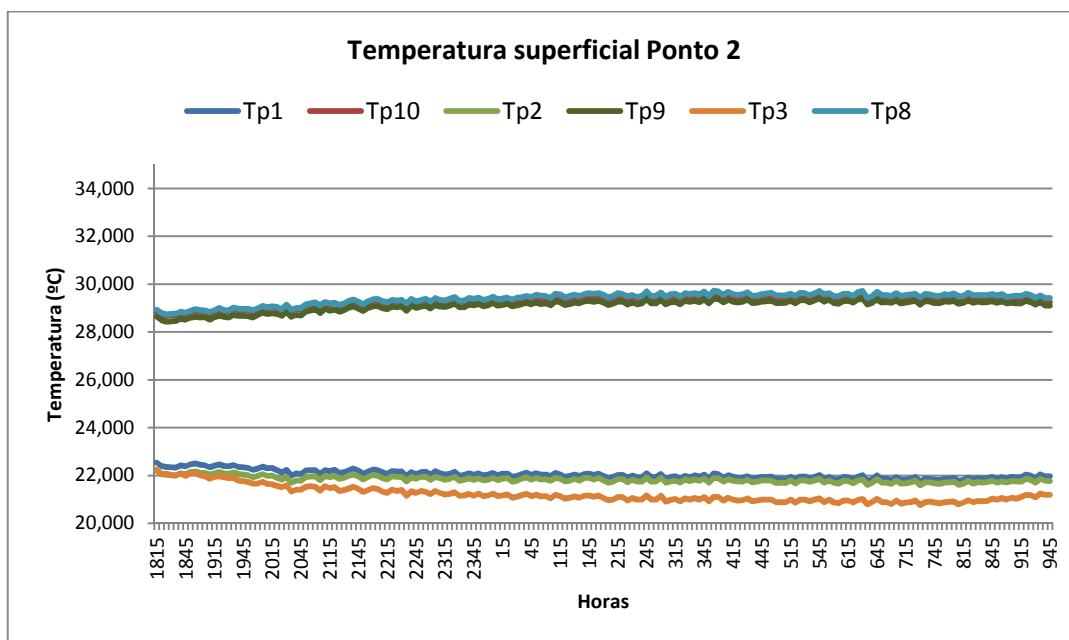


Gráfico 5 - Temperaturas superficiais interiores e exteriores do provete 1 ponto 2, zona de junta.

Através da obtenção dos valores relativos ao fluxo de calor que atravessa o provete 1 no ponto 2, e o valor das temperaturas superficiais, interior e exterior é possível o cálculo da resistência térmica superficial do provete no ponto 2. No quadro AII-2 (que se encontra em anexo) é apresentado o cálculo da resistência térmica e respetiva verificação.

Seguidamente, utilizando o valor da resistência superficial, e utilizando a equação 7, calcula-se o valor do coeficiente de transmissão térmica do provete 1 no ponto 2. No quadro 11 são apresentados os valores do cálculo do coeficiente de transmissão térmica do provete 1 no ponto 2.

Quadro 11 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do provete 1, solução construtiva tronco maciço de 16 cm de espessura, no ponto 2, zona de junta.

U (W/m ² .°C)		
U1	U2	U3
0,413	0,448	0,451
0,400	0,445	0,423
0,384	0,432	0,403
0,366	0,418	0,387

Após o cálculo dos valores do coeficiente de transmissão térmica de cada um dos pontos, procede-se ao cálculo do coeficiente de transmissão térmica do provete.

Segundo a norma ASTM C1155 - 95, o valor do coeficiente de transmissão térmica de um ponto é calculado através da média aritmética de todos os valores do coeficiente de transmissão térmica medidos no intervalo considerado.

No quadro 12 é apresentado o valor do coeficiente de transmissão térmica do ponto 1, zona corrente. O quadro 13 apresenta o valor do coeficiente de transmissão térmica do ponto 2, zona de junta, em que \bar{U} corresponde a média dos três valores do coeficiente de transmissão térmico medidos em cada ponto.

Quadro 12 - Média dos valores do coeficiente de transmissão térmica, no intervalo considerado, do provete 1 no ponto 1.

Média dos Coeficientes de transmissão térmica, provete 1 no ponto 1 (W/m ² .°C)		
0,405	0,339	0,426
\bar{U}		
0,390		

Quadro 13 - Média dos valores do coeficiente de transmissão térmica, no intervalo considerado, do provete 1 no ponto 2.

Média dos Coeficientes de transmissão térmica, provete 1 no ponto 2 (W/m ² .°C)		
0,391	0,435	0,416
\bar{U}		
0,414		

Fazendo uma rápida análise dos valores obtidos para as duas zonas em questão, verifica-se que o valor do coeficiente de transmissão térmico no ponto 1, zona corrente, é inferior ao valor calculado no ponto 2, zona de junta.

Recorrendo aos desenhos efetuados em Auto-Cad, representativos dos provetes colocados em laboratório é possível calcular a área de cada singularidade. Na figura 55 estão representadas as áreas consideradas, a verde está apresentada a área correspondente à zona corrente, ponto 1 e a amarelo está representada a área correspondente à zona de junta, ponto 2.



Figura 55 - Representação das áreas consideradas no cálculo da média ponderada para o provete 1

No quadro 14 é apresentado em maior pormenor as áreas consideradas para a zona corrente, ponto 1 do provete 1 onde L corresponde a largura e A corresponde a altura de cada tronco. Esta nomenclatura é seguida ao longo de todos os restantes quadros.

Quadro 14 - Áreas consideradas no cálculo da área correspondente a zona corrente, ponto 1.

Zona corrente					
Tronco de arranque		Tronco central		Tronco final	
L (m)	A (m)	L (m)	A (m)	L (m)	A (m)
1,965	0,150	1,965	0,145	1,965	0,113
Número de troncos		Número de troncos		Número de troncos	
1		6		1	
Área = 0,29 m ²		Área = 1,71 m ²		Área = 0,22 m ²	

No quadro 15 é apresentado em maior pormenor as áreas consideradas para a zona de junta, ponto 2 do provete 1.

Quadro 15 - Áreas consideradas no cálculo da área correspondente a zona de junta, ponto 2.

Zona de junta	
L (m)	A (m)
1,965 m	0.015,m
Número de juntas	
7	
Área = 0.20 m ²	

Como verificação somam-se todas as áreas medidas, na zona corrente e zona de junta, e o resultado final terá de ser igual à área total do provete. No quadro 16 são apresentados os cálculos referentes a essa verificação.

Quadro 16 - Verificação das áreas calculadas.

Verificação					
Área total do provete		Área total da zona corrente		Área total da zona de junta	
L (m)	A (m)				
1.965 m	1.24 m	2.24 m ²		0.20 m ²	
Área = 2.44 m ²		Somatório			
		Área = 2.42 m ²			
Diferença					
0,02m ²					

A diferença de 2 cm² não é significativa, podendo considerar-se que as áreas estão bem calculadas. Aplicando a equação 12, obtém-se o valor de 0,39 W/m².°C para o coeficiente de transmissão térmico do provete 1.

5.2. Análise do comportamento térmico do provete 2 - tronco maciço de 7cm

O provete seguinte a ser analisado é o provete 2, solução construtiva em tronco maciço de 7cm de espessura. Este provete apresenta uma maior diversidade de singularidades devido à existência de uma estrutura interior em madeira, aumentando o número de pontos a analisar... No quadro 17 é feita a correspondência entre o nome do ponto e as suas características. Os pontos são identificados por cores em cada quadro a ser utilizado, o ponto 1 é identificado pela cor vermelha, o ponto 2 é identificado pela cor amarela, o ponto 3 é identificado pela cor verde, o ponto 4 é identificado pela cor azul claro e o ponto 5 é identificado pela cor azul escura.

Quadro 17 - Correspondência dos pontos a medir com as características do provete.

Ponto	Zona exterior	Zona interior
Ponto 1	Junta	Ripado horizontal e zona corrente
Ponto 2	Junta	Ripado horizontal, ripado vertical e junta
Ponto 3	Corrente	Ripado vertical e zona corrente
Ponto 4	Corrente	Corrente
Ponto 5	Junta	Ripado horizontal, ripado vertical e zona corrente

Considera-se que o fluxo de calor comporta-se do interior para o exterior, conforme apresentado na figura 56.

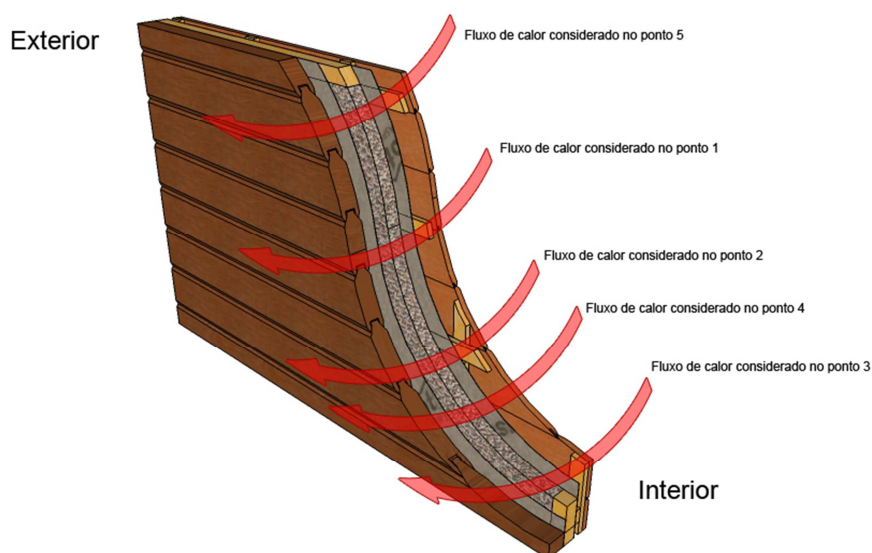


Figura 56 - Fluxo de calor considerado no provete 2

Os fluxímetros e termopares são colocados no provete seguindo todas as precauções e cuidados descritos anteriormente. Na figura 57 é apresentada a primeira medição do provete 2.



Figura 57 - Disposição dos fluxímetros no provete 2 situação 1

À semelhança do que foi efetuado no provete 1, também no provete 2 foram recolhidos os dados referentes a 3 medições diferentes em cada ponto. Para se efetuar corretamente a caracterização do coeficiente de transmissão térmico do provete é necessário distribuir os fluxímetros pelos pontos que caracterizam cada provete, recolher os dados referentes a um intervalo de tempo de 12h, e redistribuir novamente pelos pontos característicos do provete mas em novas coordenadas até um total de 3 medições diferentes. Este processo foi seguido em todos os provetes. Na figura 58 é apresentada a 2ª disposição dos fluxímetros.

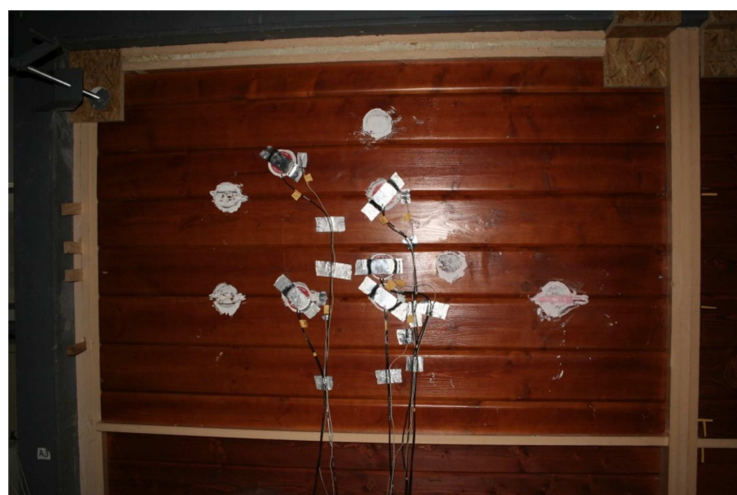


Figura 58 - 2ª disposição dos fluxímetros no provete 2

A recolha de resultados para o fluxo de calor no provete 2, revelou-se algo instável, devido à utilização, para fixação dos fluxímetros, de uma pasta de dentes, diferente da utilizada inicialmente. Esta pasta de dentes, embora de composição semelhante à utilizada anteriormente, alterava a leitura dos fluxímetros, não havendo a estabilização de valores para o fluxo de calor. Esta peculiaridade foi detetada através de um pequeno teste, que consistiu em alterar a pasta de dentes em 2 fluxímetros, fluxímetro 3 (Flux 3) e fluxímetro 5 (Flux 5) mantendo os outros 3 com a pasta de dentes anteriormente mencionada. Na análise dos dados recolhidos durante as 12 h de medição, verificou-se que os dois fluxímetros que tinham sido colocados com a pasta de dentes utilizada inicialmente (Flux 3 e Flux 5), apresentaram valores, para o fluxo de calor, estáveis, enquanto os outros três se mantiveram instáveis, apresentando um comportamento decrescente ao longo do intervalo de tempo. No gráfico 6 são apresentados os valores do fluxo de calor no teste da pasta de dentes.

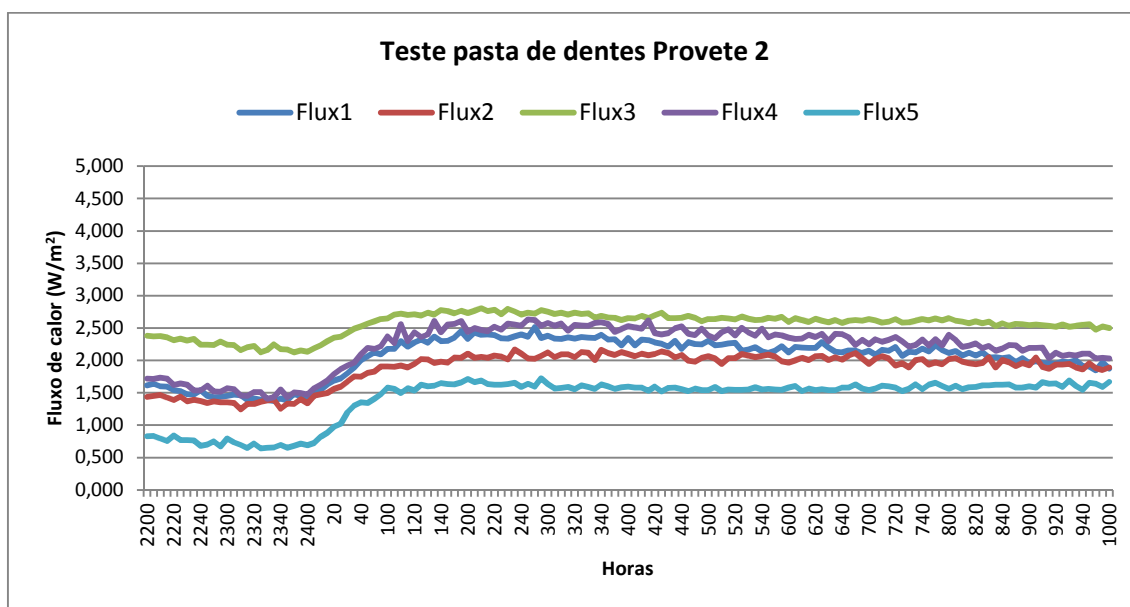


Gráfico 6 - Fluxo de calor referente ao teste da pasta de dentes utilizada no provete 2

Finalizado o teste de avaliação da pasta de dentes, procedeu-se à recolha dos dados para os pontos considerados no provete 2. A título de exemplo apresenta-se os valores do fluxo de calor medidos para o ponto 2 do provete 2 (gráfico 7).

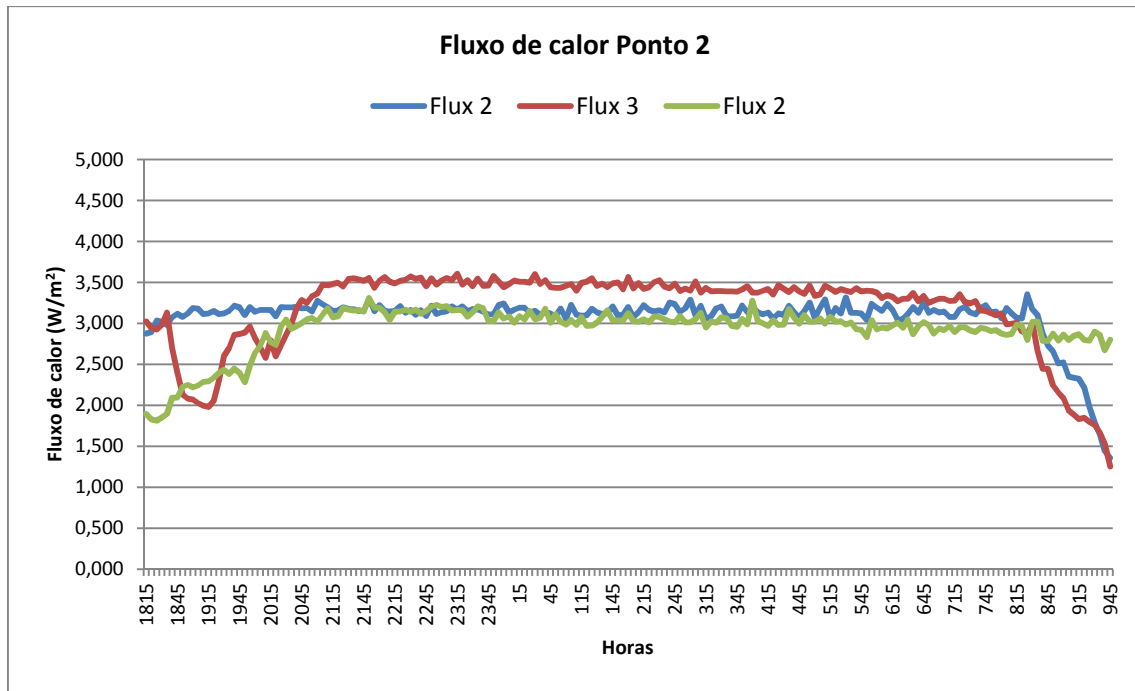


Gráfico 7 - Fluxo de calor do ponto 2, provete 2

Analisando os gráficos do fluxo de calor do provete 1 e do provete 2 no ponto 2, pode concluir-se que os valores medidos no provete foram menores que os valores registados no provete 1. No gráfico 8, são apresentados os valores das temperaturas superficiais interiores e exteriores do provete 2 no ponto 2.

