



**Universidade de Aveiro**  
**Ano 2020**

Departamento de Engenharia Civil

**RUI JORGE**  
**BONIFÁCIO PINTO**

**ACOMPANHAMENTO DE EXECUÇÃO DE**  
**COBERTURAS DE EDIFÍCIOS: EXIGÊNCIAS**  
**FUNCIONAIS E DETALHES CONSTRUTIVOS**





**Universidade de Aveiro**  
**Ano 2020**

Departamento de Engenharia Civil

**RUI JORGE  
BONIFÁCIO PINTO**

**ACOMPANHAMENTO DE EXECUÇÃO DE  
COBERTURAS DE EDIFÍCIOS: EXIGÊNCIAS  
FUNCIONAIS E DETALHES CONSTRUTIVOS**

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e co-orientação do Eng. João Bernardo Pinho e Melo



Dedico este trabalho à minha família pelo incansável apoio.



## **o júri**

presidente

**Prof. Doutora Margarida João Fernandes de Pinho Lopes**  
professora auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Romeu da Silva Vicente**  
professor associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de Almeida**  
professor adjunto do Instituto Politécnico de Viseu – Escola Superior de Tecnologia



## **agradecimentos**

Quero agradecer a todos os que contribuíram para a conclusão desta etapa.

À minha família pelo apoio incansável e pela compreensão.

Ao meu orientador Romeu Vicente pela disponibilidade e ajuda em todo o trabalho realizado.

Aos meus amigos por todas as conversas nos momentos mais difíceis.

E um especial agradecimento ao engenheiro João Nobre e ao encarregado Marco Valente, por toda a ajuda e conhecimento emprestado durante o estágio.



**palavras-chave**

Cobertura, temperatura, condensação, higrometria, humidade

**resumo**

O presente relatório de estágio debruça-se sobre os sistemas de coberturas, mais especificamente, sobre as exigências funcionais e detalhes construtivos, focando ainda no cálculo de condensações internas.

Como tal foi acompanhada a construção de vários sistemas de coberturas num edifício em Estarreja, na região de Aveiro.

Sendo as condensações internas uma das razões para a ocorrência de patologias mais comuns nos sistemas de cobertura, foi utilizado um programa de cálculo de condensações para avaliar o risco de condensações internas nas coberturas presentes em obra.

O relatório de estágio está dividido em 7 capítulos. No primeiro, é feita uma introdução que fornece várias informações acerca do relatório de estágio, da empresa onde ocorreu o estágio, e os objetivos principais. No segundo, é feito o enquadramento relativamente a sistemas de coberturas. No terceiro são apresentadas várias informações relativamente a fenómenos e problemas de humidades. No quarto estão presentes diversas informações acerca dos detalhes construtivos dos sistemas de cobertura presentes em obra. No quinto apresenta-se um estudo do cálculo de condensações internas. Por fim, no capítulo 6 estão as conclusões finais e no capítulo 7 as referências bibliográficas. Estão também presentes 6 anexos, com a extensão dos resultados obtidos no quinto capítulo.



**keywords**

Roofing, temperature, condensation, hygrometry, humidity

**abstract**

This internship report focuses on roofing systems, more specifically, on functional requirements and construction details, also focusing on the calculation of internal condensations.

As such, the construction of several roofing systems was monitored in a building in Estarreja, in the region of Aveiro.

Being internal condensation one of the reasons for the most common pathologies in roofing systems, a software program was used to assess the risk of internal condensation in the roofs present on site.

The internship report is divided into 7 chapters. In the first, an introduction is made that provides various information about the internship report, the company where the internship took place and the main objectives. In the second, the framework is made for roofing systems. In the third, various information is presented regarding humidity phenomena and problems. In the fourth is presented information about the construction details of the roofing systems present on site. The fifth presents a study of the calculation of internal condensations. Finally, in the sixth chapter are the final conclusions and in the seventh chapter the bibliographical references. There are also six annexes, with the extended results obtained in the fifth chapter.



## Índices

---



**ÍNDICE**

1.	Introdução .....	1
1.1.	Organização do relatório .....	1
1.2.	Descrição da empresa.....	2
1.3.	Objetivos principais.....	2
2.	Sistemas de Cobertura de edifícios .....	5
2.1.	Descrição e classificação de sistemas de cobertura.....	7
2.2.	Listagem das exigências funcionais .....	8
2.3.	Revestimento ou sistema de impermeabilização.....	10
2.3.1.	Sistemas tradicionais .....	10
2.3.2.	Sistemas não tradicionais .....	11
2.3.3.	Sistemas aderentes.....	11
2.3.4.	Sistemas semi-aderentes ou semi-independentes .....	12
2.3.5.	Sistemas Independentes.....	12
2.3.6.	Sistemas fixados mecanicamente .....	12
2.3.7.	Camada tela pára-vapor ou barreira pára-vapor .....	13
2.4.	Pontos singulares.....	13
2.4.1.	Cumeeira .....	14
2.4.2.	Rincão .....	14
2.4.3.	Laró .....	14
2.4.4.	Remate de cobertura com parede emergente.....	14
2.4.5.	Remate de cobertura com parede não emergente – bordo.....	15
2.4.6.	Beiral e Beirado.....	15
2.4.7.	Juntas de dilatação.....	16
2.4.8.	Coroamento .....	16
2.5.	Interfaces Construtivas.....	16
2.5.1.	Chaminés.....	17
2.5.2.	Forros .....	17
2.5.3.	Janelas e claraboias .....	17
2.6.	Sistemas de drenagem .....	17
2.6.1.	Drenagem gravítica .....	18
2.6.2.	Drenagem com elevação .....	18
2.6.3.	Sistema misto .....	18
2.6.4.	Acessórios e instalações complementares ao sistema .....	19

3.	Condensações internas: Conceitos base .....	21
3.1.	Enquadramento.....	23
3.2.	Psicrometria.....	23
3.3.	Higrometria .....	24
3.3.1.	Classificação dos edifícios em função da sua higrometria .....	25
3.4.	Transferência de humidade em materiais .....	26
3.4.1.	Modelo de Difusão de Fick .....	27
3.4.2.	Método de Glaser .....	27
3.4.3.	Determinação do fluxo condensado .....	29
3.4.4.	Fatores que influenciam a permeabilidade ao vapor de água dos materiais de construção.....	30
4.	Caso de estudo e acompanhamento de execução de coberturas .....	33
4.1.	Edifício residencial Visconde Valdemouro.....	35
4.2.	Características técnicas.....	36
4.2.1.	Cobertura plana não acessível .....	36
4.2.2.	Cobertura Plana acessível.....	37
4.2.3.	Cobertura inclinada ou semicircular.....	39
4.2.4.	Zona comum de circulação.....	40
4.3.	Fases de execução .....	40
4.3.1.	Cobertura plana não acessível .....	40
4.3.2.	Cobertura Plana Acessível.....	44
4.3.3.	Cobertura inclinada e semicircular .....	48
4.3.4.	Zona comum de circulação.....	50
5.	Avaliação do risco de ocorrência de condensações internas .....	55
5.1.	Avaliação de condensações internas em sistemas de coberturas.....	57
5.2.	Avaliação dos sistemas de cobertura do caso de estudo.....	74
5.2.1.	Análise da cobertura plana não acessível .....	74
5.2.2.	Análise da cobertura plana acessível.....	81
5.2.3.	Análise da cobertura inclinada ou semicircular.....	83
5.3.	Síntese final .....	88
6.	Conclusões finais.....	89
6.1.	Principais conclusões .....	91
6.2.	Acompanhamento em obra.....	91
6.3.	Comentário final.....	92
7.	Referências Bibliográficas .....	93
	ANEXOS.....	97

## Índice de Figuras

Figura 1- Sede da CIVILRIA (“Google Earth”,2019) .....	2
Figura 2- Elementos de uma cobertura (Sousa et al., 1998).....	13
Figura 3- Pormenor de rufagem de uma chaminé (Sousa et al., 1998). .....	15
Figura 4 - Pormenor de uma junta de dilatação (Sousa et al., 2003) .....	16
Figura 5- Exemplo de um:(a) sistema gravítico, (b) sistema misto (João Vindeirinho Rino, 2011).18	
Figura 6- Ilustração de (a) situação de transferência de vapor de água em clima frio, (b) situação de transferência em clima quente (Adaptado de O’Brien, 2016).....	30
Figura 7 - Situação de transferência de vapor de água em clima misto (Adaptado de O’Brien, 2016). .....	31
Figura 8-Edifício Visconde Valdemouro, (a), futura fachada noroeste, (b) futura fachada nordeste (Melo, 2018).....	35
Figura 9 - Localização e constituição das várias coberturas presentes em obra (Pinto, 2020).....	36
Figura 10 - Constituição construtiva da cobertura plana não acessível (Pinto, 2020).....	37
Figura 11 - Constituição construtiva da cobertura plana acessível (Pinto, 2020). .....	38
Figura 12 - Constituição construtiva da cobertura inclinada ou semicircular (Pinto, 2020). .....	39
Figura 13 - Constituição construtiva da zona comum de circulação (Pinto, 2020).....	40
Figura 22 - Constituição construtiva da chaminé na cobertura plana acessível (Pinto, 2020). .....	47
Figura 26 - Pormenor construtivo da ligação entre a cobertura plana acessível e a cobertura inclinada – zona de caleira. ....	50
Figura 16 - Interface inicial do programa "Condensaciones" (em espanhol).....	61
Figura 17 - Interface que permite a escolha do elemento construtivo (em espanhol/inglês). .....	61
Figura 18- Exemplo da inserção de dados climáticos (em espanhol). .....	62
Figura 19 - Inserção dos valores para a Resistência térmica superficial (em espanhol). .....	63
Figura 20 - Indicação visual de que ocorrem condensações (em espanhol).....	63
Figura 21- Tabela da constituição da solução e propriedades higrométricas do elemento construtivo de exemplo (em espanhol).....	64
Figura 22 - Exemplo do perfil de pressões e temperatura do mês de outubro (em espanhol).....	65
Figura 23 - Resumo dos dados climáticos do mês de outubro (em espanhol). .....	65
Figura 24 - Resumo da constituição do elemento construtivo (em espanhol).....	66
Figura 25 - Gráfico da quantidade de condensações ocorridas no mês de outubro (em espanhol)..	67
Figura 26 - Resumo dos resultados obtidos relativamente ao mês de outubro (em espanhol).....	67
Figura 27 - Resumo dos dados climáticos para o mês de janeiro (em espanhol). .....	68
Figura 28 - Perfil de pressões e temperatura para o mês de janeiro (em espanhol). .....	69
Figura 29- Gráfico da quantidade de condensações ocorridas no mês de janeiro (em espanhol). ...	69
Figura 30 - Resumo dos resultados obtidos relativamente ao mês de janeiro (em espanhol). .....	70
Figura 31 - Resumo dos dados climáticos para o mês de julho (em espanhol).....	70
Figura 32 - Perfil de pressões e temperatura para o mês de julho (em espanhol). .....	71
Figura 33 - Gráfico da quantidade de condensações ocorridas no mês de julho (em espanhol). ....	72
Figura 34 - Resumo dos resultados obtidos relativamente ao mês de julho (em espanhol). .....	72
Figura 35 - Tabela da constituição da solução e propriedades higrométricas da cobertura plana não acessível. ....	74
Figura 36 - Descrição do elemento construtivo, cobertura plana não acessível, e os seus valores das suas características higrométricas (em espanhol).....	75
Figura 37 - Condições de cálculo para a cobertura plana não acessível, no mês de janeiro (em espanhol). .....	76
Figura 38 - Perfil de pressões e temperatura para a cobertura plana não acessível no mês de janeiro (em espanhol).....	76

Figura 39 - Resultados da análise para a cobertura plana não acessível no mês de janeiro (em espanhol). .....	77
Figura 40 - Condições de cálculo para a cobertura plana não acessível, no mês de julho (em espanhol). .....	78
Figura 41 - Perfil de pressões e temperatura para a cobertura plana não acessível no mês de julho (em espanhol). .....	78
Figura 42 - Resultados da análise para a cobertura plana não acessível no mês de julho (em espanhol). .....	79
Figura 43 - Tabela da constituição da solução e propriedades higrométricas da cobertura plana acessível. ....	81
Figura 44 - Descrição do elemento construtivo, cobertura plana acessível, e os seus valores das suas características higrométricas (em espanhol). .....	81
Figura 45 - Tabela da constituição da solução e propriedades higrométricas da cobertura inclinada ou semicircular. ....	83
Figura 46 - Descrição do elemento construtivo, cobertura inclinada ou semicircular, e os seus valores das suas características higrométricas (em espanhol). .....	83
Figura 47 - Condições de cálculo para a cobertura inclinada ou semicircular, no mês de janeiro (em espanhol). .....	84
Figura 48 - Perfil de pressões e temperatura para a cobertura inclinada ou semicircular no mês de janeiro (em espanhol). .....	84
Figura 49 - Resultados da análise para a cobertura plana acessível no mês de janeiro (em espanhol). .....	85
Figura 50 - Condições de cálculo para a cobertura inclinada ou semicircular, no mês de julho (em espanhol). .....	85
Figura 51 - Perfil de pressões e temperatura para a cobertura inclinada ou semicircular no mês de janeiro (em espanhol). .....	86
Figura 52 - Resultados da análise para a cobertura plana acessível no mês de julho (em espanhol). .....	86

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Classes de Higrometria (Freitas and Pinto, 1998).....	26
Tabela 2 - Fase 1 da construção da cobertura plana não acessível.....	41
Tabela 3 - Fase 2 da construção da cobertura plana não acessível.....	41
Tabela 4 - Fase 3 da construção da cobertura plana não acessível.....	42
Tabela 5 - Fase 4 da construção da cobertura plana não acessível.....	43
Tabela 6 - Fase 1 da construção da cobertura plana acessível. ....	44
Tabela 7 - Fase 2 da construção da cobertura plana acessível. ....	45
Tabela 8 - Fase 3 da construção da cobertura plana acessível. ....	46
Tabela 9 - Fase 4 da construção da cobertura plana acessível. ....	47
Tabela 10 - Fase 1 da construção da cobertura inclinada e semicircular. ....	48
Tabela 11 - Fase 2 da construção da cobertura inclinada e semicircular. ....	49
Tabela 12 - Fase 3 da construção da cobertura inclinada e semicircular. ....	50
Tabela 13 - Fase 1 da construção da cobertura zona comum de circulação.....	51
Tabela 14 - Fase 2 da construção da cobertura zona comum de circulação.....	52
Tabela 15 - Fase 3 da construção da cobertura zona comum de circulação.....	53
Tabela 16- Condições climáticas fornecidas pelo exemplo da ISO 13788 (International Standard Organization 2012).....	58
Tabela 17 - Constituição do elemento construtivo e respectivas resistências superficiais externas e internas, conforme o exemplo da ISO 13788 (International Standard Organization 2012). ....	58
Tabela 18 - Resultados do exemplo presente na ISO 13788 (International Standard Organization 2012). ....	59
Tabela 19 - Cálculo da temperatura mínima na superfície interna.....	60
Tabela 20- Resultados utilizando a inserção de valores climáticos através do interface climático. ....	73
Tabela 21 - Resultados relativos a cobertura plana não acessível.....	80
Tabela 22 - Resultados relativos a cobertura plana acessível.....	82
Tabela 23- Resultados relativos a cobertura inclinada e semi-circular. ....	87



## **Acrónimos**

APP – Atactic polypropylene (Polipropileno atático)

SBS – Styrene-butadiene-styrene (Estireno-butadieno-estireno)

PVC – Polyvinyl chloride (Cloruro de polivinil)

EPDM – Ethylene propylene diene monomer (Monômero de etileno-propileno-dieno)

CSPE – Chlorosulfonated polyethylene (Polietileno Clorossulfonado)

CPE – Chlorinated polyethylene (Polietileno clorado)

PIB – Polyisobutylene (Polisobutileno)



## **1. INTRODUÇÃO**

---



## 1.1. Organização do relatório

Neste relatório estão presentes 7 capítulos, nos quais são detalhadas as várias informações e atividades realizadas durante o período de estágio, além dos conhecimentos necessários à compressão de um caso de estudo acerca da higrometria de uma cobertura de um edifício em construção.

Neste primeiro capítulo é realizada uma breve apresentação da organização do relatório de estágio e da empresa, além dos objetivos e propósitos do estágio.

No segundo capítulo são detalhadas as várias informações acerca de coberturas, entre elas, a sua descrição e classificação, exigências funcionais, camadas necessárias, sistemas e materiais que permitem o seu bom funcionamento, elementos da sua constituição e interfaces construtivas.

O terceiro capítulo é inteiramente dedicado ao acontecimento de condensações. São fornecidos vários conceitos necessários à compreensão da temática, além das formulações necessárias para a realização do caso de estudo higrométrico do edifício em construção.

No quarto capítulo são fornecidas todas as informações relativas ao edifício onde ocorreu o estágio. Além disto, são fornecidas às características técnicas, pormenores construtivos e fases de execução das coberturas presentes no edifício, juntamente com fotos das mesmas.

No quinto capítulo é demonstrada a campanha experimental realizada, juntamente com os resultados e conclusões obtidas dos mesmos. Campanha experimental que consiste na validação de resultados fornecidos por um software de cálculo higrométrico, e utilização desse mesmo software para cálculos higrométricos relativamente as coberturas presentes em obra.

O sexto capítulo é dedicado á conclusão generalizada do relatório de estágio e no sétimo capítulo temos as referências bibliográficas.

E por fim, constam anexos, onde estão os resultados obtidos durante à campanha experimental. Sendo os anexos I e II, relativos a validação do programa, e os restantes acerca dos resultados obtidos para as várias coberturas presentes em obra.

## 1.2. Descrição da empresa

A empresa CIVILRIA, atualmente com sede na rua Cristóvão Pinho Queimado, N°33, P3, 3800-012 Aveiro, Portugal, como se pode ver na figura 1, teve início em dezembro de 1991.



Figura 1- Sede da CIVILRIA (“Google Earth”, 2019)

Desde o início que a empresa CIVILRIA denota-se pela inovação e revolução de técnicas construtivas e do mercado imobiliário, sendo responsável pela conceção, construção, fiscalização e comercialização, tendo para isto vários departamentos especializados.

Consideram a sua missão transformar o espaço urbano, através do uso das mais recentes soluções construtivas, tendo como base a esta missão, equipas de colaboradores especializados, que escolhem os materiais de melhor qualidade e que proporcionem a melhor estética ao produto final, respeitando sempre o meio ambiente e a sua envolvente.

## 1.3. Objetivos principais

No presente estágio, o cargo a cumprir será o de estagiário de engenheiro de produção durante a construção de um edifício, numa obra privada desenvolvida pela CIVILRIA.

O objetivo final deste estágio académico é adquirir experiência como engenheiro de produção através do acompanhamento de uma obra de construção no centro de Estarreja.

No entanto este estágio, inclui também os seguintes objetivos:

- Acompanhar a evolução da obra diariamente e aprender e desenvolver as competências necessárias para tal;

- Detetar problemas e disfunções na obra e promover a sua resolução, além de prevenir futuros problemas semelhantes, através de uma visão e análise crítica;
- Acompanhar a implementação e desenvolvimento das soluções propostas em projeto, das alterações que possam acontecer diariamente e promover possíveis melhoramentos;
- Apoiar os desenvolvimentos na construção através da visão e uso dos conhecimentos de um engenheiro de produção;

Em suma, a participação em várias tarefas dentro do organigrama do corpo técnico da empresa, que possibilitará contactar com vários papéis dentro da profissão.

Este estágio facultará também informação para uma avaliação do risco de ocorrência de condensações em sistemas de cobertura.

Permitirá, ainda, consolidar os conhecimentos obtidos no curso de engenharia Civil, além de conhecer o envolvimento de um engenheiro civil numa construção, promovendo a independência no futuro mundo de trabalho e numa obra, a segurança, relação trabalhador/engenheiro, análise e proposta de soluções construtivas e resolução de problemas decorrentes;



## **2. SISTEMAS DE COBERTURA DE EDIFÍCIOS**

---



## 2.1. Descrição e classificação de sistemas de cobertura

As coberturas são elementos construtivos que normalmente estão situados no topo dos edifícios. São constituídas por elementos estruturais e não estruturais, sendo o seu objetivo principal a proteção contra as intempéries, além da proteção contra os elementos naturais, têm funções acústicas e térmicas (Alves, 2013).

É possível classificar as coberturas através das suas variadas características, estando entre as mais comuns o pendente, a acessibilidade, o revestimento de impermeabilização, a posição do isolamento térmico, o tipo de proteção do revestimento de impermeabilização e a estrutura resistente ou de suporte (Alves, 2013).

Dentro do conjunto destas características, é ainda possível definir mais rigorosamente cada cobertura.

Na classificação das coberturas quanto à pendente, existem coberturas em terraço ou planas e coberturas inclinadas ( $i > 15\%$ ).

Na classificação das coberturas relativamente a acessibilidade, existe terraços acessíveis, terraços de acessibilidade limitada, terraços não acessíveis e coberturas especiais.

