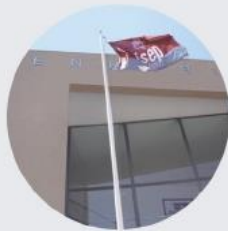




Revestimento de fachadas e coberturas com chapas de zinco e cobre

TÂNIA MARINA MONTEIRO DE ALMEIDA

Outubro de 2014



Revestimento de fachadas e coberturas com chapas de zinco e cobre

TÂNIA MARINA MONTEIRO DE ALMEIDA
Outubro de 2014

REVESTIMENTO DE FACHADAS E COBERTURAS COM
CHAPAS DE ZINCO E COBRE

Agradecimentos

Concluído este trabalho é meu desejo expressar os mais sinceros agradecimentos a todas as pessoas pelo apoio, motivação e orientação ao longo deste percurso, a todos e muito particularmente:

- Ao Professor Rui De Sousa Camposinhos pelo apoio, disponibilidade, orientação e todo o conhecimento que me transmitiu;
- Aos meus pais pela preocupação, conforto e incentivo a continuar o percurso académico.
- À minha irmã, Paula, por todo o carinho, preocupação e por sempre acreditar que seria capaz, mesmo quando eu própria já não o fazia.
- Ao Rui por toda a paciência, interesse e apoio;
- A todos os meus amigos que contribuíram para melhorar o meu trabalho ao longo deste percurso, em especial ao Paulo e ao Bruno.

Palavras-chave

Zinco, cobre, cobertura, fachada, sistema camarinha, sistema junta agrafada, sistemas cassetes modulares e órgãos de drenagem.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo o estudo da utilização do zinco e do cobre como revestimento de coberturas e de fachadas em edifícios.

O trabalho inicia-se com uma introdução sobre as características do zinco e cobre e a sua aplicação desde os primeiros tempos até à atualidade.

Incluiu-se uma breve explanação sobre a sua produção, extração, disponibilidade de recursos, reciclagem e compatibilidade com outros materiais.

O trabalho inclui também um capítulo destinado a compreender os princípios que justificam o seu uso em revestimentos, onde se aborda a sua importância na ventilação, sistemas de drenagem e noutras temáticas associadas ao processo construtivo.

Em seguida desenvolve-se um capítulo orientado para os sistemas de revestimento mais comuns, onde se faz a separação entre sistemas com e sem ventilação e as diferentes técnicas e formas de instalação.

Apresenta-se finalmente um caso prático de estudo de um sistema de revestimento de uma cobertura, onde se completa com um subcapítulo destinado à quantificação da ação do vento, da chuva e dos seus efeitos, mas também, onde se realça a importância da análise do comportamento e desempenho dos respetivos órgãos de drenagem.

Abstract

This paper aims to study the use of zinc and copper as coating roofing and facades of buildings.

The work begins with an introduction about the characteristics of zinc and copper and their application from the earliest times to the present day.

It was included a brief explanation about the production, extraction, availability of resources, recycling and compatibility with other materials.

The project also includes a chapter aimed to understand the principles that justify its use in coatings, where it is discussed the importance in ventilation, drainage systems and other issues associated with the construction process.

A chapter oriented for the most common coating systems was inducted about the distinction between systems with and without ventilation and the different techniques and methods of installation.

Finally, a practical case study of a coating system coverage is presented, which is completed with a subchapter earmarked to the quantification of the wind, the rain and its effects. The importance of the analysis of the behavior and performance of the respective drainage systems is also emphasized.

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento da dissertação.....	3
1.2. Organização do trabalho.....	3
2. OS METAIS E SUAS LIGAS	5
2.1. Metais ferrosos e não ferrosos	7
2.1.1. Zinco.....	7
2.1.2. Cobre.....	9
3. APLICAÇÕES ATUAIS EM ZINCO E COBRE.....	13
3.1. Introdução.....	15
3.2. Principais características do zinco e do cobre	17
3.2.1. Zinco.....	17
3.2.2. Cobre.....	19
3.3. Produção, extração, abundância e reciclagem	20
3.3.1. Zinco.....	20
3.3.2. Cobre.....	21
3.4. Compatibilidade do zinco e do cobre com outros materiais.....	23
4. CRITÉRIOS E PRINCÍPIOS PARA OS REVESTIMENTOS.....	25
4.1. Introdução.....	27
4.2. Ventilação em fachadas e coberturas	27
4.3. Sistemas de drenagem em coberturas.....	30
4.3.1. Bases de dimensionamento de sistemas de drenagem	30
4.4. Caleiras e algerozes	33
4.4.1. Dimensionamento de caleiras e algerozes	34
4.5. Tubos de queda.....	38

4.5.1.	Dimensionamento de tubos de queda	39
5.	SISTEMAS DE REVESTIMENTO	41
5.1.	Sistemas sem ventilação	43
5.1.1.	Camarinha/Junta agrafada	43
5.1.1.1.	Instalação do sistema Camarinha	45
5.1.1.2.	Instalação do sistema Junta agrafada.....	46
5.2.	Sistemas com ventilação	48
5.2.1.	Sistemas de painéis modulares.....	49
5.2.1.1.	Instalação do sistema painéis modulares com isolamento	50
6.	DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS.....	53
6.1.	Presilhas.....	55
6.2.	Pregos e parafusos	56
6.3.	Calhas e perfis	57
6.4.	Procedimentos de instalação	57
6.5.	Remates e intersecções	58
6.5.1.	Remate em cumeeira.....	58
6.5.2.	Talvegue.....	60
6.5.3.	Arranque em fachada.....	61
6.5.4.	Topo de fachada	62
6.6.	Dilatação e contração	63
6.7.	Órgãos de drenagem	65
6.8.	Juntas de dilatação em órgãos de drenagem.....	66
6.9.	Rufos.....	67
6.10.	Largura e Comprimento admissível das chapas	68
7.	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	71

7.1. Ação do vento	74
7.1.1. Valor de referência da velocidade do vento, <i>vb</i>	75
7.1.2. Velocidade do vento e variação em altura.....	76
7.1.3. Pressão dinâmica de referência	78
7.1.4. Pressão dinâmica do vento	79
7.1.5. Forças exercidas pelo vento	80
7.1.6. Forças exteriores	82
7.1.7. Coeficientes de pressão e de força.....	83
7.1.7.1. Coeficientes de pressão interior e exterior.....	83
7.2. Quantificação da ação do vento para o exemplo em estudo	85
7.2.1. Coeficiente de pressão interior	85
7.2.2. Coeficiente de pressão exterior	86
7.3. Caleira.....	89
7.3.1. Dimensionamento da caleira	89
7.3.2. Verificação da caleira à flexão	91
7.3.3. Verificação da flecha na caleira	95
7.4. Tubo de queda.....	97
7.4.1. Dimensionamento do tubo de queda.....	97
7.5. Dimensionamento da espessura da chapa e dos parafusos	98
7.5.1. Resistência das presilhas na zona da cabeça do parafuso e ao corte.....	101
8. CONCLUSÃO	103
9. REFERÊNCIAS	107
ANEXOS.....	111

Índice de figuras:

Figura 1 - Catedral de Helsínquia, Finlândia – Ornamentos dos doze apóstolos em zinco...	9
Figura 2 - Fundição de cobre	10
Figura 3 - Igreja S. Nicolau, Praga - República Checa – Cobertura em cobre	11
Figura 4 – Fenómeno de condensação numa abertura com ventilação.....	28
Figura 5 – Regiões Pluviométricas	31
Figura 6 - Caleira de beiral de secção quadrangular.....	33
Figura 7 – Algeroz.....	34
Figura 8 - Descarregador de superfície em caleira	34
Figura 9 - Orifício de descarga em cobertura plana.....	35
Figura 10 - Tubo de aviso e algeroz.....	35
Figura 11 - Secção retangular.....	37
Figura 12 - Secção circular	37
Figura 13 - Tubo de queda com transição em aresta viva.....	39
Figura 14 - Tubo de queda com transição em aresta cónica	40
Figura 15 - Cobertura Quente, (1) Cobertura em zinco ou cobre, (2) Suporte isolante e (3) Tela barreira de vapor.....	43
Figura 16 - Sistema Camarinha	44
Figura 17 - Sistema Junta agrafada	44
Figura 18 - Esquema de dobras do sistema Junta agrafada	45
Figura 19 – Sistema Camarinha - Aplicação de placas.....	45
Figura 20 - Degrau em cobertura - Sistema Camarinha, 1 e 2 – Presilha, 3 – Placas de revestimento, zinco ou cobre, 4 – Calhas e perfis e 5 – Viga.....	46
Figura 21 – Etapas do fecho das nervuras das placas de revestimento – Sistema Junta agrafada	47

Figura 22 - Fecho das nervuras das placas e folga transversal - Sistema Junta agrafada..	47
Figura 23 - Degrau em cobertura - Sistema junta agrafada	48
Figura 24 - Cobertura Fria, (15), 1 – Cobertura em zinco ou cobre. 2 – Suporte de madeira, 3 – Tela barreira de vapor, 4 – Viga, 5 – Material de isolamento na caixa-de-ar e 6 – Laje.	48
Figura 25 - Cassetes modulares	49
Figura 26 - Cassete modular de geometria quadrangular. 1 – Orifício para aparafusamento.	49
Figura 27 - Perfil ómega e T	50
Figura 28 – Acabamento inferior na base do revestimento.....	50
Figura 29 - Sistema cassetes modulares com isolamento, (a) – Perfil, 1 – Estrutura de suporte, 2 – Esquadro, 3 – Isolamento, 4 – Proteção contra chuva, 5 – Calhas de estrutura em alumínio Omega ou T, 6 – Parafuso e 7 – Painel modular	51
Figura 30 – Sistema cassetes modulares com isolamento (a) - Estrutura de suporte, 1 – Painel modular, 2 – Perfil e calha, 3 – Cantoneira de fixação, 4 – Calço e 5 – Isolamento exterior.....	51
Figura 31 - Presilha fixa	56
Figura 32 - Presilha móvel	56
Figura 33 - Fixação do topo das placas de revestimento, (a) Presilhas de primeira fiada.	57
Figura 34 - Fixação das placas de revestimento por soldadura, (a) - Chapa ou perfil de fixação de primeira fiada, (b) - soldadura ou aparafusamento	58
Figura 35 - Remate de cumeeira em junta agrafada, (a) - Perfil de suporte, (b) – placas de revestimento e (c) – rufo	59
Figura 36 - Remate em ângulo em junta agrafada.....	59
Figura 37 - Talvegue cobertura	60

Figura 38 - Talvegue com degrau, (a) – Talvegue com degrau, (b) – Placas de revestimento da cobertura.....	61
Figura 39 - Talvegue com sobreposição, (a) – Talvegue com sobreposição, (b) – Encaixe da placa do talvegue com o sistema do cobertura.	61
Figura 40 - Arranque de fachada em junta agrafada, 1 – Lâmina de ar, 2 – Isolamento, 3 – Suporte de fixação de placas de revestimento, 4 – Placa ventilada, 5 – Calha de remate, 6 – Perfil de suporte e 7 – Placas de revestimento de fachada.....	62
Figura 41 - Topo de fachada, 1 – Grelha anti-insectos, 2 – Pingadeira de arranque não ventilada, 3 – Lâmina de ar, 4 – Murete, 5 – Calha, 6 – Suporte de fixação de placas de revestimento e 7 – Isolamento.....	63
Figura 42 – Folga de encaixe entre placas de zinco e cobre	64
Figura 43 - Comportamento de uma junta de dilatação/contração ao longo do tempo, (a) – Montagem, (b) – Arrefecimento pós montagem e (c) – Aquecimento pós montagem	64
Figura 44 - Escápula quadrada	65
Figura 45 - Escápula redonda fixada na viga.....	65
Figura 46 - Braçadeira para tubo de queda retangular	65
Figura 47 - Braçaderira de fixação de um tubo de queda à estrutura de suporte	66
Figura 48 - Junta de dilatação em caleira.....	66
Figura 49 - Junta de dilatação com folha de borracha Etileno-Propileno-Dieno, EPDM...67	67
Figura 50 - Rufo pingadeira	67
Figura 51 - Rufo interno.....	68
Figura 52 - Rufos de encosto.....	68
Figura 53 - Rufos de encosto com pingadeira	68
Figura 54 – Comprimento máximo admissível de uma cobertura em função da inclinação	69
Figura 55 – Exemplo de aplicação	73

Figura 56 – Cobertura com duas vertentes	74
Figura 57 – Edifício em estudo, (a) - Junta de dilatação EPDM na cobertura e caleira...	74
Figura 58 - Coeficiente de exposição para $C_{0z} = 1.0$ e $kI = 1.0$	80
Figura 59 - Coeficiente de força para secções retangulares com arestas vivas e sem livre escoamento em torno das extremidades do elemento.....	81
Figura 60 - Procedimento recomendado para a determinação do coeficiente de pressão exterior em edifícios, para uma superfície carregada, A , compreendida entre 1m^2 e 10m^2 , (28).....	84
Figura 61 - Inclinação da pendente de cobertura.....	86
Figura 62 – Cobertura de duas vertentes com direção do vento 0°	87
Figura 63 - Cobertura de duas vertentes com direção do vento 90°	88
Figura 64 - Dimensionamento da caleira.....	90
Figura 65 – Dimensões da caleira em estudo	91
Figura 66 – Caleira do edifício em estudo	91
Figura 67 – Secções retangulares da caleira em estudo.....	93
Figura 68 – Centro de gravidade da caleira	94
Figura 69 – Apoio simples e encastramento perfeito	95
Figura 70 – Encastramento perfeito	95
Figura 71 - Flecha na caleira.....	97
Figura 72 – Tubo de queda no edifício em estudo, (a) - Caleira retangular, (b) – Tubo de queda circular e (c) – Braçadeira circular	98
Figura 73 – Chapa de cobertura em zinco	100
Figura 74 – Reação no apoio	100
Figura 75 – Parafuso M4.....	101

Índice de tabelas:

Tabela 1 - Características do zinco	18
Tabela 2 - Durabilidade do zinco em função do meio.....	18
Tabela 3 - Características do Cobre.....	19
Tabela 4 – Madeiras e metais compatíveis e incompatíveis com o zinco	23
Tabela 5 – Classificação dos edifícios de acordo com a sua higrometria	29
Tabela 6 – Constantes, a e b, dependentes da região e do período de retorno, RGSP (16).	32
Tabela 7 - Inclinação das pendentes – Sistema Camarinha.....	46
Tabela 11 - Inclinação das pendentes – Sistema Junta agrafada	47
Tabela 9 - Inclinação do talvegue	60
Tabela 10 - Comprimento admissível para chapas de coberturas em zinco	69
Tabela 11 - Comprimento admissível para chapas de coberturas em cobre.....	70
Tabela 12 – Valor de base de referência da velocidade do vento	75
Tabela 13 - Categorias de terreno e respectivos parâmetros	77
Tabela 14 - Valores recomendados dos coeficientes de pressão exterior e localização Eurocódigo 1, parte 1- 4.....	84
Tabela 15 – Zona mais gravosa com direção do vento 0°	87
Tabela 16 - Zona mais gravosa com direção do vento 90°.....	88

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento da dissertação

O tema deste trabalho pretende evidenciar a importância dos materiais não ferrosos que podem com vantagens responder às exigências atualmente procuradas, como seja a resistência ao vento e chuva acompanhada dos agentes e elementos químicos presentes no meio envolvente, e.g., poeiras e compostos dissolvidos e arrastados pelas águas pluviais. Ora, o revestimento de fachadas e coberturas com placas de zinco e cobre assegura a proteção da estrutura resistente contra as ações dos diversos agentes, de forma a minimizar o desgaste dos elementos de construção. Desta forma, a aplicação de zinco e cobre contribui para a impermeabilização das superfícies, paredes e coberturas, conferindo-lhes características de planeza e regularidade superficial sem prejudicar a estética visual que lhe é normalmente exigida.