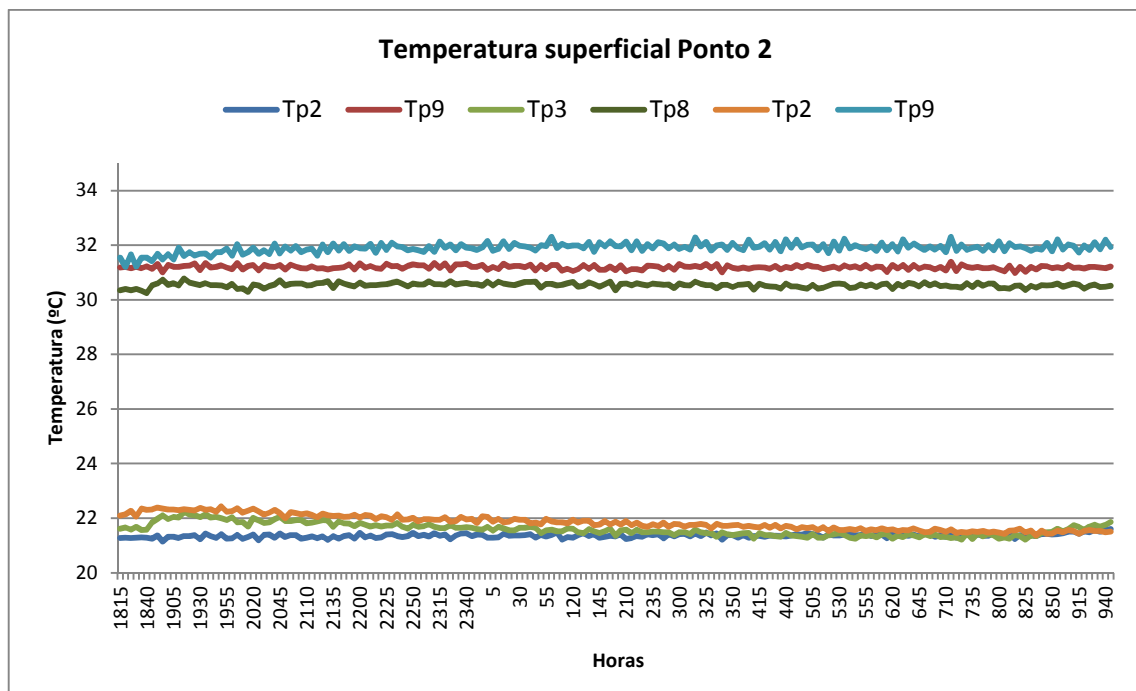


Gráfico 8 - Temperaturas superficiais interiores e exteriores do provete 2 no ponto 2

Utilizando os valores do fluxo de calor e o valor das suas respectivas temperaturas superficiais, interior e exterior efetua-se o cálculo da resistência térmica superficial do provete 2 em cada ponto considerado (aplicando a equação 8). Os quadros numerados desde quadro AII-3 a quadro AII-7 (que se encontram em anexo) são referentes ao cálculo e verificação da resistência térmica segundo os pressupostos da norma ASTM C1155 – 95, realizados para o provete 2. Utilizando o valor das resistências térmicas, calculados anteriormente, e aplicando a equação 7, calcula-se o valor do coeficiente de transmissão térmica do provete 2 em cada ponto. No quadro 18 são apresentados os valores do cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U) do provete 2 ponto 2.

Quadro 18 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do provete 2, solução construtiva tronco maciço de 7cm de espessura, no ponto 2

U (W/m ² .°C)		
U2	U3	U2
0,305	0,372	0,302
0,304	0,361	0,286
0,304	0,351	0,279
0,299	0,317	0,268

No quadro 19 são apresentados os valores do coeficiente de transmissão térmica dos 5 pontos medidos no provete 2, solução construtiva tronco maciço de 7cm de espessura.

Quadro 19 - Valores do Coeficiente de transmissão térmica dos cinco pontos considerados no provete 2

U (W/m ² .°C)								
Ponto 1			Ponto 2			Ponto 3		
U1	U4	U5	U2	U3	U2	U3	U5	U1
0,262	0,428	0,281	0,305	0,372	0,302	0,268	0,293	0,302
0,269	0,394	0,271	0,304	0,361	0,286	0,266	0,283	0,286
0,273	0,386	0,277	0,304	0,351	0,279	0,263	0,274	0,279
0,274	0,374	0,275	0,299	0,317	0,268	0,257	0,254	0,268
Ponto 4			Ponto 5					
U4	U1	U4	U5	U2	U2			
0,262	0,284	0,273	0,308	0,359	0,300			
0,263	0,275	0,253	0,310	0,346	0,278			
0,257	0,266	0,244	0,308	0,340	0,269			
0,252	0,243	0,226	0,304	0,309	0,247			

No quadro 20, é apresentado o valor do coeficiente de transmissão térmica de cada ponto considerado no provete 2, em que \bar{U} corresponde à média dos três valores do coeficiente de transmissão térmica medidos em cada ponto.

Quadro 20 - Média aritmética dos coeficientes de transmissão térmica do provete 2

Média dos Coeficientes de transmissão térmico do provete 2 (W/m ² .°C)								
Ponto 1			Ponto 2			Ponto 3		
U1	U4	U5	U2	U3	U2	U3	U5	U1
0,269	0,396	0,276	0,303	0,350	0,284	0,263	0,276	0,284
\bar{U}			\bar{U}			\bar{U}		
0,314			0,312			0,274		
Ponto 4			Ponto 5					
U4	U1	U4	U5	U2	U2			
0,259	0,267	0,249	0,307	0,339	0,273			
\bar{U}			\bar{U}					
0,258			0,306					

Recorrendo aos desenhos efetuados em Auto-Cad, é calculada a área de influência de cada singularidade. Na figura 59 estão representadas as áreas consideradas, em que a vermelho está representada a área correspondente ao ponto 1, a amarelo está representada a área correspondente ao ponto 2, a verde está representada a área correspondente ao ponto 3, a azul claro está representada a área correspondente ao ponto 4 e a azul-escuro está representada a área correspondente ao ponto 5. A esta distribuição de áreas dá-se o nome de A1.

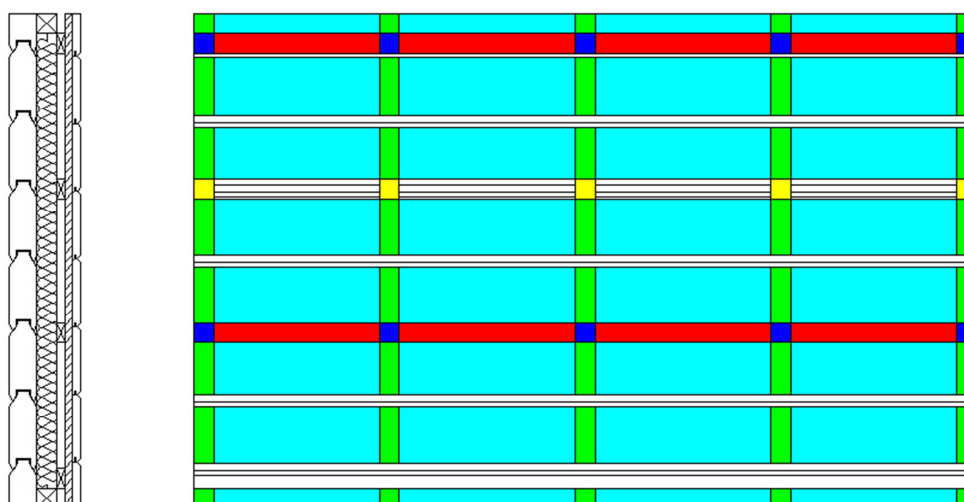


Figura 59 - Distribuição de áreas A1 do provete 2

No quadro 21 são apresentadas as áreas totais referentes a cada singularidade consideradas na distribuição A1.

Quadro 21 - Áreas totais referentes a cada singularidade com a distribuição A1

Distribuição de áreas A1 (m ²)				
Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
0,17	0,01	0,23	1,60	0,03

Analisando a figura 59 é possível verificar que existem áreas que não foram consideradas na distribuição A1, ou seja não foi coberta toda a área efetiva do provete. No quadro 22 é efetuado o somatório das áreas consideradas de cada singularidade e respectiva diferença relativamente à área total do provete.

Quadro 22 - Verificação das áreas consideradas na distribuição A1

Verificação de áreas das singularidades do provete 2 distribuição A1						
Área total do provete		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
L (m)	A (m)	0,17m ²	0,01m ²	0,23m ²	1,60m ²	0,03m ²
1,965	1,24	Somatório				
Área = 2,44 m ²		Área = 2,04m ²				
Diferença						
0,40m ²						

Através da reorganização das áreas de cada ponto é possível calcular toda a área efetiva do provete. Na figura 60 está representada a nova distribuição das áreas para o cálculo da média ponderada, com a mesma referência de cores da figura anterior. Esta distribuição de áreas tem o nome de A2.

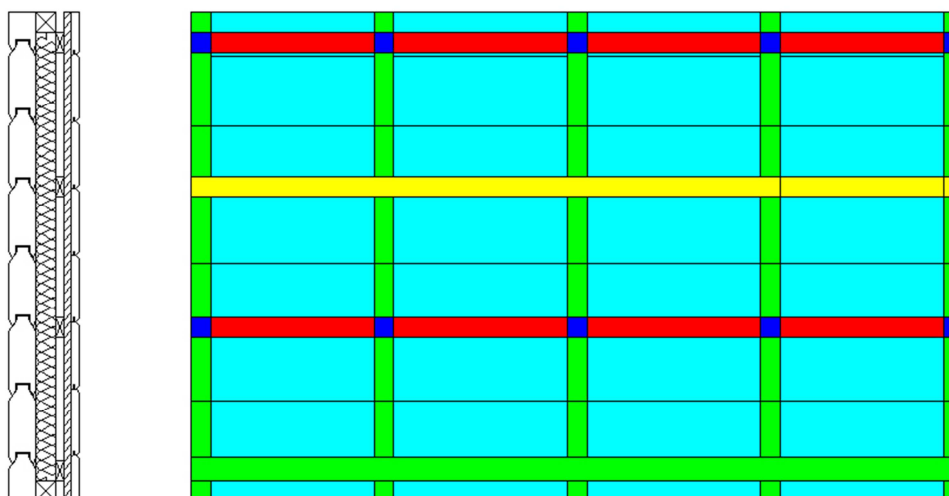


Figura 60 - Distribuição de áreas A2 do provete 2

No quadro 23 são apresentadas as áreas referentes a cada singularidade desta nova distribuição.

Quadro 23 - Áreas referentes a cada singularidade na distribuição de áreas A2

Distribuição de áreas A2 (m ²)				
Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
0,17	0,10	0,38	1,77	0,03

No quadro 24 é efetuado o somatório das áreas consideradas de cada singularidade e comparação com a área total do provete.

Quadro 24 - Verificação das áreas consideradas na distribuição A2

Verificação de áreas das singularidades do provete 2 distribuição A1						
Área total do provete		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
L (m)	A (m)	0,17m ²	0,10m ²	0,38m ²	1,77m ²	0,03m ²
1,965m	1,24m	Somatório				
Área = 2,44m ²		Área = 2,44m ²				
Diferença						
0,00m ²						

As duas distribuições de áreas obrigam ao cálculo de dois coeficientes de transmissão térmica, a fim de se verificar a existência de diferenças devido às áreas em falta e se a distribuição dos pontos escolhidos caracteriza corretamente o comportamento térmico do provete.

Utilizando a equação 12, para o cálculo da média ponderada, com as duas distribuições de áreas, obtivemos o valor do coeficiente de transmissão térmica para a distribuição de áreas A1 de 0,266 W/m².°C, e para a distribuição de áreas A2 de 0,268 W/m².°C. Registrando uma diferença de 0,7% pode concluir-se que não existem diferenças no coeficiente de transmissão térmico entre a distribuição de áreas A1 e A2, e que os pontos escolhidos para medição do coeficiente de transmissão térmica do provete 2 caracterizam corretamente o comportamento térmico do provete.

5.3. Análise do comportamento térmico do provete 3 - tronco maciço de 12 cm

O provete seguinte a ser analisado é o provete 3, solução construtiva em tronco maciço de 12 cm de espessura. Devido à complexidade da sua composição o número de pontos a analisar é novamente cinco. No quadro 25 é realizada a correspondência entre o nome do ponto e as suas características. Os pontos são identificados com as seguintes cores, o ponto 1 é identificado pela cor vermelha, o ponto 2 é identificado pela cor amarela, o ponto 3 é identificado pela cor verde, o ponto 4 é identificado pela cor azul claro e o ponto 5 é identificado pela cor azul escura.

Quadro 25 - Correspondência dos pontos a medir com as características do provete

Ponto	Zona exterior	Zona interior
Ponto 1	Ripado horizontal, ripado vertical e zona corrente	Zona corrente
Ponto 2	Ripado horizontal, ripado vertical e junta	Junta
Ponto 3	Ripado vertical e zona corrente	Zona corrente
Ponto 4	Corrente	Zona corrente
Ponto 5	Ripado horizontal e zona corrente	Zona corrente

De uma forma simples o comportamento do fluxo de calor que atravessa o elemento construtivo é o considerado na figura 61.

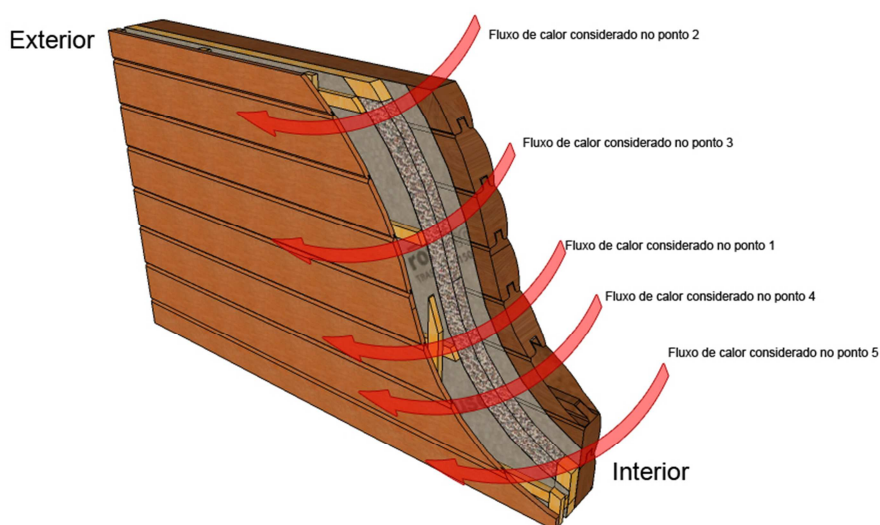


Figura 61 - Fluxo de calor considerado que atravessa o provete 3

Efetutando os mesmos processos elaborados anteriormente procede-se a recolha de dados referentes a 3 medições diferentes. Na figura 62 está representada a 1ª disposição dos fluxímetros.

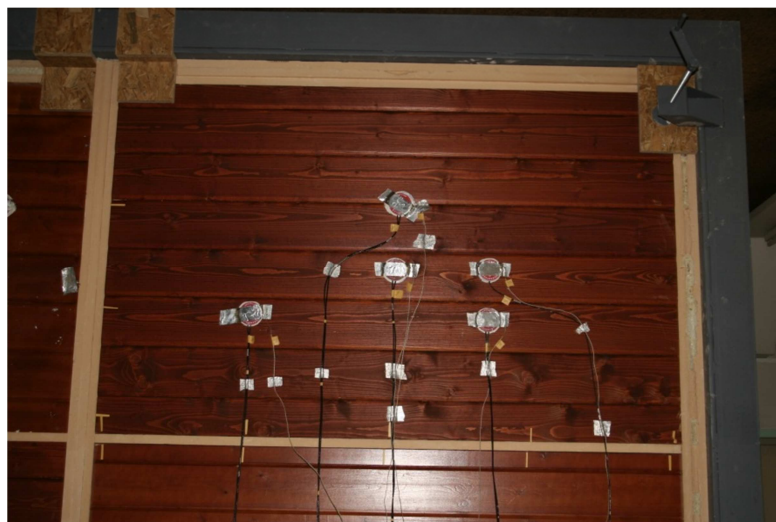


Figura 62 - 1ª disposição dos fluxímetros no provete 3

Os dados do fluxo de calor apresentam uma variação inicial maior que o normal, devido a uma pequena inundação no laboratório mas estabilizam rapidamente podendo os valores serem utilizados. A humidade relativa do ar aumentou significativamente, refletindo-se nos valores do fluxo de calor que atravessa o elemento. No gráfico 9 é apresentada a variação da humidade relativa referente a inundação no laboratório.

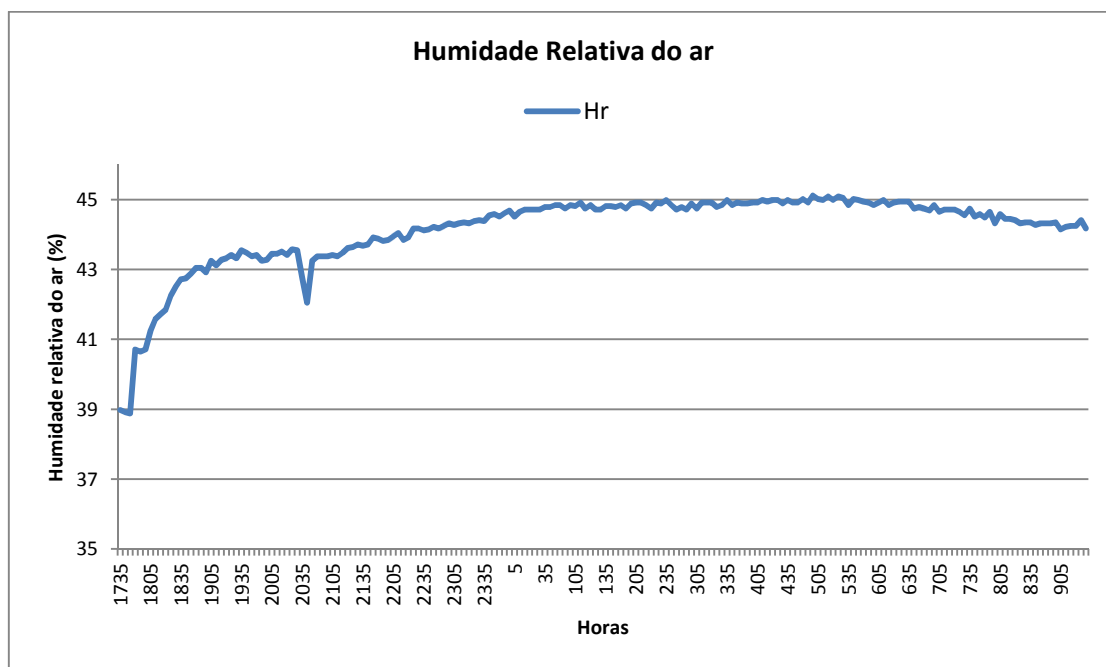


Gráfico 9 - Humidade relativa do ar durante a inundação

A recolha de dados seguiu todos os pressupostos anteriormente descritos. Os dados para o fluxo de calor recolhidos para o ponto 1 são apresentados no gráfico 10.