Na classificação das coberturas relativamente ao revestimento de impermeabilização, as coberturas podem ser tradicionais ou não tradicionais.

Na classificação das coberturas quanto a posição do isolamento térmico, podem existir os seguintes casos, localização intermédia, cobertura invertida e estrutura resistente.

Na classificação das coberturas quanto ao tipo de proteção do revestimento de impermeabilização, pode ser sem proteção, com proteção leve e com proteção pesada.

Na classificação das coberturas relativamente à estrutura resistente ou de suporte, as coberturas podem ser rígidas (contínuas ou descontínuas) ou flexíveis (Alves, 2013).

Por último, é de salientar que nos capítulos seguintes (2.2.;2.3.;2.4.;2.5.), em relação aos tipos de sistema, materiais, pontos singulares e interfaces construtivas, não se fará a indiferenciação entre estes pertencerem a coberturas planas ou inclinadas.

## 2.2. Listagem das exigências funcionais

As principais exigências a satisfazer pelas coberturas são:

*-Estanquidade à água;*

Por norma, a estanquidade à água é proporcionada pela inclinação da cobertura e pela ligação entre os seus elementos. A altura em que a estanquidade é mais necessária é na situação em que além de estar a ação da chuva em causa, temos também a ação do vento, provocando o movimento inverso (ascendente) da água.

A estanquidade à água é obrigatória em todas as coberturas, como tal, é necessário ponderar os seguintes fatores:

- Fatores relacionados com o desempenho de telhas, chapas ou placas;
- Fatores relacionados com o funcionamento global do telhado;(Sousa et al., 1998).

*-Suscetibilidade de condensações;*

As condensações provocam o aparecimento de humidade e, em casos extremos, queda de gotas de água. Estão diretamente relacionadas com a composição da cobertura, da permeabilidade dos seus materiais e das condições climáticas (Sousa et al., 1998).

*-Comportamento ao gelo-degelo;*

Normalmente, as coberturas estão sujeitas a elevadas variações de temperatura, o que promove os ciclos de gelo-degelo, envolvendo tudo presente na cobertura. Nestas condições severas, os materiais ficam sujeitos a fenómenos de fadiga, pelo que terão de ter requisitos especiais, sobretudo em casos em que estejam presentes humidades (Sousa et al., 1998).

*-Permeabilidade ao ar;*

A permeabilidade ao ar é representada em função da diferença de pressões. O objetivo principal na permeabilidade ao ar é evitar o desperdício de energia e correntes de ar provenientes da cobertura (Sousa et al., 1998).

*-Isolamento térmico;*

O isolamento térmico é necessário para a conservação de energia e conforto (Sousa et al., 1998).

*-Comportamento mecânico;*

As coberturas devem resistir às forças de flexão e cargas concentradas (Sousa et al., 1998).

*-Comportamento sob a ação do vento;*

As forças exercidas pelo vento numa cobertura dependem da geometria da mesma, da região em causa e da orientação do edifício. Em caso de intempéries, podem acontecer depressões e sobrepensões, que são as causas principais do levantamento de elementos da cobertura. Caso estas forças sejam elevadas e comuns, é recomendado o uso de fixações mecânicas (Sousa et al., 1998).

*-Estanquidade aos materiais em suspensão no ar;*

A estanquidade é definida pelo valor máximo da pressão do ar interior para o qual não há entrada de materiais em suspensão. Esta entrada de materiais em suspensão está relacionada com a ação do vento, pois normalmente é devida aos regimes de pressões e depressões (Sousa et al., 1998).

*-Isolamento sonoro;*

O isolamento sonoro é necessário de modo a permitir a realização das várias atividades humanas, num espaço habitável, sem dano a saúde e com condições satisfatórias (Mouraz, 2018).

*-Uniformidade do aspeto;*

A uniformidade do aspeto tem presente dois problemas, sendo eles a alteração do aspeto e a não homogeneidade da cor.

A mudança de aspeto não é por vezes um problema e é por vezes provocado um aspeto envelhecido através de processos de fabrico adequados (Sousa et al., 1998).

*-Reação ao fogo;*

Os materiais utilizados nas coberturas devem satisfazer as exigências quanto à classe de reação ao fogo dos materiais, de A a F (euroclasses) (Sousa et al., 1998).

*-Resistência aos agentes químicos*

As coberturas devem apresentar um comportamento adequado, quando sujeitas a agentes químicos (Sousa et al., 1998).

### **2.3. Revestimento ou sistema de impermeabilização**

O revestimento ou sistema de impermeabilização, é a camada que impede que a água que cai no topo da cobertura ou na superfície exterior da camada, passe para o interior ou camadas inferiores. É nesta camada que estão as maiorias das causas de patologias provocadas por infiltrações, sendo que por isso esta camada deve ser convenientemente protegida de todo o tipo de agressões, quer elas sejam físicas, químicas, biológicas, mecânicas ou térmicas. As membranas de impermeabilizações têm várias origens e são constituídas por todo o tipo de materiais, e como já referido atrás neste relatório podem ser classificadas de várias maneiras (Alves, 2013).

Tal como a maioria dos sistemas, os sistemas de impermeabilização podem ser classificados de várias maneiras, consoante os materiais, técnicas utilizadas e tipo de ligação ou suporte. Relativamente à sua constituição, os sistemas podem ser tradicionais ou não tradicionais. É de referir que cada um destes sistemas pode ser preparado in situ ou ser pré-fabricado, podem ser utilizados a quente ou frio, e que um sistema não impede a integração do outro. Quanto ao modo de ligação ao suporte, os sistemas podem ser aderentes, semi-aderentes ou semi-independentes, podem ser sistemas independentes ou de fixação mecânica (Alves, 2013).

#### **2.3.1. Sistemas tradicionais**

Os sistemas tradicionais dividem-se em duas categorias, os aplicados in situ em camadas múltiplas de emulsões betuminosas e os que são constituídos com produtos prefabricados em camadas múltiplas de membranas betuminosas. Na primeira categoria, denota-se que as emulsões betuminosas são um líquido constituído de pequenas partículas betuminosas que pode ser aniónico ou catiónico. O sabão serve como agente emulsionante aniónico e a argila como agente emulsionante catiónico. Este tipo de sistema normalmente é constituído por várias camadas de emulsão, entre 3 a 5 camadas, intercaladas ou não por armaduras, das quais a mais comum é a fibra de vidro. Na segunda categoria, com produtos prefabricados, as membranas betuminosas são constituídas por produtos prefabricados, geralmente divididos em várias peças (em rolos) e que tem presente uma armadura recoberta por uma mistura betuminosa. A sua produção começa na secagem das armaduras, impregnação e

cobrimento por uma mistura betuminosa, e por fim a colocação de um material de proteção na superfície ainda quente (Alves, 2013).

### 2.3.2. Sistemas não tradicionais

Os sistemas não tradicionais são também divididos em duas categorias, os aplicados in situ e os que são constituídos por produtos prefabricados. Os sistemas aplicados in situ são normalmente constituídos por um ou dois componentes, sendo a sua forma líquida ou pastosa. A base destes líquidos são as resinas ou materiais betuminosos, já a cura é obtida por evaporação dos solventes caso tenha só um componente, ou a cura pode ser obtida por reação química caso tenha também um ou dois componentes. De maneira a aumentar a resistência à tração, rasgamento e punçoamento, o sistema pode ser embutido de uma armadura derivada de várias origens. Os sistemas mais usados são as camadas múltiplas de resinas acrílicas, as camadas múltiplas de resinas poliméricas, camadas múltiplas de emulsões de betumes modificados, espumas de poliuretano e resinas de poliéster. Os sistemas não tradicionais são constituídos por membranas, dividem-se em três categorias, sendo elas os betumes-polímeros, membranas termoplásticas e membranas elastoméricas. Dentro dos betumes-polímeros, denota-se são membranas de betume modificado pelos seguintes polímeros, o polipropileno atático, dando origem a membranas de betume-polímero APP, e o polímero de estireno-butadieno-estireno, que produz membranas de betume polímero SBS. Já dentro das membranas termoplásticas, temos como exemplo o PVC plastificado e poliolefinas. Por último as membranas elastoméricas dividem-se em duas categorias, as vulcanizadas e não vulcanizadas. Como exemplo de membranas vulcanizadas, temos o neoprene, borracha butílica e o monómero de etileno-propileno-dieno, as membranas EPDM, resumidamente. E por último, nas membranas não vulcanizadas existe o polietileno clorossulfonado, membranas CSPE, existe o polietileno clorado, membranas CPE, e por último o polisobutileno, que são as membranas PIB (Alves, 2013).

### 2.3.3. Sistemas aderentes

Os sistemas aderentes podem ser aplicados de várias maneiras:

- Materiais de ligação, aplicados a frio ou quente, que podem ser betumes ou colas;

- Fusão, através do uso de calor, do material superficial do revestimento. Esse calor é obtido através de um maçarico, no caso de membranas betuminosas ou pistola de ar quente no caso de membranas termoplásticas e até membranas betuminosas. Por último o material é pressionado contra o suporte.

É de referenciar que este material conduz à fissuração da impermeabilização devido à deformação do suporte, o qual produz fendas ou aberturas nas juntas dos painéis isolantes (Alves, 2013).

#### 2.3.4. Sistemas semi-aderentes ou semi-independentes

Os sistemas semi-aderentes estão bastante dependentes do tipo de materiais utilizados na ligação e do tipo de material auxiliar utilizado (Alves, 2013).

#### 2.3.5. Sistemas Independentes

Os sistemas independentes ou não aderentes são os que resistem melhor ao aparecimento de fissuras. São realizados em cima do suporte, separados destes através de uma camada de separação, normalmente feltros de fibra de vidro, papel *kraft*, feltros betuminosos com acabamento de cortiças ou poliestireno expandido (Alves, 2013).

#### 2.3.6. Sistemas fixados mecanicamente

A fixação mecânica utiliza peças fabricadas em aço galvanizado, aço inox ou temperado, alumínio ou plástico, para fixar a impermeabilização ao suporte. É usado em estruturas resistentes constituídas por chapas metálicas nervuradas, elementos de madeira ou derivados e têm a vantagem de ao fixar a impermeabilização, fixam também as camadas subjacentes a esta. Dependendo da forma como são fixadas, a fixação pode ser pontual ou linear. Na fixação pontual, cada peça dispõe de um elemento que distribui a força de aperto, por exemplo uma anilha. Na fixação linear, as peças de fixação desenvolvem-se numa direção linear, recebendo as forças de fixação de vários parafusos ou rebites colineares, promovendo uma distribuição uniforme das forças de fixação (Alves, 2013).

### 2.3.7. Camada tela pára-vapor ou barreira pára-vapor

A barreira pára-vapor, é, tal como o nome indica, uma barreira constituída por um material impermeável ao vapor de água, material esse normalmente constituído por filmes plásticos ou emulsões betuminosas.

Numa cobertura tradicional, como a impermeabilização é superior ao isolamento térmico, deve ser inserida uma barreira pára-vapor a separar dos compartimentos inferiores de maneira a impedir a formação de condensações que advêm do vapor de água libertado por esses mesmos compartimentos. O vapor de água ao condensar pode criar várias patologias, normalmente devido à capacidade de absorção de água dos isolamentos térmicos, como por exemplo, os isolamentos de cortiça.

Nas coberturas invertidas, como o isolamento térmico é superior às impermeabilizações, a barreira pára-vapor é dispensável (Alves, 2013).

## 2.4. Pontos singulares

Numa cobertura é possível existirem várias soluções construtivas, e cada solução construtiva vai ter presente diferentes pontos singulares. Um ponto singular é uma zona da cobertura que vai diferir do comum e que durante a construção é preciso ter atenção redobrada pois são zonas onde facilmente aparecem patologias quando são descuidadas. Vários destes pontos singulares estão representados na figura 2 (Sousa et al., 1998).

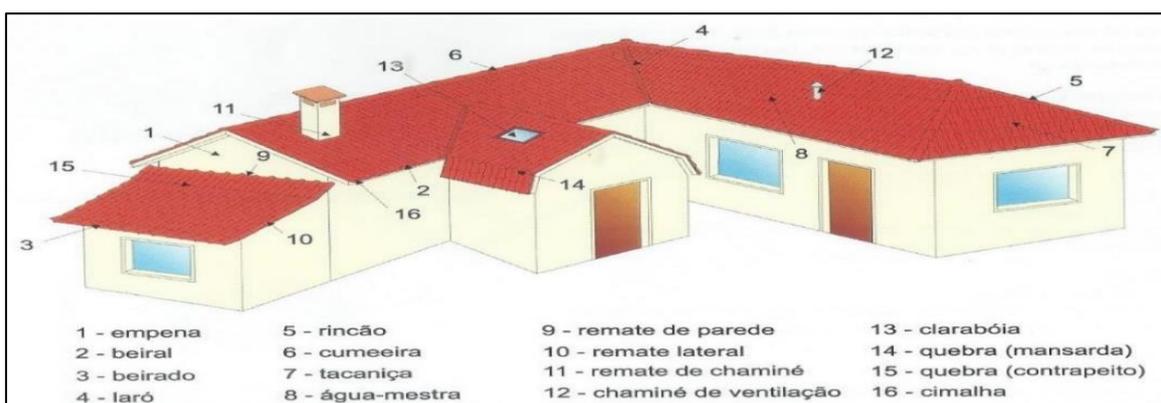


Figura 2- Elementos de uma cobertura (Sousa et al., 1998).

### 2.4.1. Cumeeira

Uma das funções das cumeeiras é impossibilitar a penetração de água e facilitar a ventilação na cobertura. Para cumprimento de tal função, é necessário que o topo das cumeeiras seja fechado com argamassa ou por peças do sistema, sendo estas últimas, nem sempre necessárias. A fixação das cumeeiras é tradicionalmente feita com argamassas, no entanto podem ser utilizados grampos. Por último, entre as telhas e as cumeeiras a ventilação deve ser permitida, mas a passagem de água não (Sousa et al., 1998).

### 2.4.2. Rincão

A principal diferença, entre a cumeeira e o rincão, advém do facto da intersecção entre as telhas e o rincão não ser horizontal. No entanto, o corte mecânico e enviesado das telhas reduz o erro de sobreposição com as peças de remate (Sousa et al., 1998).

### 2.4.3. Laró

As telhas no laró são cortadas em viés, o mais próximo possível da sua linha, de maneira a cobrir o mais possível o rufo metálico ou sintético. Para promover a ligação entre as telhas deve-se usar selantes ou argamassas (Sousa et al., 1998).

### 2.4.4. Remate de cobertura com parede emergente

Os remates de cobertura com parede emergente, dividem-se em dois tipos, as transversais ou paralelas ao plano da água. O primeiro tipo, devido a estar transversal ao plano de água, terá requisitos semelhantes as cumeeiras e rincões. Além disto, as juntas de dilatação deverão ser dispostas de maneira a promover movimentos sem haver formação de tensões e o sistema de impermeabilização deverá penetrar no tosco da parede. O segundo tipo são as paredes longitudinais ao plano da água ou oblíquas com aresta reentrantes e terão requisitos semelhantes ao laró. É possível observar este pormenor na figura 3 (Sousa et al., 1998).

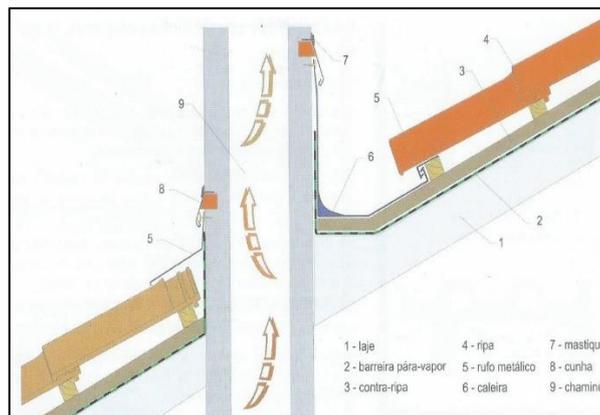


Figura 3- Pormenor de rufagem de uma chaminé (Sousa et al., 1998).

#### 2.4.5. Remate de cobertura com parede não emergente – bordo

Os bordos, que são os remates de coberturas com paredes paralelas ou transversais a queda de água, são normalmente realizados através de cumeeiras, sistemas de rufagem com chapas metálicas e por peças especialmente desenvolvidas para estas situações. Nestas situações, devem ser respeitadas as disposições construtivas já referidas. Por último, as telhas cortadas nos remates dos bordos, devem ser fixas de maneira a impedir a sua queda (Sousa et al., 1998).

#### 2.4.6. Beiral e Beirado

O beiral e beirado corresponde ao rebordo de uma típica cobertura onde ocorre drenagem de águas pluviais. É aqui que se inicia o assentamento e deve ser realizado sempre com telhas inteiras. Como o assentamento é iniciado no beiral ou beirado, qualquer ajuste terá de ser realizado junto a cumeeira ou então, nos cantos do beiral ou beirado. Importa também referir que durante a execução do beiral ou beirado é preciso ter em atenção a permeabilidade ao ar (Sousa et al., 1998).

### 2.4.7. Juntas de dilatação

A fissuração de remates em juntas de dilatação é um fenómeno com várias causas. Uma má conceção que defina a junta ao nível corrente da cobertura, na vez de sobrelevada, promove o aparecimento desta anomalia através de ações mecânicas criadas pela passagem ou permanência de pessoas. Se os materiais utilizados também na sua conceção forem de diminuta resistência mecânica a esforços de tração e de rasgamento, além de a camada de proteção rígida ser continua ao longo da junta, a fissuração dos remates é uma patologia á ter em atenção. É possível observar um exemplo de uma junta de dilatação na figura 4 (Brito, 2005).

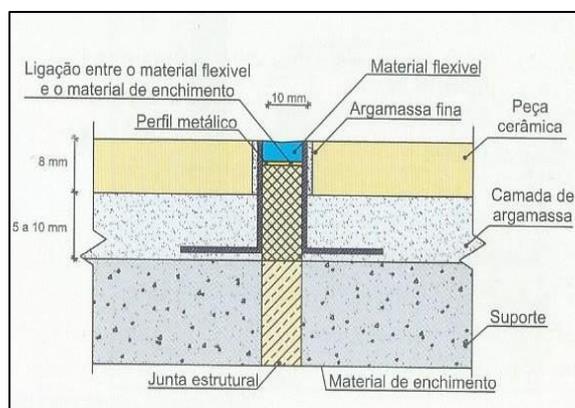


Figura 4 - Pormenor de uma junta de dilatação (Sousa et al., 2003)

### 2.4.8. Coroamento

Normalmente no rebordo das coberturas, no coroamento das platibandas, deverá existir capeamentos apropriados, como por exemplo chapas metálicas. A falta destes elementos na construção, além de um incorreto remate do revestimento de impermeabilização no paramento horizontal (coroamento da platibanda), promove as infiltrações de água no tardo do revestimento de impermeabilização e nas camadas subjacentes (Brito, 2005).

## 2.5. Interfaces Construtivas

As interfaces são zonas de comunicação, numa cobertura, entre elementos com diferentes características.

### 2.5.1. Chaminés

As chaminés, por norma são realizadas em alvenaria, como tal, na maioria dos remates é útil utilizar bandas flexíveis autocolantes e chapas metálicas. O pormenor ao qual é necessário ter mais atenção é o escoamento das águas pluviais, pois é habitual ocorrer transbordamento lateral ou então, estagnação das águas provenientes da vertente diretamente acima da chaminé.(Sousa et al., 1998).

### 2.5.2. Forros

Existem dois tipos de forros, forros não rígidos ou forros rígidos. Os forros não rígidos, são normalmente constituídos por materiais sintéticos. Os forros rígidos são produzidos em materiais naturais ou uma mistura de materiais naturais. É de referir que é necessário garantir nos forros a permeabilidade ao ar (Sousa et al., 1998).

### 2.5.3. Janelas e claraboias

Nesta interface é de referir que existem vários tipos de janelas e claraboias que permitem facilmente um sistema de vedação e remate da zona envolvente, mas é aconselhável confirmar a compatibilidade com o tipo de telhas ou chapas a utilizar (Sousa et al., 1998).

## 2.6. Sistemas de drenagem

Um sistema de drenagem, neste caso predial e de águas pluviais, tem como função encaminhar as águas captadas numa certa área, neste caso uma cave e cobertura, para a rede publica. Na sua projeção é necessário consultar vários regulamentos e ter em visão o lado económico e de compatibilização com os elementos do edificado de maneira a ter um sistema com a máxima otimização. Existem três tipos comuns de sistemas de drenagem de águas pluviais e em qualquer um dos casos é utilizado um ramal de ligação entre a rede publica e uma câmara de ramal de ligação localizada no lote da construção (João Vindeirinho Rino, 2011).

### 2.6.1. Drenagem gravítica

Este sistema funciona através da ação da gravidade e encaminha as águas pluviais do topo do edificado até a base, onde está a câmara de ramal de ligação, como se pode observar na figura 5 á esquerda (João Vindeirinho Rino, 2011).