Por outro lado, esta dissertação, pretende esclarecer alguns aspetos relacionados com o fabrico, durabilidade, compatibilidade com outros materiais e fixação dos elementos de revestimento à estrutura de suporte.

1.2. Organização do trabalho

Este trabalho está dividido em oito capítulos.

No primeiro capítulo é exposta a importância do tema e a organização do trabalho.

No segundo capítulo é elaborada uma síntese dos materiais, zinco e cobre, consoante a sua origem, ferrosa ou não ferrosa. No terceiro capítulo é referida a aplicabilidade do cobre e do zinco na atualidade, principais características, assim como à sua produção, extração, abundância e reciclagem. Ainda no terceiro capítulo é referenciada a compatibilidade do zinco e do cobre com outros materiais.

No quarto capítulo são apresentados critérios e princípios para o revestimento tendo em conta a ventilação e os sistemas de drenagem.

No quinto capítulo são descritos sistemas com e sem ventilação, onde se descreve a instalação de um sistema de cada tipo.

O sexto capítulo apresenta as principais disposições construtivas considerando sistemas de fixação, procedimentos de instalação e juntas de dilatação.

No sétimo capítulo é apresentado um exemplo de aplicação, onde se expõe e dimensiona os respectivos órgãos de drenagem, assim como, um subcapítulo destinado à ação do vento e consequente quantificação para o caso em análise.

Por último, o oitavo capítulo é destinado à conclusão do trabalho.

2. OS METAIS E SUAS LIGAS

Ao longo do tempo o Homem substituindo gradualmente os utensílios, até então elaboradas em pedra e madeira, por ferramentas em metal. A idade dos metais representa um marco do conhecimento e domínio no uso de metais por parte das primeiras civilizações.

Esta mudança, aliada ao descobrimento dos metais, gerou alterações na vida quotidiana das sociedades antigas e uma grande importância para a consolidação e destino de grandes civilizações ao longo da história.

O Homem começou a trabalhar os metais através da fundição e obtinha materiais cuja fusão entre si fosse mais fácil. O primeiro metal a ser utilizado foi o cobre, seguindo-se o estanho e, por conseguinte, o bronze, resultado da fusão entre o cobre e o estanho.

2.1. Metais ferrosos e não ferrosos

Os metais ferrosos e não ferrosos são facilmente distinguidos de acordo com a sua constituição, em particular com a composição de ferro. Os metais ferrosos são metais cuja principal composição é o ferro, destacando-se os mais comuns os aços e os ferros fundidos.

De forma similar, os metais não ferrosos, como se depreende do nome, são aqueles cuja composição não se fundamenta no ferro, sendo este inexistente, ou em pequenas quantidades.

Os metais não ferrosos e ligas metálicas são fundamentalmente ligas de cobre, chumbo, alumínio, cromo, níquel, manganês, zinco, titânio, nióbio, tântalo e estanho.

2.1.1. Zinco

Os primeiros achados de zinco surgiram sobre a forma de ornamentos datados há 2500 anos, contudo bastantes impuros, isto é, em percentagem de 80 a 90% de zinco. Na verdade, estes achados são atualmente considerados como sendo ligas de zinco com chumbo, contendo impurezas de ferro e antimónio.

Nesta época, por falta de conhecimento deste metal, o zinco, muitas vezes aparece misturado

com outros metais. Devido ao seu baixo ponto de fusão e à reatividade química, o zinco tende a evaporar-se, razão pela qual foi um metal pouco entendido pelas civilizações antigas. O zinco foi vulgarmente combinado com o cobre, originando assim o latão. Existem peças de latão datadas de 1000 – 1400 a.C. encontradas na Palestina e na antiga região da Transilvânia. O fabrico do latão era conhecido e dominado pelos romanos desde 30 a.C. Os romanos descrevem o fabrico deste material pelo processo de *aurichalcum*, latão, através de uma mistura de cadmia (calamina) com cobre aquecida num cadinho, recipiente em forma de pote resistente a temperaturas elevadas, onde se fundem materiais a altas temperaturas. O latão obtido era depois fundido e forjado para fabricar objetos de uso comum.

A fusão e extração do zinco impuro iniciou-se na China em 1000 d.C. No século XVII, chegou a primeira barra de zinco ao Ocidente, mais tarde quando comparada com o ferro, cobre ou o chumbo.

Nesta altura o metal não tinha um nome particularmente aceite, sendo conhecido conforme a região, tutanego, estanho indiano e calamina.

Em 1697 o termo “Zink” foi usado pela primeira vez por Löhneyes. No século XVIII foi construída uma fundição de zinco em Bristol, Inglaterra, sendo no ano de 1758 patenteado o processo de obtenção de zinco, ainda hoje com a base atual do processo de destilação deste elemento, a partir de blenda e sulfureto de zinco. Em 1916 foi introduzido pelos Estados Unidos da América um processo eletrolítico de obtenção de zinco.



Figura 1 - Catedral de Helsínquia, Finlândia – Ornamentos dos doze apóstolos em zinco

2.1.2. Cobre

O cobre à semelhança do ouro e prata foi um dos primeiros metais a serem utilizados pelo Homem. Este facto deve-se, em grande parte, por serem metais que aparecem sobre a forma de pepitas de metal nativo.

A designação cobre é originária da palavra *cuprum*, de origem romana, que por sua vez é derivada de *cyprum*, designação utilizada para Chipre.

O objeto mais antigo conhecido em cobre é o pingente oval oriundo de Shanidar, Iraque, datado em meados do décimo milénio a.C. porém este achado representa um ato isolado, uma vez que as peças de cobre se tornaram usuais 3000 anos mais tarde. Nesta altura as peças de cobre eram marteladas a frio.

Ainda com a mesma técnica de trabalhar o metal, foi a partir de 6500 a.C. que as peças em cobre se tornaram mais usuais, baseando-se essencialmente em peças decorativas e alfinetes.

Vários séculos depois, foi descoberto que o cobre podia ser extraído de diferentes minerais por meio de fusão. Esta técnica baseava-se em atingir altas temperaturas, 1000° C, em que se insuflava oxigénio através de longos bocais em fornos especiais. O achado de cobre fundido

mais antigo é datado em 4100 a.C. nos montes Zagros, Iraque, onde foram encontrados junto a ele fornos de fundição e moldes.



Figura 2 - Fundição de cobre

O facto de se terem encontrado objetos de cobre tão antigos, em diversos pontos do mundo, mostra que o material possui características únicas, destacando-se a durabilidade, resistência à corrosão e ductilidade.