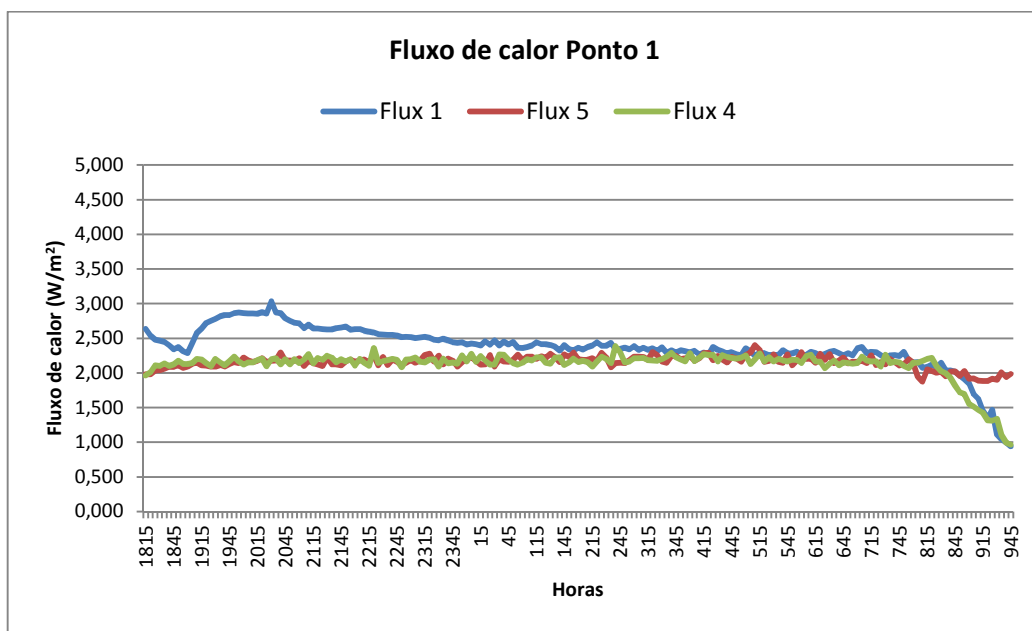


Gráfico 10 - Fluxo de calor medido no ponto 1 do provete 3

A variação do fluxo de calor referente a 1ª distribuição dos fluxímetros é perfeitamente visível, o fluxo de calor medido pelo flux 1, apresenta um comportamento bastante oscilante no início e com o decorrer do tempo vai estabilizando em valores próximos aos medidos nas outras distribuições de pontos. No gráfico 11, são apresentados os valores das temperaturas superficiais interiores e exteriores do provete 3 no ponto 1.

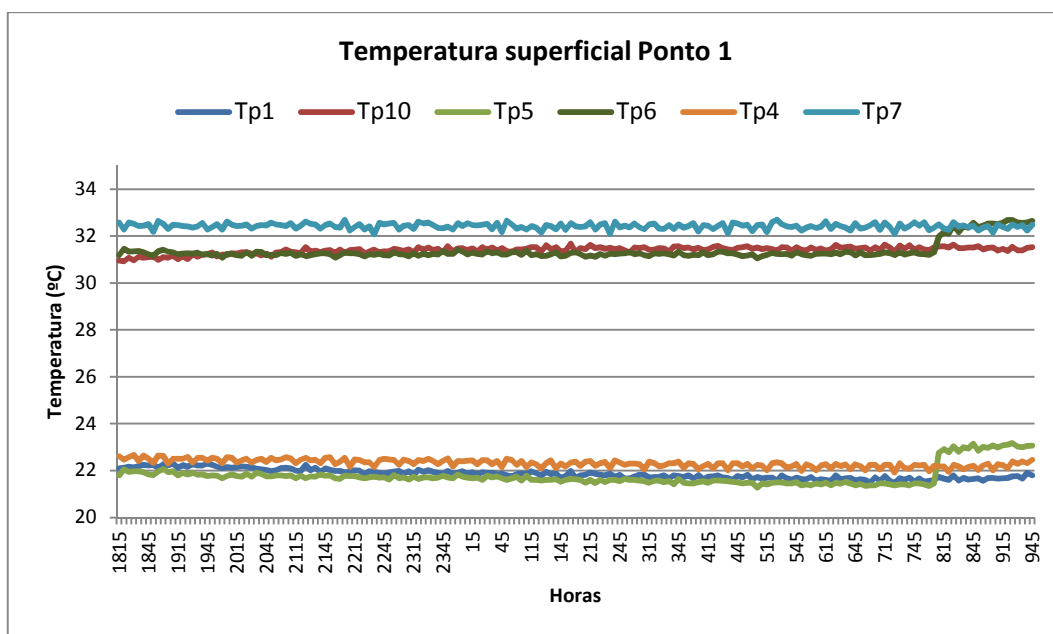


Gráfico 11 - Temperaturas superficiais interiores e exteriores no ponto 1 do provete 3

Utilizando os valores do fluxo de calor e o valor das suas respectivas temperaturas superficiais, interior e exterior efetua-se o cálculo resistência térmica superficial do provete em cada ponto (aplicando a equação 8). Os quadros numerados desde quadro AII-8 a quadro AII-12 (que se encontram em anexo) são referentes ao cálculo e verificação da resistência térmica segundo os pressupostos da norma ASTM C1155 – 95, realizados para o provete 3

Utilizando a equação 7, calcula-se o valor do coeficiente de transmissão térmico do provete 3, em cada ponto. No quadro 26 são apresentados os valores do coeficiente de transmissão térmico (U) dos 5 pontos considerados no provete 3, solução construtiva tronco maciço de 12 cm de espessura.

Quadro 26 - Coeficiente de transmissão térmico dos 5 pontos medidos no provete 3, solução construtiva tronco maciço de 12cm de espessura

U (W/m ² .°C)								
Ponto 1			Ponto 2			Ponto 3		
U1	U5	U4	U2	U1	U5	U3	U2	U3
0,260	0,220	0,210	0,327	0,210	0,338	0,266	0,169	0,206
0,239	0,220	0,209	0,275	0,217	0,339	0,243	0,171	0,210
0,227	0,220	0,209	0,253	0,226	0,339	0,230	0,172	0,213
0,215	0,211	0,198	0,231	0,221	0,320	0,214	0,165	0,202
Ponto 4			Ponto 5					
U4	U3	U1	U5	U4	U2			
0,246	0,194	0,198	0,252	0,175	0,164			
0,216	0,195	0,201	0,228	0,177	0,165			
0,202	0,196	0,204	0,217	0,175	0,167			
0,187	0,191	0,194	0,204	0,167	0,156			

No quadro 27 é apresentado o valor do coeficiente de transmissão térmico de todos os pontos considerados no provete 3 em que \bar{U} corresponde a média dos três valores do coeficiente de transmissão térmico medidos em cada ponto.

Quadro 27 - Média aritmética dos coeficientes de transmissão térmica do provete 3

Média aritmética dos coeficientes de transmissão térmica do provete 3 (W/m ² .°C)								
Ponto 1			Ponto 2			Ponto 3		
U1	U4	U5	U2	U1	U5	U3	U2	U3
0,235	0,218	0,206	0,271	0,219	0,334	0,238	0,169	0,208
\bar{U}			\bar{U}			\bar{U}		
0,220			0,275			0,205		
Ponto 4			Ponto 5					
U4	U3	U1	U5	U4	U2			
0,213	0,194	0,200	0,225	0,174	0,163			
\bar{U}			\bar{U}					
0,202			0,187					

Recorrendo aos desenhos de Auto-Cad, calcula-se a área de influência de cada singularidade. Na figura 63 estão representadas as áreas consideradas, em que a vermelho está representada a área correspondente ao ponto 1, a amarelo está representada a área correspondente ao ponto 2, a verde está representada a área correspondente ao ponto 3, a azul claro está representada a área correspondente ao ponto 4 e a azul-escuro está representada a área correspondente ao ponto 5. A esta distribuição de áreas dá-se o nome de A1.

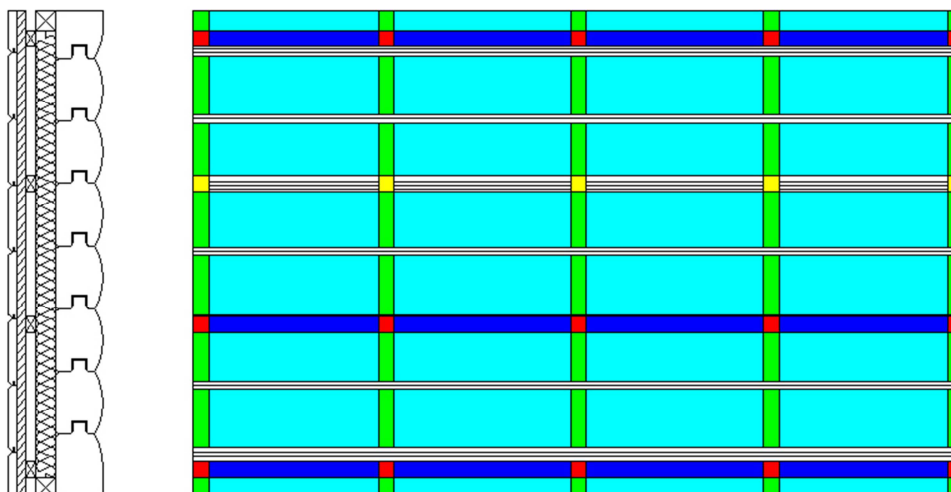


Figura 63 - Distribuição de áreas A1 para o provete 3

Assim, no quadro 28 são apresentadas as áreas totais referentes a cada singularidade consideradas na distribuição A1.

Quadro 28 - Áreas totais referentes a cada singularidade com a distribuição A1

Distribuição de áreas A1 (m ²)				
Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
0,02	0,01	0,19	1,69	0,21

O somatório das áreas consideradas na distribuição A1 não cobre toda a área efetiva do provete. No quadro 29 é efetuado o somatório das áreas consideradas de cada singularidade sendo comparando, este somatório, com a área total do provete de forma a ser verificado qual a área em falta das singularidades que não foram medidas.

Quadro 29 - Verificação das áreas consideradas na distribuição A1

Verificação de áreas das singularidades do provete 3 distribuição A1						
Área total do provete		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
L (m)	A (m)	0,02m ²	0,01m ²	0,19m ²	1,69m ²	0,21m ²
1,965 m	1,24 m	Somatório				
Área = 2,44 m ²		Área = 2,12m ²				
Diferença						
0,32m ²						

Reorganizando a distribuição das áreas de cada ponto de forma a incluir as zonas não medidas, é obtida a figura 64, onde se representa a nova distribuição das áreas para o cálculo da média ponderada, com a mesma referência de cores da figura anterior. Esta distribuição de áreas tem o nome de A2.

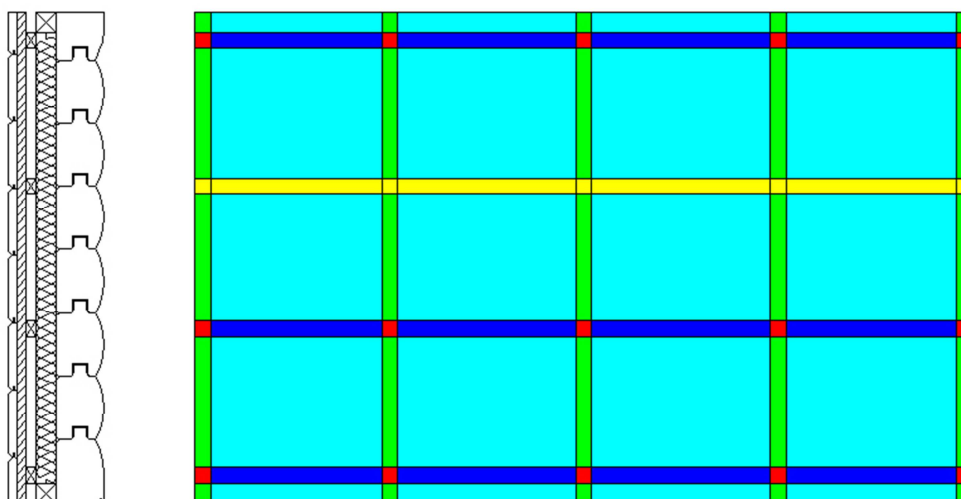


Figura 64 - Distribuição de áreas A2, para o provete 3

No quadro 30 é efetuado o somatório das áreas consideradas de cada singularidade e comparação com a área total do provete.

Quadro 30 - Verificação das áreas consideradas na distribuição A2

Verificação de áreas das singularidades do provete 3 distribuição A2						
Área total do provete		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
L (m)	A (m)	0,02m ²	0,08m ²	0,22m ²	1,91m ²	0,21m ²
1,965m	1,24m	Somatório				
Área = 2.44m ²		Área = 2.44m ²				
Diferença						
0.00m ²						

Aplicando a equação 12, para o cálculo da média ponderada, as duas distribuições de áreas, obtemos o valor do coeficiente térmico para a distribuição de áreas A1 0,20 W/m².°C de e para a distribuição de áreas A2, de 0,204 W/m².°C. A diferença entre coeficientes de transmissão térmica entre a distribuição de áreas A1 e A2 é de 1,55%. Valor que permite concluir que os pontos escolhidos para medição do coeficiente de transmissão térmico do provete 3 caracterizam corretamente o comportamento térmico do provete.

5.4. Análise do comportamento térmico do provete 4 - Clóvis

O provete seguinte a ser analisado é o provete 4, solução construtiva Clóvis. A análise será novamente sobre 5 singularidades do provete. No quadro 31 realiza-se a correspondência entre a numeração do ponto e as suas características. Os pontos são identificados com as seguintes cores, o ponto 1 é identificado pela cor vermelha, o ponto 2 é identificado pela cor amarela, o ponto 3 é identificado pela cor verde, o ponto 4 é identificado pela cor azul claro e o ponto 5 é identificado pela cor azul escura.

Quadro 31 - Correspondência dos pontos a medir com as características do provete

Ponto	Zona exterior	Zona interior
Ponto 1	Ripado horizontal, ripado vertical e zona corrente	Zona corrente
Ponto 2	Ripado horizontal, ripado vertical e junta	Zona corrente
Ponto 3	Ripado vertical e zona corrente	Zona corrente
Ponto 4	Ripado horizontal e junta	Zona corrente
Ponto 5	Zona corrente	Zona corrente

De uma forma simples o comportamento do fluxo de calor que atravessa o elemento construtivo é o considerado na figura 65.

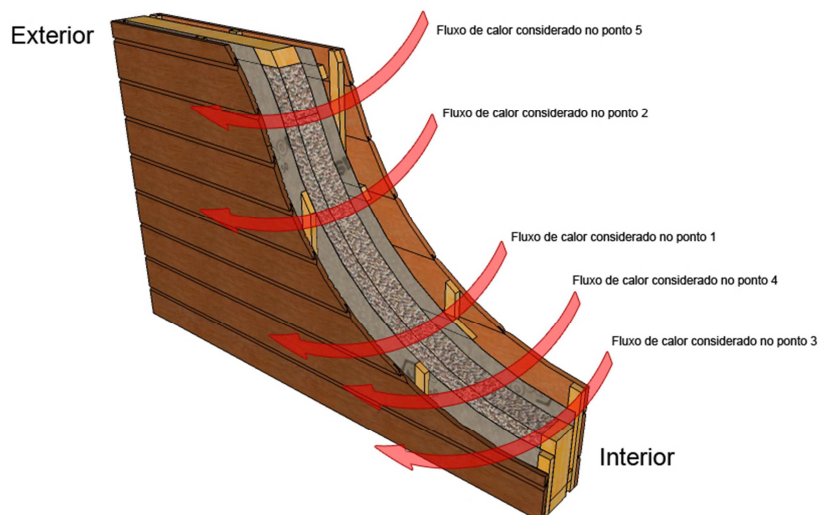


Figura 65 - Fluxo de calor considerado que atravessa o provete 4

Na figura 66 está representada a 1ª disposição dos fluxímetros.



Figura 66 - 1ª disposição dos fluxímetros no provete 4

No gráfico 12 é apresentado o fluxo de calor medido nas 3 situações de medição, para o ponto 2 do provete 4.

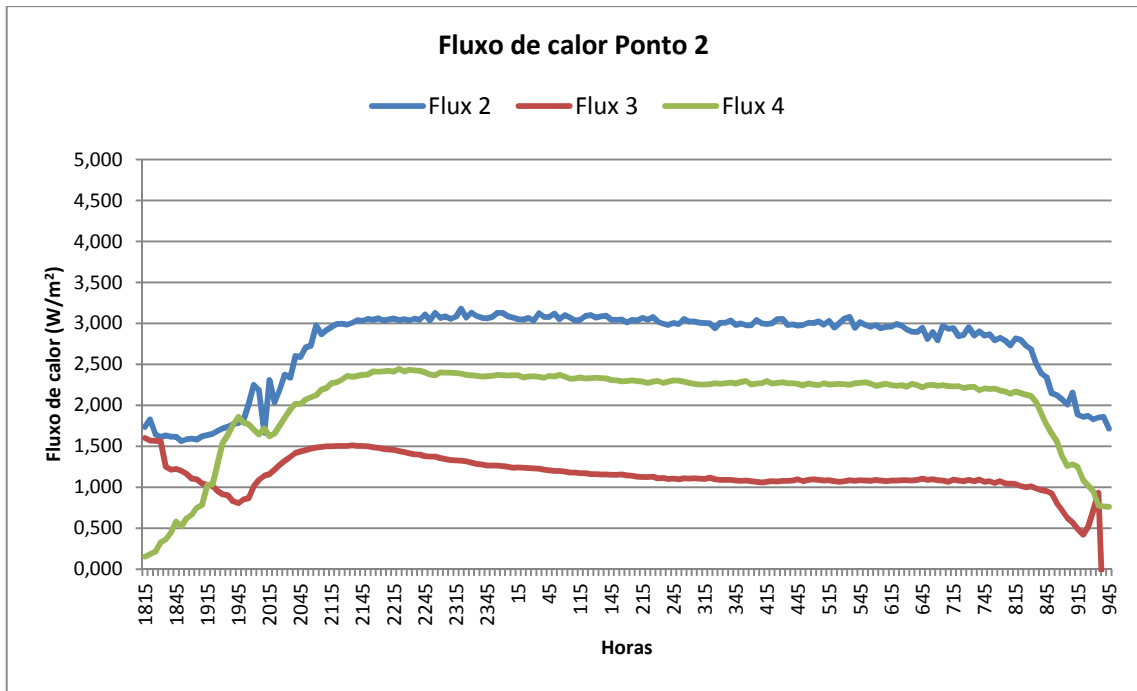


Gráfico 12 - Fluxo de calor recolhido nas 3 situações de medição, no ponto 2 do provete 4

O gráfico 13 representa os valores das temperaturas superficiais interiores e exteriores do provete 4 no ponto 2.