### 2.6.2. Drenagem com elevação

Se o sistema de captação de águas for situado abaixo do nível onde está a câmara de ramal de ligação, às águas terão de ser elevadas através de uma bomba ou um sistema de vácuo até ao nível da câmara de ramal de ligação. Numa cave o sistema é ligeiramente diferente, pois mesmo que a câmara de ramal de ligação se situe abaixo do sistema de captação de águas, estas terão de ser elevadas através de uma bomba (João Vindeirinho Rino, 2011).

### 2.6.3. Sistema misto

Tal como o nome indica, o sistema misto é utilizado quando existe drenagem gravítica e drenagem com elevação num certo edifício, como se pode observar na figura 5 (João Vindeirinho Rino, 2011).

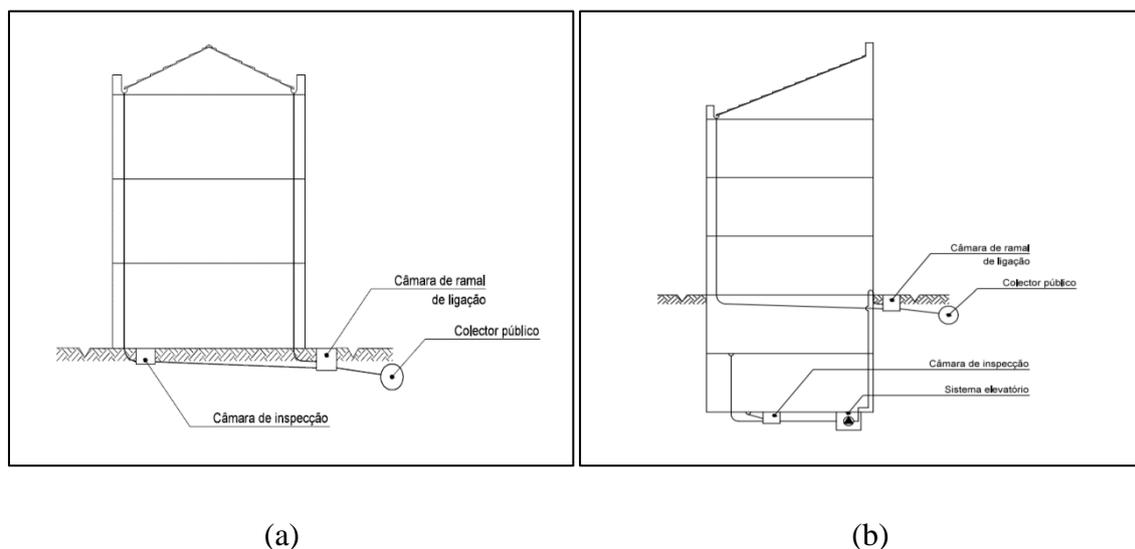


Figura 5- Exemplo de um:(a) sistema gravítico, (b) sistema misto (João Vindeirinho Rino, 2011).

#### 2.6.4. Acessórios e instalações complementares ao sistema

Num sistema de drenagem de um edifício são vários os acessórios e instalações complementares necessários, seja por questões legislativas, seja por questões de saúde e higiene, seja por questões de eficiência, nomeadamente ralos, sifões, câmaras de inspeção e de ramal de ligação, descarregadores de superfície, orifícios de descarga, sistemas elevatórios, camaras de retenção (João Vindeirinho Rino, 2011).



### **3. CONDENSAÇÕES INTERNAS: CONCEITOS BASE**

---



### 3.1. Enquadramento

O vapor de água, tal como o nome indica, é água no estado gasoso. Quando as condições são favoráveis, acontece a condensação da água, ou seja, a transformação do estado gasoso para o estado líquido. Existem dois tipos de condensações: superficiais e internas. As condensações superficiais acontecem quando a temperatura superficial de um objeto é menor ou igual a temperatura ambiente do ar que rodeia esse objeto, além de estarem relacionadas com a resistência térmica e humidade relativa. As condensações internas acontecem quando a pressão do vapor de água passa a ser igual a pressão de saturação dentro de um objeto, sendo as características do ar e do objeto importantes para tal acontecimento (Freitas and Pinto, 1998).

### 3.2. Psicrometria

A psicrometria é o estudo das propriedades termodinâmicas do ar húmido. O diagrama psicrométrico é o resultado gráfico da conjugação das propriedades termodinâmicas do ar húmido e das relações existentes entre si. Consoante a pressão atmosférica existente, é necessário fazer correções ou até utilizar um diagrama psicrométrico diferente.

Das várias propriedades psicrométricas, a pressão de saturação pode ser relacionada com a temperatura, e em alguns casos com a pressão atmosférica (Freitas and Pinto, 1998).

H. Künzel afirma que:

$$P_s = 611 * e^{\left(\frac{a*t}{t'+t}\right)} \quad (1)$$

Em que:

$P_s$ : Pressão de Saturação – [Pa]

$e$ : Número de Nepper –  $e=2,718$

$t$ : Temperatura. [°C]

$a=22,44$ ;  $t'=272,44$  °C – para  $t < 0$  °C

$a = 17,07$ ;  $t'=234,18$  °C – para  $t > 0$  °C

Têm também grande utilidade nesta matéria as seguintes equações, que relaciona a Humidade do ar com a pressão:

$$W = 2,167 * 10^{-3} * \frac{P}{T} \quad (2)$$

$$U = 0,622 * \frac{P}{P_t - P} \quad (3)$$

Em que:

$W$ : Humidade absoluta do ar – [kg/m<sup>3</sup>]

$P$ : Pressão parcial de vapor de água – [Pa]

$T$ : Temperatura – [K]

$U$ : Teor de humidade do ar – [kg/kg]

$P_t$ : Pressão atmosférica – [Pa]

$$2,167 * 10^{-3} = \frac{1}{R_v} \quad (4)$$

$$0,622 = \frac{R_a}{R_v} \quad (5)$$

$R_a$  e  $R_v$  são as constantes universais dos gases relativas ao ar seco e ao vapor de água, respetivamente (Freitas and Pinto, 1998).

### 3.3. Higrometria

A higrometria define o aumento da pressão do vapor de água entre o interior e o exterior, e deste modo, traduz o gradiente de pressão de vapor a que se encontra a envolvente do local (Freitas and Pinto, 1998).

Assim sendo:

$$\text{Higrometria} = \frac{W}{n * V} \quad (6)$$

$$U_i = U_e + \frac{W}{n * V} * \frac{R_v * T_i}{P_t} * \left( U_e + \frac{R_a}{R_v} \right) \quad (7)$$

Em que:

$U_i$ : Teor de humidade do ar interior – [kg/kg]

$U_e$ : Teor de humidade do ar exterior – [kg/kg]

$W$ : Produção de vapor no interior – [kg/h]

$n$ : Taxa horária de renovação de ar – [h<sup>-1</sup>]

$V$ : Volume interior – [m<sup>3</sup>]

$T_i$ : Temperatura interior - [K]

$P_t$ : Pressão atmosférica – [Pa]

$R_a$ : Constante universal dos gases relativa ao ar seco,  $R_a = 287,1$  J/kg.K

$R_v$ : Constante universal dos gases relativa ao vapor de água,  $R_v = 461,5$  J/kg.K

Se a temperatura estiver compreendida entre 10°C e 20°C, é possível usar a seguinte expressão:

$$U_i = U_e + 0,825 * \frac{W}{n*V} \quad (8)$$

Em que:

$U_i$ : Teor de humidade do ar interior – [kg/kg]

$U_e$ : Teor de humidade do ar exterior – [kg/kg]

$W$ : Produção de vapor no interior – [kg/h]

$n$ : Taxa horária de renovação de ar – [h<sup>-1</sup>]

$V$ : Volume interior – [m<sup>3</sup>]

### 3.3.1. Classificação dos edifícios em função da sua higrometria

Em função da utilização dos edifícios, estes podem produzir diferentes quantidades de vapor de água. Por isso, os edifícios podem ser classificados em função da sua higrometria, conforme representado na tabela 1 (Freitas and Pinto, 1998).

Tabela 1 - Classes de Higrometria (Freitas and Pinto, 1998).

Classe	Higrometria	Tipo de Edifícios
1. Fraca higrometria	$Higrometria < 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	Escritórios, Escolas, Ginásios
2. Média higrometria	$2,5 \cdot 10^{-3} < Higrometria < 5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	Edifícios de habitação não sobreocupados e corretamente ventilados.
3. Forte higrometria	$5 \cdot 10^{-3} < Higrometria < 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	Edifícios de habitação com ventilação deficiente, indústrias.
4. Muito forte higrometria	$Higrometria > 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	Piscinas, certos locais industriais com grande produção de vapor.

Os critérios de conceção dos edifícios face à difusão de vapor dividem-se em 4 classe:

-Classe 1 – fraca higrometria – não é necessário tomar grandes preocupações pois a probabilidade de formação de condensações internas é baixa.

-Classe 2 e 3 – média e forte higrometria – existem regras para conceber os vários elementos construtivos relativos a resistência térmica e á difusão de vapor de água.

-Classe 4 – muito forte higrometria – é necessário um estudo utilizando simuladores para saber a probabilidade de condensações (Freitas and Pinto, 1998).

### 3.4. Transferência de humidade em materiais

A transferência de humidade divide-se em fases, na fase líquida, a capilaridade, a gravidade e o efeito dos gradientes de pressão externos comandam o transporte. Já na fase do vapor, é a difusão e os movimentos convectivos no interior dos poros que condicionam a transferência. É também possível acontecer transferência em simultaneidade de fases, já neste caso são as características dos materiais, bem como as condições climáticas, dentro destas, a temperatura, humidade relativa, precipitação, radiação e pressão do vento, que

afetam a transferência, além de não se poder descuidar os fenómenos de transferência de calor e de ar (Freitas and Pinto, 1998).

Na fase de vapor, a transferência pode dar-se por difusão de vapor através de uma camada de ar, difusão de vapor através de materiais porosos e convecção. Já na envolvente dos edifícios, a transferência ocorre de várias maneiras. Pode acontecer transferência de vapor entre a face interior do elemento de construção e a ambiência interior, transferência de vapor através dos elementos de construção, resultante do gradiente de pressão parcial de vapor de água entre as ambiências exterior e interior, e transferência de vapor entre a face exterior do elemento de construção e a atmosfera (Freitas and Pinto, 1998).

### 3.4.1. Modelo de Difusão de Fick

Este é um modelo que considera somente que o vapor de água é um gás ideal, cuja velocidade de difusão é constante através de um material homogéneo.

Obedecendo à lei de Fick e supondo um material poroso, indeformável, homogéneo, não higroscópico, de faces paralelas e planas, estaque, com uma temperatura constante, sem produção de fluxos e num regime permanente, na ausência de água, o transporte de humidade, obedece a:

$$g = -\pi(T, HR) \cdot \frac{dp}{dx} \quad (9)$$

Em que:

$g$ : Densidade do fluxo de difusão de vapor de água – [kg/ (m<sup>2</sup>.s)]

$\frac{dp}{dx}$ : Gradiente de pressão de vapor de água – [Pa/m]

$\pi(T, HR)$ : Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do material, sob ação de um gradiente de pressão de vapor de água, em função da temperatura e da humidade relativa – [kg/(m.s.Pa)]

### 3.4.2. Método de Glaser

Apesar de limitado, o método de Glaser, é a principal análise na definição de regras de qualidade de elementos construtivos e de ocorrência de condensações internas.

Este método é baseado na assunção, que se um elemento construtivo estiver sujeito a um gradiente de pressões e temperaturas, a pressão de saturação será variável de ponto para ponto. Assim sendo, se a curva de pressões instaladas, não intersectar a curva de pressões de saturação, não ocorrem condensações internas, caso intersecte, ocorrem condensações. Na aplicação do método de Glaser, é preciso ter em atenção algumas hipóteses simplificativas. É suposto que a humidade desloca-se apenas por transferência de vapor de água, a transferência de vapor se deve apenas à difusão, está difusão obedece a lei de Fick, o transporte de calor dá-se por condução, o regime é permanente, os materiais são não-higroscópicos, os elementos são estanques ao ar e têm faces planas e paralelas, os coeficientes de permeabilidade ao vapor de água e de condutibilidade térmica são constantes e não há redistribuição do vapor de água condensado (Freitas and Pinto, 1998).

O cálculo analítico é feito através da seguinte expressão:

$$g = \sum \frac{\pi_j}{e_j} * (P_i - P_e) \quad (10)$$

Na expressão anterior tem-se:

$g$ : Fluxo de difusão de vapor de água por unidade de superfície – [kg/ (m<sup>2</sup>.s)]

$\pi_j$ : Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água da camada  $j$  – [kg/ (m.s. Pa)]

$e_j$ : Espessura da camada  $j$  – [m]

$P_i, P_e$ : Pressão parcial de vapor de água no interior e no exterior, respetivamente – [Pa]

Por sua vez, o fluxo de calor obedece à lei de FOURIER:

$$q = \sum \frac{\lambda_j}{e_j} * (t_i - t_e) \quad (11)$$

Em que:

$q$ : Fluxo de calor por unidade de superfície – [W/m<sup>2</sup>]

$\lambda_j$ : Coeficiente de condutibilidade térmica da camada  $j$  – [W/ (m. °C)]

$t_i, t_e$ : Temperatura interior e exterior – [°C]

Deste modo, para aplicar o método de Glaser basta conhecer as condições climáticas interiores e exteriores ( $t_i, P_i, t_e, P_e$ ) as propriedades dos materiais que constituem as diferentes camadas e respetivas espessuras ( $\lambda_j, \pi_j, e_j$ ) e as resistências térmicas superficiais ( $1/h_i, 1/h_e$ ) (Freitas and Pinto, 1998).

O método de Glaser vai ser aplicado de acordo com a norma ISO 13788. Para calcular o fator de temperatura na superfície interna, vai ser utilizada a seguinte expressão:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (12)$$

Em que:

$f_{Rsi}$ : Fator de temperatura mínima de uma superfície interior;

$\theta_{si}$ : Temperatura na superfície interior – [°C]

$\theta_i, \theta_e$ : Temperatura interior e exterior – [°C]

Para calcular o fator de temperatura mínima de projeto na superfície interna, vai ser utilizada a seguinte expressão:

$$f_{Rsi,min} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (13)$$

Em que:

$f_{Rsi,min}$ : Fator de temperatura mínima de projeto numa superfície interior;

$\theta_{si,min}$ : Temperatura mínima aceitável na superfície interior – [°C]

$\theta_i, \theta_e$ : Temperatura interior e exterior, respetivamente – [°C]

(International Standard Organization 2012)

### 3.4.3. Determinação do fluxo condensado

Aplicando a lei de Fick e considerando que o fluxo condensado é igual à diferença entre os fluxos de entrada e saída, é possível determinar a quantidade de humidade que se deposita no interior de um elemento de construção:

$$g_{condensado} = \left( \frac{P_i - P_x}{R_{dtotal} - R_{dx}} \right) - \left( \frac{P_x - P_e}{R_{dx}} \right) \quad (14)$$

Em que:

$P_i, P_e$ : Pressão parcial de vapor de água no interior e no exterior, respetivamente – [Pa]

$P_x$ : Pressão parcial de vapor de água atuante – [Pa]

$R_{dtotal}$ : Resistência total à difusão de vapor de água – [m<sup>2</sup>.s.Pa/kg];

$R_{dx}$ : Resistência atuante à difusão de vapor de água – [m<sup>2</sup>.s.Pa/kg];

Quando o objetivo é reduzir os fluxos de vapor que atravessam um elemento, deve-se diminuir a permeância ao vapor de água através do uso de camadas com elevada resistência à difusão de vapor (Freitas and Pinto, 1998).

#### 3.4.4. Fatores que influenciam a permeabilidade ao vapor de água dos materiais de construção

A permeabilidade ao vapor está dependente do teor de humidade, que no domínio higroscópico, varia de acordo com as condições ambientais. A permeabilidade ao vapor é também afetada pela permeabilidade ao ar e pelas propriedades dos materiais relativas à transferência de humidade na fase líquida. É de referenciar que a permeabilidade ao vapor de materiais higroscópicos aumenta consideravelmente com o aumento da humidade relativa da ambiência. Já a permeabilidade de materiais com pouca ou nenhuma higroscopicidade é praticamente independente da humidade relativa. Na figura 6 e 7 é possível observar as diferenças que influenciam as transferências de vapor de água consoante as condições ambientais. A temperatura influencia a permeabilidade ao vapor de água dos materiais e elementos construtivos, no entanto a sua importância é reduzida e como tal, não será abordada (Freitas and Pinto, 1998).

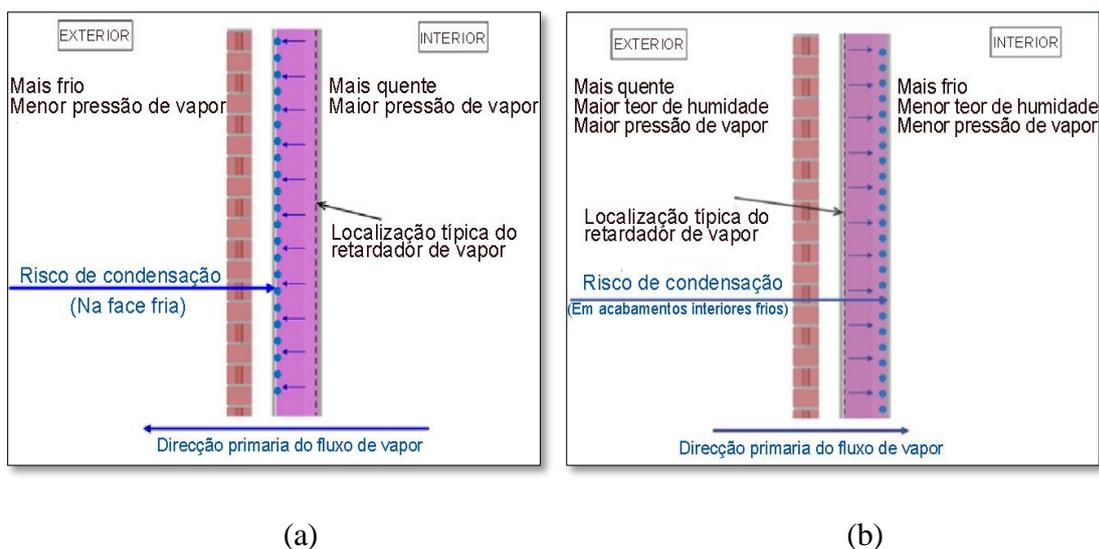


Figura 6- Ilustração de (a) situação de transferência de vapor de água em clima frio, (b) situação de transferência em clima quente (Adaptado de O'Brien, 2016).

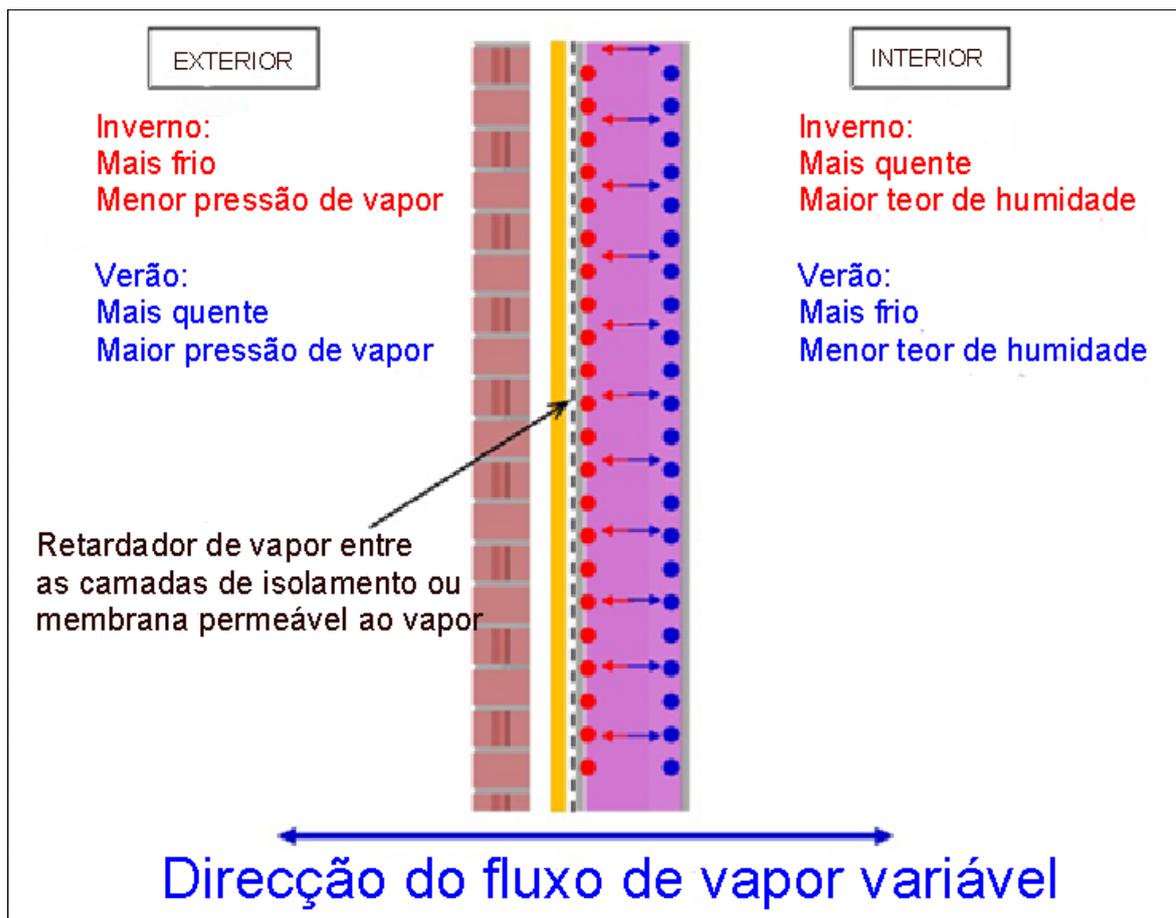


Figura 7 - Situação de transferência de vapor de água em clima misto (Adaptado de O'Brien, 2016).