Aliado já ao conhecimento e utilização do estanho, surge em 3000 a.C. o bronze, proveniente da junção do cobre e estanho. O bronze apresenta uma maior dureza, comparativamente com os metais conhecidos até então, maior resistência à corrosão e menor ponto de fusão.

Na antiga China o uso do cobre é conhecido e aperfeiçoado, pelo que em 1200 a.C. já se produziam objetos em bronze, de excelente qualidade, mostrando já existir um amplo domínio por técnicas de metalurgia, incomparáveis com as do Ocidente.

Na Europa o *Homem de Gelo* encontrado no Tirol, Itália, em 1991, cujos restos mortais têm uma datação de 5300 anos, estava acompanhado de um machado de cobre com uma pureza de 99,7% e, os elevados índices de arsênico encontrados no cabelo, levam a crer que fundiram o metal para a fabricação da ferramenta.



Figura 3 - Igreja S. Nicolau, Praga - República Checa – Cobertura em cobre

3. APLICAÇÕES ATUAIS EM ZINCO E COBRE

3.1. Introdução

Na atualidade o zinco e cobre são aplicados e utilizados pelo Homem em diferentes formas. Nos dias que correm a sua utilização na construção civil ou noutras indústrias levou à exploração e transformação destes materiais desenvolvendo-se várias indústrias com incorporação de várias ligas de zinco e cobre.

Atualmente o zinco na atualidade é não só utilizado na indústria da construção como também em áreas como a indústria automobilística, de eletrodomésticos, farmacêutica, etc. Do emprego do zinco na engenharia civil, destaca-se a galvanização como o processo mais importante e utilizado. A galvanização consiste num método através do qual o zinco é ligado metalurgicamente ao aço, aço galvanizado, conferindo a estas características anticorrosivas. O aço galvanizado é uma solução para ambientes onde a corrosão é uma ameaça, ou seja, ambientes onde o ferro e aço oxidam rapidamente, em que o emprego de galvanização de zinco a estes materiais fornece uma excelente proteção à estrutura.

Ainda na engenharia ou construção civil o zinco é ilustre quando utilizado na fabricação de telhas metálicas, coberturas, revestimento de fachadas, elementos de evacuação de águas pluviais e vedações.

O zinco enquanto metal aplicado na construção civil não é utilizado para fins estruturais, todavia algumas ligas de zinco podem ter resistência mecânica bastante elevada o que permite o seu emprego.

O óxido de zinco tem um papel importante no sector da construção civil, destacando-se na produção de pigmentos que são utilizados em tintas, borrachas e plásticos.

O zinco, para além da sua aplicabilidade na área da engenharia e construção civil, é usualmente utilizado em diversas áreas principalmente pela sua propriedade anticorrosiva.

As ligas para fundição são utilizadas em peças fundidas, eletrodomésticos, indústria de material bélico e automobilístico. Os latões e bronzes, ligas cobre-zinco, são usados em

acessórios elétricos entre várias outras aplicações. Os laminados têm como principal campo de aplicação as pilhas e baterias, pilhas secas, baterias de zinco – ar. O óxido e pó de zinco são usados em produtos químicos e farmacêuticos, cosméticos, borrachas, explosivos, tintas e papel (1).

Em suma, o zinco é um metal de grande aplicabilidade cuja descoberta contribuiu benéficamente para a área da construção e processos construtivos.

O cobre é o metal mais utilizado a nível mundial, mantendo um papel fundamental nas indústrias dos transportes, eletrônica, construção, agricultura, energia, saúde e nas novas tecnologias. O cobre abrange ainda áreas de exploração mineral, fabrico de utensílios de cozinha, equipamentos químicos e farmacêuticos, moedas e produção de ligas (2).

O cobre é o metal mais utilizado em equipamentos e sistemas elétricos, fato que lhe é associado devido às suas excelentes características de condutibilidade elétrica e térmica, resistência mecânica, flexibilidade e resistência à corrosão.

Na área da engenharia civil, o cobre é utilizado principalmente nas tubagens interiores, no revestimento de coberturas e fachadas, elementos de evacuação de águas pluviais e arquitetura interior, revestimento de portas, paredes e tetos.

Nas tubagens interiores, principalmente água e gás, o cobre é o metal mais utilizado, destacando-se como vantagens associadas a flexibilidade, características não corrosivas, propriedades antibacterianas e durabilidade.

Em síntese, o cobre é um metal que apresenta infinitas possibilidades de aplicação e está presente diariamente no quotidiano da sociedade.

3.2. Principais características do zinco e do cobre

Nas secções seguintes apresentam-se as principais características físicas e mecânicas do zinco e do cobre de forma a disponibilizar juntos das classes profissionais informação necessária, à sua aplicação e estudo.

3.2.1. Zinco

O zinco é um metal branco-azulado e que se localiza no grupo 12 e período 4 da tabela periódica, pertencente aos metais de transição.

O zinco é o único elemento do grupo com propriedades anfóteras, isto é, solubiliza-se em soluções alcalinas, formando zincatos, propriedade semelhante aos aluminatos (3).

O zinco à temperatura ambiente é um sólido de cor branca metálica e natureza frágil. Este metal pode ser facilmente moldado mecanicamente a temperaturas superiores a 100° C e possui elevada resistência quando sujeito à deformação plástica em frio.

Uma das grandes características do zinco é a resistência à corrosão em diversos ambientes atmosféricos.

Na Tabela 1 apresentam-se algumas das principais características do zinco, (4).

Características	Zinco
Símbolo químico	Zn
Número atómico	30
Massa atómica	65,409
Peso específico	7140 kg/m ³
Ponto de fusão	419,5 °C
Ponto de ebulição	907 °C
Coefficiente de dilatação	2,2 mm/m/ 100 °C
Coefficiente de expansão térmica	3,02 10 ⁻⁵ (1/°C)
Coefficiente de Poisson	0,25
Módulo de elasticidade	108 GPa
Condutividade térmica	116 W/(m°C)
Tensão de rotura	110-200 Mpa
Permeabilidade à água	Impermeável
Permeabilidade ao ar	Impermeável
Libertação de substâncias nocivas	Não liberta

Tabela 1 - Características do zinco

A durabilidade é um dos aspectos relevantes na escolha de zinco, de modo que foram desenvolvidos estudos onde se aponta a durabilidade deste metal em função do meio envolvente na sua aplicação. Várias empresas, (5), indicam que a durabilidade da chapa utilizada é proporcional à sua espessura, tendo até 100 anos de limite previsível baseado na perda de metade da espessura de uma chapa de 0,8 milímetros.

De modo a obter proteção ao longo do tempo o zinco desenvolve uma camada natural, pátina, que se forma entre 6 a 24 meses após a sua exposição ao ambiente, i.e., colocação (6).

Na Tabela 2 são evidenciados os anos de duração do zinco em função do meio de aplicação, (7).

	Meio Industrial	Meio Urbano	Meio Marítimo	Meio Rural
Durabilidade	30 a 40 anos	40 a 60 anos	40 a 70 anos	90 a 100 anos

Tabela 2 - Durabilidade do zinco em função do meio

3.2.2. Cobre

O cobre é um metal de cor avermelhada e com brilho levemente baço. O cobre está localizado no grupo 11, período 4 da tabela periódica, pertencente aos metais de transição.

O cobre é resistente ao ar seco, isto é, não altera as suas propriedades e aspecto visual, porém quando exposto em ambientes com ar húmido que contenha dióxido de carbono, o cobre forma uma camada protetora de carbonato básico, de cor esverdeada. O cobre é facilmente atacado pelo ácido nítrico, halogênios, amônia com água e sulfitos.