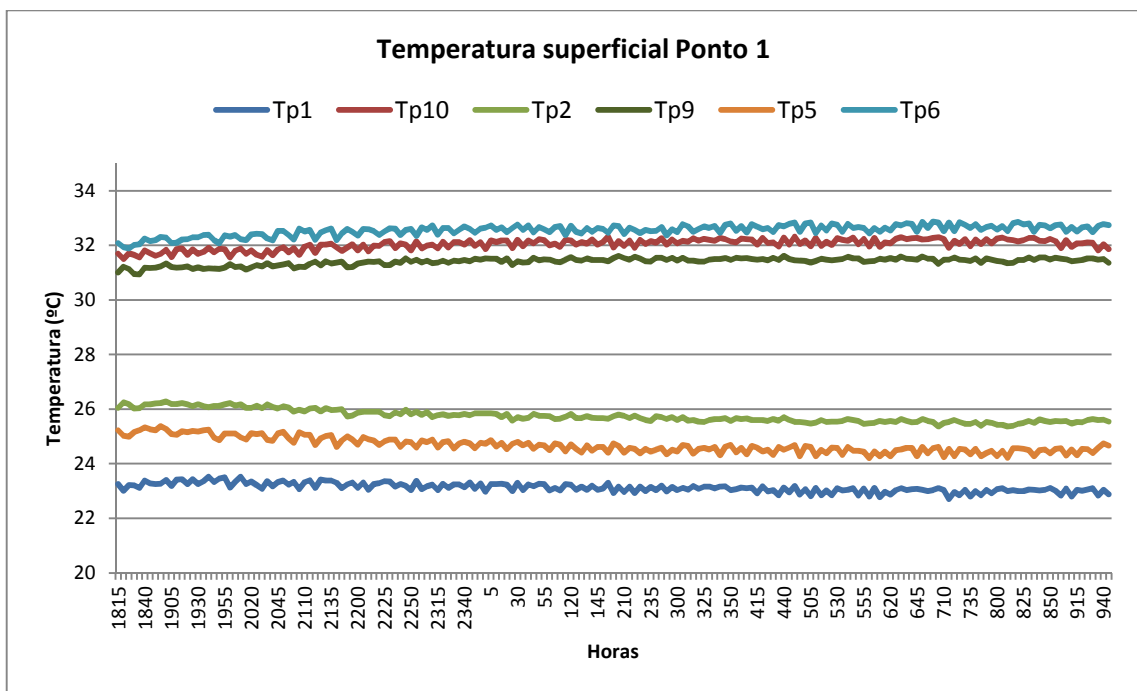


Gráfico 13 - Temperaturas superficiais interiores e exteriores recolhidas nas 3 situações de medição, no ponto 2 do provete

Recorrendo os valores do fluxo de calor e aos valores das temperaturas superficiais interiores e exteriores efetua-se o cálculo da resistência térmica superficial do provete 4 em cada ponto, utilizando a equação 8. Os quadros numerados desde quadro AII-13 a quadro AII-17 (que se encontram em anexo) são referentes ao cálculo e verificação da resistência térmica segundo os pressupostos da norma ASTM C1155 – 95, realizados para o provete 4.

Utiliza-se a equação 7, para calcular o valor do coeficiente de transmissão térmica do provete 4 em cada ponto de medição. No quadro 32 são apresentados os valores do coeficiente de transmissão térmica (U) dos 5 pontos considerados no provete 4, solução construtiva Clóvis.

Quadro 32 - Coeficiente de transmissão térmico dos 5 pontos medidos no provete 4, solução construtiva sistema Clóvis

U (W/m ² .°C)								
Ponto 1			Ponto 2			Ponto 3		
U1	U5	U4	U2	U1	U5	U3	U5	U2
0,295	0,232	0,227	0,338	0,260	0,273	0,297	0,228	0,243
0,278	0,209	0,211	0,332	0,207	0,264	0,288	0,192	0,233
0,272	0,198	0,201	0,322	0,188	0,253	0,281	0,181	0,225
0,248	0,193	0,187	0,297	0,179	0,237	0,260	0,174	0,213
Ponto 4			Ponto 5					
U4	U1	U3	U5	U4	U1			
0,272	0,187	0,244	0,236	0,235	0,207			
0,253	0,138	0,217	0,222	0,188	0,193			
0,237	0,122	0,201	0,215	0,173	0,182			
0,211	0,114	0,182	0,193	0,164	0,169			

O valor do coeficiente de transmissão térmica de um ponto é calculado através da média aritmética de todos os valores do coeficiente de transmissão térmica medidos em cada ponto. No quadro 33, é apresentado o valor do coeficiente de transmissão térmica de todos os pontos medidos no provete 4 em que \bar{U} corresponde a média dos três valores do coeficiente de transmissão térmico medidos em cada ponto.

Quadro 33 - Média aritmética dos coeficientes de transmissão térmica do provete 4

Média aritmética dos coeficientes de transmissão térmica do provete 4 (W/m ² .°C)								
Ponto 1			Ponto 2			Ponto 3		
U1	U5	U4	U2	U1	U5	U3	U5	U2
0,273	0,208	0,207	0,322	0,209	0,257	0,282	0,193	0,229
\bar{U}			\bar{U}			\bar{U}		
0,229			0,263			0,235		
Ponto 4			Ponto 5					
U4	U1	U3	U5	U4	U1			
0,254	0,140	0,211	0,216	0,190	0,188			
\bar{U}			\bar{U}					
0,198			0,198					

A utilização dos desenhos elaborados em Auto-Cad revela-se uma mais-valia no cálculo da área de influência de cada singularidade, principalmente neste provete, devido ao elevado número de singularidades.

Na figura 67 estão representadas as áreas consideradas, em que a vermelho está representada a área correspondente ao ponto 1, a amarelo está representada a área correspondente ao ponto 2, a verde está representada a área correspondente ao ponto 3, a azul claro está representada a área correspondente ao ponto 4 e a azul-escuro está representada a área correspondente ao ponto 5. A esta distribuição de áreas dá-se o nome de A1.

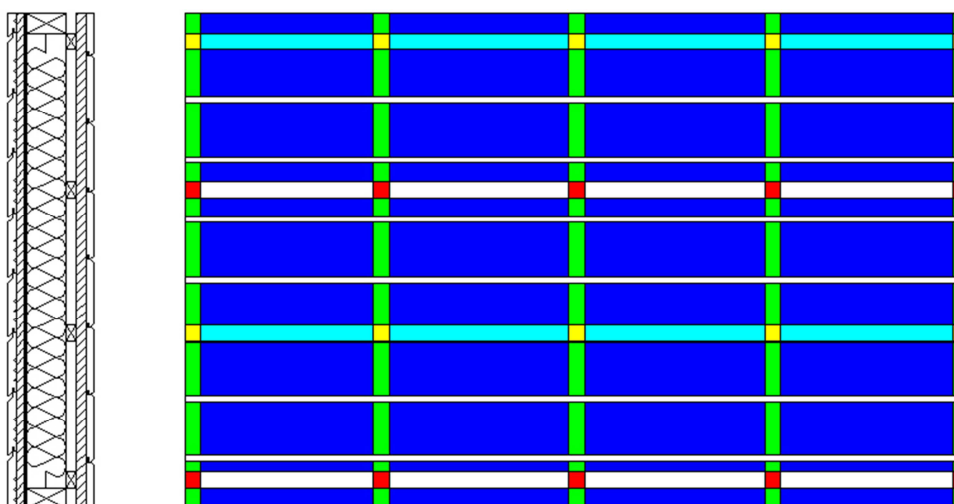


Figura 67 - Distribuição de áreas A1 no provete 4

No quadro 34 estão apresentadas as áreas totais referentes a cada singularidade consideradas na distribuição A1.

Quadro 34 - Áreas totais referentes a cada singularidade com a distribuição A1, do provete 4

Distribuição de áreas A1 no provete 4 (m ²)				
Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
0,02	0,02	0,20	0,14	2,00

No quadro 35 é efetuado o somatório das áreas consideradas de cada singularidade e comparação com a área total do provete de forma a ser verificado qual a área em falta das singularidades que não foram medidas.

Quadro 35 - Verificação das áreas consideradas no provete 4 para a distribuição A1

Verificação de áreas das singularidades do provete 4 distribuição A1						
Área total do provete		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
L (m)	A (m)	0,02m ²	0,02m ²	0,20m ²	0,14m ²	2,00m ²
1,965 m	1,240 m	Somatório				
Área = 2,44 m ²		Área = 2,38m ²				
Diferença						
0,06m ²						

Como se pode observar na tabela anterior a área efetiva do provete não é totalmente coberta, apresentando uma diferença de 0,06m².

Reorganizando a distribuição das áreas de cada ponto de forma a incluir as zonas não medidas, é obtida a figura 68 onde se representa a nova distribuição das áreas para o cálculo da média ponderada, com a mesma referência de cores da figura anterior. Esta distribuição de áreas tem o nome de A2.

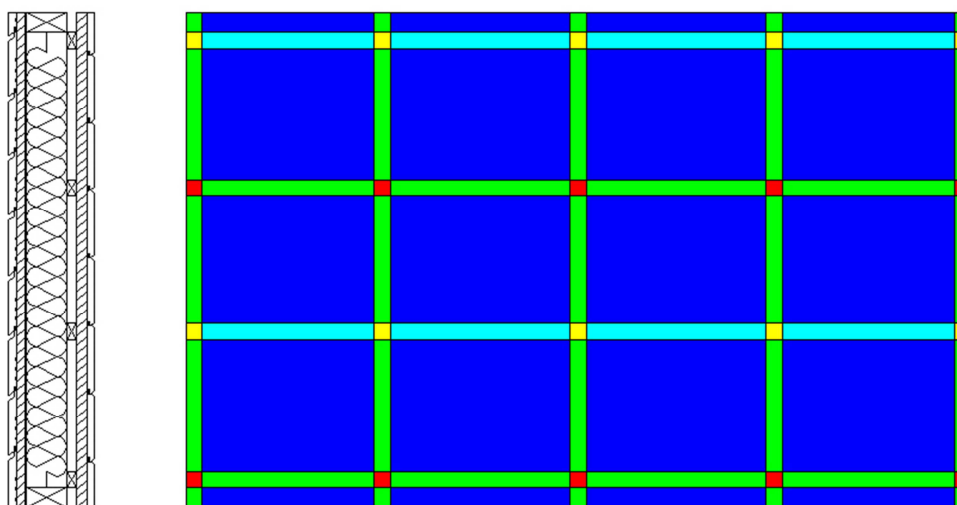


Figura 68 - Distribuição de áreas A2, para o provete 4

No quadro 36 está representada as áreas totais de cada singularidade com a distribuição A2 no provete 4.

Quadro 36 - Áreas totais referentes a cada singularidade com a distribuição A2, do provete 4

Áreas totais na distribuição de áreas A2 no provete 4 (m ²)				
Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
0,02	0,02	0,36	0,14	1,89

No quadro 37 é apresentada a comparação das áreas consideradas na distribuição A2 com a área efetiva do provete.

Quadro 37 - Verificação das áreas consideradas no provete 4 com a distribuição A2

Verificação de áreas das singularidades do provete 4 distribuição A2						
Área total do provete		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
L (m)	A (m)	0,02m ²	0,02m ²	0,20m ²	0,14m ²	2,00m ²
1,965 m	1,240 m	Somatório				
Área = 2,44 m ²		Área = 2,43m ²				
Diferença						
0,01m ²						

Ao aplicarmos a equação 12, para o cálculo da média ponderada, nas duas distribuições de áreas, obtemos o valor do coeficiente de transmissão térmica para a distribuição de áreas A1 de 0,202 W/m².°C, e para a distribuição de áreas A2, de 0,203 W/m².°C.

Com uma diferença entre coeficientes de transmissão térmica das duas distribuições de áreas A1 e A2 de 0,63%, conclui-se que os pontos escolhidos do provete 4 caracterizam corretamente o seu comportamento térmico.

5.5. Outras medições realizadas

Durante todas as medições dos fluxos de calor e temperaturas superficiais dos provetes, foram sendo tomados cuidados de monitorizar o comportamento que os revestimentos teriam com o aumento da temperatura ambiente. Assim procede-se ao registo fotográfico da evolução das condições do revestimento interior. Na figura 69 apresenta-se a visão geral dos revestimentos interiores no final da montagem.



Figura 69 - Vista geral interior

Segundo a empresa fornecedora do material, a madeira utilizada para a realização dos provetes encontra-se seca, apresentando um valor, para a humidade relativa da madeira, abaixo dos 14%. Ao longo do ensaio foi feita uma medição da humidade relativa de cada um dos provetes, para a qual foi utilizado um medidor da humidade relativa dos materiais, apresentado na figura 70.

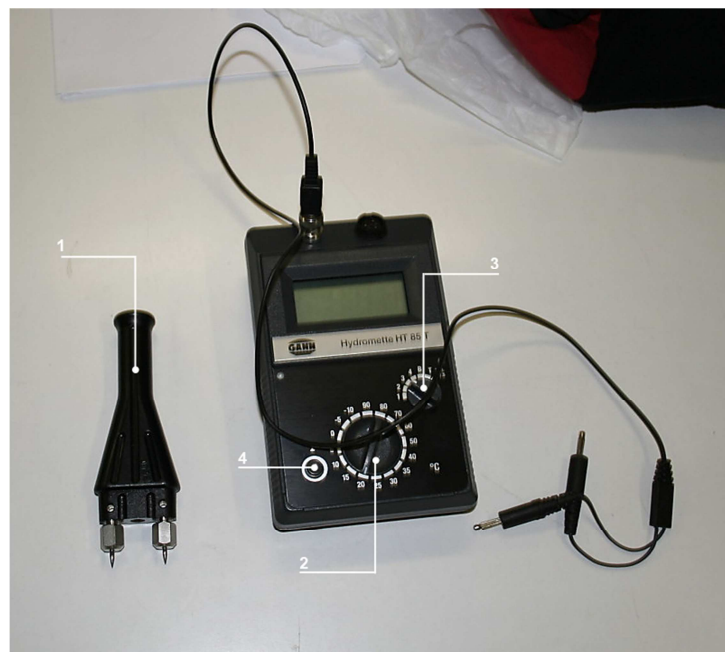


Figura 70 - Aparelho de medição da humidade relativa

Para utilizar do medidor de humidade é necessário consultar o manual técnico, o qual indica a posição correta do seletor, com o número 3, referente ao tipo de madeira em estudo. O seletor, com o número 2, corresponde a temperatura ambiente. A peça com o número 1 refere-se aos contactos de medição da humidade relativa, estes contactos devem penetrar completamente no material a medir, conforme apresentado na figura 71.



Figura 71 - Contactos de medição da humidade relativa

Para efetuar a medição pressionar-se o botão, com o número 4, durante um período máximo de 5 segundos e lê-se o valor medido no visor, conforme apresentado na figura 72.



Figura 72 - Medição da humidade relativa, na zona interior, do provete 4

No quadro 38 são apresentados os valores da humidade relativa da madeira dos provetes.

Quadro 38 - Valores da humidade relativa dos provetes.

Humidade relativa (%)		
Provete	Zona exterior	Zona interior
Provete 1	10,8	8,1
Provete 2	12,1	8,5
Provete 3	12,0	9,7
Provete 4	12,2	9,3

Quer no provete 1, quer no provete 3, a retração da madeira não foi perceptível. No caso concreto do provete 1, tronco maciço de 16cm de espessura, embora se tivesse registado um diferencial de 2,7% de humidade relativa entre a face exterior e a face interior, pelo menos a olho nu, não se detetou qualquer fissura ou contração causada pela perda de água. O mesmo se aplica ao provete 3, solução construtiva tronco maciço de 12cm de espessura, montado com o revestimento exterior voltado para o interior e possuindo uma estrutura interior, sendo a humidade relativa medida na zona interior referente a humidade do tronco de revestimento com 12cm de espessura.

No caso do provete 2 e do provete 4 foram detetadas contrações dimensionais no revestimento. O provete 2 solução construtiva em tronco maciço de 7cm de espessura, foi o primeiro a reagir às temperaturas elevadas que se sentiam no interior da câmara, começando o revestimento interior a contrair, conforme apresentado na figura 73.

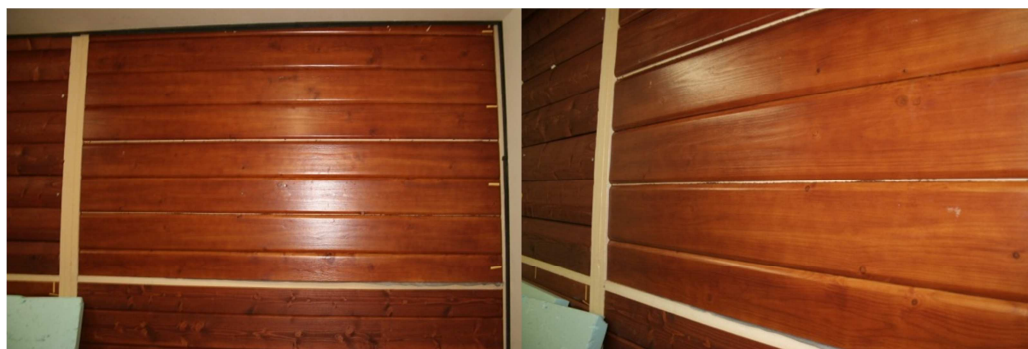


Figura 73 - Retração do revestimento interior do provete 2.

No caso do provete 4, solução sistema Clóvis, a retração do revestimento interior apresentou-se mais generalizada, conforme apresentado na figura 74.



Figura 74 - Retração do revestimento interior do provete 4.

A reação do revestimento interior deveu-se à elevada temperatura presente no interior da câmara de ensaios, necessária para gerar o diferencial de temperatura e criar o fluxo de calor perpendicular à superfície.

Logo que detetado este problema instalou-se dentro da câmara de testes 4 sensores de medição de temperatura e humidade relativa do ar no interior da câmara, estes sensores, chamados *testostor* estão representados na figura75.



Figura 75 - Aspeto de um medidor de temperatura e humidade relativa do ar, testostor.

Os *testostor* devem ser colocados a 3 alturas diferentes, com o objetivo de cobrir o maior espaço possível com o equipamento disponível. Instalou-se um *testostor* no pavimento junto as paredes em análise, dois em cima de uma mesa e o último em cima de uma escada que estava dentro da câmara de análise. Na figura 76 é apresentado um esquema da localização dos *testostor*.

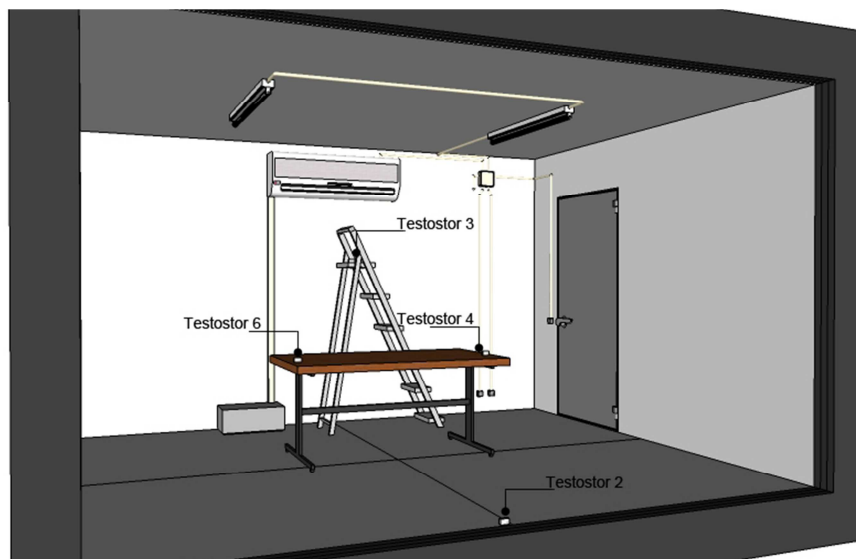


Figura 76 - Localização dos quatro medidores de temperatura e humidade relativa do ar, testostor.