Resumidamente, neste capítulo foram sintetizados os princípios gerais da psicrometria, higrometria, transferência de humidade em materiais, e a apresentação do método de Glaser, que será utilizado nos capítulos seguintes, na vertente que será necessário para o cálculo de condensações nas coberturas presentes em obra.



## **4. CASO DE ESTUDO E ACOMPANHAMENTO DE EXECUÇÃO DE COBERTURAS**

---



#### 4.1. Edifício residencial Visconde Valdemouro

A obra Visconde Valdemouro é uma obra de cariz privado, onde a empresa CIVILRIA é responsável pela construção, fiscalização e comercialização. Está localizada na rua Visconde Valdemouro, N.º2, Estarreja, Aveiro, e esta construção teve início em janeiro de 2019 e a sua conclusão é estimada para o fim do mês de julho de 2020. Este edifício vai ser constituído por 4 pisos, 2 pisos elevados para habitação, rés-do-chão para comércio, e 1 piso enterrado para estacionamento. Será uma construção com estrutura em betão armado e lajes maciças, com alvenaria de tijolo na compartimentação vertical exterior e alvenaria maciça de betão e alvenaria de tijolo na compartimentação interior. No final, o edifício será constituído de 34 frações, 5 frações de comércio e/ou serviços e 29 de habitações com tipologia T0/T1. As frações, comerciais, são constituídas pelos espaços úteis, uma área ampla e instalação sanitária. As frações, de tipologia T0, são constituídos pelos espaços úteis, uma sala/cozinha, e uma instalação sanitária. As frações, de tipologia T1, são constituídas pelos espaços úteis: uma sala/cozinha, um quarto e uma instalação sanitária. Por último, é de referenciar que o local onde este edifício está a ser construído, era a antiga sede da empresa CIVILRIA, e é possível observar o resultado que é esperado obter na figura 8, e na figura 9 é possível observar a localização e constituição das várias coberturas presentes em obra (Melo, 2018).



(a)

(b)

Figura 8-Edifício Visconde Valdemouro, (a), futura fachada noroeste, (b) futura fachada nordeste (Melo, 2018).

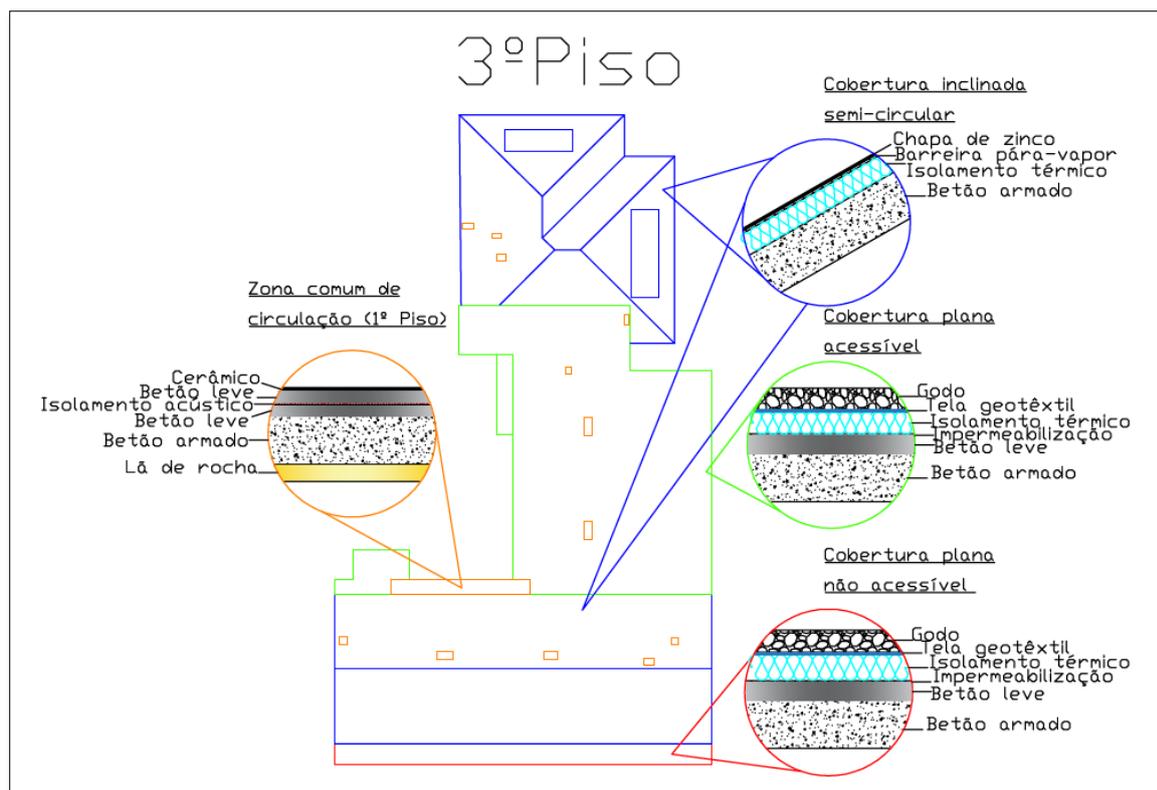


Figura 9 - Localização e constituição das várias coberturas presentes em obra (Pinto, 2020).

## 4.2. Características técnicas

Aqui será detalhado ao pormenor os vários constituintes e características dos mesmo perante o que foi desenvolvido em obra e consoante a cobertura em questão.

### 4.2.1. Cobertura plana não acessível

A cobertura plana não acessível é uma cobertura não ventilada, com godo, tipo invertida, pendente de 1% a 5%. É constituída por uma laje maciça de betão armado, horizontal, com altura de 22 cm e resistência térmica de  $0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ , realizada com betão C30/37, fabricado em central, e betonagem com grua, e aço A500 NR, com uma quantidade aproximada de  $21 \text{ kg}/\text{m}^2$ . A formação de pendentes será confeccionada com uma camada de betão leve de resistência à compressão 2,0 MPa e  $690 \text{ kg}/\text{m}^3$  de densidade, confeccionado em obra com cimento cinzento e poliestireno, com espessura média de 8 cm, com coeficiente de condutibilidade térmica de  $1,30 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{C}$  e resistência térmica de 0,06

$m^2 \cdot ^\circ C/W$ , a impermeabilização será do tipo bicamada, colada, composta por membrana de betume modificado com elastómero SBS, com coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,23 W/m \cdot ^\circ C$  e resistência térmica de  $0,04 m^2 \cdot ^\circ C/W$ , prévia aplicação de primário com emulsão asfáltica aniónica com cargas, e membrana de betume modificado com elastómero SBS, colada à anterior com maçarico, sem coincidir as suas juntas. O isolamento térmico é um painel rígido de poliestireno extrudido, com 12cm de espessura, com coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,035 W/m \cdot ^\circ C$  e resistência térmica de  $3,43 m^2 \cdot ^\circ C/W$ , de superfície lisa e bordo lateral a meia madeira, de resistência à compressão superior ou igual a 300 kPa. De seguida terá uma camada separadora por proteção que consiste num geotêxtil não tecido composto por fibras de poliéster entrelaçadas, ( $200 g/m^2$ ) e por último a terá a camada de proteção, que é uma camada de seixo rolado de 16 a 32 mm de diâmetro, com uma espessura média de 10 cm (Melo, 2018).

No rebordo da cobertura, junto a platibanda, na vez de ser utilizado a camada de seixo rolado, será utilizado um cerâmico, de maneira a prevenir a queda de seixo rolado e de maneira a promover a fixação do geotêxtil. É possível observar a constituição construtiva da cobertura plana não acessível na figura 10.

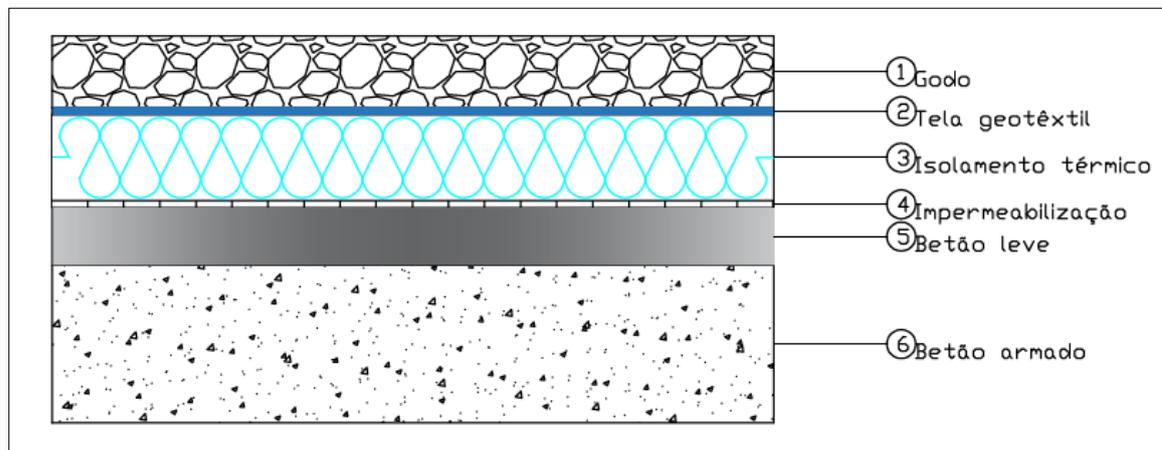


Figura 10 - Constituição construtiva da cobertura plana não acessível (Pinto, 2020).

#### 4.2.2. Cobertura Plana acessível

A cobertura plana acessível é uma cobertura não ventilada, com godo, tipo invertida, pendente de 1% a 5%. É constituída por uma laje maciça de betão armado, horizontal, com altura de 22 cm e resistência térmica de  $0,11 m^2 \cdot ^\circ C/W$ , realizada com betão C30/37,

fabricado em central, e betonagem com grua, e aço A500 NR, com uma quantidade aproximada de 21 kg/m<sup>2</sup>. A formação de pendentes será confeccionada com uma camada de betão leve de resistência à compressão 2,0 MPa e 690 kg/m<sup>3</sup> de densidade, confeccionado em obra com cimento cinzento e poliestireno, com espessura média de 8 cm, com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,30 W/m.°C e resistência térmica de 0,06 m<sup>2</sup>.°C/W, a impermeabilização será do tipo bicamada, colada, composta por membrana de betume modificado com elastómero SBS, com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,23 W/m.°C e resistência térmica de 0,04 m<sup>2</sup>.°C/W, prévia aplicação de primário com emulsão asfáltica aniónica com cargas, e membrana de betume modificado com elastómero SBS, colada à anterior com maçarico, sem coincidir as suas juntas. O isolamento térmico é um painel rígido de poliestireno extrudido, com 10 cm de espessura, com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,23 W/m. °C e resistência térmica de 0,04 m<sup>2</sup>.°C/W, de superfície lisa e bordo lateral a meia madeira, de resistência à compressão superior ou igual a 300 kPa. De seguida terá uma camada separadora por proteção que consiste num geotêxtil não tecido composto por fibras de poliéster entrelaçadas, (200 g/m<sup>2</sup>) e por último a terá a camada de proteção, que é uma camada de seixo rolado de 16 a 32 mm de diâmetro, com uma espessura média de 10 cm (Melo, 2018).

No rebordo da cobertura, junto a platibanda, na vez de ser utilizado a camada de seixo rolado, será utilizado um cerâmico, de maneira a prevenir a queda de seixo rolado e de maneira a promover a fixação do geotêxtil. É possível observar a constituição construtiva da cobertura plana acessível na figura 11.

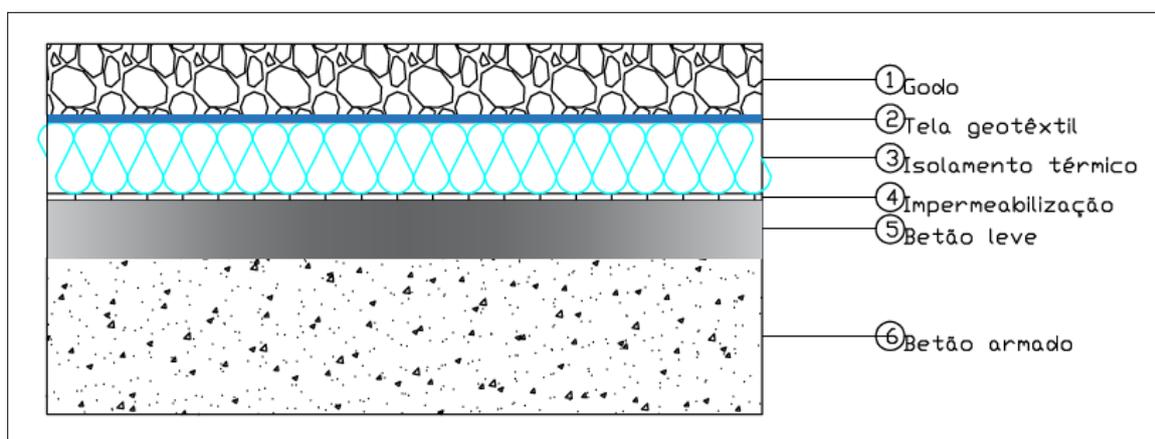


Figura 11 - Constituição construtiva da cobertura plana acessível (Pinto, 2020).

### 4.2.3. Cobertura inclinada ou semicircular

A cobertura inclinada ou semicircular é uma cobertura inclinada tradicional, com uma pendente média de 30%, sobre base resistente. É constituída por uma laje maciça de betão armado, inclinada, altura 22 cm e resistência térmica de  $0,11 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ , realizada com betão C30/37, fabricado em central, e betonagem com grua, e aço A500 NR, com uma quantidade aproximada de  $21 \text{ kg}/\text{m}^2$ . O isolamento térmico é um painel rígido de poliestireno expandido de superfície lisa e bordo lateral a meia madeira, de 10 cm de espessura, resistência térmica  $2,86 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ , condutibilidade térmica  $0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$  bucha de expansão e prego de polipropileno, de 60 mm, com aro de estanquidade, para fixação de placas isolantes. A impermeabilização é do tipo monocamada, formada por membrana impermeabilizante autocolante de betume modificado com elastómero (SBS), LBA-20-PE, com armadura de filme de polietileno de  $95 \text{ g}/\text{m}^2$  que atua como autoproteção superior e plástico descartável siliconado na face inferior, totalmente aderida ao suporte com maçarico prévia aplicação de primário com emulsão asfáltica aniónica com cargas. O revestimento é em telha de zinco (Melo, 2018).

Como é possível observar, neste capítulo alterou-se a posição da camada para-vapor no texto, isso corresponde a uma mudança da localização da camada, isto advém de ter sido decidido ser mais correto a sua alteração.

É de referir que não se fez distinção em cobertura inclinada e cobertura semicircular pois a sua constituição é a mesma. Como particularidade nesta obra, existe uma grua que está posicionada dentro da caixa do elevador.

É possível observar a constituição construtiva da cobertura plana não acessível na figura 12.

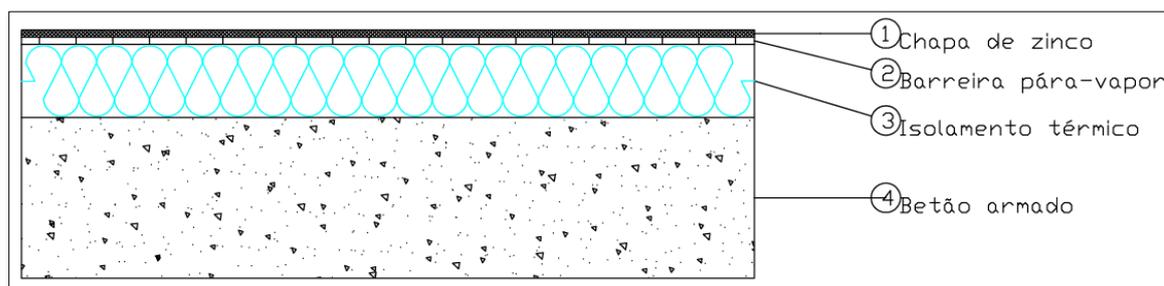


Figura 12 - Constituição construtiva da cobertura inclinada ou semicircular (Pinto, 2020).

#### 4.2.4. Zona comum de circulação

A zona de circulação comum é uma cobertura plana acessível que serve, além de acesso as habitações, como cobertura sob as lojas. É constituída por um isolamento térmico em lã de rocha (MW) com 8 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,04 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  e resistência térmica de  $2,0 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ , laje maciça de betão armado com 22 cm de espessura, resistência térmica de  $0,11 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ , betonilha de inertes de poliestireno com espessura 5 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,25 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  e resistência térmica de  $0,20 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ , tela acústica de célula fechada, betonilha com 5 cm de espessura com inertes de poliestireno, coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,25 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  e resistência térmica de  $0,20 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$  e revestimento final, neste caso, cerâmico (Melo, 2018).

É possível observar o pormenor construtivo da cobertura plana não acessível na figura 13.

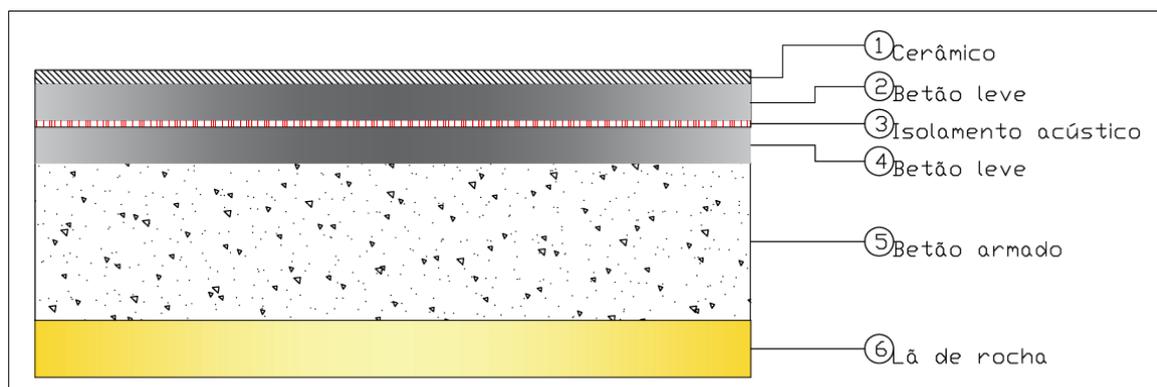


Figura 13 - Constituição construtiva da zona comum de circulação (Pinto, 2020).

### 4.3. Fases de execução

#### 4.3.1. Cobertura plana não acessível

A cobertura plana não acessível tem maior área exposta a sul. De seguida listam-se as fases e atividades de execução, por ordem cronológica:

Tabela 2 - Fase 1 da construção da cobertura plana não acessível

Fase 1	
<ul style="list-style-type: none"><li>-Implantação do sistema de cofragem;</li><li>-Montagem do sistema de cofragem;</li><li>-Marcação da geometria da planta sobre a cofragem;</li><li>-Colocação de armaduras com separadores homologados;</li><li>-Betonagem e compactação do betão;</li><li>-Nivelamento da camada de compressão;</li><li>-Cura do betão;</li><li>-Desmontagem do sistema de cofragem;</li></ul>	 <p>Laje de betão armado do lado sul</p>

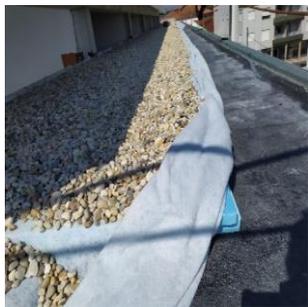
Tabela 3 - Fase 2 da construção da cobertura plana não acessível

Fase 2	
<ul style="list-style-type: none"><li>-Marcação das pendentes e juntas;</li><li>-Formação de pendentes com mestras de tijolo;</li><li>-Betonagem e nivelamento do betão leve até alcançar o nível de coroamento das mestras.</li><li>-Descarga, espalhamento e nivelamento com régua da camada de argamassa de regularização;</li></ul>	 <p>Mestras de tijolo da laje do lado sul.</p>  <p>Caleira de evacuação de águas pluviais depois de aplicada a betonilha.</p>

Tabela 4 - Fase 3 da construção da cobertura plana não acessível.