O cobre, à exceção da prata, é o metal que melhor conduz a eletricidade, destacando-se ainda a sua elevada condutividade térmica, resistência à corrosão e deformação.

Na Tabela 3 são fornecidas algumas das principais características do cobre, (8).

Características	Cobre
Símbolo químico	Cu
Número atômico	29
Massa atômica	63,546
Peso específico	8920 kg/m ³
Ponto de fusão	1085 °C
Ponto de ebulição	2927 °C
Coefficiente de dilatação	1,7 mm/m/ 100 °C
Coefficiente de expansão térmica	1,65 10 ⁻⁵ (1/°C)
Coefficiente de Poisson	0,34
Módulo de elasticidade	130 GPa
Condutividade térmica	401 W/(m°C)
Tensão de rotura	200 - 250 Mpa
Permeabilidade à água	Impermeável
Permeabilidade ao ar	Impermeável
Libertação de substâncias nocivas	Não liberta

Tabela 3 - Características do Cobre

As características de durabilidade do cobre permitem distinguir este material como sendo o metal que melhores características apresenta quando exposto aos agentes atmosféricos, especificamente maior resistência à corrosão.

O cobre quando aplicado no exterior forma uma camada protetora, fazendo com que a sua cor natural, avermelhada, se transforme em verde e desenvolva uma proteção definitiva sem perder a sua espessura inicial.

A duração de uso do cobre ultrapassa os 100 anos inclusive em ambientes marítimos e industriais (7).

3.3. Produção, extração, abundância e reciclagem

3.3.1. Zinco

De entre os metais não ferrosos, o zinco é o terceiro metal mais consumido no mundo e o vigésimo terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre. As jazidas mais ricas contêm cerca de 10% de ferro e entre 40 a 50% de zinco.

O zinco não é encontrado na sua forma natural, sendo extraído a partir de minerais destacando-se os óxidos, sulfetos, carbonatos e silicatos.

A produção do zinco inicia-se com a extração do mineral, que pode ser realizada à superfície ou em jazidas subterrâneas. Cerca de 64% do zinco primário, aquele que é fruto de mineração, advém de jazidas subterrâneas, 15% de minas à superfície e 21% da combinação entre estas duas fontes (9).

Os minerais são tratados de acordo com a sua concentração em ferro, via seca e húmida. Os minerais com alto teor em ferro são tratados por via seca, enquanto que os minerais com baixo teor em ferro são desenvolvidos por via húmida.

No tratamento por via seca o concentrado é queimado de modo a transformar o sulfeto em óxido, cuja denominação é a calcina. Posteriormente, o óxido obtido é reduzido com carbono produzindo o metal (10).

No procedimento por via húmida o minério é calcinado para a obtenção de óxido, posteriormente lixiviado com ácido sulfúrico diluído. A lixívia obtida é purificada para a

separação dos diferentes componentes, principalmente o sulfato de zinco. Posteriormente, o sulfato é submetido a um processo de eletrólise, com ânodo de chumbo e cátodo de alumínio, sobre o qual se deposita o zinco, formando-se placas de alguns milímetros, (10). O zinco obtido é fundido para a sua comercialização.

Relativamente à produção de zinco a China é a maior produtora, com 3,5 milhões de toneladas em 2010 ou 30% da produção global. Em seguida segue-se o Peru com 13% e a Austrália com 12%.

Em consequência do aumento do consumo mundial de metais e da gradual ameaça de exaustão, é importante dar relevância a processos de reciclagem.

Atualmente, aproximadamente 70% do zinco produzido no mundo advém de minérios e 30% resulta de metais reciclados. O zinco pode ser reciclado completamente sem perder a suas propriedades físicas e químicas.

O zinco reciclado resulta do reaproveitamento de sucatas, resíduos da indústria da galvanização e materiais consumidos ou fora de uso.

O nível de reciclagem aumenta com o passar dos anos, consequência do progresso na tecnologia de produção de zinco e da reciclagem do mesmo.

3.3.2. Cobre

Apesar de ser um dos metais menos abundantes na crosta terrestre, o cobre é o metal não ferroso mais utilizado no mundo.

As principais reservas de cobre são encontradas ao longo da Cordilheira de Andes, Montanhas Rochosas e ao longo da costa do Oceano Pacífico, Chile e Estados Unidos, sendo encontrado na natureza principalmente na forma de calcopirita, CuFeS_2 .

As minas de cobre são classificadas de acordo com o sistema de exploração, à superfície ou subterrâneas. As minas à superfície, tal como o próprio indica, são minas em que o mineral

se encontra à superfície, de forma similar, as minas subterrâneas são aquelas cujo mineral se encontra em profundidade, necessitando de explosivos para a sua extração.

Da mina extrai-se o minério contendo apenas 1% a 2% de cobre. O minério depois de extraído, britado e moído, é separado a parte rica em cobre do material inerte e convertido num concentrado, com teor médio de cobre de 30%. Posteriormente o concentrado é fundido, dando-se a reação de oxidação do ferro e do enxofre, obtendo-se um produto intermédio designado por matte, cujo teor de cobre é de 60%. O matte líquido passa por um conversor e, através de um processo de oxidação, é transformado em cobre blister com 98,5% de cobre, que contém ainda impurezas, resíduos de enxofre, ferro e metais preciosos. O cobre blister, ainda no estado líquido, passa por processo de refino e, ao seu final, é moldado, chegando ao ânodo com 99,5% de cobre. Após serem arrefecidos, os ânodos são colocados em células de eletrólise. São então intercalados por finas chapas de cobre eletrolítico, denominadas chapas de partida. Por último, aplicando-se uma corrente elétrica, o cobre separa-se do ânodo e viaja através do eletrólito até se depositar nas placas iniciadoras, constituindo-se o cátodo de cobre, com pureza superior a 99,99% (11).

De modo reduzir a necessidade de exploração das reservas naturais e permitir a conservação de matérias-primas surge a reciclagem do cobre.

A reciclagem do cobre gera uma enorme poupança de energia, energia gasta na extração e refinação do metal, e permite minimizar os impactos ambientais, poluição atmosférica e desflorestações das zonas exploradas.

O cobre é reciclado sem implicar redução de qualidade ou de desempenho, não existindo qualquer diferença entre o metal reciclado e o metal obtido das minas.

O cobre reciclado resulta essencialmente do reaproveitamento de sucatas, estando estimado que 80% de todo o cobre extraído durante os últimos 10 mil anos ainda se encontra em utilização na atualidade (12).

3.4. Compatibilidade do zinco e do cobre com outros materiais

O emprego do zinco e cobre na construção civil exigem um conhecimento prévio relativo à compatibilidade destes metais com os materiais envolventes de modo a não colocar em causa o seu desempenho. A compatibilidade do zinco e cobre com outros materiais é diferente, destacando-se o cobre como o metal mais resistente ao ataque por outros materiais comparativamente com o zinco.

O zinco pode estar em contacto com outros metais como o alumínio, chumbo, aço inoxidável e aço galvanizado sem que a sua durabilidade seja alterada (13), todavia quando entra em contacto com o cobre gera-se uma reação eletroquímica provocando a corrosão do zinco.

O zinco pode estar em contacto direto com elementos de betão e madeira natural, ou seja, $5 \leq pH \leq 7$ (14).

Na Tabela 4 mostra-se de forma resumida materiais compatíveis e incompatíveis com o zinco, (14).