Com funcionamento independente do restante equipamento de medição, os *testostor* são programados para medições de 15 em 15 minutos registando nesses períodos a temperatura e a humidade relativa do ar. O gráfico 14 apresenta os dados relativos a temperatura ambiente dentro da câmara de ensaios num intervalo de tempo com a duração de 7 horas.

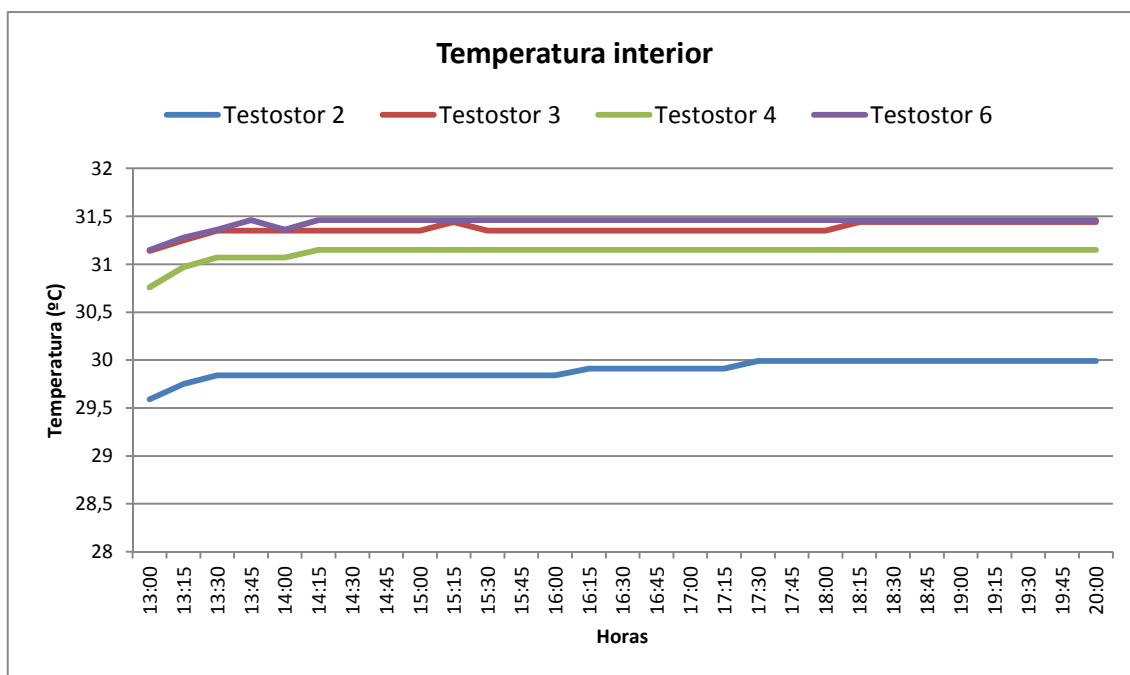


Gráfico 14 - Temperatura ambiente medida no interior da câmara.

O gráfico 15 apresenta os valores recolhidos para a humidade relativa do ar dentro da câmara de ensaios num intervalo de tempo com a duração de 7 horas.

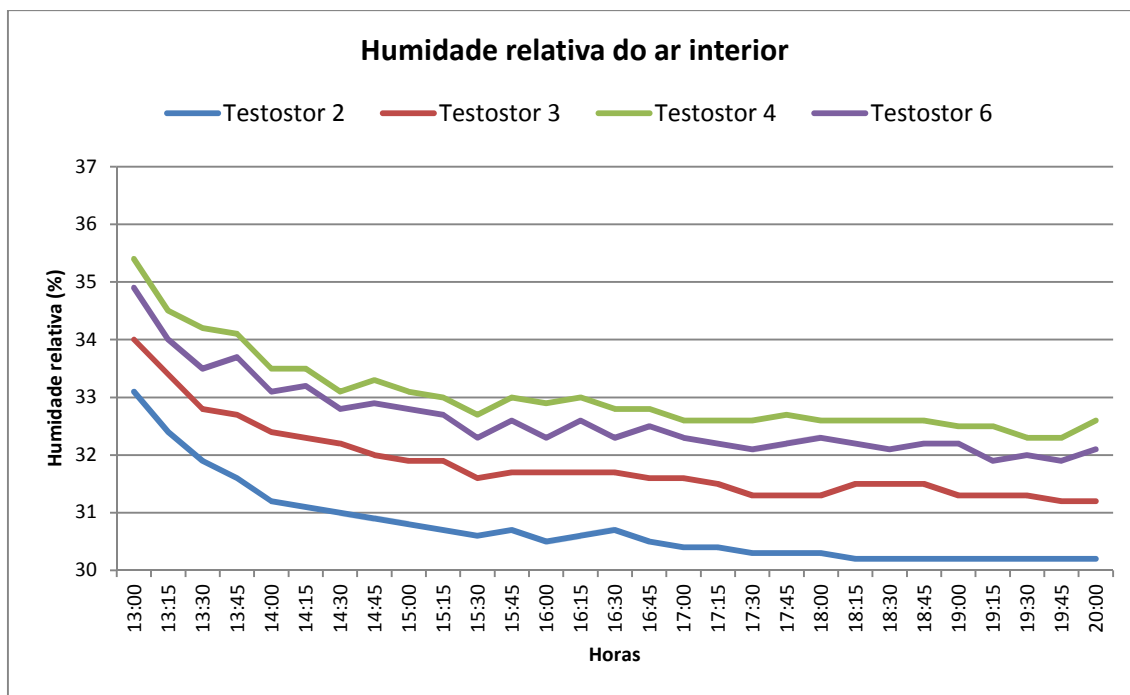


Gráfico 15 - Humidade relativa do ar, medida no interior da câmara.

A análise do gráfico 15 revela que a humidade relativa do ar interior apresenta um comportamento decrescente ao longo do tempo, e em relação as temperaturas podemos ver que se mantêm estáveis, não havendo perdas de calor significativas.

CAPÍTULO 6 - ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Antes da análise do desempenho térmico em laboratório dos provetes foi previsto o valor do coeficiente de transmissão térmica de cada um. Esta análise processa-se de forma semelhante á análise em laboratório, caracteriza-se cada provete pelos seus pontos singulares e, recorrendo às distribuições de áreas consideradas, é calculado o coeficiente de transmissão térmica. Neste capítulo são apresentados os valores previstos para cada ponto singular de cada provete.

6.1. Análise dos resultados do provete 1 – tronco maciço de 16cm

O provete 1 apresenta apenas dois pontos singulares, a zona corrente e a zona de junta, sendo estes os pontos a considerar.

Embora existam perdas de calor pela junta dos troncos, considerou-se que esta teria o mesmo comportamento que a zona corrente, sendo o valor do coeficiente de transmissão térmica nos dois pontos igual. Foi desprezada a contribuição da fibra de linho natural colocada na junta devido a sua espessura diminuta.

No quadro 39 são apresentados os valores do coeficiente de transmissão térmica previsto do provete 1, no ponto 1 e no ponto 2.

Quadro 39 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmica do provete 1 no ponto 2.

Parte	E	Material	λ	ρ	R	R_{se}	R_{si}	U
	(mm)		W/(mK)	kg/m ³	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(W/m ² .°C)
1	160	Tronco em madeira maciça	0,150	565	1,067	0,040	0,130	0,809
2	-	Fibra de linho natural	-	-	-			

Aplicando a equação 12, cálculo da média ponderada, obteve-se o valor previsto do coeficiente de transmissão térmico do provete 1 de 0,81 W/m².°C.

O quadro 40 apresenta os valores do coeficiente de transmissão térmica (previsto, seguindo o método preconizado pelo ITE-50: 2006 - Up e medido em laboratório - Um).

Quadro 40 - Valores do coeficiente de transmissão térmica do provete 1.

Um (W/m ² .°C)	Up (W/m ² .°C)	Diferença (%)
0,39	0,81	52

Comparando os valores verifica-se que o valor medido em laboratório é inferior ao valor previsto, apresentando uma diferença na ordem dos 52 %, justificada pelo efeito do envelhecimento dos materiais que é parte integrante da metodologia de previsão e pelo desprezo de previsão do comportamento da junta e a não consideração da fibra

6.2. Análise dos resultados do provete 2 – tronco maciço de 7cm

Para o provete 2 foram previstos os valores do coeficiente de transmissão térmica para os cinco pontos analisados em laboratório, seguindo os pressupostos descritos no ITE-50: 2006. No quadro 41 são apresentados os valores da previsão do coeficiente de transmissão térmica do provete 2 no ponto 1.

Quadro 41 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmica do provete 2 no ponto 1.

Parte	E	Material	λ	ρ	R	R _{se}	R _{si}	U
	(mm)		W/(mK)	kg/m ³	(m ² °C)/W			
1	70	Tronco em madeira	0,150	565	0,467	0,040	0,130	0,593
2	-	Barreira pára vapor	-	-	-			
3	50	Lã de rocha	0,040	70	1,250			
4	-	Barreira pára vapor	-	-	-			
5	20	Ripa horizontal (20x50)	0,150	565	0,133			
6	20	Ripa vertical (20x50)	0,150	565	0,133			
7	20	Forro em madeira	0,150	565	0,133			
			Σ		1,517			

Os quadros relativos a previsão do valor do coeficiente de transmissão térmica dos restantes pontos do provete 2 estão em anexo e sendo identificados por quadro AIII-1 até quadro AIII-4. Para cada ponto são considerados os elementos pelos quais o fluxo de calor atravessa.

No quadro 42 são apresentados os valores do coeficiente de transmissão térmica previsto para todos os pontos utilizados para caracterizar o provete 2.

Quadro 42 - Valores da previsão do coeficiente de transmissão térmica dos pontos que caracterizam o provete 2.

Coeficiente de transmissão térmica				
Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
0,593	0,593	0,464	0,495	0,549

A semelhança do que foi elaborado na análise em laboratório, o cálculo da previsão do coeficiente de transmissão térmica do provete efetuou-se aplicando a equação 12 (cálculo da média ponderada), sendo obtido o valor de $0,501 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ para a distribuição de áreas A1, e $0,502 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ para a distribuição de áreas A2, apresentando uma diferença de valores de apenas 0,22%. Conclui-se, da mesma maneira que tinha sido concluído nas análises em laboratório, que os pontos escolhidos caracterizam corretamente o provete.

No quadro 43 são apresentados os valores do coeficiente de transmissão térmica (previsto - U_p e medido em laboratório - U_m) para o provete 2.

Quadro 43 - Valores do coeficiente de transmissão térmica do provete 2.

$U_m \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$	$U_p \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$	Diferença (%)
0.27	0.50	47

Analisando os valores previstos e os valores medidos em laboratório, verificou-se que o valor medido é inferior ao valor previsto sendo a diferença da ordem dos 47 %. Esta diferença apresenta-se inferior relativamente a obtida anteriormente devido ao maior cuidado na caracterização do provete e pelo facto de na previsão não ser desprezado nenhum dos elementos pelo qual o fluxo de calor atravessa.

6.3. Análise dos resultados do provete 3 – tronco maciço de 12cm

A previsão do coeficiente de transmissão térmica do provete 3 realizou-se de forma análoga à do provete 2, sendo calculado o valor do coeficiente de transmissão térmica dos pontos singulares que caracterizam o provete. No quadro 44 são apresentados os valores da previsão do coeficiente de transmissão térmico do provete 3, no ponto 1.

Quadro 44 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmica do provete 3 no ponto 1.

Parte	E	Material	λ	ρ	R	R_{es}	R_{si}	U
	(mm)		W/(mK)	kg/m ³	(m ² °C)/W			
1	120	Tronco em madeira	0,150	565	0,800	0,040	0,130	0,199
2	-	Barreira pára vapor	-	-	-			
3	50	Lã de rocha	0,040	70	1,250			
4	-	Barreira pára vapor	-	-	-			
5	25	Ripa horizontal (20x50)	0,150	565	0,167			
6	25	Ripa vertical (20x50)	0,150	565	0,167			
7	20	Forro em madeira	0,150	565	0,133			
			Σ		4,867			

A previsão do coeficiente de transmissão térmica dos restantes pontos foi realizada recorrendo ao mesmo quadro, escolhendo as partes pelos quais o fluxo de calor atravessa em cada ponto. Os restantes quadros relativos a previsão dos valores do coeficiente de transmissão térmica do provete 3 encontram-se em anexo sendo identificados desde quadro AIII-5 até quadro AIII-8. No quadro 45 são apresentados os valores da previsão do coeficiente de transmissão térmica dos cinco pontos que caracterizam o provete 3.

Quadro 45 - Valores da previsão do coeficiente de transmissão térmica previstos do provete 3.

Coeficiente de transmissão térmica				
Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
0,199	0,570	0,397	0,425	0,397

Utilizou-se a equação 12 (média ponderada) para o cálculo da previsão do coeficiente de transmissão térmica para as duas distribuições de áreas sendo obtido o valor 0,418 W/m².°C para a distribuição de áreas A1, e o valor de 0,424 W/m².°C para a distribuição de áreas A2, apresentando as duas distribuições de áreas uma diferença de 1,55%, permitindo concluir que os pontos escolhidos caracterizam corretamente o provete.

No quadro 46 apresentam-se os valores do coeficiente de transmissão térmica (previsto - Up e medido em laboratório - Um).

Quadro 46 - Valores do coeficiente de transmissão térmico do provete 3.

Um (W/m ² .°C)	Up (W/m ² .°C)	Diferença (%)
0.20	0.42	52

Avaliando os valores previstos e os valores medidos em laboratório, verificou-se que o valor medido em laboratório é inferior ao valor previsto apresentando uma diferença na ordem dos 52 %, muito próximo da diferença obtida no provete 1.

6.4. Análise dos resultados do provete 4 – Clóvis

A previsão dos valores do coeficiente de transmissão térmica do provete 4 seguiu os mesmos moldes utilizados nos provetes anteriores. No quadro 47 são apresentados os valores da previsão do coeficiente de transmissão térmico do provete 4, no ponto 2.

Quadro 47 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmico do provete 4 no ponto 2.

Parte	E	Material	λ	ρ	R	R_{es}	R_{si}	U
	(mm)		W/(mK)	Kg/m ³	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(W/m ² .°C)
1	20	Forro exterior de madeira	0,150	565	0,133	0,040	0,130	0,334
2	20	Ripa vertical (20x40)	0,150	565	0,133			
3	-	Membrana microporosa	-	-	-			
4	100	Lã de rocha	0,045	30	2,222			
5	-	Folha de polietileno	-	-	-			
6	25	Ripa horizontal (25x40)	0,150	565	0,167			
7	25	Ripa vertical (25x40)	0,150	565	0,167			
8	20	Forro interior em madeira	0,150	565	0,133			
					Σ	2,822		

A previsão dos restantes pontos realizou-se recorrendo ao quadro 47 escolhendo os elementos que caracterizam cada ponto. Os quadros relativos a previsão dos restantes pontos do provete 4 encontram-se em anexo numerados desde o quadro AIII-9 até ao quadro AIII-12. No quadro 48 são apresentados os valores da previsão do coeficiente de transmissão térmico de todos os pontos que caracterizam o provete 4.

Quadro 48 - Valores previstos para o coeficiente de transmissão térmico do provete 4.

Previsão do coeficiente de transmissão térmico para o provete 3				
Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
0,320	0,334	0,338	0,371	0,376

Utilizando-se a equação 12 (média ponderada) para o cálculo da previsão do coeficiente de transmissão térmica foi obtido o valor 0,372 W/m².°C, para a distribuição de áreas A1, e o valor de 0,368 W/m².°C para a distribuição de áreas A2. A diferença entre as duas distribuições de áreas é de 1,18% levando à conclusão de que os pontos escolhidos caracterizam corretamente o provete 4.

No quadro 49 são apresentados os valores do coeficiente de transmissão térmica (previsto e o valor medido em laboratório).

Quadro 49 - Valores do coeficiente de transmissão térmica do provete 4.

Um (W/m ² .°C)	Up (W/m ² .°C)	Diferença (%)
0,20	0,37	46

A avaliação dos valores previstos e valores medidos em laboratório, revelou uma diferença na ordem dos 46 %.

6.5. Análise comparativa dos resultados

Como qualquer processo de análise de dados, o espírito crítico deve estar presente. Questionar todos os resultados obtidos, as condições em que são obtidos é meio caminho andado para a fidelização dos mesmos. Assim, com isso em mente processa-se a análise dos resultados obtidos em laboratório.

O estudo dos resultados obtidos em laboratório revelou que o provete 1, solução construtiva em tronco maciço de 16 cm de espessura, sem isolamento térmico, foi o que apresentou o maior coeficiente de transmissão térmica, 0,39 W/m².°C.

O provete 2, solução construtiva em tronco maciço de 7 cm de espessura e 5 cm de lã de rocha, apresentou um valor de 0,27 W/m².°C para o coeficiente de transmissão térmica.

O provete 3, solução construtiva em tronco maciço de 12cm de espessura e 5 cm de lã de rocha, e o provete 4, solução construtiva Sistema “Clóvis”, com 10 cm de lã de rocha, registaram valores semelhantes, 0,20 W/m².°C para o coeficiente de transmissão térmica evidenciando que estes dois provetes apresentam o melhor comportamento térmico dos quatro provetes analisados.

No quadro 50 é apresentado resumo dos valores do coeficiente de transmissão térmica (previstos e medidos em laboratório) dos 4 provetes de teste.

Quadro 50 - Valores do coeficiente de transmissão térmica (previstos e medidos em laboratório) dos 4 provetes de teste

Coeficiente de transmissão térmico do provete (U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$))			
Provete	Valor medido em laboratório (U_m)	Valor Previsto (U_p)	Diferença (%)
Provete 1, solução construtiva tronco maciço 16cm de espessura	0,39	0,81	52
Provete 2, solução construtiva tronco maciço 7cm de espessura	0,27	0,50	47
Provete 3, solução construtiva tronco maciço 12cm de espessura	0,20	0,42	52
Provete 4, solução construtiva sistema Clóvis	0,20	0,37	46

Como se pode observar ao longo de toda a análise os valores para o coeficiente de transmissão térmica previstos são significativamente superiores aos valores medidos (46 a 52%). Esta diferença prende-se, essencialmente, com o método de previsão que tem em conta o eventual envelhecimento dos materiais em condições normais de utilização (ITE-50: 2006). Esta análise mostra que a previsão do desempenho térmico de soluções construtivas em madeira conduz a valores do coeficiente de transmissão térmica muito elevados quando comparados com os valores obtidos em laboratório. Esta situação é penalizadora para este tipo de soluções construtivas podendo ser um obstáculo à sua implementação no mercado.

Os valores do coeficiente de transmissão térmica medidos em laboratório mostram que, a utilização destas soluções construtivas respeitam os requisitos mínimos relativos ao coeficiente de transmissão térmica para zonas opacas verticais definidos no RCCTE. Os valores medidos são inferiores aos valores do coeficiente de transmissão térmica de referência para todas as regiões climáticas, mesmo o Provete 1, que corresponde a um elemento simples sem isolamento térmico, com 16cm de espessura.

6.6. Análise comparativa entre soluções construtivas

De forma a ser possível enquadrar as soluções analisadas em laboratório no espectro das soluções construtivas existentes é necessário comparar as soluções estudadas com as soluções construtivas utilizadas correntemente na construção em Portugal.