Fase 3	
<ul style="list-style-type: none"><li>-Limpeza e preparação da superfície;</li><li>-Aplicação da camada asfáltica de primário;</li><li>-Colocação da tela asfáltica;</li><li>-Tratamento dos pontos singulares;</li></ul>	 <p>Tela asfáltica depois de aplicada.</p>  <p>Pormenor da tela asfáltica na zona de caleira.</p>

Tabela 5 - Fase 4 da construção da cobertura plana não acessível.

Fase 4	
<ul style="list-style-type: none"><li>-Corte, ajuste e colocação do isolamento térmico;</li><li>-Colocação da camada separadora sobre o isolamento térmico;</li><li>-Colocação e espalhamento da camada de proteção de godo;</li><li>-Colocação das lajetas no rebordo da cobertura e sobre a camada separadora;</li></ul>	 <p>Finalização da colocação do isolamento, camada separadora e godo.</p>  <p>Pormenor do final da cobertura plana não acessível.</p>

### 4.3.2. Cobertura Plana Acessível

A cobertura plana acessível tem maior área exposta a norte. De seguida listam-se as fases e atividades de execução, por ordem cronológica:

Tabela 6 - Fase 1 da construção da cobertura plana acessível.

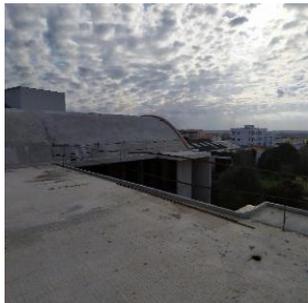
Fase 1	
<ul style="list-style-type: none"><li>-Implantação do sistema de cofragem;</li><li>-Montagem do sistema de cofragem;</li><li>-Marcação da geometria da planta sobre a cofragem;</li><li>-Colocação de armaduras com separadores homologados;</li><li>-Betonagem e compactação do betão;</li><li>-Nivelamento da camada de compressão;</li><li>-Cura do betão;</li><li>-Desmontagem do sistema de cofragem;</li></ul>	 <p>Pormenor do acesso à cobertura plana acessível.</p>  <p>Pormenor da laje de betão armado.</p>

Tabela 7 - Fase 2 da construção da cobertura plana acessível.

Fase 2	
<ul style="list-style-type: none"><li>-Marcação das pendentes e juntas;</li><li>-Formação de pendentes com mestras de tijolo;</li><li>-Betonagem e nivelamento do betão leve até alcançar o nível de coroamento das mestras.</li><li>-Descarga, espalhamento e nivelamento com régua da camada de argamassa de regularização;</li></ul>	 <p>Exemplo de marcação de pendentes e mestras de tijolos.</p>  <p>Pormenor da betonilha depois de aplicada para o lado norte.</p>

Tabela 8 - Fase 3 da construção da cobertura plana acessível.

Fase 3	
<ul style="list-style-type: none"><li>-Enchimento de juntas com poliestireno expandido;</li><li>-Formação de chaminés;</li><li>-Limpeza e preparação da superfície;</li><li>-Aplicação da camada asfáltica de primário;</li><li>-Colocação da tela asfáltica;</li><li>-Tratamento dos pontos singulares;</li></ul>	 <p>Camada asfáltica já aplicada e pormenor de chaminé.</p>  <p>Exemplos da aplicação da camada asfáltica na junta de dilatação.</p>

Tabela 9 - Fase 4 da construção da cobertura plana acessível.

Fase 4	
<p>-Corte, ajuste e colocação do isolamento;</p> <p>-Colocação da camada separadora sobre o isolamento;</p> <p>-Colocação e espalhamento da camada de proteção de godo;</p> <p>-Colocação de lajetas no rebordo da cobertura e sobre a camada separadora;</p>	 <p style="text-align: center;">Rebordo da cobertura plana acessível terminada.</p>  <p style="text-align: center;">Cobertura plana acessível terminada com pormenores da chaminé.</p>

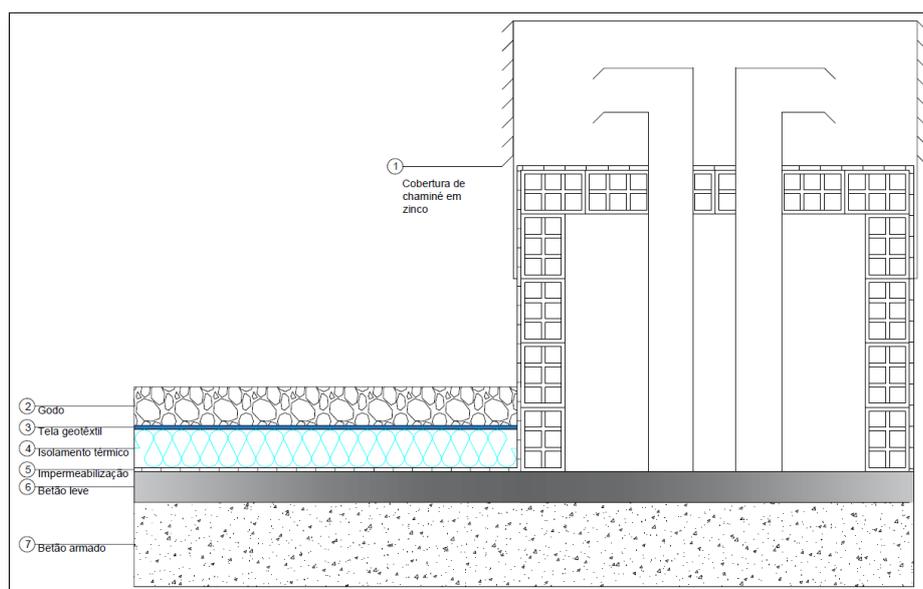


Figura 14 - Constituição construtiva da chaminé na cobertura plana acessível (Pinto, 2020).

### 4.3.3. Cobertura inclinada e semicircular

A cobertura inclinada e semicircular, têm área exposta a norte e a sul, respetivamente. De seguida listam-se as fases e atividades de execução, por ordem cronológica:

Tabela 10 - Fase 1 da construção da cobertura inclinada e semicircular.

Fase 1	
<ul style="list-style-type: none"><li>- Implantação do sistema de cofragem;</li><li>-Montagem do sistema de cofragem;</li><li>-Marcação da geometria da planta sobre a cofragem;</li><li>-Colocação de armaduras com separadores homologados;</li><li>-Betonagem e compactação do betão;</li><li>-Nivelamento da camada de compressão;</li><li>-Cura do betão;</li><li>-Desmontagem do sistema de cofragem;</li></ul>	 <p>A cobertura semicircular.</p>  <p>A grua situada na caixa de elevador.</p>

Tabela 11 - Fase 2 da construção da cobertura inclinada e semicircular.

Fase 2	
<p>-Limpeza e preparação da superfície sobre a qual se aplicará o isolamento térmico;</p> <p>-Caso a superfície não esteja em condições para a continuação dos trabalhos, aplicar camada de nivelamento com argamassa de regularização;</p> <p>-Aplicação do isolamento térmico;</p>	 <p>Aplicação do isolamento térmico na vertente oeste da cobertura inclinada.</p>  <p>Exemplos de aplicação do isolamento térmico, camada para-vapor e rebordo em chapa de zinco.</p>

Tabela 12 - Fase 3 da construção da cobertura inclinada e semicircular.

Fase 3	
<p>-Tratamento dos pontos singulares;</p> <p>-Execução de furos e ancoragem do isolamento;</p> <p>-Fixação da camada para-vapor;</p> <p>-Colocação das chapas de zinco;</p>	 <p>Cobertura semicircular já com chapa de zinco.</p>  <p>Cobertura inclinada já com chapa de zinco.</p>

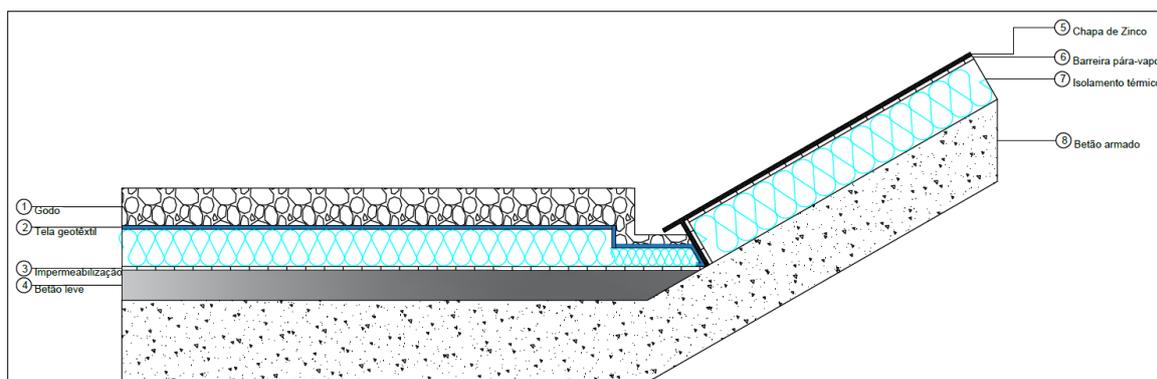


Figura 15 - Pormenor construtivo da ligação entre a cobertura plana acessível e a cobertura inclinada – zona de caleira (Pinto, 2020).

#### 4.3.4. Zona comum de circulação

A zona comum de circulação tem maior área exposta a norte. De seguida listam-se as fases e atividades de execução, por ordem cronológica:

Tabela 13 - Fase 1 da construção da cobertura zona comum de circulação.

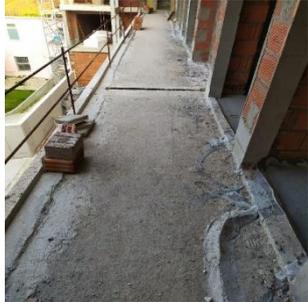
Fase 1	
<ul style="list-style-type: none"><li>-Implantação do sistema de cofragem;</li><li>-Montagem do sistema de cofragem;</li><li>-Marcação da geometria da planta sobre a cofragem;</li><li>-Colocação de armaduras com separadores homologados;</li><li>-Betonagem e compactação do betão;</li><li>-Nivelamento da camada de compressão;</li><li>-Cura do betão;</li><li>-Desmontagem do sistema de cofragem;</li></ul>	 <p>Laje de betão armado na zona comum de circulação.</p>

Tabela 14 - Fase 2 da construção da cobertura zona comum de circulação.

Fase 2	
<ul style="list-style-type: none"><li>-Marcação das pendentes e juntas;</li><li>-Formação de pendentes com mestras de tijolo;</li><li>-Betonagem e nivelamento do betão leve até alcançar o nível de coroamento das mestras. Descarga, espalhamento e nivelamento com réguas da camada de argamassa de regularização;</li><li>-Limpeza e preparação da superfície;</li><li>-Aplicação da tela acústica;</li><li>-Betonagem e nivelamento do betão leve até alcançar o nível de coroamento das mestras.</li><li>-Descarga, espalhamento e nivelamento com réguas da camada de argamassa de regularização;</li><li>-Enchimento de juntas com poliestireno expandido;</li></ul>	 <p>Betonilha depois de aplicada na zona comum de circulação.</p>

Tabela 15 - Fase 3 da construção da cobertura zona comum de circulação.

Fase 3	
<ul style="list-style-type: none"><li>-Formação de caleiras para o escoamento de águas;</li><li>-Colocação e fixação do revestimento final;</li><li>-Aplicação do isolamento térmico na forma de lá de rocha;</li></ul>	 <p>Exemplo de caleira no rebordo da zona comum de circulação.</p>  <p>Exemplo de caleira embutida no pavimento da zona comum de circulação.</p>



**5. AVALIAÇÃO DO RISCO DE OCORRÊNCIA DE  
CONDENSAÇÕES INTERNAS**

---



### **5.1. Avaliação de condensações internas em sistemas de coberturas**

Para a realização da avaliação do risco de condensações internas neste relatório de estágio, foi utilizado o programa “Condensaciones”, que é um software de calculo gratuito, realizado em linguagem “Python”, que permite quantificar as condensações internas, que em regime permanente, ocorrem em elementos construtivos seguindo o método de Glaser /EN13788.

É uma aplicação que permite a definição, escolha e visualização dos resultados, de entre os quais se refere:

- Definir condições climáticas para conduzir a análise;
- Definir uma biblioteca de elementos construtivos mediante um arquivo de texto editável.
- Selecionar elementos construtivos já definidos numa biblioteca;
- Editar os elementos construtivos disponíveis, através da modificação do material, espessura, o número e ordem das suas camadas;
- Mostrar a distribuição de temperaturas no interior do elemento construtivo;
- Mostrar a distribuição de pressões e pressões de saturação no interior do elemento construtivo;
- Calcular os valores de coeficientes de transmissão térmica, fator de resistência superficial e resistências térmicas das várias camadas do elemento construtivo;
- Avaliar a existência de condensações superficiais e intersticiais;
- Calcular a quantidade de água condensada ou evaporada detalhando as quantidades por camada do elemento construtivo estudado;

Com o intuito de explicar o funcionamento do programa e validar os seus resultados, serão utilizados valores de um exemplo, presente na ISO 13788. Tendo os resultados do cálculo de condensações/evaporação tabelados, será feita uma comparação de resultados fornecidos pelo software de forma a verificar a validade do programa. É possível observar todos os dados climáticos, a constituição do elemento construtivo e os resultados constantes da ISO 13788 nas tabelas 16, 17 e 18. É de salientar que os valores retirados do exemplo ISO 13788, são os respetivos para um edifício com condições de elevada ocupação, onde

ocorre variância de temperatura e humidade, exterior e interior, para condições climáticas continentais e tropicais, ou seja, típicas para o contexto do edifício do caso de estudo.

Tabela 16- Condições climáticas fornecidas pelo exemplo da ISO 13788 (International Standard Organization, 2012).

Mês	Condições externas		Condições internas	
	$\theta_e$ [°C]	$HRe$	$\theta_i$ [°C]	$HRI$
Janeiro	-1,00	0,85	20,00	0,49
Fevereiro	0,00	0,84	20,00	0,50
Março	4,00	0,78	20,00	0,54
Abril	9,00	0,72	20,00	0,59
Mai	14,00	0,68	22,00	0,64
Junho	18,00	0,69	24,00	0,68
Julho	19,00	0,73	24,50	0,69
Agosto	19,00	0,75	24,50	0,69
Setembro	15,00	0,79	22,50	0,65
Outubro	10,00	0,83	20,00	0,60
Novembro	5,00	0,88	20,00	0,55
Dezembro	1,00	0,88	20,00	0,51

Tabela 17 - Constituição do elemento construtivo e respetivas resistências superficiais externas e internas, conforme o exemplo da ISO 13788 (International Standard Organization, 2012).

	$d$ [m]	$R$ [m <sup>2</sup> .K/W]	$\mu$	$Sd$ [m]
Resistência superficial exterior	-	0,04	-	-
Impermeabilização	0,01	0,05	500000	5000
Isolamento térmico	0,1	3	150	15
Barreira para-Vapor	-	-	-	1000
Tela geotêxtil	0,012	0,075	10	0,12
Resistência superficial interior	-	0,1	-	-

Tabela 18 - Resultados do exemplo presente na ISO 13788 (International Standard Organization, 2012).

Mês	Condições externas		Condições internas	
	$g_c$ [kg/m <sup>2</sup> ]	$Ma$ [kg/m <sup>2</sup> ]	$g_c$ [kg/m <sup>2</sup> ]	$Ma$ [kg/m <sup>2</sup> ]
Janeiro	0	0	0,00005	0,00005
Fevereiro	0,00006	0,00006	0,00018	0,00023
Março	0,00013	0,00019	0,00026	0,00049
Abril	0,00015	0,00035	0,00028	0,00077
Maió	0,00013	0,00048	0,00024	0,00101
Junho	0,00008	0,00055	0,00020	0,00120
Julho	-0,00005	0,00050	0,00007	0,00127
Agosto	-0,00016	0,00034	-0,00002	0,00125
Setembro	-0,00025	0,00009	-0,00010	0,00115
Outubro	-0,00028	0	-0,00012	0,00103
Novembro	0	0	-0,00011	0,00092
Dezembro	0	0	-0,00002	0,00090

Nas tabelas 16, 17 e 18, a nomenclatura corresponde a:

$\theta_e$  e  $\theta_i$ : Temperatura exterior e interior – [°C];

$HRe$  e  $HRi$ : Humidade relativa exterior e interior [0-1];

$d$ : Espessura da camada – [m];

$R$ : Resistência térmica - [m<sup>2</sup>.K/W];

$\mu$ : Fator de resistência à difusão de vapor de água;

$Sd$ : Espessura da camada de ar de difusão equivalente [m];

$g_c$ : Quantidade de fluxo de difusão de vapor de água - [kg/m<sup>2</sup>];

$Ma$ : Quantidade de fluxo de difusão de vapor de água acumulado- [kg/m<sup>2</sup>];

Para comprovar os resultados é necessário calcular também o fator de temperatura de projeto na superfície interna,  $f_{Rsi,min}$ , como se pode observar na tabela 19:

Tabela 19 - Cálculo da temperatura mínima na superfície interna.

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$T_e$ [°C]	$T_i$ [°C]	$HRe$ [0-1]	$HRi$ [0-1]	$Psat$ [Pa] ( $T_i > 0^\circ C$ )	$p_i$ [Pa]	$Psat,d$ [Pa]	$T_{si,min}$ [°C]	$f_{Rsi,min}$
Janeiro	-1	20	0,85	0,49	2336,95	1145,11	1431,38	12,32	0,634
Fevereiro	0	20	0,84	0,5	2336,95	1168,48	1460,59	12,62	0,631
Março	4	20	0,78	0,54	2336,95	1261,95	1577,44	13,80	0,613
Abril	9	20	0,72	0,59	2336,95	1378,80	1723,50	15,17	0,561
Mai	14	22	0,68	0,64	2642,41	1691,14	2113,93	18,39	0,549
Junho	18	24	0,69	0,68	2982,18	2027,88	2534,85	21,32	0,553
Julho	19	24,5	0,73	0,69	3072,85	2120,27	2650,33	22,05	0,554
Agosto	19	24,5	0,75	0,69	3072,85	2120,27	2650,33	22,05	0,554
Setembro	15	22,5	0,79	0,65	2724,01	1770,61	2213,26	19,12	0,550
Outubro	10	20	0,83	0,6	2336,95	1402,17	1752,71	15,43	0,543
Novembro	5	20	0,88	0,55	2336,95	1285,32	1606,65	14,09	0,606
Dezembro	1	20	0,88	0,51	2336,95	1191,85	1489,81	12,93	0,628

Na tabela 19, a nomenclatura corresponde a:

$T_e$  e  $T_i$ : Temperatura exterior e interior – [°C];

$HRe$  e  $HRi$ : Humidade relativa exterior e interior [0-1];

$Psat$ : Pressão de Saturação- [Pa];

$p_i$ : Pressão interior de projeto - [Pa];

$psat,d$ : Pressão de saturação de projeto - [Pa];

$tsi,min$ : Temperatura mínima de projeto numa superfície interior - [°C];

$f_{rsi,min}$ : Fator de temperatura mínima de projeto numa superfície interior - [-];

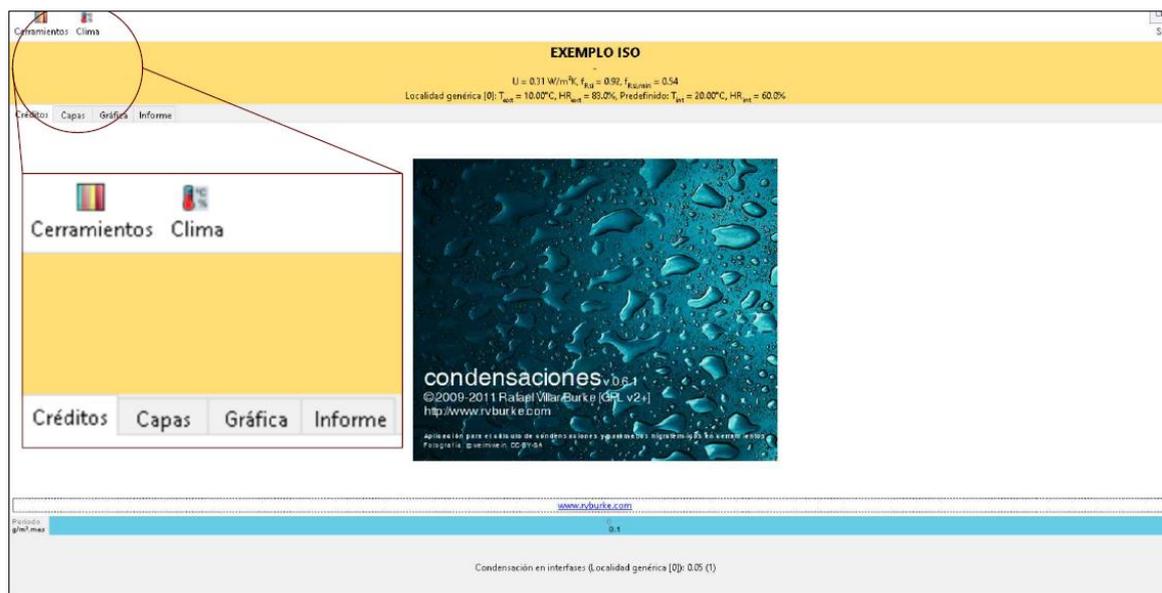


Figura 16 - Interface inicial do programa "Condensaciones" (em espanhol).