Madeira		Metais	
Compatível	Incompatível	Compatíveis	Incompatíveis
Casquinha	Pinho	Chumbo oleado	Cobre
Abeto	Eucalipto	Alumínio	Aço não Galvanizado
Álamo	Carvalho	Aço Galvanizado	
	Castanheiro		
	Cedro		

Tabela 4 – Madeiras e metais compatíveis e incompatíveis com o zinco

O cobre tem um potencial elétrico, característica que lhe permite não ser atacado por outros metais, contudo atacar os metais em contacto direto com ele próprio.

O cobre em contacto com a água pode causar a corrosão do aço, alumínio e zinco, pelo que todos os metais em contacto com o cobre, à exceção do aço inox, devem estar protegidos por pintura ou lacagem.

4. CRITÉRIOS E PRINCÍPIOS PARA OS REVESTIMENTOS

4.1. Introdução

Os revestimentos mesmo que bem selecionados e dimensionados podem não ter um desempenho adequado e originar problemas se não tiverem dotados de ventilação e órgãos de drenagem.

Neste capítulo pretende-se apontar e descrever os princípios e propostas para um bom desempenho dos revestimentos.

Em Portugal as soluções de ventilação por revestimento metálico são menos rigorosas na medida que estamos perante um clima mais ameno, sem grandes gradientes elevados de temperatura. Deste modo, o revestimento metálico é aplicado muitas vezes diretamente sobre a estrutura resistente em betão o que aumenta a necessidade de se optar por soluções que evitem condensações internas.

Os sistemas de revestimento, mais precisamente em coberturas, necessitam de órgãos de drenagem que assegurem o perfeito escoamento de águas, de modo a não inviabilizar qualquer solução que se escolha.

4.2. Ventilação em fachadas e coberturas

A ventilação em fachadas e coberturas é de extrema importância uma vez que com ela se garante que a condensação não ocorre no interior dos elementos da envolvente dos edifícios.

As condensações surgem principalmente em zonas de pontes térmicas e envidraçados, com resistência térmica inferior à da restante envolvente, por não estarem convenientemente isoladas termicamente.

Existem diversas soluções para corrigir e prevenir pontes térmicas, todavia, a solução que melhores resultados apresenta é a de colocar o isolamento pelo exterior, garantindo a continuidade do isolamento, minimizando as trocas de calor.

Na maioria das situações a ventilação, em coberturas e fachadas, permite obter bons resultados a nível térmico além de aumentar longevidade dos materiais aplicados e não comprometer o seu aspeto visual. Esta ventilação é realizada na caixa-de-ar entre os elementos da envolvente.

A ventilação da caixa-de-ar tem que assegurar a extração de vapor resultante das condições climatéricas exteriores e interiores.

Na Figura 4 ilustra-se o exemplo de ocorrência de condensação numa cobertura com ventilação e os agentes climatérios pelo exterior e interior.

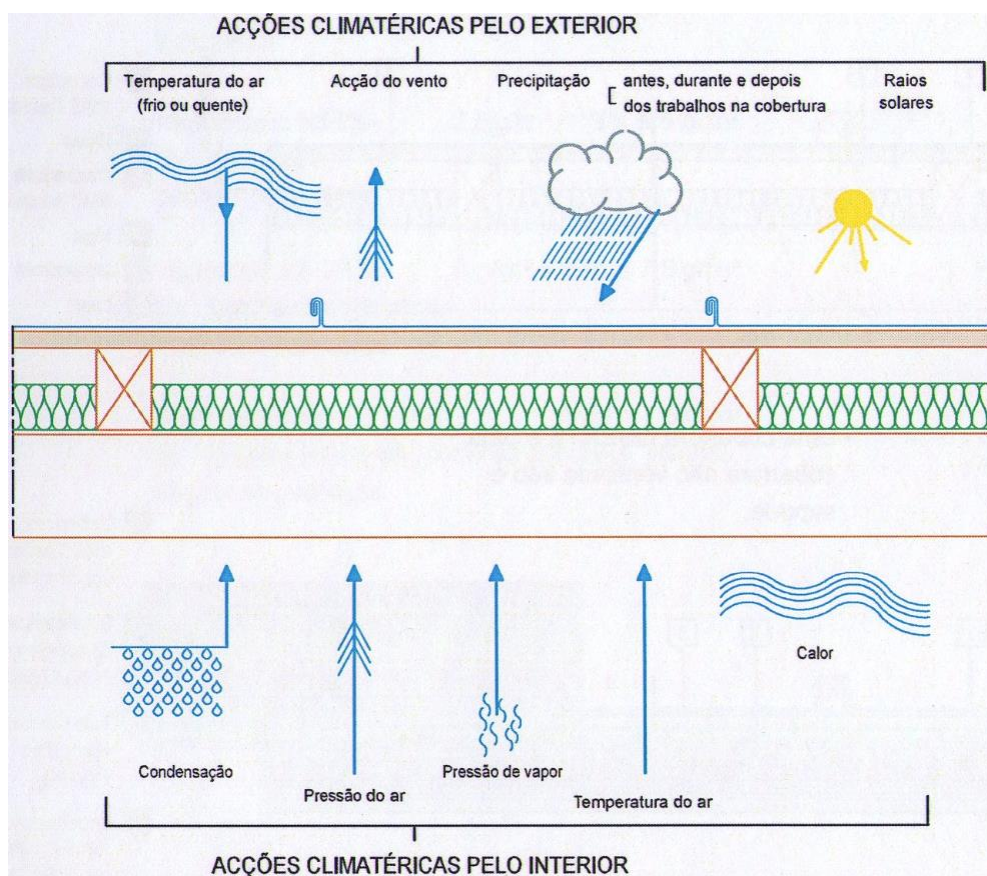


Figura 4 – Fenómeno de condensação numa obertura com ventilação

De modo a obter a melhor solução para a ventilação é revelante estudar a higrometria do local em estudo. A higrometria é a humidade existente num ambiente interior ventilado, como resultado entre a produção de vapor no seu interior e o caudal de ventilação.

A higrometria representa o aumento da humidade interior em relação à humidade exterior e consequentemente define o gradiente de pressão de vapor a que se encontra submetida a envolvente (15).

A relação entre a humidade interior e exterior é obtida através da equação 1,

$$W_i = W_e + \frac{W}{n.V} \times 0.825 \quad 1$$

onde:

W_i - humidade absoluta do ar interior;

W_e - humidade absoluta do ar exterior;

W - produção de vapor no interior;

n - número de renovações por hora;

V - volume interior.

A produção de humidade, W , e o caudal de ventilação, $n.V$, são ambos fatores variáveis de acordo com a sua utilização nos edifícios, com efeito, os edifícios podem ser classificados de acordo com a sua higrometria, $W/n.V$, como mostra a Tabela 5, (15).

Higrometria		Tipo de locais
Fraca	$\frac{W}{n.V} < 2,5 \text{ g/m}^3$	Escritórios, Escolas, Armazéns
Média	$2,5 \leq \frac{W}{n.V} < 5,0 \text{ g/m}^3$	Edifícios corretamente ventilados – Edifícios de habitação, Centros comerciais,
Forte	$5,0 \leq \frac{W}{n.V} < 7,5 \text{ g/m}^3$	Edifícios com ventilação insuficiente – Industrias, Vestiários coletivos
Muito Forte	$\frac{W}{n.V} \geq 7,5 \text{ g/m}^3$	Piscinas, Industrias com grande produção de vapor

Tabela 5 – Classificação dos edifícios de acordo com a sua higrometria

As condições climatéricas interiores diferem em função da utilização dos edifícios, o que gera a necessidade de atender quanto à higrometria nos locais a implementar revestimentos de coberturas e fachadas.

Em suma, a necessidade de existir um espaço ventilado por forma a evitar a condensações internas é fomentada.