Como base de comparação foram escolhidas as seguintes soluções construtivas:

- Paredes fachada (duplas e simples) com panos de alvenaria de tijolo vazado com isolamento térmico colocado no interior ou no exterior;
- Solução construtiva em Light Steel Framing.

6.6.1. Análise da solução construtiva parede com panos de alvenaria de tijolo vazado

6.6.1.1 Paredes duplas em alvenaria de tijolo vazado

As paredes duplas com panos em alvenaria de tijolo vazado são a solução construtiva dominante em Portugal. Variando entre soluções mais esbeltas, constituídas por um pano exterior com tijolo vazado de 11cm de espessura e pano interior em tijolo vazado de 7cm de espessura ficando a espessura total da parede de aproximadamente 25cm, e soluções construtivas de maior espessura, constituídas por um pano exterior em tijolo vazado de 22cm e pano interior em tijolo vazado de 15cm em que a espessura total da parede é de aproximadamente de 44cm. Na figura 77 são apresentados os pormenores construtivos de soluções construtivas em alvenaria.

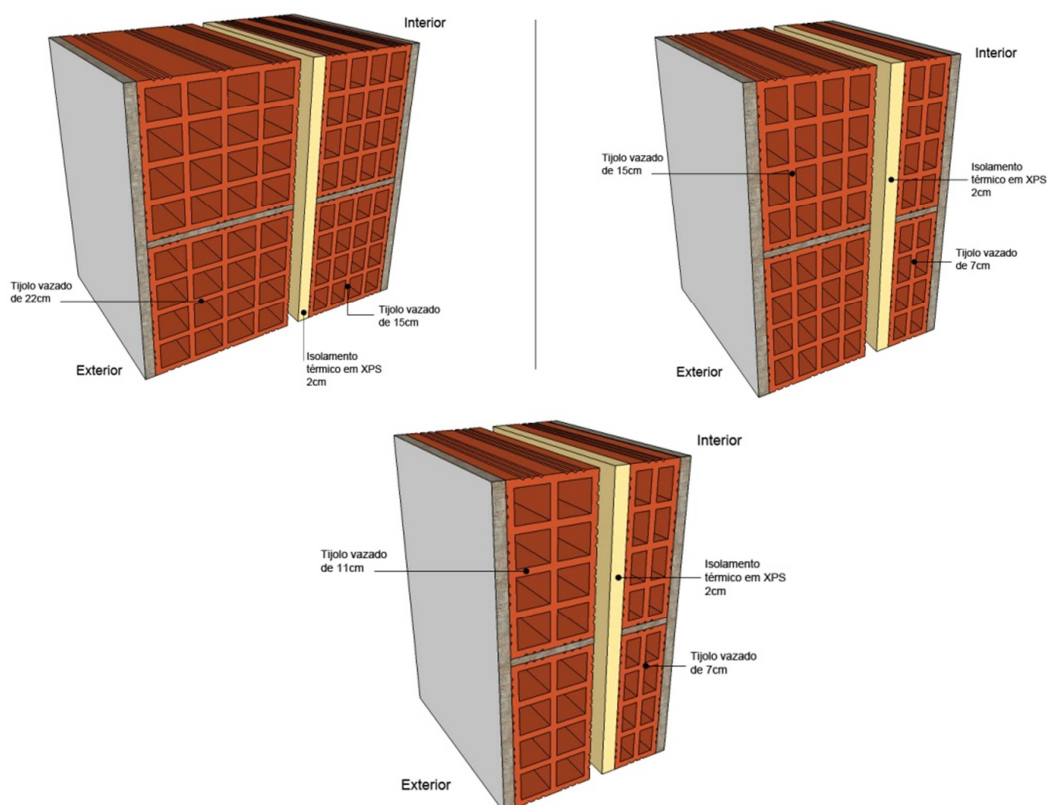


Figura 77 - Soluções construtivas em alvenaria de tijolo vazado

A espessura das soluções construtivas em alvenaria de tijolo vazado são geralmente adaptadas às situações a utilizar, as soluções esbeltas não são muito eficientes e as soluções de espessura superior são raras de encontrar. A solução construtiva mais utilizada em Portugal é uma solução intermédia com um pano exterior em tijolo vazado de 15cm de espessura e pano interior em tijolo vazado de 7cm (ou 11cm) de espessura finalizando uma parede com aproximadamente 30cm de espessura.

6.6.1.2 Paredes simples em alvenaria de tijolo vazado

O aumento das preocupações com os consumos energéticos e conforto térmico levam a que haja intervenções em muitas das habitações mais antigas de forma a corrigir certas lacunas como a correção das pontes térmicas e o fraco isolamento térmico das paredes exteriores. Este sistema não é exclusivo a reabilitação sendo também é aplicado à construção nova. A grande vantagem deste sistema está na continuidade do isolamento térmico, tratando as pontes térmicas e diminuindo assim o consumo energético e a regulando a temperatura do ar interior.

O sistema ETICS, sigla proveniente do acrónimo da língua inglesa external thermal insulating composite systems, consiste na colocação de isolamento térmico contínuo pelo exterior. O tipo de isolamento térmico mais utilizado neste tipo de solução construtiva é o poliestireno expandido, EPS, moldado em placas permite um fácil manuseamento e aplicação. Este é colocado geralmente em paredes de fachada com espessuras superiores a 20cm, sendo o isolamento térmico coberto por um revestimento em reboco armado.

Na figura 78 é apresentado um pormenor de uma parede composta por isolamento térmico colocado pelo exterior.

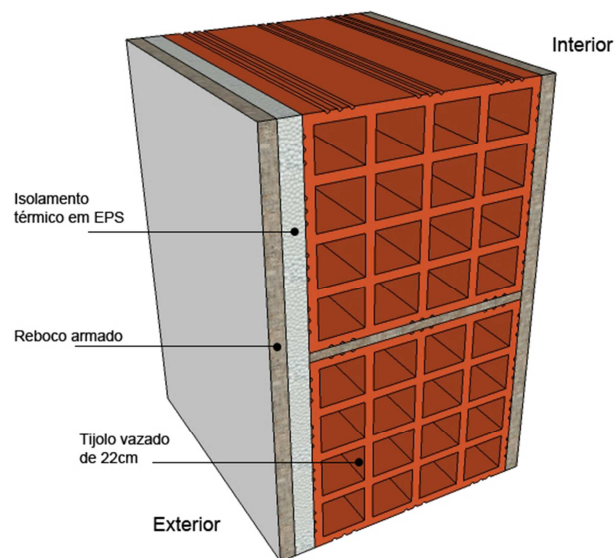


Figura 78 - Solução construtiva em alvenaria de tijolo vazado de 22cm de espessura e isolamento térmico em EPS colocado pelo exterior

Na construção de edifícios as soluções construtivas em alvenaria são responsáveis por uma enorme quantidade de resíduos não aproveitáveis devido a fragilidade do material e elaboração de remates e instalações, e a forma de ligar os diferentes materiais impossibilita a reutilização dos mesmos. Não requerem a utilização de mão-de-obra especializada contrariamente ao necessário na construção de casas em madeira. As construções em alvenaria necessitam de um tempo de espera entre determinadas tarefas, para que os ligantes sequem, no caso das construções em madeira a sua elaboração é muito mais célere.

6.6.1.3 Análise comparativa de valores do coeficiente de transmissão térmica

6.6.1.3.1. Análise comparativa de valores do coeficiente de transmissão térmica de paredes duplas em alvenaria de tijolo vazado

No ITE-50 estão tabelados os valores convencionais de cálculo do coeficiente de transmissão térmica para as soluções construtivas mais comuns em Portugal. No quadro 51 são apresentados os valores para o coeficiente de transmissão térmica de paredes duplas em alvenaria de tijolo furado, variando os materiais utilizados para o isolamento térmico.

Quadro 51 - Valores para o coeficiente de transmissão térmico de paredes duplas em alvenaria de tijolo furado (ITE-50, 2006)

Isolamento térmico			Panos de alvenaria				
Produto [massa vol.] (kg/m ³)	λ (w/m.°C)	esp. (mm)	Tijolo				
			Furado			Furado/maciço	
			Espessura dos panos (m)				
			0,11	0,11	0,15	0,11	0,15
			0,11	0,15	0,15	0,11	0,11
XPS [25-40]	0,037	30	0,58	0,54	0,51	0,63	0,59
		40	0,50	0,47	0,45	0,54	0,51
		60	0,39	0,37	0,36	0,42	0,40
		80	0,32	0,31	0,30	0,34	0,33
EPS [15-20] MW [35-100] PIR/PUR [20-50]	0,040	30	0,60	0,56	0,52	0,66	0,61
		40	0,52	0,49	0,46	0,56	0,53
		60	0,41	0,39	0,38	0,44	0,42
		80	0,34	0,33	0,32	0,36	0,35
EPS [13-15] PIR/PUR [20-50]	0,042	30	0,61	0,57	0,53	0,67	0,62
		40	0,53	0,50	0,47	0,58	0,54
		60	0,42	0,40	0,39	0,45	0,43
		80	0,35	0,34	0,33	0,37	0,36
ICB [90-140]	0,045	30	0,63	0,58	0,55	0,70	0,64
		40	0,55	0,52	0,49	0,60	0,56
		60	0,44	0,42	0,40	0,48	0,45
		80	0,37	0,35	0,34	0,39	0,37

Analisando os valores obtidos em laboratório, para as soluções construtivas com estrutura em madeira, e os valores presentes tabelados pelo ITE-50, 2006, para as soluções construtivas em alvenaria de parede dupla, verifica-se que os valores do coeficiente de transmissão térmica das soluções construtivas em madeira são inferiores. Para se obterem valores semelhantes do coeficiente de transmissão térmica é necessário utilizar espessuras de isolamento superiores aos utilizados nas soluções construtivas em madeira, 8 cm, quando nas soluções construtivas com estrutura em madeira analisadas, são utilizadas espessuras de isolamento de 5 e 10 cm. A espessura final das soluções construtivas analisadas é também inferior ao das soluções construtivas em parede dupla de alvenaria, as soluções em madeira analisadas variam entre 16 e 24 cm e as paredes duplas de alvenaria variam entre 33 e 39 cm de espessura final da solução construtiva (para valores aproximados do coeficiente de transmissão térmica). No entanto, as soluções construtivas com estrutura em madeira são soluções construtivas leves possuindo uma massa inferior às soluções construtivas em alvenaria e com espessuras totais de parede inferiores às de alvenaria traduzindo-se numa menor inércia térmica. Esta situação pode ser ultrapassada se a inércia térmica for assegurada por outros elementos construtivos, por exemplo pelas lajes de pavimento.

6.6.1.3.2. Análise comparativa de valores do coeficiente de transmissão térmica de paredes simples em alvenaria de tijolo vazado

No quadro 52 são apresentados os valores para o coeficiente de transmissão térmico de paredes em alvenaria simples com isolamento térmico colocado pelo exterior (ITE-50, 2006).

Quadro 52 - Valores para o coeficiente de transmissão térmico paredes em alvenaria com isolamento térmico colocado pelo exterior (Fonte: ITE-50, 2006).

Isolamento térmico			Panos de alvenaria				Parede de betão
Produto [massa vol.] (kg/m ³)	λ (w/m.°C)	esp. (mm)	Tijolo furado	Blocos de betão normal	Blocos de betão leve	Pedra	
			Espessura dos panos (m)				
			0,20 a 0,24	0,20 a 0,30	0,20 a 0,30	0,40 a 0,60	0,10 a 0,20
EPS [15-20]	0,040	30	0,67	0,78	0,67	0,90	0,98
		40	0,58	0,65	0,58	0,74	0,79
		60	0,45	0,49	0,45	0,54	0,56
		80	0,37	0,40	0,37	0,42	0,44
MW [100-180]	0,042	30	0,69	0,80	0,69	0,93	1,0
		40	0,59	0,68	0,59	0,76	0,82
		60	0,46	0,51	0,46	0,56	0,59
		80	0,38	0,41	0,38	0,44	0,46

Analisando o quadro é possível verificar, que os valores do coeficiente de transmissão térmica das soluções construtivas com isolamento térmico pelo exterior (ETICS) são, novamente, superiores aos valores do coeficiente de transmissão térmica das paredes com estrutura em madeira analisadas. São obtidos valores próximos dos obtidos nas soluções construtivas com estrutura em madeira analisadas, quando se utiliza de isolamento térmico com espessuras superiores, 8 cm, e panos de alvenaria de 20 a 24 cm.

6.6.2 Análise da solução construtiva em aço leve (Light steel framing).

As soluções construtivas em aço leve (light steel framing) são as principais concorrentes das soluções construtivas em madeira, apresentando características bastante semelhantes. As construções com estrutura em aço são amplamente utilizadas devido ao seu excelente comportamento estrutural. Este tipo de solução construtiva requer um cuidado adicional no tratamento das pontes térmicas, tendo especial atenção a formação de condensações que podem ser prejudiciais à estrutura metálica.

Existem dois tipos de construções em Light steel framing:

1. Construções com isolamento pelo exterior da estrutura metálica;
2. Construções com o isolamento entre e pelo exterior da estrutura metálica.

Nas construções com o isolamento colocado entre e pelo exterior da estrutura metálica, devem ser garantidas algumas condições;

- Pelo menos 33% de isolamento deve ser colocado pelo exterior da estrutura metálica;
- Devendo também ser colocada uma barreira pára vapor do lado onde vão ser registadas as temperaturas mais elevadas.

As construções em estrutura metálica apresentam muitas semelhanças com as construções em madeira, nomeadamente:

- Pré-fabricação dos elementos construtivos, garantindo uma qualidade superior de construção;
- Facilidade e rapidez de construção;
- É possível continuar a construção mesmo em dias de chuva;
- É uma estrutura leve não exercendo muita carga sobre as fundações.

A principal desvantagem destas soluções comparativamente as restantes prende-se com o controlo das condensações sendo essencial a colocação de uma barreira pára vapor de forma a reduzir as condensações no interior da parede. Outra das desvantagens desta solução construtiva é a sua resistência ao fogo requerendo a um diverso número de precauções:

- Colocação de cavidades e barreiras anti-fogo nas junções das paredes;
- Colocação de reboco com resistência ao fogo;

- Utilização de isolamento térmico não combustível;
- Uso de gesso cartonado com proteção ao fogo.

Na figura 79 é apresentado um pormenor de uma parede em Light steel framing.

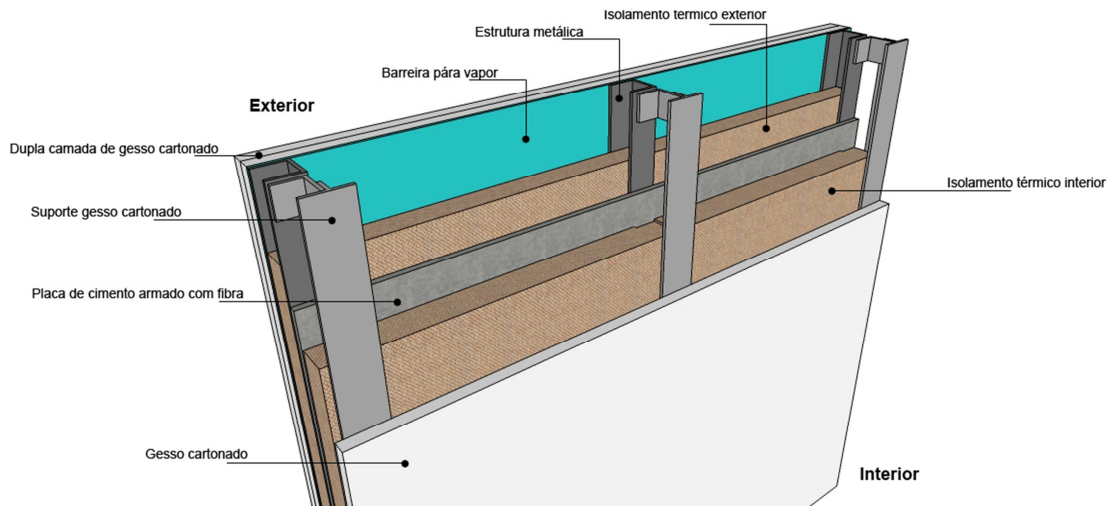


Figura 79 - Solução construtiva em Light steel framing.

6.6.2.1. Análise comparativa de valores do coeficiente de transmissão térmica de paredes em aço leve (LSF)

Através da consulta dos valores fornecidos por um fabricante desta solução construtiva verifica-se que esta solução se aproxima em muito das soluções estudadas mas com o uso de isolamento térmico com espessuras bastante superiores as utilizadas nas soluções estudadas. No quadro 53 são apresentados os valores do coeficiente de transmissão térmico para as soluções construtivas em Light steel framing (Knauf 2008).

Quadro 53 - Valores para o coeficiente de transmissão térmico de paredes em light steel framing (Knauf 2008)

Espessura do Isolamento interno (mm)	Espessura do Isolamento externo (mm)	U (W/m ² K)
Crown SteelTherm (em rolo)	Rocksilk RainScreen (em placas)	
90	50	0,32
90	75	0,27
90	100	0,24
90	125	0,22
90	150	0,20
90	175	0,19
90	200	0,18
140	50	0,28
140	75	0,24
140	100	0,22
140	125	0,20
140	150	0,18
140	175	0,17
140	200	0,16
Rocksilk Flexible (em placas)	Rocksilk RainScreen (em placas)	
100	50	0,31
100	75	0,27
100	100	0,24
100	125	0,21
100	150	0,20
100	175	0,18
100	200	0,17
150	50	0,27
150	75	0,23
150	100	0,21
150	125	0,19
150	150	0,18
150	175	0,17
150	200	0,16

Analisando o quadro anterior é possível constatar que para que os valores do coeficiente de transmissão térmica das soluções construtivas em Light steel framing são bastante semelhantes aos obtidos em laboratório, sendo até ligeiramente superior, ao das soluções construtivas com estrutura em madeira estudadas, mas, essa superioridade é obtida com o uso de isolamento térmico com quase o triplo da espessura do isolamento térmico utilizado nas soluções construtivas estudadas. As espessuras totais das soluções construtivas em aço leve (LSF) escolhidas para comparação centram-se em média nos 38 a 43 cm de espessura, bastante superiores aos 16 a 24 cm de espessura total das soluções construtivas estudadas.

As soluções construtivas em aço leve (LSF) e as soluções construtivas em madeira são mais económicas que as soluções construtivas comuns. A sustentabilidade destas soluções é garantida (no caso da madeira) quando a madeira utilizada provém de florestas sustentáveis. Relativamente à análise comparativa de valores do coeficiente de transmissão térmica, as soluções construtivas com estrutura em madeira apresentam um comportamento térmico muito bom comparativamente às soluções correntes. Os valores obtidos em laboratório foram bastante inferiores aos das soluções correntes revelando um comportamento a médio prazo bastante superior. De uma forma geral é possível afirmar que as soluções construtivas com estrutura em madeira apresentam um comportamento térmico superior às soluções construtivas comuns.

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

7.1. Conclusões Gerais

Neste capítulo é apresentada uma sinopse de todos os temas abordados e principais conclusões do estudo realizado.