Inicialmente, é necessário escolher um tipo de elemento construtivo para estudar. É possível observar o botão que dá acesso a interface da escolha de elementos construtivos, no canto esquerdo da figura 16, no separador “cerramientos”. A interface que obtemos ao clicar no botão anterior é a presente na figura 17. Nesta interface é possível criar elementos construtivos novos e nomeá-los, além de lhes dar uma breve descrição da sua constituição.

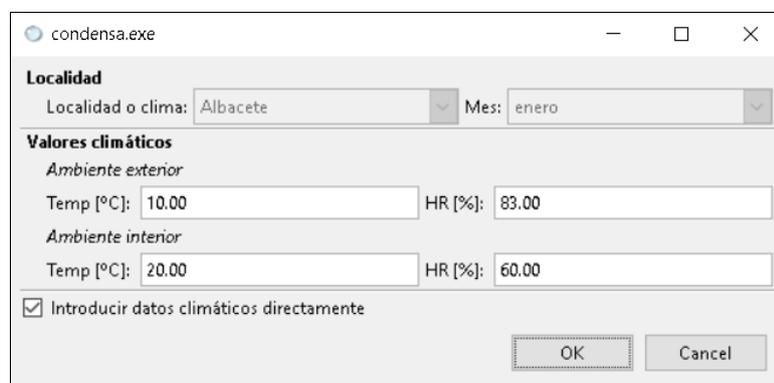


Figura 17 - Interface que permite a escolha do elemento construtivo (em espanhol/inglês).

Neste caso, designamos um dos elementos já fornecidos pelo programa para “EXEMPLO ISO”, e os restantes para os nomes das coberturas presentes em obra e já referidas nas secções anteriores. Ao seleccionar o elemento construtivo que pretendemos estudar, voltamos a interface inicial, que se pode observar na figura 16.

Posteriormente, é necessário inserir dados climáticos, no programa. É possível observar o botão que dá acesso a interface climática no canto esquerdo da figura 16, no separador “clima”. O programa já fornece uma base de dados climáticos, mas como é de origem espanhola, só fornece dados relativamente ao clima espanhol, como tal é necessário inserir os dados para o clima em estudo.

Como se pode observar na figura 18, no campo “localidade o clima”, estão os dados climáticos fornecidos pela biblioteca do programa, consoante a cidade espanhola onde se pretenda fazer o estudo higrométrico. Esta opção está num tom cinzento pois foi desativada ao pressionar “Introducir datos climáticos directamente”. Como tal, vamos inserir, neste caso, os dados climáticos do mês de outubro. A escolha deste mês para a explicação do funcionamento do programa não é aleatória. No exemplo utilizado da ISO 13788, a demonstração de resultados começa no mês de outubro, como tal foi esse o mês seleccionado para a explicação do funcionamento do programa.



Localidad	
Localidad o clima:	Albacete
Mes:	enero
Valores climáticos	
Ambiente exterior	
Temp [°C]:	10.00
HR [%]:	83.00
Ambiente interior	
Temp [°C]:	20.00
HR [%]:	60.00
<input checked="" type="checkbox"/> Introducir datos climáticos directamente	
OK Cancel	

Figura 18- Exemplo da inserção de dados climáticos (em espanhol).

De seguida avançamos para a interface onde se define as várias camadas do elemento construtivo. É possível ver este botão na figura 16 no separador “capas”. De início é necessário inserir a resistência térmica superficial exterior e interior tal como é demonstrado na figura 19.

Resistencia superficial exterior	<b>Rse =</b>	0.04	[m <sup>2</sup> /K/W]
Resistencia superficial interior	<b>Rsi =</b>	0.10	[m <sup>2</sup> /K/W]

Figura 19 - Inserção dos valores para a Resistência térmica superficial (em espanhol).

Como já foi referido anteriormente, é possível observar com mais detalhe os valores climáticos inseridos e as resistências superficiais nas tabelas 16 e 17.

Somente com a inserção dos dados até aqui referidos, e ainda faltando a definição concreta das camadas presentes no elemento construtivo, o programa já fornece a indicação de que ocorrem condensações. É possível ver esta indicação por parte do programa na figura 20, onde aparece uma barra amarela. Caso não ocorressem condensações, essa barra seria da cor verde. Nesta barra aparece também condutibilidade térmica de todo o elemento construtivo ( $U$ ), o fator de temperatura mínima de projeto numa superfície interior ( $f_{Rsi,min}$ ), fator de temperatura mínima de uma superfície interior ( $f_{Rsi}$ ), e ainda a temperatura exterior e interior ( $T_{ext}; T_{int}$ ), humidade relativa exterior e interior ( $HR_{ext}; HR_{int}$ ).

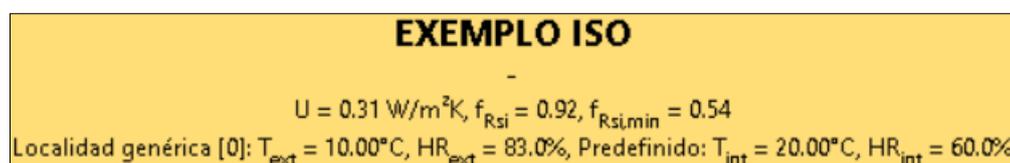


Figura 20 - Indicação visual de que ocorrem condensações (em espanhol).

Prosseguindo, depois é necessário escolher da biblioteca as várias camadas do elemento construtivo no programa e definir as suas espessuras, como é possível verificar na figura 21. Como é uma biblioteca, ao escolher as várias camadas, o programa fornece automaticamente os dados relativamente a Condutibilidade térmica ( $K$ ), Resistência térmica ( $R$ ), ao Fator de Resistência à difusão do vapor de água ( $\mu$ ) e a espessura de ar equivalente ( $S$ ). Como é um programa espanhol, a base de dados é relativa a produtos espanhóis, como tal, foi necessário criar nos ficheiros de arquivo de configurações(.ini) as camadas do elemento construtivo de exemplo, e preencher os dados relativos a essas camadas.

nº	Nombre	e [m]	K [W/mK]	R [m²K/W]	μ [-]	S [m]
0	WEATHERPROOFING	0.010	0.2000	0.0500	500000	5000.000
1	INSULATION	0.100	0.0333	3.0030	150	15.000
2	VAPOUR CHECK	0.001	0.3000	0.0033	1000000	1000.000
3	LINER	0.012	0.1600	0.0750	10	0.120

Figura 21- Tabela da constituição da solução e propriedades higrométricas do elemento construtivo de exemplo (em espanhol).

Na figura 21, a nomenclatura existente corresponde a:

*e*: Espessura da camada em causa - [m];

*K*: Condutibilidade térmica – [W/m.K];

*R*: Resistência térmica [m².K/W];

*μ*: Fator de resistência à difusão do vapor de água;

*S*: Espessura de ar equivalente – [m];

A maioria destes valores já estão presentes na tabela 17, no entanto, foi necessário modificar certos valores. Isto sucede porque o programa calcula a resistência térmica e a espessura de ar equivalente através das seguintes fórmulas:

$$R = \frac{e}{K} \quad (4)$$

$$S = e * \mu \quad (14)$$

Com a inserção destes valores específicos para cada elemento construtivo consoante a sua constituição, o programa fornece diversos resultados.

Inicialmente, o programa fornece um perfil de pressões de vapor e temperatura, temos como exemplo o gráfico referente ao mês de outubro, que se observa na figura 22, 23 e 24.

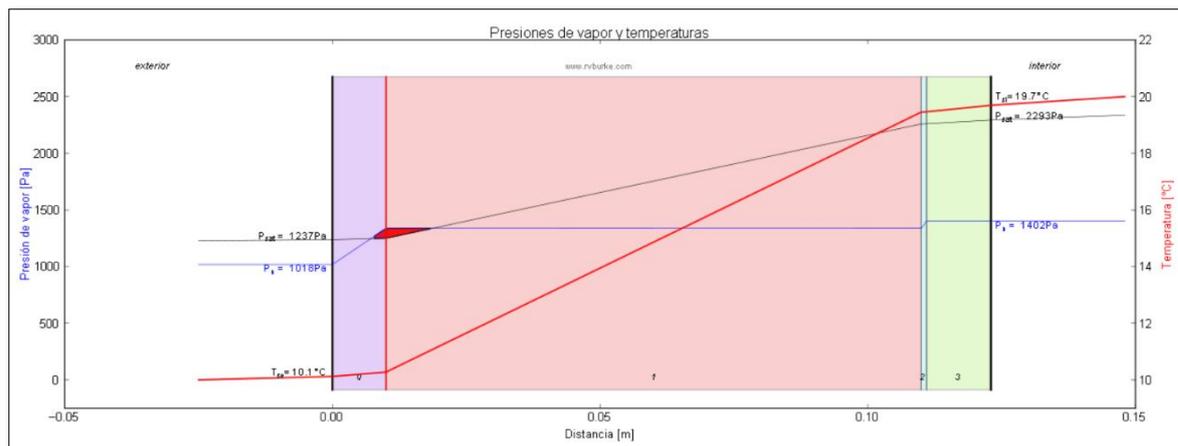


Figura 22 - Exemplo do perfil de pressões e temperatura do mês de outubro (em espanhol).

**EXEMPLO ISO**  
*Nuevo cerramiento*

**Condiciones de cálculo**  
 Ambiente exterior (gráficas): Localidad genérica [0]  
 Temperatura exterior: 10,0 °C  
 Humedad relativa exterior: 83,0 %

Ambiente interior (gráficas): Predefinido  
 Temperatura interior: 20,0 °C  
 Humedad relativa interior: 60,0 %

Resistencia superficial exterior: 0,04 m<sup>2</sup>K/W  
 Resistencia superficial exterior: 0,10 m<sup>2</sup>K/W

Condiciones de cálculo para la comprobación de condensaciones superficiales  
 Exterior - T: 10,0 °C, HR: 83,0 %  
 Interior - T: 20,0 °C, HR: 60,0 %

Condiciones de cálculo para la comprobación de condensaciones intersticiales  
 Exterior -  
 T [°C]: 10,0  
 HR [%]: 83,0  
 Interior - T [°C]: 20,0, HR [%]: 60,0

Figura 23 - Resumo dos dados climáticos do mês de outubro (em espanhol).

<b>Descripción del cerramiento</b>	
<b>0 - WEATHERPROOFING:</b>	
	0.010 [m]
	R=0.050 [m <sup>2</sup> K/W]
	μ=500000
	S=5000.000 [m]
<b>1 - INSULATION:</b>	
	0.100 [m]
	R=3.003 [m <sup>2</sup> K/W]
	μ=150
	S=15.000 [m]
<b>2 - VAPOUR CHECK:</b>	
	0.001 [m]
	R=0.003 [m <sup>2</sup> K/W]
	μ=1000000
	S=1000.000 [m]
<b>3 - LINER:</b>	
	0.012 [m]
	R=0.075 [m <sup>2</sup> K/W]
	μ=10
	S=0.120 [m]
<b>Espesor total del cerramiento: 0.123 m</b>	

Figura 24 - Resumo da constituição do elemento construtivo (em espanhol).

Além destas informações, que já eram necessárias para o funcionamento inicial do programa, o programa fornece um gráfico que indica a quantidade de condensação ocorrida nesse mês.

Na figura 25 se observa como são apresentados os resultados pelo software. A quantidade de água condensada no mês de outubro é 0,05 g/m<sup>2</sup>. mês.

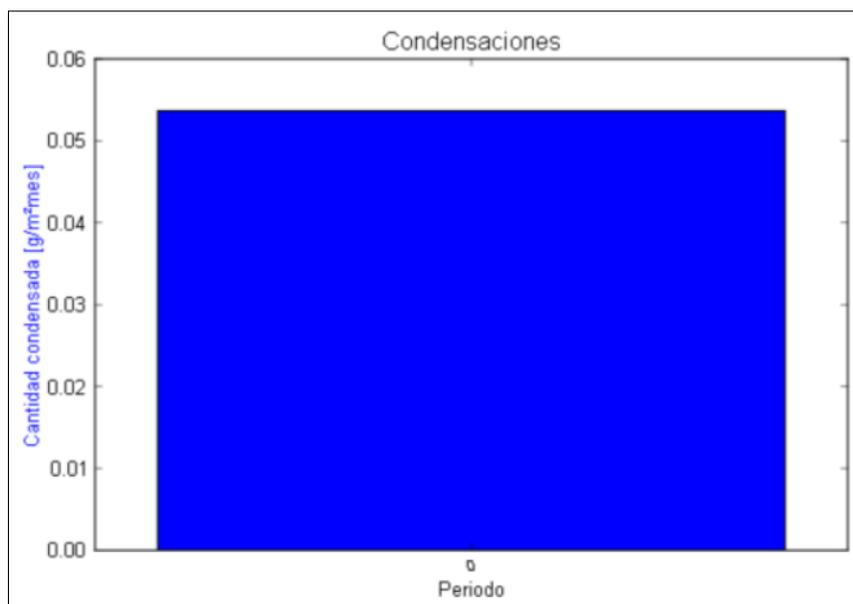


Figura 25 - Gráfico da quantidade de condensações ocorridas no mês de outubro (em espanhol).

E por último, o programa fornece um resumo dos resultados obtidos, como se pode visualizar na figura 26.

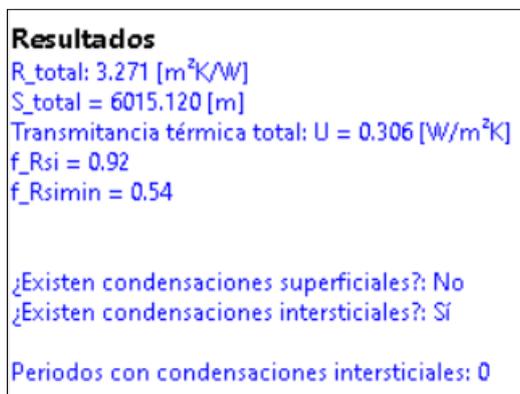


Figura 26 - Resumo dos resultados obtidos relativamente ao mês de outubro (em espanhol).

Os resultados calculados pelo programa de acordo com o método de Glaser para a quantidade de água condensada e para o fator de temperatura mínima de projeto numa superfície interior são semelhantes a ISO 13788, no entanto o fator de temperatura mínima de uma superfície interior é diferente da ISO 13788 o que denota desde já um problema com o software, no entanto, será necessário analisar os restantes resultados para retirar

conclusões mais definitivas. Relativamente aos restantes dados não temos valores de comparação como tal não podemos realizar comparações, no entanto, podemos afirmar que estão corretos pois são calculados diretamente da informação inserida acerca da constituição construtiva do elemento construtivo.

Como tal, vai ser demonstrado um exemplo de resultados para um mês com condensações e um para evaporação/secagem, respetivamente, para o mês de janeiro e julho.

Sendo que os restantes resultados serão resumidos numa tabela, mas podem ser vistos no ANEXO I (<https://1drv.ms/b/s!Ao0X8fIOd4vJiAB47vW46BO5qCSK?e=3mDZ7h>).

É possível observar os dados climáticos para o mês de janeiro na figura 27.

<p><b>EXEMPLO ISO</b>  <i>Nuevo cerramiento</i></p> <p><b>Condiciones de cálculo</b>                  Ambiente exterior (gráficas): Localidad genérica [0]  <i>Temperatura exterior: -1.0 °C</i>  <i>Humedad relativa exterior: 85.0 %</i></p> <p>Ambiente interior (gráficas): Predefinido  <i>Temperatura interior: 20.0 °C</i>  <i>Humedad relativa interior: 49.0 %</i></p> <p>Resistencia superficial exterior: 0.04 m<sup>2</sup>K/W                  Resistencia superficial exterior: 0.10 m<sup>2</sup>K/W</p> <p>Condiciones de cálculo para la comprobación de condensaciones superficiales  <i>Exterior - T: -1.0 °C, HR: 85.0 %</i>  <i>Interior - T: 20.0 °C, HR: 49.0 %</i></p> <p>Condiciones de cálculo para la comprobación de condensaciones intersticiales                  Exterior -  <i>T [°C]: -1.0</i>  <i>HR [%]: 85.0</i>                  Interior - T [°C]: 20.0, HR [%]: 49.0</p>
---

Figura 27 - Resumo dos dados climáticos para o mês de janeiro (em espanhol).

Para os valores climáticos utilizados e para os valores utilizados na definição da composição construtiva do elemento construtivo, obteve-se a figura 28, o perfil de pressões de vapor e temperatura.

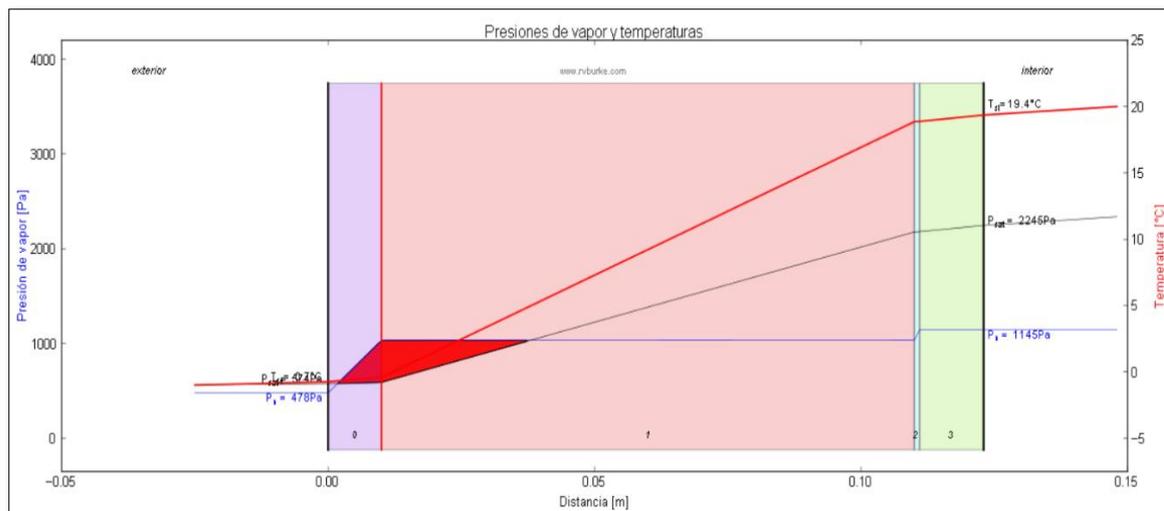


Figura 28 - Perfil de pressões e temperatura para o mês de janeiro (em espanhol).

É possível observar nas figuras 29 e 30, graficamente o resultado do valor das condensações. A quantidade de água condensada no mês de janeiro é  $0,27 \text{ g/m}^2 \cdot \text{mes}$ .

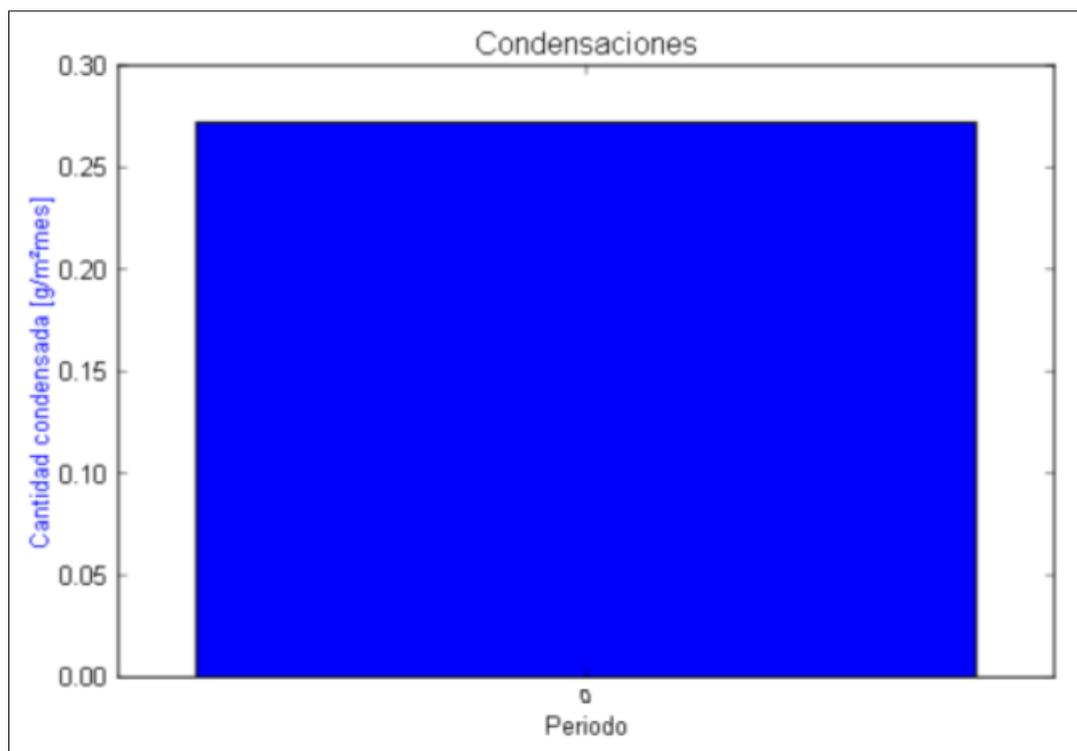


Figura 29- Gráfico da quantidade de condensações ocorridas no mês de janeiro (em espanhol).