4.3. Sistemas de drenagem em coberturas

Os sistemas de drenagem são pensados essencialmente em coberturas, de modo a permitir um perfeito escoamento da água da chuva. As coberturas, assim como os órgãos de drenagem, deverão ser bem dimensionados na medida de manter um conjunto funcional. Os órgãos de drenagem mais revelantes no escoamento de água proveniente da cobertura são as caleiras, algerozes e tubos de queda.

O zinco e cobre são os materiais mais eficazes para a execução quer do revestimento de cobertura quer dos órgãos de drenagem, podendo ser aplicado em todos os elementos envolventes. É assim possível utilizar um único material desde que se tenha conhecimento prévio do seu comportamento de forma a evitar problemas que decorrem da incompatibilidade de uso com outros materiais.

Em Portugal a regulamentação para dimensionar e caracterizar os sistemas tradicionais de drenagem é regida pelo Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, RGSP (16).

4.3.1. Bases de dimensionamento de sistemas de drenagem

À precipitação está associada elevada incerteza não sendo possível precisar a sua intensidade e duração, pesa embora a previsibilidade da sua ocorrência numa determinada zona geográfica seja mais fácil.

Deste modo, os sistemas de drenagem de águas pluviais são dimensionados para operar num certo período, intervalo que indica que os sistemas deverão estar aptos para um dado valor de precipitação associado a um período de curta duração, denominado período de retorno. Os períodos de retorno mais utilizados são de 5 ou 10 anos, contudo podem ser reduzidos para 2, ou apenas 1 ano, nos casos de se tratar de bacias muito planas, ou com elevada percentagem de espaço livres impermeáveis (16). Os períodos de retorno podem também ser aumentados para 20 ou 25 anos para os casos de grandes bacias, densamente edificadas e com vertentes muito inclinadas (16).

Os caudais de cálculo com base na precipitação, deverão ser obtidos com apoio em curvas de intensidade, duração e frequência, as curvas IDF. As curvas IDF indicam para diferentes regiões pluviométricas, valores médios das intensidades máximas de precipitação.

O País está dividido em três regiões pluviométricas, região A, B e C (Figura 5). A cada região o RGSP (16) associa um determinado concelho.



Figura 5 – Regiões Pluviométricas

Através das curvas IDF, a precipitação média máxima para uma determinada região, período de retorno e duração é calculada através da equação 2, (17),

$$I = at^b \quad 2$$

onde:

I - Intensidade média máxima de precipitação, mm/h;

t - Duração da precipitação, minutos;

a, b - Constantes que dependem da região e do período de retorno, ver Tabela 6.

Regiões	A		B		C	
Tempo de retorno (anos)	a	b	a	b	a	b
2	202,72	-0,577	162,18	-0,577	243,26	-0,577
5	259,26	-0,562	207,41	-0,562	311,11	-0,562
10	290,68	-0,549	232,54	-0,549	348,82	-0,549
20	317,74	-0,538	254,19	-0,538	381,29	-0,538
50	349,54	-0,524	279,63	-0,524	419,45	-0,524
100	365,62	-0,508	292,50	-0,504	438,74	-0,504

Tabela 6 – Constantes, a e b, dependentes da região e do período de retorno, RGSPP (16).

Em síntese, conhecida a intensidade de precipitação o caudal de cálculo pode ser obtido pelo método racional através da equação 3, (17),

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3600} \quad 3$$

em que:

Q - Caudal em l/s;

C - Coeficiente de escoamento que tem em conta o tipo de revestimento;

I - Intensidade média máxima de precipitação, mm/h;

A - Área de contribuição para o escoamento, m².

Para o coeficiente de escoamento, no caso de placas de zinco ou cobre admite-se o valor unitário uma vez que estes materiais são completamente impermeáveis.

4.4. Caleiras e algerozes

As caleiras são constituídas por perfis de secção aberta cuja função é recolher as águas pluviais das pendentes da cobertura. As caleiras podem ser executadas em diversos materiais, PVC, alumínio, zinco, cobre, entre outros.

As caleiras podem ter uma secção transversal em geral secção circular ou retangular, sendo fixadas nas extremidades da cobertura.

As caleiras a serem fixadas exteriormente, à vista, apoiadas em escáfulas metálicas tomam a definição de caleiras de beiral, ver Figura 6.

Se forem montadas na própria estrutura de cobertura, i.e., interiormente, as mesmas tomam a designação de caleiras incorporadas.



Figura 6 - Caleira de beiral de secção quadrangular

No caso de a estrutura da cobertura apresentar uma platibanda, normalmente em betão, a caleira incorporada toma a designação de algeroz, ver Figura 7.

Os algerozes têm a mesma função, sendo uma solução corrente como órgão de drenagem em coberturas.

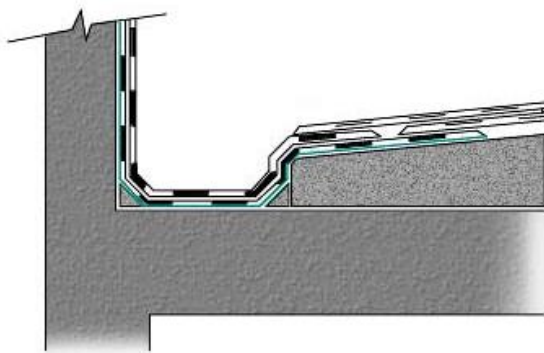


Figura 7 – Algeroz

4.4.1. Dimensionamento de caleiras e algerozes

No dimensionamento hidráulico de caleiras e algerozes a altura da lâmina líquida não deve exceder 70% da altura da secção transversal (16). A inclinação mais corrente situa-se entre 0,5% e 1%, sendo por vezes utilizados valores ligeiramente superiores e inferiores (18).

As caleiras deverão ter uma secção assimétrica com o bordo exterior menor que o interior por forma a funcionar como descarregador de superfície. Assim, no caso de se exceder a sua capacidade de vazão, as águas sejam descarregadas para o lado de fora do edifício. A diferença de alturas entre os bordos deverá ser igual ou superior a 30% da altura da secção transversal, com um valor mínimo de 3 centímetros (19), ver Figura 8.

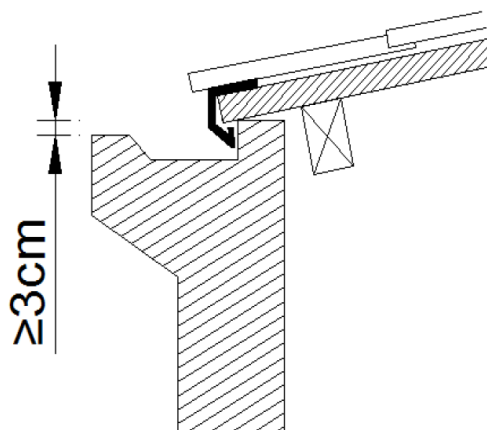


Figura 8 - Descarregador de superfície em caleira

Na ausência de caleiras ou algerozes em coberturas planas de pequena pendente, a descarga de águas deverá ser executada por um orifício de descarga com secção mínima igual a 50 cm^2 e cuja extremidade se deve prolongar no mínimo 5 centímetros da fachada (19), ver Figura 9.