Ao longo do estudo foram abordados vários aspetos relacionados com as principais características das soluções construtivas com estrutura em madeira, incidindo-se principalmente no seu comportamento térmico.

A construção em Portugal é dos setores económicos mais importantes, mas esta importância não se reflete nas tecnologias de construção as quais são reconhecidamente pouco evoluídas. Um dos caminhos a seguir para colmatar esta deficiência é o recurso a soluções construtivas integralmente em madeira (estrutura e revestimento), esta solução construtiva permite um fácil manuseamento, processo construtivo ligeiro, maior sustentabilidade da construção, entre outras.

Em Portugal as habitações com soluções construtivas em madeira não são consideradas atrativas, devido ao desconhecimento das suas potencialidades, o que aliado à falta de estudos acerca do comportamento físico e mecânico deste tipo de soluções se revela um dos entraves no uso deste género de soluções construtivas. No entanto os poucos estudos já realizados mostram que estas soluções apresentam desempenhos superiores aos das soluções consideradas convencionais.

Na primeira parte deste estudo foram apresentadas as principais características das soluções construtivas com estrutura em madeira, descrevendo-se as diferentes tipologias de construção de habitações, os diversos tipos de madeira, as formas de elaboração dos pormenores construtivos, empresas que comercializam as diferentes tipologias de habitações com estrutura em madeira em Portugal.

Na segunda parte deste estudo procedeu-se à análise do comportamento térmico de quatro soluções construtivas integralmente em madeira. As soluções construtivas analisadas são soluções comercializadas pela empresa “Rusticasa”, que para este estudo disponibilizou

quatro soluções construtivas do seu catálogo, três em troncos e uma em derivados de madeira. Relativamente às soluções construtivas em troncos foram disponibilizadas para ensaio três tipos de soluções, a primeira, solução simples em tronco maciço de 16 cm de espessura, a segunda, solução com revestimento exterior em tronco maciço de 7 cm de espessura e estrutura interior com isolamento térmico com 5 cm de espessura totalizando uma espessura total da solução construtiva de 18 cm, e a terceira com revestimento exterior em tronco maciço de 12 cm de espessura e estrutura interior com isolamento térmico com 5 cm de espessura e espessura final da solução construtiva 24 cm. A quarta solução disponibilizada é a solução construtiva Clóvis constituída por um entramado de madeira com estrutura interior em madeira de suporte ao revestimento interior e exterior bem como do isolamento térmico que nesta solução tem 10 cm de espessura e espessura final da solução construtiva de 21,5 cm. Os resultados da análise em laboratório do comportamento térmico das quatro soluções construtivas revelam que a solução construtiva sistema Clóvis e a solução construtiva tronco maciço de 12cm de espessura apresentam um comportamento térmico semelhante com um valor para o coeficiente de transmissão térmica de $0,20 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ sendo o valor mais baixo, logo o melhor do teste. A solução construtiva, tronco maciço de 7cm de espessura apresentou um valor para o coeficiente de transmissão térmica de $0,27 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, ligeiramente superior ao valor obtido pelos provetes anteriores, a solução construtiva tronco maciço com 16cm de espessura apresentou o valor do coeficiente de transmissão térmica de $0,39 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, valor substancialmente superior comparativamente aos das restantes soluções.

Os resultados obtidos em laboratório revelam que as soluções construtivas com estrutura em madeira apresentam um comportamento superior aos das soluções construtivas utilizadas correntemente na construção em Portugal e a maioria das soluções em Light Steel Framing, podendo assim serem consideradas uma ótima opção em termos de comportamento térmico.

Embora os resultados obtidos sejam bastante animadores, importa salientar que as soluções construtivas estudadas evidenciaram características específicas que devem ser tidas em consideração na conceção deste género de soluções. A inércia térmica deste tipo de soluções é inferior ao verificado nas soluções mais comuns (em alvenaria), a retração dos revestimentos interiores, a necessidade de manutenção periódica, o uso de madeiras ainda verdes na conceção de revestimentos e estruturas condiciona o comportamento deste tipo de soluções construtivas.

7.2. Futuros Desenvolvimentos

Um desenvolvimento a realizar seria o estudo destas soluções construtivas a nível social, analisando o impacto que este tipo de soluções construtivas a nível urbano, e ao mesmo tempo efetuar um estudo a nível técnico comparando o envelhecimento deste tipo de soluções em meio urbano e em meio rural.

Relativamente a estudos mais técnicos podem-se centrar no estudo de outras soluções construtivas que não integralmente em madeira, estrutura interior em madeira e, por exemplo revestimento exterior em ETICS e com revestimento interior em gesso cartonado, de forma a poder ser efetuada uma análise comparativa das soluções estudadas neste trabalho. Também poderia ter importância científica o estudo deste tipo de soluções in-situ centrando esse estudo no comportamento térmico e no comportamento acústico.

O estudo do comportamento dos diferentes revestimentos ao longo do tempo quando expostos ao meio ambiente, destas e de outras soluções construtivas e o estudo de soluções de conservação dos mesmos, avaliar o seu comportamento de envelhecimento e verificar o comportamento térmico das soluções analisadas ao longo do tempo, podendo realizar-se o mesmo estudo ao fim de vários ciclos de envelhecimento (um inverno, um ano, ...).

Gentilmente cedidos pela empresa Rusticasa, os provetes tiveram sempre como destino a sua colocação sob o efeito dos agentes atmosféricos, a envelhecer, de forma a ser posteriormente estudado o comportamento dos diferentes revestimentos ao longo do tempo, e estudar soluções de conservação dos mesmos. Partindo deste princípio, foi idealizada a colocação os provetes de teste num dos jardins da Universidade do Minho, convenientemente protegidos, de forma a não haver infiltrações que danificassem os seus componentes internos.

Assim os provetes de teste foram montados, formando um cubo, permitindo assim o estudo do seu comportamento ao longo do tempo. O aspeto final do cubo é apresentado na figura 80.



Figura 80 - Aspeto do cubo elaborado com os provetes de teste para estudo do comportamento ao longo do tempo.

CAPÍTULO 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

British Gypsum Guide to Timber Frame Construction (Março de 1998), British Gypsum.

Timber frame construction 4th edition, TRADA technology Timber frame construction, (2008) CCB evolution.

American Standard for Testing Materials (ASTM) – C1155 – 95 (2001), Standard Practice for Determining Thermal Resistance of Building Envelope Componentes from the In-Situ Data.

Norma Europeia EN 1946-1, (1999), Thermal performance of building products and components, Specific criteria for the assessment of laboratories measuring heat transfer properties, Part 1-Common criteria.

Norma Europeia EN 1946-2, (1999), Thermal performance of building products and components, Specific criteria for the assessment of laboratories measuring heat transfer properties, Part 2-Measurements by guarded hot plate method.

Norma Europeia EN 1946-3, (1999), Thermal performance of building products and components, Specific criteria for the assessment of laboratories measuring heat transfer properties, Part 3- Measurements by heat flow meter method.

Norma Europeia EN 1946-4, (2000), Thermal performance of building products and components, Specific criteria for the assessment of laboratories measuring heat transfer properties, Part 4- Measurements by hot box methods

Norma Europeia EN ISO 10211-1, (1995), Thermal bridges in building construction, Heat flows and surfasse temperatures, Part 1: General calculation methods.

Santos, C.A.P., Matias, L.M.C. (2006), Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios (ITE50).

Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril, Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE).

Consulta realizada em 18 de novembro de 2011 nos sítios das empresas; Rusticasa, Jular, Portilame, ModularSystem DataHolz.

Consulta realizada em 12 de fevereiro de 2012 nos sítios das empresas; 1st4loghouses, Log home finland, Belapi, Preloc, Abris Martin.

Consulta realizada em 16 de abril de 2012 nos sítios das empresas; Campbell Scientific, Hukseflux, Flir.

ANEXOS I



Figura AI- 1 - Transporte dos provetes de teste.



Figura AI- 2 - Colocação do isolamento térmico no pórtico.



Figura AI- 3 - Tronco de arranque para solução construtiva tronco maciço de 16cm de espessura.



Figura AI- 4 - Fixação entre troncos através de parafusos.



Figura AI- 5 - Provete 4, solução construtiva Clóvis antes da sua colocação no pórtico de ensaio.



Figura AI- 6 - Provete 4 representativo da solução construtiva Clóvis após a sua colocação no pórtico de ensaio.

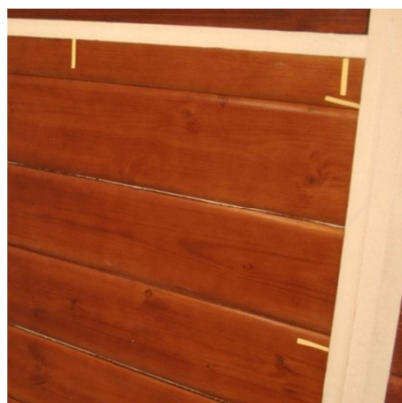


Figura AI- 7 - Pormenor de marcação do ripado horizontal e ripado vertical da estrutura de madeira interior.



Figura AI- 8 - Montagem do provete 2, solução construtiva tronco maciço de 7cm de espessura.



Sequência de montagem 1



Sequência de montagem 2

Figura AI- 9 - Sequência de montagem do provete 2, solução construtiva tronco de 7cm de espessura.

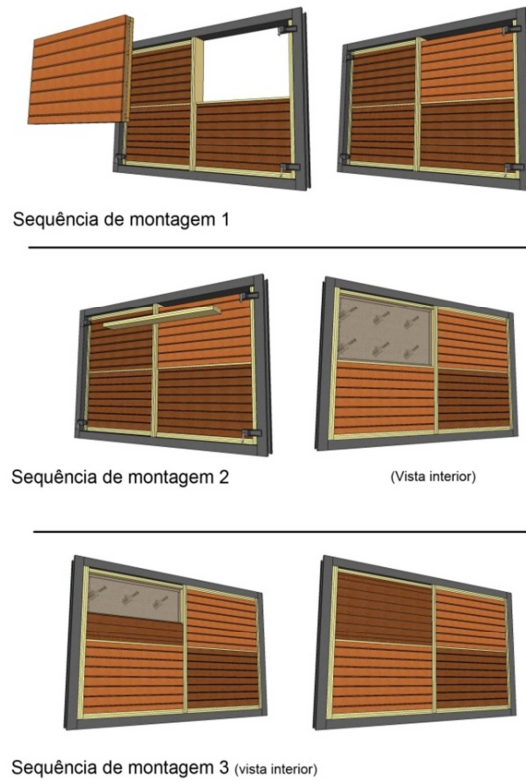


Figura AI- 10 - Sequência de montagem do provete 3, solução construtiva tronco de 12 cm de espessura.

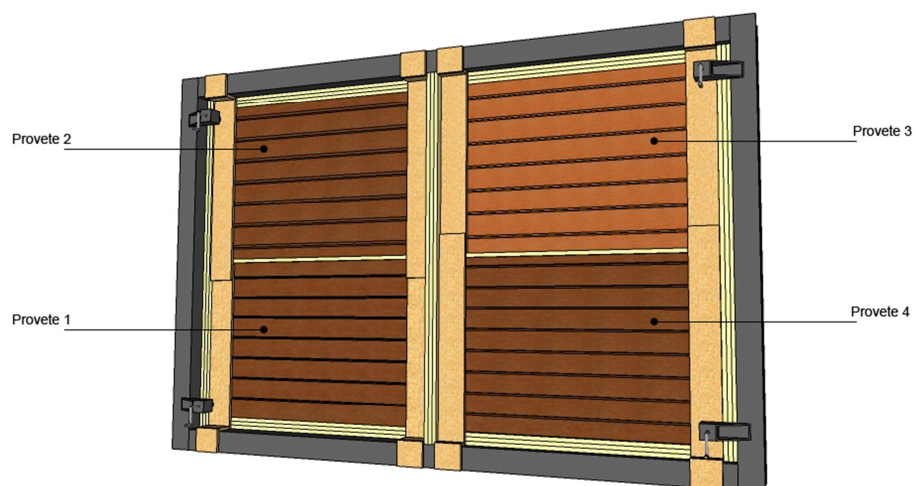


Figura AI- 11 - Disposição dos provetes no pórtilco.

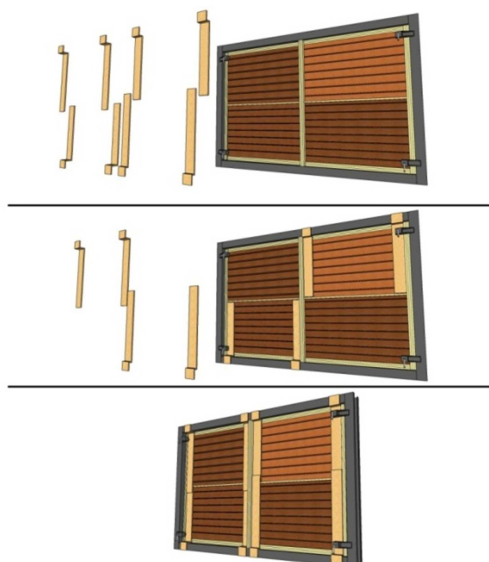


Figura AI- 12 - Sequência de colocação dos suportes de fixação.



Figura AI- 13 - Sistema de fixação da zona central suportando o provete 1 e provete 4.
Sistema de fixação da zona central suportando o provete 2 e provete 3.



Figura AI- 14 - Pormenor de grampo em madeira e batente em madeira para suporte de fixação

ANEXO II

Quadro AII- 1 - Verificação de valores da resistência térmica do provete 1 no ponto 1.

Resistência Superficial			Variância (S(Re))			Re (média de 3 valores)			Variância			Convergência		
Re4	Re5	Re1	S(Re)4	S(Re)5	S(Re)1	Δ re4	Δ re5	Δ re1	Var4	Var5	Var1	Conv 4	Conv 5	Conv 1
2,296	2,763	2,065												
2,282	2,744	2,176	0,0001	0,0004	0,0051	2,3	2,8	2,1	0,00%	0,02%	0,24%	0,006	0,007	0,051
2,276	2,786	2,199	0,0015	0,0025	0,0027	2,3	2,8	2,2	0,06%	0,09%	0,12%	0,003	0,015	0,011
2,346	2,844	2,275										0,030	0,021	0,033
Verificação									OK	OK	OK	OK	OK	OK
									OK	OK	OK	OK	OK	OK
												OK	OK	OK

Quadro AII- 2 - Verificação de valores da resistência térmica do provete 1 no ponto 2.

Resistência Superficial			Variância (S(Re))			Re (média de 3 valores)			Variância			Convergência		
Re1	Re2	Re3	S(Re)1	S(Re)2	S(Re)3	Δ re1	Δ re2	Δ re3	Var1	Var2	Var3	Conv 1	Conv 2	Conv 3
2,252	2,064	2,048												
2,327	2,077	2,194	0,0083	0,0020	0,0172	2,3	2,1	2,2	0,35%	0,10%	0,79%	0,032	0,006	0,067
2,434	2,147	2,309	0,0143	0,0055	0,0120	2,4	2,1	2,3	0,58%	0,26%	0,52%	0,044	0,033	0,050
2,565	2,225	2,413										0,051	0,035	0,043
Verificação									OK	OK	OK	OK	OK	OK
									OK	OK	OK	OK	OK	OK
												OK	OK	OK

Quadro AII- 3 - Verificação de valores da resistência térmica do provete 2 no ponto 1.

Resistência Superficial			Variância (S(Re))			Re (média de 3 valores)			Variância			Convergência		
Re1	Re4	Re5	S(Re)1	S(Re)4	S(Re)5	Δre1	Δre4	Δre5	Var1	Var4	Var5	Conv 1	Conv 4	Conv 5
3,652	2,164	3,394												
3,552	2,366	3,525	0,0068	0,0183	0,0045	3,6	2,3	3,5	0,19%	0,79%	0,13%	0,028	0,086	0,037
3,488	2,421	3,434	0,0016	0,0046	0,0022	3,5	2,4	3,5	0,05%	0,19%	0,06%	0,018	0,023	0,027
3,479	2,501	3,463										0,003	0,032	0,008
Verificação									OK	OK	OK	OK	OK	OK
									OK	OK	OK	OK	OK	OK
												OK	OK	OK

Quadro AII- 4 - Verificação de valores da resistência térmica do provete 2 no ponto 2.

Resistência Superficial			Variância (S(Re))			Re (média de 3 valores)			Variância			Convergência		
Re2	Re3	Re2	S(Re)2	S(Re)3	S(Re)2	Δre2	Δre3	Δre2	Var2	Var3	Var2	Conv 2	Conv 3	Conv 2
3,110	2,518	3,139												
3,115	2,598	3,323	0,0000	0,0067	0,0189	3,1	2,6	3,3	0,00%	0,26%	0,57%	0,002	0,031	0,055
3,118	2,681	3,408	0,0012	0,0416	0,0145	3,1	2,8	3,4	0,04%	1,51%	0,42%	0,001	0,031	0,025
3,177	2,985	3,560										0,018	0,102	0,043
Verificação									OK	OK	OK	OK	OK	OK
									OK	OK	OK	OK	OK	OK
												OK	OK	OK

Quadro AII- 5 - Verificação de valores da resistência térmica do provete 2 no ponto 3.

Resistência Superficial			Variância (S(Re))			Re (média de 3 valores)			Variância			Convergência		
Re3	Re5	Re1	S(Re)3	S(Re)5	S(Re)1	Δre3	Δre5	Δre1	Var3	Var5	Var1	Conv 3	Conv 5	Conv 1
3,560	3,246	3,139												
3,595	3,363	3,323	0,0016	0,0131	0,0189	3,6	3,4	3,3	0,04%	0,39%	0,57%	0,010	0,035	0,055
3,639	3,475	3,408	0,0042	0,0452	0,0145	3,7	3,5	3,4	0,11%	1,28%	0,42%	0,012	0,032	0,025
3,722	3,774	3,560										0,022	0,079	0,043
Verificação									OK	OK	OK	OK	OK	OK
									OK	OK	OK	OK	OK	OK
												OK	OK	OK

Quadro AII- 6 - Verificação de valores da resistência térmica do provete 2 no ponto 4.

Resistência Superficial			Variância (S(Re))			Re (média de 3 valores)			Variância			Convergência		
Re4	Re1	Re4	S(Re)4	S(Re)1	S(Re)4	Δre4	Δre1	Δre4	Var4	Var1	Var4	Conv 4	Conv 1	Conv 4
3,643	3,349	3,488												
3,635	3,462	3,783	0,0020	0,0142	0,0493	3,7	3,5	3,7	0,05%	0,41%	1,32%	0,002	0,033	0,078
3,715	3,588	3,922	0,0070	0,0646	0,0566	3,7	3,7	4,0	0,19%	1,76%	1,42%	0,022	0,035	0,035
3,802	3,951	4,247										0,023	0,092	0,076
Verificação									OK	OK	OK	OK	OK	OK
									OK	OK	OK	OK	OK	OK
												OK	OK	OK

Quadro AII- 7 - Verificação de valores da resistência térmica do provete 2 no ponto 5.