**Resultados**  
 $R_{total}$ : 3.271 [ $m^2K/W$ ]  
 $S_{total}$  = 6015.120 [m]  
 Transmitancia térmica total:  $U = 0.306$  [ $W/m^2K$ ]  
 $f_{Rsi}$  = 0.92  
 $f_{Rsimin}$  = 0.63

¿Existen condensaciones superficiales?: No  
 ¿Existen condensaciones intersticiales?: Sí

Periodos con condensaciones intersticiales: 0

Figura 30 - Resumo dos resultados obtidos relativamente ao mês de janeiro (em espanhol).

Os resultados obtidos são parcialmente semelhantes aos indicados na ISO 13788, a análise de resultados é semelhante aos resultados obtidos para o mês de outubro.

Agora serão apresentados os mesmos resultados para o mês de julho, tipicamente um mês em que ocorre evaporação, isto é secagem.

É possível observar os dados climáticos para o mês de julho na figura 31.

**EXEMPLO ISO**  
*Nuevo cerramiento*

**Condiciones de cálculo**  
 Ambiente exterior (gráficas): Localidad genérica [0]  
 Temperatura exterior: 19.0 °C  
 Humedad relativa exterior: 73.0 %

Ambiente interior (gráficas): Predefinido  
 Temperatura interior: 24.5 °C  
 Humedad relativa interior: 69.0 %

Resistencia superficial exterior: 0.04  $m^2K/W$   
 Resistencia superficial exterior: 0.10  $m^2K/W$

Condiciones de cálculo para la comprobación de condensaciones superficiales  
 Exterior - T: 19.0 °C, HR: 73.0 %  
 Interior - T: 20.0 °C, HR: 69.0 %

Condiciones de cálculo para la comprobación de condensaciones intersticiales  
 Exterior -  
 T [°C]: 19.0  
 HR [%]: 73.0  
 Interior - T [°C]: 20.0, HR [%]: 69.0

Figura 31 - Resumo dos dados climáticos para o mês de julho (em espanhol).

Para os valores climáticos utilizados e para os valores utilizados na definição da composição construtiva do elemento construtivo, obteve-se a figura 32, o perfil de pressões de vapor de água e perfil de temperatura.

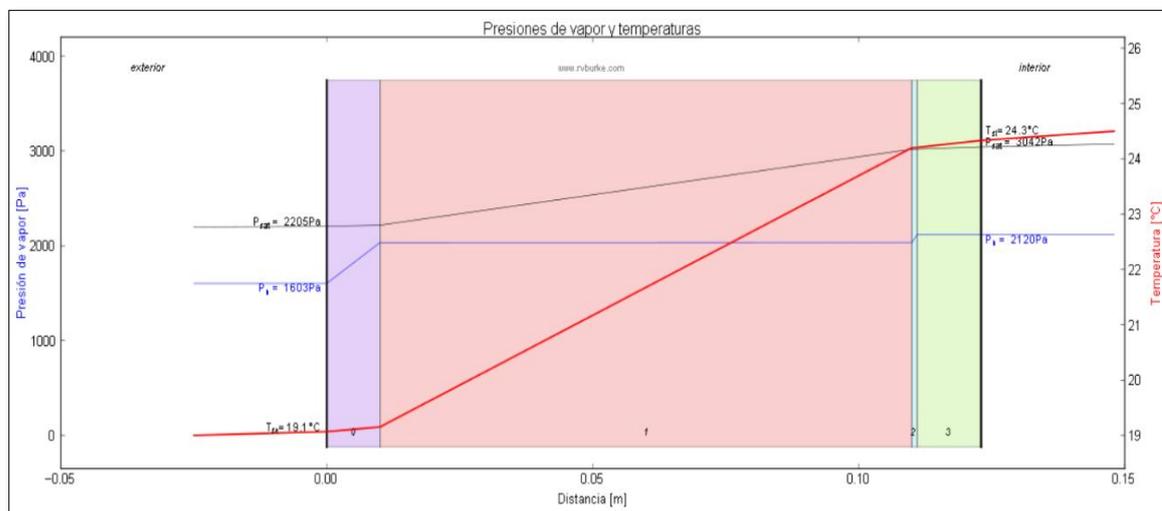


Figura 32 - Perfil de pressões e temperatura para o mês de julho (em espanhol).

É possível observar nas figuras 33 e 34, graficamente o resultado do valor das condensações, no entanto, é possível observar que não ocorrem condensações. A quantidade de água condensada no mês de julho é 0 g/m<sup>2</sup>. mês.

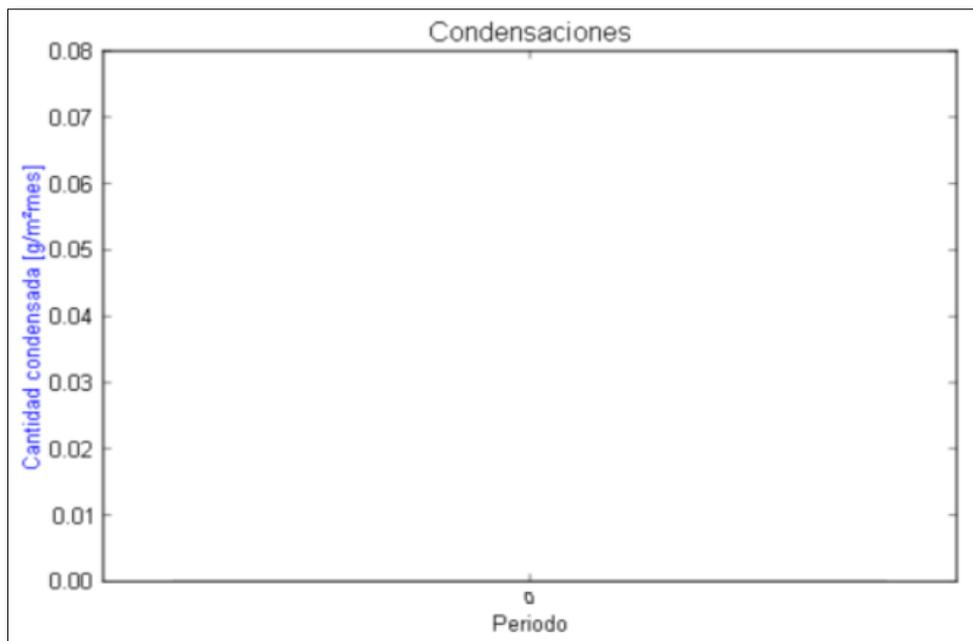


Figura 33 - Gráfico da quantidade de condensações ocorridas no mês de julho (em espanhol).

O gráfico da quantidade de condensações ocorridas no mês de julho é somente demonstrativo de que o programa fornece gráficos. Neste caso, a informação inserida no gráfico, pode ser somente reduzida a uma frase. Por este motivo, no capítulo seguinte, o gráfico da quantidade de condensações obtidas será omitido, se não ocorrerem condensações.

```

Resultados
R_total: 3.271 [m²K/W]
S_total = 6015.120 [m]
Transmitancia térmica total: U = 0.306 [W/m²K]
f_Rsi = 0.92
f_Rsimin = -0.25

¿Existen condensaciones superficiales?: No
¿Existen condensaciones intersticiales?: No
    
```

Figura 34 - Resumo dos resultados obtidos relativamente ao mês de julho (em espanhol).

Não ocorreram condensações, e o fator de temperatura mínima de projeto obtida é negativo ( $f_{Rsi,min} = -0,25$ ). Nesta análise ao mês de julho, é possível verificar que o programa fornece resultados diferentes dos indicados na norma. O esperado era obter em meses quentes,

evaporação de vapor de água do elemento construtivo, no entanto, o programa não calcula evaporação.

Tabela 20- Resultados utilizando a inserção de valores climáticos através do interface climático.

Mês	Resultados "ISO 13788"			Resultados "Condensaciones"		
	<i>gc</i>	<i>Ma</i>	<i>fRsi,min</i>	<i>gc</i>	<i>Ma</i>	<i>fRsi,min</i>
	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	-	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	-
Outubro	0,00005	0,00005	0,54	0,00005	0,00005	0,54
Novembro	0,00018	0,00023	0,61	0,00018	0,00023	0,61
Dezembro	0,00026	0,00049	0,63	0,00025	0,00048	0,63
Janeiro	0,00028	0,00077	0,63	0,00027	0,00075	0,63
Fevereiro	0,00024	0,00101	0,63	0,00026	0,00101	0,63
Março	0,0002	0,0012	0,61	0,0002	0,00121	0,61
Abril	0,00007	0,00127	0,56	0,00007	0,00128	0,56
Mai	-0,00002	0,00125	0,55	0	0,00128	0,31
Junho	-0,0001	0,00115	0,55	0	0,00128	-0,1
Julho	-0,00012	0,00103	0,55	0	0,00128	-0,25
Agosto	-0,00011	0,00092	0,55	0	0,00128	-0,25
Setembro	-0,00002	0,0009	0,55	0	0,00128	0,23

É possível observar os resultados presentes na ISO 13788 para o elemento construtivo na tabela 20, tal como os resultados que o programa fornece para o mesmo elemento construtivo. É possível observar uma semelhança de valores para os meses mais frios, quando ocorrem condensações. Nestes casos, a quantidade de água condensada e o fator de temperatura mínima de projeto, *fRsi,min*, é semelhante. No entanto, nos meses mais quentes, onde supostamente ocorre evaporação ou em outras palavras, secagem, os valores calculados pelo software que deviam ser negativos, correspondente a uma secagem do elemento construtivo, são nulos. O fator de temperatura mínima de projeto é diferente, apresentado valores negativos. Ao longo de todas às análises podemos salientar também que o fator de temperatura mínima é sempre diferente, e no caso desta análise não faz sentido, pois á análise é feita individualmente, ou seja, de mês em mês, como tal, o fator de temperatura mínima devia ser igual ao fator de temperatura mínima de projeto, correspondente a análise de um só mês. Como tal, nos meses em que as condensações sejam nulas, considera-se que ocorre potencial de secagem.

É possível consultar no anexo II, resultados para a inserção de dados climáticos nos ficheiros de configuração do programa(.ini), tal como foi feito para as camadas dos elementos construtivos. No entanto, era impossível realizar a análise pretendida pois o

programa só permite a inserção de um dado climático externo, face aos 12 dados climáticos internos. No entanto, foi realizada essa mesma análise, alterando consecutivamente o dado climático externo, mês a mês.

## 5.2. Avaliação dos sistemas de cobertura do caso de estudo

Através da consulta do projeto térmico, desenvolvido de acordo com o REH, a temperatura média exterior de inverno é de 9,7°C e uma temperatura média exterior de verão de 20.7°C. Como tal, os dados climáticos utilizados neste estudo são os dados climáticos utilizados no capítulo anterior, isto é, os dados do exemplo da ISO 13788, pois estes são referentes a um clima continental e tropical, típico para o contexto do edifício do caso de estudo. Para cada elemento construtivo, teremos 12 resultados, um por cada mês do ano. Como tal, vai ser demonstrado um exemplo de resultados para um mês com condensações e um para evaporação/secagem, respetivamente, janeiro e julho para dois dos elementos construtivos presentes na obra. Sendo que os restantes serão resumidos numa tabela, mas podem ser consultados em detalhe no ANEXO III, ANEXO IV, ANEXO V, ANEXO IV

(<https://1drv.ms/b/s!Ao0X8fIOd4vJiAB47vW46BO5qCSK?e=3mDZ7h>).

### 5.2.1. Análise da cobertura plana não acessível

Para o elemento construtivo, cobertura plana não acessível, foram utilizados os seguintes valores, como se pode observar na figura 35.

nº	Nome	e [m]	K [W/mK]	R [m²K/W]	$\mu$ [-]	S [m]
0	Betão armado	0.220	2.0000	0.1100	80	17.600
1	Betão leve	0.080	1.3300	0.0602	10	0.800
2	Impermeabilização	0.010	0.2500	0.0400	50000	500.000
3	Isolamento	0.120	0.0350	3.4286	100	12.000
4	Geotêxtil	0.010	0.5000	0.0200	100000	1000.000
5	Godó	0.100	2.0000	0.0500	50	5.000

Figura 35 - Tabela da constituição da solução e propriedades higrométricas da cobertura plana não acessível.

Como já referido anteriormente, o programa fornece nos resultados um resumo da constituição da cobertura plana não acessível, como se pode observar na figura 36.

<b>Descripción del cerramiento</b>	
0 - Betão armado:	
	0,220 [m]
	$R=0,110 [m^2K/W]$
	$\mu=80$
	$S=17.600 [m]$
1 - Betão leve:	
	0,080 [m]
	$R=0,060 [m^2K/W]$
	$\mu=10$
	$S=0.800 [m]$
2 - Impermeabilização:	
	0,010 [m]
	$R=0,040 [m^2K/W]$
	$\mu=50000$
	$S=500.000 [m]$
3 - Isolamento:	
	0,120 [m]
	$R=3,429 [m^2K/W]$
	$\mu=100$
	$S=12.000 [m]$
4 - Geotêxtil:	
	0,010 [m]
	$R=0,020 [m^2K/W]$
	$\mu=100000$
	$S=1000.000 [m]$
5 - Godo:	
	0,100 [m]
	$R=0,050 [m^2K/W]$
	$\mu=50$
	$S=5.000 [m]$
<b>Espesor total del cerramiento: 0.540 m</b>	

Figura 36 - Descrição do elemento construtivo, cobertura plana não acessível, e os seus valores das suas características higrométricas (em espanhol).

É possível observar os dados climáticos para o mês de janeiro na figura 37.

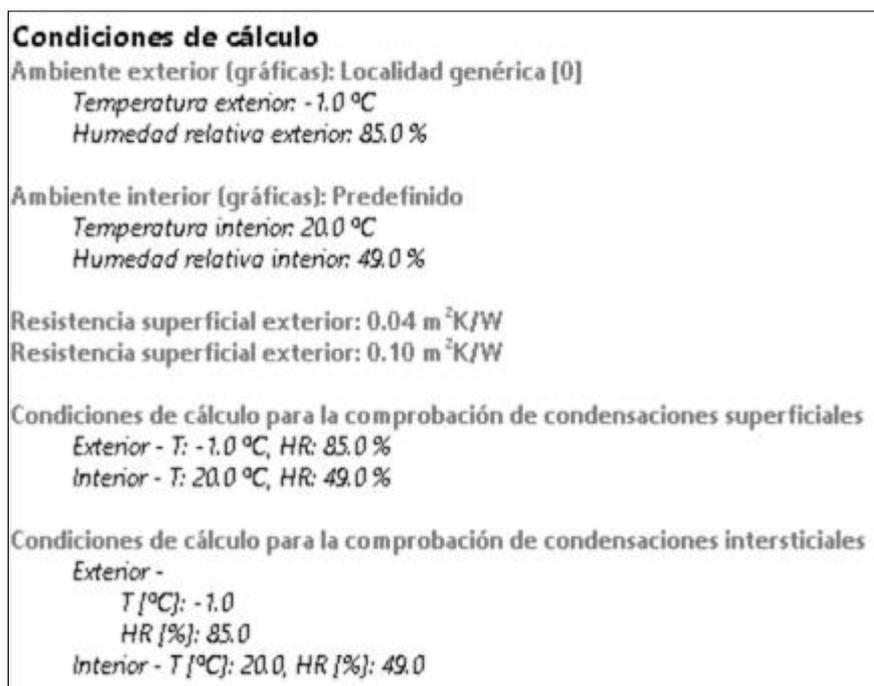


Figura 37 - Condições de cálculo para a cobertura plana não acessível, no mês de janeiro (em espanhol).

Para os valores climáticos utilizados e para os valores característicos do elemento construtivo, obteve-se o perfil de pressões de vapor de água e temperatura, que se observa na figura 38.

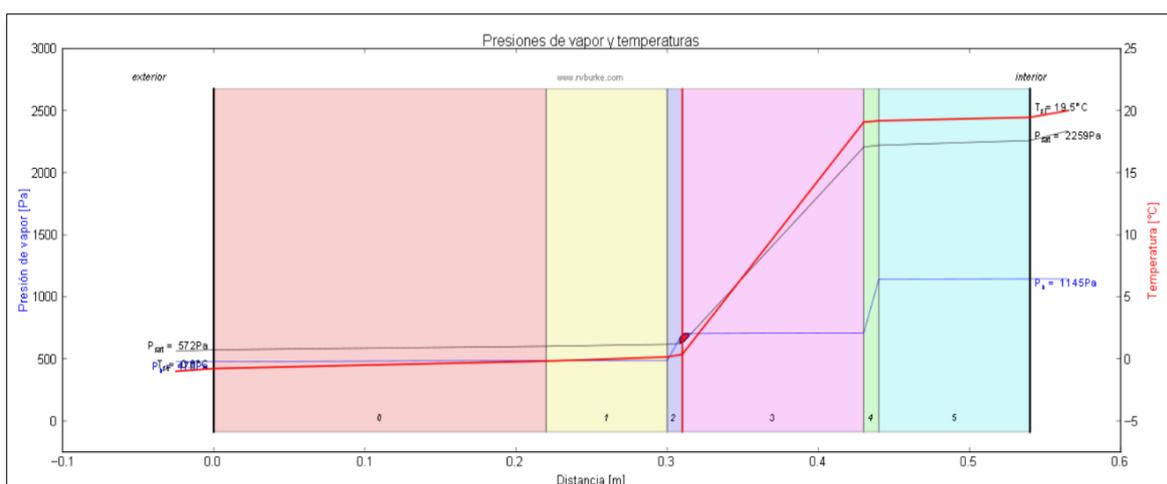


Figura 38 - Perfil de pressões e temperatura para a cobertura plana não acessível no mês de janeiro (em espanhol).

Nesta secção retirámos o gráfico das condensações devido a diminuta informação que providencia, no entanto, continuaremos a referenciar a quantidade de água condensada. A quantidade de água condensada no mês de janeiro é  $0,11 \text{ g/m}^2 \cdot \text{mês}$ . É possível observar os resultados da análise na figura 39.

```
Resultados  
R_total: 3.849 [m2K/W]  
S_total = 1535.400 [m]  
Transmitancia térmica total: U = 0.260 [W/m2K]  
f_Rsi = 0.94  
f_Rsimin = 0.63  
  
¿Existen condensaciones superficiales?: No  
¿Existen condensaciones intersticiales?: Sí  
  
Periodos con condensaciones intersticiales: 0
```

Figura 39 - Resultados da análise para a cobertura plana não acessível no mês de janeiro (em espanhol).

Ocorreram condensações, típico do mês de janeiro, e o fator de temperatura mínima de projeto tem valores dentro do esperado. No entanto, reforça-se a conclusão do capítulo anterior, que o fator de temperatura mínima poderá estar errado.

É possível observar os dados climáticos para o mês de julho na figura 40.

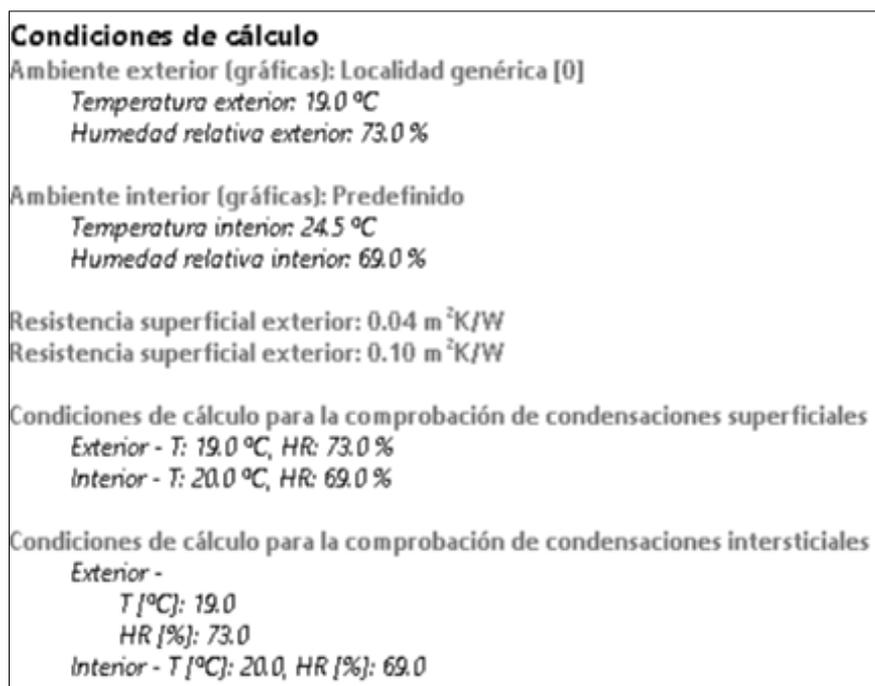


Figura 40 - Condições de cálculo para a cobertura plana não acessível, no mês de julho (em espanhol).

Para os valores climáticos utilizados e para os valores característicos do elemento construtivo, obteve-se o perfil de pressões de vapor e temperatura, que se observa na figura 41.

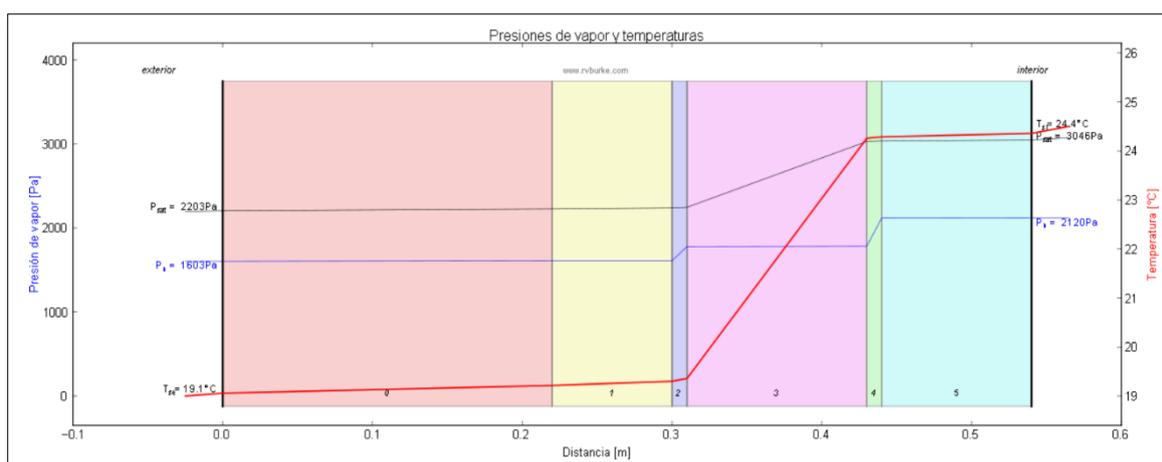


Figura 41 - Perfil de pressões e temperatura para a cobertura plana não acessível no mês de julho (em espanhol).

Nesta secção retirámos o gráfico das condensações devido a diminuta informação que providencia, no entanto continuaremos a referenciar a quantidade de água condensada. A quantidade de água condensada no mês de julho é  $0,0 \text{ g/m}^2 \cdot \text{mês}$ . É possível observar os resultados da análise na figura 42.

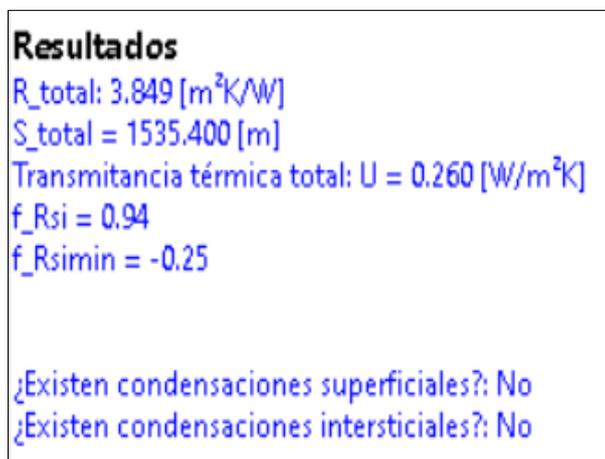


Figura 42 - Resultados da análise para a cobertura plana não acessível no mês de julho (em espanhol).

Não ocorreram condensações, o que é expetável para o mês de julho, no entanto, o fator de temperatura de design mínima é negativo. No entanto, reforça-se a conclusão do capítulo anterior, que o fator de temperatura mínima poderá estar errado.

Na tabela 21 apresenta-se um resumo dos resultados da análise higrométrica, no entanto, é possível observar em detalhe todos os resultados gráficos no anexo III (<https://1drv.ms/b/s!Ao0X8fIOd4vJiAB47vW46BO5qCSK?e=3mDZ7h>).

Tabela 21 - Resultados relativos a cobertura plana não acessível.

Cobertura plana não acessível						
Mês	$g_c$ kg/m <sup>2</sup> . mês	$Ma$ kg/m <sup>2</sup> . mês	$fR_{si,min}$ -	$fR_{si}$ -	$R_{total}$ m <sup>2</sup> .k/W	$U$ W/m <sup>2</sup> . K
Janeiro	0,00012	0,00012	0,63	0,94	3,849	0,26
Fevereiro	0,0001	0,00022	0,63			
Março	0	0,00022	0,61			
Abril	0	0,00022	0,56			
Mai	0	0,00022	0,31			
Junho	0	0,00022	-0,1			
Julho	0	0,00022	-0,25			
Agosto	0	0,00022	-0,25			
Setembro	0	0,00022	0,23			
Outubro	0	0,00022	0,54			
Novembro	0,00001	0,00023	0,61			
Dezembro	0,0001	0,00033	0,63			

Analisando a tabela 21, ocorrem condensações, mas são mais os meses em que ocorre secagem, como tal, pressupõem-se a durabilidade do elemento construtivo face as condensações, está assegurada.

### 5.2.2. Análise da cobertura plana acessível

Para o elemento construtivo, cobertura plana acessível, foram utilizados os seguintes valores, como se pode observar na figura 43:

nº	Nome	e [m]	K [W/mK]	R [m²K/W]	$\mu$ [-]	S [m]
0	Betão armado	0.220	2.0000	0.1100	80	17.600
1	Betão leve	0.080	1.3300	0.0602	10	0.800
2	Impermeabilização	0.010	0.2500	0.0400	50000	500.000
3	Isolamento	0.100	0.0350	2.8571	100	10.000
4	Geotêxtil	0.010	0.5000	0.0200	100000	1000.000
5	Godô	0.100	2.0000	0.0500	50	5.000

Figura 43 - Tabela da constituição da solução e propriedades higrométricas da cobertura plana acessível.

Como já referido anteriormente, o programa fornece nos resultados um resumo da constituição da cobertura plana acessível, como se pode observar na figura 44.

Descripción del cerramiento	
0 - Betão armado:	
	0.220 [m]
	R=0.110 [m²K/W]
	$\mu=80$
	S=17.600 [m]
1 - Betão leve:	
	0.080 [m]
	R=0.060 [m²K/W]
	$\mu=10$
	S=0.800 [m]
2 - Impermeabilização:	
	0.010 [m]
	R=0.040 [m²K/W]
	$\mu=50000$
	S=500.000 [m]
3 - Isolamento:	
	0.100 [m]
	R=2.857 [m²K/W]
	$\mu=100$
	S=10.000 [m]
4 - Geotêxtil:	
	0.010 [m]
	R=0.020 [m²K/W]
	$\mu=100000$
	S=1000.000 [m]
5 - Godô:	
	0.100 [m]
	R=0.050 [m²K/W]
	$\mu=50$
	S=5.000 [m]
Espesor total del cerramiento: 0.520 m	

Figura 44 - Descrição do elemento construtivo, cobertura plana acessível, e os seus valores das suas características higrométricas (em espanhol).

Na tabela 22 apresenta-se um resumo dos resultados da análise higrométrica, no entanto é possível observar em detalhe todas as figuras no anexo IV

(<https://1drv.ms/b/s!Ao0X8fIOd4vJiAB47vW46BO5qCSK?e=3mDZ7h>).

Tabela 22 - Resultados relativos a cobertura plana acessível.

Cobertura plana acessível						
Mês	<i>gc</i>	<i>Ma</i>	<i>fRsi,min</i>	<i>fRsi</i>	<i>Rtotal</i>	<i>U</i>
	kg/m <sup>2</sup> . mês	kg/m <sup>2</sup> . mês	-	-	m <sup>2</sup> .k/W	W/m <sup>2</sup> . K
Janeiro	0,0001	0,0001	0,63	0,92	3,277	0,305
Fevereiro	0,00008	0,00018	0,63			
Março	0	0,00018	0,61			
Abril	0	0,00018	0,56			
Maió	0	0,00018	0,31			
Junho	0	0,00018	-0,1			
Julho	0	0,00018	-0,25			
Agosto	0	0,00018	-0,25			
Setembro	0	0,00018	0,23			
Outubro	0	0,00018	0,54			
Novembro	0	0,00018	0,61			
Dezembro	0,00009	0,00027	0,63			

Analisando a tabela 22, ocorrem condensações, mas são mais os meses em que ocorre secagem, como tal, pressupõem-se a durabilidade do elemento construtivo face as condensações.



É possível observar os dados climáticos para o mês de janeiro na figura 47.

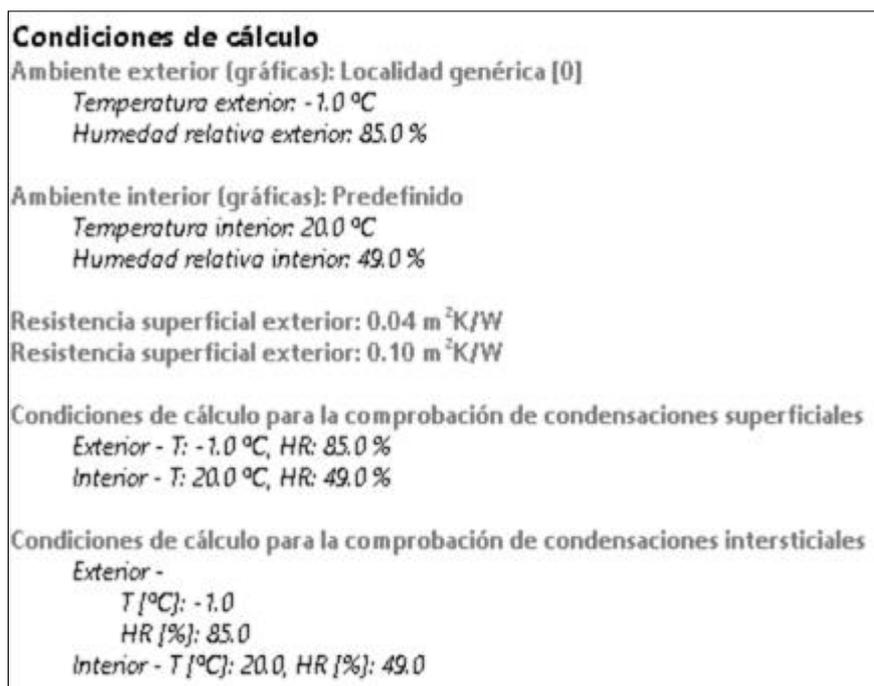


Figura 47 - Condições de cálculo para a cobertura inclinada ou semicircular, no mês de janeiro (em espanhol).

Para os valores climáticos utilizados e para os valores característicos do elemento construtivo, obteve-se o perfil de pressões de vapor e temperatura, que se observa na figura 48.

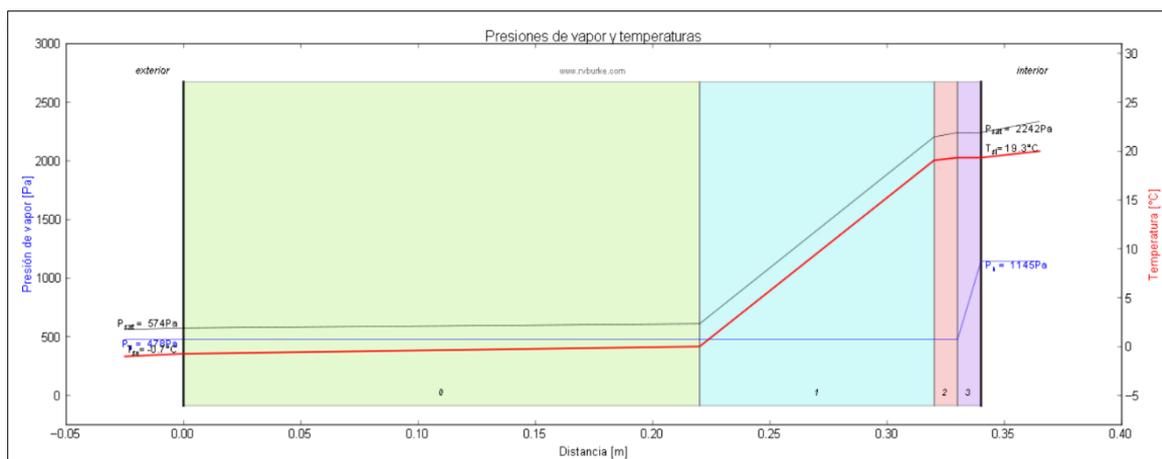


Figura 48 - Perfil de pressões e temperatura para a cobertura inclinada ou semicircular no mês de janeiro (em espanhol).





(<https://1drv.ms/b/s!Ao0X8fIOd4vJiAB47vW46BO5qCSK?e=3mDZ7h>).

Tabela 23- Resultados relativos a cobertura inclinada e semi-circular.

Cobertura inclinada ou semi-circular						
Mês	<i>gc</i>	<i>Ma</i>	<i>fRsi,min</i>	<i>fRsi</i>	<i>Rtotal</i>	<i>U</i>
	kg/m <sup>2</sup> . mês	kg/m <sup>2</sup> . mês	-	-	m <sup>2</sup> .k/W	W/m <sup>2</sup> . K
Janeiro	0	0	0,63	0,92	3,147	0,318
Fevereiro	0	0	0,63			
Março	0	0	0,61			
Abril	0	0	0,56			
Maió	0	0	0,31			
Junho	0	0	-0,1			
Julho	0	0	-0,25			
Agosto	0	0	-0,25			
Setembro	0	0	0,23			
Outubro	0	0	0,54			
Novembro	0	0	0,61			
Dezembro	0	0	0,63			

Como é possível observar na tabela 23, não ocorreram condensações durante o ano inteiro. A única explicação possível para estes valores, é devido aos valores utilizados das condições climáticas para avaliação e as características da camada para-vapor e a chapa de zinco.

Foi retirada também a análise da zona comum de circulação porque os resultados são semelhantes aos obtidos na cobertura inclinada ou semicircular, não ocorrem condensações, mas neste caso, a explicação é devido à existência da tela acústica.

### **5.3. Síntese final**

A transferência de humidade é um processo bastante complexo e por vezes o conhecimento existente acerca deste tema é limitado.

O programa de cálculo “condensaciones” permite analisar se ocorrem condensações nos meses frios, porém não calcula a evaporação/secagem do elemento construtivo nos meses quentes. Como tal, só nos meses frios, é que é possível utilizar os valores fornecidos, como por exemplo, a quantidade de água condensada e o fator de temperatura mínima de projeto. E não é o único problema que advém disso, pois o fator de temperatura mínima perde fiabilidade nos meses em que a quantidade de fluxo de difusão de vapor de água é nula

, inclusive. No entanto, o software calcula corretamente a resistência térmica, o fator de resistência a difusão do vapor de água e a espessura de ar equivalente do elemento construtivo e o perfil de pressões e temperatura está coerente com os resultados calculados.

Dos resultados obtidos para os elementos construtivos presentes em obra, é possível constatar que todos os elementos são pouco suscetíveis a condensações internas, sendo que os mais propensos, são as coberturas planas não acessíveis e acessíveis. E apesar, de nestas duas situações de coberturas, ocorrerem condensações, nas outras duas coberturas não ocorrem condensações, sendo devido à utilização de telas para-vapor na posição correta, bem como da baixa agressividade das condições climáticas. Nestes últimos dois casos, em que supostamente não ocorre condensação em nenhum mês, indica que o elemento construtivo é durável.

Apesar dos limites deste programa, é importante que o uso de tais parâmetros de avaliação de condensações internas seja cada vez mais uma exigência na fase de conceção de sistemas de coberturas.

## **6. CONCLUSÕES FINAIS**

---



## **6.1. Principais conclusões**

A cobertura é um dos elementos mais importantes da envolvente externa, considerada a quinta fachada do edifício, pois é responsável por assegurar o conforto e segurança aos seus ocupantes, ajuda a conservar a estrutura e protege o edificado das ações dos elementos da natureza, nomeadamente da precipitação (Ginga, 2008).

Para que a execução de uma cobertura tenha sucesso, existem vários fatores a considerar, nomeadamente, a qualidade dos materiais, a constituição da solução construtiva escolhida ser a mais apropriada à situação em causa, um estudo detalhado e correto dos vários pontos singulares e interfaces construtivas dos sistemas de cobertura (Alves, 2013).

Resumidamente, é necessário ter em atenção todas as fases de execução de uma coberturas para que se identifique os pormenores construtivos e potenciais situações que poderão despoletar anomalias decorrentes de ou erros de conceção ou de construção numa fase inicial, permitindo que as intervenções necessárias sejam efetuadas numa altura correta promovendo a durabilidade da cobertura.

A análise higrométrica e psicrometria apesar de serem, ainda, temáticas de difícil compreensão e de informação limitada e domínio por vezes muito específico junto da comunidade técnica, desempenham um papel fundamental na vida útil do edificado e no conforto e saúde dos utentes. É necessário, ainda na fase de conceção a avaliação do risco de condensações internas em sistemas de coberturas e do uso de software baseado na ISO 13788 para a realização das mesmas. Deste modo, será possível prevenir ao máximo qualquer possibilidade de ocorrência de anomalias provocadas por condensações, além dos custos económicos, provenientes das patologias associadas ao edificado, bem como a degradação das condições ambientais interiores dos edifícios.

## **6.2. Acompanhamento em obra**

O estágio como engenheiro de apoio à produção foi uma experiência única e educativa que permitiu a consolidação dos conhecimentos obtidos durante o curso de engenharia civil, através do acompanhamento diário da construção de um edifício. A possibilidade de acompanhar diariamente a construção deste edifício permitiu o desenvolvimento de competências ao nível da prevenção de problemas e disfunções, análise e proposta de

soluções construtivas e resolução de problemas decorrentes além da relação trabalhador/engenheiro.

### **6.3. Comentário final**

Este relatório de estágio poderá servir como documento para compreender as funcionalidades do programa “Condensaciones”, no entanto é um documento que explica os princípios da higrometria e psicrometria, focando no método de Glaser, aplicado pela norma ISO 13788 e de bons princípios na construção de sistemas de coberturas.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---



## Referências Bibliográficas

- Alves, José António Rodrigues Lages. 2013. “Impermeabilização e Isolamento Térmico de Coberturas Em Terraço, Sistemas Construtivos e Patologias.”
- Brito, Jorge De. 2005. “Impermeabilizações de Coberturas Em Terraço.” (November).
- Freitas, Vasco and Paulo Pinto. 1998. *Permeabilidade Ao Vapor de Materiais de Construção - Condensações Internas*.
- Ginga, Duarte André. 2008. “Sistemas de Impermeabilização de Coberturas Em Terraço.”
- International Standard Organization. 2012. “ISO 13788, Hygrothermal Performance of Building Components and Building Temperature to Avoid Critical.” 2012.
- João Vindeirinho Rino, Eduardo. 2011. “Sistemas Prediais de Drenagem de Águas Pluviais e Freáticas.”
- Melo, Bernardo Marreiros Marques de Pinho e. 2018. *Memória Descritiva e Justificativa- Projeto de Condicionamento Acústico*.
- Melo, João Bernardo Marreiros Marques de Pinho e. 2018. *Memória Descritiva e Justificativa- Projeto de Avaliação Do Desempenho Térmico*.
- Mouraz, Eng. .. António Baio Dias; Prof. Doutor Raimundo Mendes da Silva; Arq. .. Vaneesa Pires de Almeida; Eng<sup>a</sup> Catarina Pinto. 2018. “Guia Para Projeto e Aplicação de Telhas Cerâmicas.”
- O’Brien, Sean. 2016. “Water Vapor Migration.”
- Pinto, R. J. B. 2020. *Fotografia Do Autor*.
- Sousa, Eng. °A. Vaz Serra e, Eng. °Téc. Marta Silva, Eng. .. Gonçalo Ilharco de Moura, Prof. Doutor Vítor Abrantes, Eng<sup>o</sup> Raimundo Mendes da Silva, Prof. Doutor Vasco Freitas, and Prof. Doutor Hipólito de Sousa. 1998. *Manual de Aplicação de Telhas Cerâmicas*.



**ANEXOS**

---



## **ANEXOS**

É possível aceder aos anexos através do seguinte link:

<https://1drv.ms/b/s!Ao0X8fIOd4vJiAB47vW46BO5qCSK?e=3mDZ7h>