Resistência Superficial			Variância (S(Re))			Re (média de 3 valores)			Variância			Convergência		
Re5	Re2	Re2	S(Re)5	S(Re)2	S(Re)2	Δre5	Δre2	Δre2	Var5	Var2	Var2	Conv 5	Conv 2	Conv 2
3,081	2,612	3,168												
3,053	2,720	3,428	0,0002	0,0066	0,0375	3,1	2,7	3,4	0,01%	0,24%	1,11%	0,009	0,040	0,076
3,074	2,771	3,546	0,0013	0,0350	0,0542	3,1	2,9	3,6	0,04%	1,23%	1,50%	0,007	0,018	0,033
3,123	3,067	3,877										0,016	0,096	0,085
Verificação									OK	OK	OK	OK	OK	OK
									OK	OK	OK	OK	OK	OK
												OK	OK	OK

Quadro AII- 8 - Verificação de valores da resistência térmica do provete 3 no ponto 1.

Resistência Superficial			Variância (S(Re))			Re (média de 3 valores)			Variância			Convergência		
Re1	Re5	Re4	S(Re)1	S(Re)5	S(Re)4	Δre1	Δre5	Δre4	Var1	Var5	Var4	Conv 1	Conv 5	Conv 4
3,669	4,381	4,597												
4,018	4,369	4,616	0,0807	0,0000	0,0001	4,0	4,4	4,6	2,03%	0,00%	0,00%	0,087	0,003	0,004
4,232	4,372	4,610	0,0562	0,0147	0,0253	4,2	4,4	4,7	1,32%	0,33%	0,54%	0,051	0,001	0,001
4,491	4,580	4,888										0,058	0,045	0,057
Verificação									OK	OK	OK	OK	OK	OK
									OK	OK	OK	OK	OK	OK
												OK	OK	OK

Quadro AII- 9 - Verificação de valores da resistência térmica do provete 3 no ponto 2.

Resistência Superficial			Variância (S(Re))			Re (média de 3 valores)			Variância			Convergência		
Re2	Re1	Re5	S(Re)2	S(Re)1	S(Re)5	Δre2	Δre1	Δre5	Var2	Var1	Var5	Conv 2	Conv 1	Conv 5
2,888	4,582	2,793												
3,470	4,429	2,782	0,2086	0,0257	0,0000	3,4	4,4	2,8	6,17%	0,58%	0,00%	0,168	0,034	0,004
3,789	4,261	2,782	0,1162	0,0072	0,0097	3,8	4,4	2,8	3,06%	0,16%	0,34%	0,084	0,039	0,000
4,151	4,365	2,953										0,087	0,024	0,058
Verificação									OK	OK	OK	KO	OK	OK
									OK	OK	OK	OK	OK	OK
												OK	OK	OK

Quadro AII- 10 - Verificação de valores da resistência térmica do provete 3 no ponto 3.

Resistência Superficial			Variância (S(Re))			Re (média de 3 valores)			Variância			Convergência		
Re3	Re2	Re3	S(Re)3	S(Re)2	S(Re)3	Δre3	Δre2	Δre3	Var3	Var2	Var3	Conv 3	Conv 2	Conv 3
3,590	5,762	4,679												
3,941	5,681	4,598	0,0867	0,0033	0,0053	3,9	5,7	4,6	2,22%	0,06%	0,11%	0,089	0,014	0,017
4,175	5,650	4,534	0,0773	0,0183	0,0152	4,2	5,7	4,6	1,84%	0,32%	0,33%	0,056	0,005	0,014
4,495	5,898	4,772										0,071	0,042	0,050
Verificação									OK	OK	OK	OK	OK	OK
									OK	OK	OK	OK	OK	OK
												OK	OK	OK

Quadro AII- 11 - Verificação de valores da resistência térmica do provete 3 no ponto 4.

Resistência Superficial			Variância (S(Re))			Re (média de 3 valores)			Variância			Convergência		
Re4	Re3	Re1	S(Re)4	S(Re)3	S(Re)1	Δre4	Δre3	Δre1	Var4	Var3	Var1	Conv 4	Conv 3	Conv 1
3,903	4,983	4,868												
4,468	4,970	4,807	0,1930	0,0011	0,0051	4,4	5,0	4,8	4,41%	0,02%	0,11%	0,126	0,003	0,013
4,769	4,919	4,726	0,1304	0,0048	0,0159	4,8	5,0	4,8	2,71%	0,10%	0,33%	0,063	0,010	0,017
5,187	5,057	4,974										0,081	0,027	0,050
Verificação									OK	OK	OK	KO	OK	OK
									OK	OK	OK	OK	OK	OK
												OK	OK	OK

Quadro AII- 12 - Verificação de valores da resistência térmica do provete 3 no ponto 5.

Resistência Superficial			Variância (S(Re))			Re (média de 3 valores)			Variância			Convergência		
Re5	Re4	Re2	S(Re)5	S(Re)4	S(Re)2	Δre5	Δre4	Δre2	Var5	Var4	Var2	Conv 5	Conv 4	Conv 2
3,795	5,536	5,941												
4,209	5,481	5,879	0,1053	0,0011	0,0032	4,1	5,5	5,9	2,54%	0,02%	0,05%	0,098	0,010	0,011
4,435	5,539	5,829	0,0705	0,0305	0,0492	4,5	5,6	6,0	1,58%	0,54%	0,82%	0,051	0,010	0,009
4,738	5,808	6,235										0,064	0,046	0,065
Verificação									OK	OK	OK	OK	OK	OK
									OK	OK	OK	OK	OK	OK
												OK	OK	OK

Quadro AII- 13 - Verificação de valores da resistência térmica do provete 4 no ponto 1.

Resistência Superficial			Variância (S(Re))			Re (média de 3 valores)			Variância			Convergência		
Re1	Re2	Re5	S(Re)1	S(Re)5	S(Re)4	Δre1	Δre5	Δre4	Var1	Var5	Var4	Conv 1	Conv 2	Conv 5
3,226	4,132	4,228												
3,424	4,608	4,559	0,0215	0,1396	0,0867	3,4	4,5	4,5	0,64%	3,08%	1,91%	0,058	0,103	0,073
3,512	4,869	4,815	0,0548	0,0415	0,0928	3,6	4,8	4,8	1,52%	0,86%	1,91%	0,025	0,054	0,053
3,866	5,009	5,166										0,092	0,028	0,068
Verificação									OK	OK	OK	OK	OK	OK
									OK	OK	OK	OK	OK	OK
												OK	OK	OK

Quadro AII- 14 - Verificação de valores da resistência térmica do provete 4 no ponto 2.

Resistência Superficial			Variância (S(Re))			Re (média de 3 valores)			Variância			Convergência		
Re2	Re3	Re4	S(Re)2	S(Re)1	S(Re)5	Δre2	Δre1	Δre5	Var2	Var1	Var5	Conv 2	Conv 3	Conv 4
2,786	3,673	3,487												
2,845	4,651	3,619	0,0057	0,5568	0,0223	2,9	4,5	3,6	0,20%	12,41%	0,61%	0,021	0,210	0,037
2,936	5,139	3,784	0,0343	0,1512	0,0479	3,0	5,1	3,8	1,15%	2,98%	1,25%	0,031	0,095	0,044
3,202	5,419	4,053										0,083	0,052	0,066
Verificação									OK	OK	OK	OK	KO... :(OK
									OK	OK	OK	OK	OK	OK
												OK	OK	OK

Quadro AII- 15 - Verificação de valores da resistência térmica do provete 4 no ponto 3.

Resistência Superficial			Variância (S(Re))			Re (média de 3 valores)			Variância			Convergência		
Re3	Re5	Re2	S(Re)3	S(Re)5	S(Re)2	Δre3	Δre5	Δre2	Var3	Var5	Var2	Conv 3	Conv 5	Conv 2
3,196	4,224	3,944												
3,301	5,043	4,127	0,0089	0,3457	0,0262	3,3	4,9	4,1	0,27%	7,09%	0,64%	0,032	0,162	0,044
3,385	5,364	4,267	0,0392	0,0745	0,0388	3,5	5,3	4,3	1,13%	1,40%	0,90%	0,025	0,060	0,033
3,678	5,586	4,516										0,080	0,040	0,055
Verificação									OK	OK	OK	OK	KO... :(OK
									OK	OK	OK	OK	OK	OK
												OK	OK	OK

Quadro AII- 16 - Verificação de valores da resistência térmica do provete 4 no ponto 4.

Resistência Superficial			Variância (S(Re))			Re (média de 3 valores)			Variância			Convergência		
Re4	Re1	Re3	S(Re)4	S(Re)1	S(Re)3	Δre4	Δre1	Δre3	Var4	Var1	Var3	Conv 4	Conv 1	Conv 3
3,509	5,177	3,926												
3,787	7,062	4,446	0,0719	2,0880	0,1959	3,8	6,8	4,4	1,90%	30,93%	4,46%	0,073	0,267	0,117
4,045	8,017	4,807	0,1568	0,6191	0,1922	4,1	7,9	4,9	3,80%	7,84%	3,96%	0,064	0,119	0,075
4,564	8,622	5,318										0,114	0,070	0,096
Verificação									OK	OK	OK	OK	KO... :(OK
									OK	OK	OK	OK	OK	OK
												OK	OK	OK

Quadro AII- 17 - Verificação de valores da resistência térmica do provete 4 no ponto 5.

Resistência Superficial			Variância (S(Re))			Re (média de 3 valores)			Variância			Convergência		
Re5	Re4	Re1	S(Re)5	S(Re)4	S(Re)1	$\Delta re5$	$\Delta re4$	$\Delta re1$	Var5	Var4	Var1	Conv 5	Conv 4	Conv 1
4,067	4,089	4,663												
4,337	5,156	5,011	0,0451	0,6187	0,1094	4,3	5,0	5,0	1,05%	12,48%	2,19%	0,062	0,207	0,069
4,486	5,624	5,324	0,1309	0,1556	0,1317	4,6	5,6	5,4	2,84%	2,79%	2,46%	0,033	0,083	0,059
5,025	5,941	5,734										0,107	0,053	0,072
									OK	OK	OK	OK	KO... :(OK
									OK	OK	OK	OK	OK	OK
												OK	OK	OK

ANEXO III

Quadro AIII- 1 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmico do provete 2 no ponto 2.

Ponto 2								
Componente	Espessura	Material	λ	ρ	R	Rse	Rsi	U
	mm		W/(mK)	Kg/m3	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(W/m ² .°C)
1	70	Tronco maciço de madeira	0,150	565,000	0,467	0,040	0,130	0,593
2	50	Lã de rocha	0,040	70,000	1,250			
3	20	Ripa separadora em madeira horizontal (20x50)	0,150	565,000	0,133			
4	20	Ripa separadora em madeira vertical (20x50)	0,150	565,000	0,133			
5	20	Forro interior em madeira	0,150	565,000	0,133			
Σ	180,000			Σ	1,517			

Quadro AIII- 2 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmico do provete 2 no ponto 3.

Ponto 3								
Componente	Espessura	Material	λ	ρ	R	Rse	Rsi	U
	mm		W/(mK)	Kg/m3	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(W/m ² .°C)
1	70	Tronco maciço de madeira	0,150	565,000	0,467	0,040	0,130	0,464
2	50	Lã de rocha	0,040	70,000	1,250			
3	20	Ripa separadora em madeira horizontal (20x50)	0,150	565,000	0,133			
4	20	Ripa separadora em madeira vertical (20x50)	0,150	565,000	0,133			
5	20	Forro interior em madeira	0,150	565,000	0,133			
Σ	180,000			Σ	1,983			

Quadro AIII- 3 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmico do provete 2 no ponto 4.

Ponto 4								
Componente	Espessura	Material	λ	ρ	R	Rse	Rsi	U
	mm		W/(mK)	Kg/m3	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(W/m ² .°C)
1	70	Tronco maciço de madeira	0,150	565,000	0,467	0,040	0,130	0,495
2	50	Lã de rocha	0,040	70,000	1,250			
3	20	Ripa separadora em madeira horizontal (20x50)	0,150	565,000	0,133			
4	20	Ripa separadora em madeira vertical (20x50)	0,150	565,000	0,133			
5	20	Forro interior em madeira	0,150	565,000	0,133			
Σ	180,000			Σ	1,850			

Quadro AIII- 4 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmico do provete 2 no ponto 5.

Ponto 5								
Componente	Espessura	Material	λ	ρ	R	Rse	Rsi	U
	mm		W/(mK)	Kg/m3	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(W/m ² .°C)
1	70	Tronco maciço de madeira	0,150	565,000	0,467	0,040	0,130	0,549
2	50	Lã de rocha	0,040	70,000	1,250			
3	20	Ripa separadora em madeira horizontal (20x50)	0,150	565,000	0,133			
4	20	Ripa separadora em madeira vertical (20x50)	0,150	565,000	0,133			
5	20	Forro interior em madeira	0,150	565,000	0,133			
Σ	180,000			Σ	1,650			

Quadro AIII- 5 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmico do provete 3 no ponto 2.

Ponto 2								
Componente	Espessura	Material	λ	ρ	R	Rse	Rsi	U
	mm		W/(mK)	Kg/m3	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(W/m2.°C)
1	120	Tronco em madeira maciça	0,150	565,000	0,800	0,040	0,130	0,570
2	50	Lã de rocha	0,040	70,000	1,250			
3	-	Barreira pára vapor	-	-	-			
4	25	Ripa separadora horizontal (25x40)	0,150	565,000	0,167			
5	25	Ripa separadora vertical (25x40)	0,150	565,000	0,167			
6	20	Forro interior em madeira	0,150	565,000	0,133			
Σ	120,000			Σ	1,583			

Quadro AIII- 6 -Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmico do provete 3 no ponto 3.

Ponto 3								
Componente	Espessura	Material	λ	ρ	R	Rse	Rsi	U
	mm		W/(mK)	Kg/m3	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(W/m2.°C)
1	120	Tronco em madeira maciça	0,150	565,000	0,800	0,040	0,130	0,397
2	50	Lã de rocha	0,040	70,000	1,250			
3	-	Barreira pára vapor	-	-	-			
4	25	Ripa separadora horizontal (25x40)	0,150	565,000	0,167			
5	25	Ripa separadora vertical (25x40)	0,150	565,000	0,167			
6	20	Forro interior em madeira	0,150	565,000	0,133			
Σ	120,000			Σ	2,350			

Quadro AIII- 7 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmico do provete 3 no ponto 4.

Ponto 4								
Componente	Espessura	Material	λ	ρ	R	Rse	Rsi	U
	mm		W/(mK)	Kg/m3	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(W/m ² .°C)
1	120	Tronco em madeira maciça	0,150	565,000	0,800	0,040	0,130	0,425
2	50	Lã de rocha	0,040	70,000	1,250			
3	-	Barreira pára vapor	-	-	-			
4	25	Ripa separadora horizontal (25x40)	0,150	565,000	0,167			
5	25	Ripa separadora vertical (25x40)	0,150	565,000	0,167			
6	20	Forro interior em madeira	0,150	565,000	0,133			
Σ	120,000			Σ	2,183			

Quadro AIII- 8 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmico do provete 3 no ponto 5.

Ponto 5								
Componente	Espessura	Material	λ	ρ	R	Rse	Rsi	U
	mm		W/(mK)	Kg/m3	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(W/m ² .°C)
1	120	Tronco em madeira maciça	0,150	565,000	0,800	0,040	0,130	0,397
2	50	Lã de rocha	0,040	70,000	1,250			
3	-	Barreira pára vapor	-	-	-			
4	25	Ripa separadora horizontal (25x40)	0,150	565,000	0,167			
5	25	Ripa separadora vertical (25x40)	0,150	565,000	0,167			
6	20	Forro interior em madeira	0,150	565,000	0,133			
Σ	120,000			Σ	2,350			

Quadro AIII- 9 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmico do provete 4 no ponto 1.

Ponto 2								
Componente	Espessura	Material	λ	ρ	R	Rse	Rsi	U
	mm		W/(mK)	Kg/m3	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(W/m2.°C)
1	20	Forro exterior de madeira	0,150	565,000	0,133	0,040	0,130	0,320
2	20	Ripa separadora de madeira (exterior)	0,150	565,000	0,133			
3	-	Membrana microporosa	-	-	-			
4	100	Lã de rocha	0,045	30,000	2,222			
5	-	Folha de polietileno	-	-	-			
6	25	Ripa separadora de madeira horizontal (25x40)	0,150	565,000	0,167			
7	25	Ripa separadora de madeira vertical (25x40)	0,150	565,000	0,167			
8	20	Forro interior de madeira	0,150	565,000	0,133			
Σ	210,000			Σ	2,956			

Quadro AIII- 10 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmico do provete 4 no ponto 3.

Ponto 3								
Componente	Espessura	Material	λ	ρ	R	Rse	Rsi	U
	mm		W/(mK)	Kg/m ³	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(W/m ² .°C)
1	20	Forro exterior de madeira	0,150	565,000	0,133	0,040	0,130	0,338
2	20	Ripa separadora de madeira (exterior)	0,150	565,000	0,133			
3	-	Membrana microporosa	-	-	-			
4	100	Lã de rocha	0,045	30,000	2,222			
5	-	Folha de polietileno	-	-	-			
6	25	Ripa separadora de madeira horizontal (25x40)	0,150	565,000	0,167			
7	25	Ripa separadora de madeira vertical (25x40)	0,150	565,000	0,167			
8	20	Forro interior de madeira	0,150	565,000	0,133			
Σ	210,000			Σ	2,789			

Quadro AIII- 11 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmico do provete 4 no ponto 4.

Ponto 4								
Componente	Espessura	Material	λ	ρ	R	Rse	Rsi	U
	mm		W/(mK)	Kg/m3	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(W/m2.°C)
1	20	Forro exterior de madeira	0,150	565,000	0,133	0,040	0,130	0,371
2	20	Ripa separadora de madeira (exterior)	0,150	565,000	0,133			
3	-	Membrana microporosa	-	-	-			
4	100	Lã de rocha	0,045	30,000	2,222			
5	-	Folha de polietileno	-	-	-			
6	25	Ripa separadora de madeira horizontal (25x40)	0,150	565,000	0,167			
7	25	Ripa separadora de madeira vertical (25x40)	0,150	565,000	0,167			
8	20	Forro interior de madeira	0,150	565,000	0,133			
Σ	210,000			Σ	2,522			

Quadro AIII- 12 - Previsão do valor do coeficiente de transmissão térmico do provete 4 no ponto 5.

Ponto 5								
Componente	Espessura	Material	λ	ρ	R	Rse	Rsi	U
	mm		W/(mK)	Kg/m ³	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(m ² °C)/W	(W/m ² .°C)
1	20	Forro exterior de madeira	0,150	565,000	0,133	0,040	0,130	0,376
2	20	Ripa separadora de madeira (exterior)	0,150	565,000	0,133			
3	-	Membrana microporosa	-	-	-			
4	100	Lã de rocha	0,045	30,000	2,222			
5	-	Folha de polietileno	-	-	-			
6	25	Ripa separadora de madeira horizontal (25x40)	0,150	565,000	0,167			
7	25	Ripa separadora de madeira vertical (25x40)	0,150	565,000	0,167			
8	20	Forro interior de madeira	0,150	565,000	0,133			
Σ	210,000			Σ	2,489			