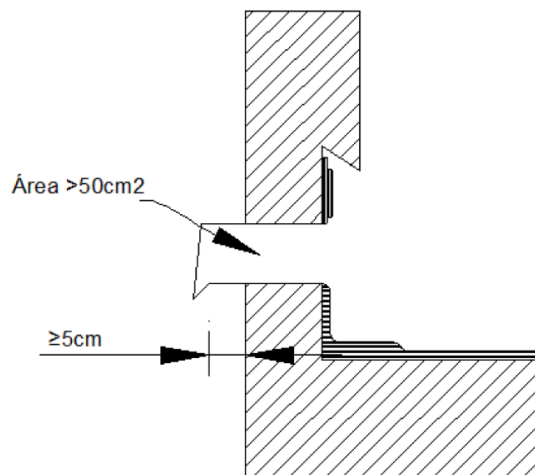


Figura 9 - Orifício de descarga em cobertura plana

De modo a evitar inundações originadas por entupimento de tubos de queda em algerozes deverão ser instalados tubos de aviso que, tal como o próprio nome indica, tem a função de assinalar esse entupimento e permitir a correspondente drenagem das águas excedentes. Os tubos de aviso deverão ser colocados a 5 cm da base do algeroz e dimensionados em conformidade, ver Figura 10.

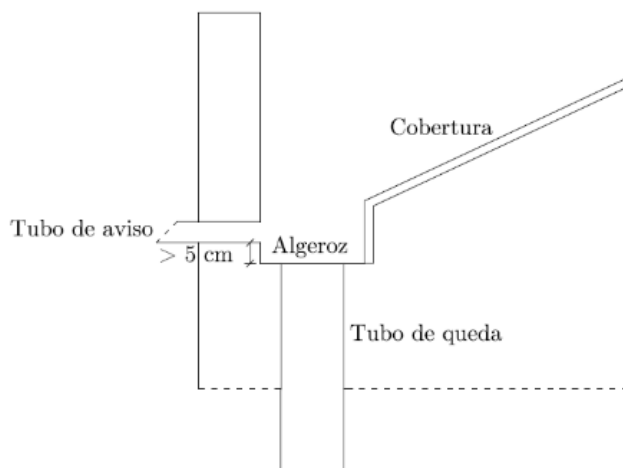


Figura 10 - Tubo de aviso e algeroz

O dimensionamento das caleiras e algerozes é realizado através da fórmula de Manning-Strickler, equação 4,

$$Q = K_M \times S \times R^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i} \quad 4$$

em que:

Q - Caudal de cálculo, m³/s;

K_M - Constante de rugosidade m^{1/3}/s;

S - Secção transversal, m²;

R - Raio hidráulico, m;

i - Inclinação, m/m.

A constante de rugosidade, K_M, tal como o próprio nome indica, tem em conta a rugosidade do material, sendo tanto maior quanto menor for a rugosidade do material.

O raio hidráulico, R, é obtido pelo quociente entre a área da secção transversal do fluido e pelo perímetro molhado, λ. O perímetro molhado é o comprimento da linha imaginária que separa o fluido das paredes da conduta.

As secções geométricas mais correntes, utilizadas em caleiras e algerozes, são a forma retangular e circular.

Com recurso à Figura 11 e através das equações 5, 6, 7 apresentam-se as expressões gerais para o cálculo da secção transversal, S, perímetro molhado, λ, e raio hidráulico, R, para uma secção retangular. De igual forma, Figura 12, e através das equações 8, 9, 10 e 11, apresentam-se as expressões equivalentes gerais para a secção circular.

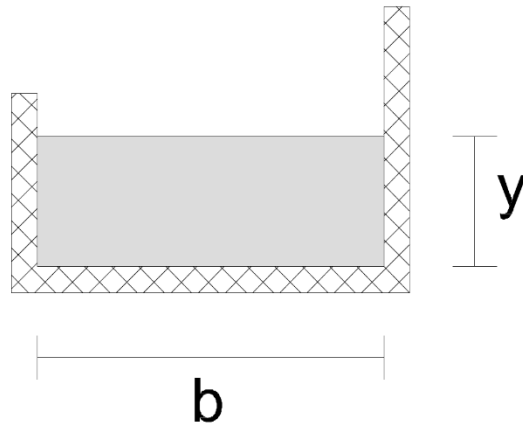


Figura 11 - Secção retangular

$$S = b \times y \quad 5$$

$$\lambda = b + 2 \times y \quad 6$$

$$R = \frac{b \times y}{b + 2 \times y} \quad 7$$

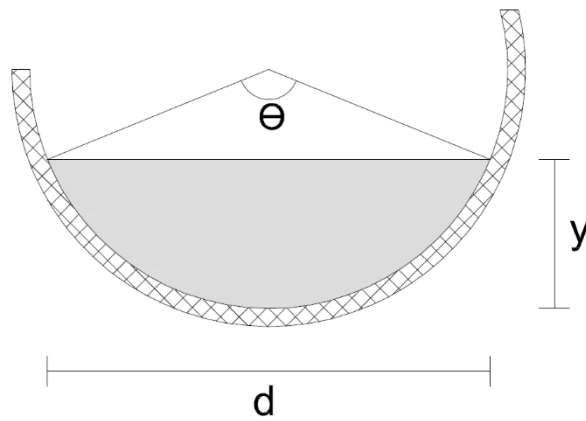


Figura 12 - Secção circular

$$\theta = \left(\pi + \frac{4y}{d} - 2 \right) \quad 8$$

$$S = \frac{(\theta - \sin \theta) \times d^2}{8} \quad 9$$

$$\lambda = \frac{d\theta}{2} \quad 10$$

$$R = \frac{(\theta - \sin \theta) \times d}{4\theta} \quad 11$$

O dimensionamento destes sistemas de drenagem, calceiras e algerozes, tem como variáveis apenas a inclinação e a forma que condicionam os valores da secção e do raio hidráulico, uma vez que o caudal é conhecido. A inclinação mínima a adotar é assim definida.

Caso a inclinação não se enquadre nos limites dever-se-á optar por uma geometria maior ou menor em função dos limites impostos.

4.5. Tubos de queda

Os tubos de queda têm como função captar as águas provenientes das calceiras ou algerozes e conduzi-las para sarjetas, valetas ou sumidouros. Os tubos de queda apresentam-se vulgarmente com geometria circular ou retangular, podendo ser executados em diversos materiais, e.g., PVC, cobre, zinco, entre outros.

Os tubos de queda deverão, sempre que possível, ser compostos por um único troço vertical, porém, sempre que se verifique esta impossibilidade deverão ser adotadas curvas de concordância de raio cuja forma não comprometa o desempenho do sistema.

Os tubos de queda deverão apresentar um diâmetro constante ao longo do seu desenvolvimento e ser instalado à vista, com o intuito de facilitar qualquer reparação. O diâmetro mínimo utilizado em tubos de queda não deverá ser inferior a 50 milímetros (16).

Sempre que o caudal de cálculo num tubo de queda com altura superior a 35 metros de altura ultrapasse os 700 l/min, é obrigatória a instalação de coluna de ventilação (16).

4.5.1. Dimensionamento de tubos de queda

O dimensionamento de tubos de queda é efetuado através da equação 12, modelo de cálculo fornecido pelo RGSPP, (16),

$$Q = \left(\alpha + \beta \frac{H}{D} \right) \pi D H \sqrt{2gH} \quad 12$$

onde,

Q - Caudal de cálculo, m³/s;

H - Carga no tubo de queda, m;

D - Diâmetro do tubo de queda, m;

g - Aceleração gravítica, adotado o valor de 9,81 m/s²;

$\alpha = 0,453$ - Se entrada de caudal no tubo de queda com aresta viva, ver Figura 13;

$\alpha = 0,578$ - Se entrada de caudal no tubo de queda com aresta cônica, ver Figura 14;

β - Constante de valor igual a 0,350.



Figura 13 - Tubo de queda com transição em aresta viva

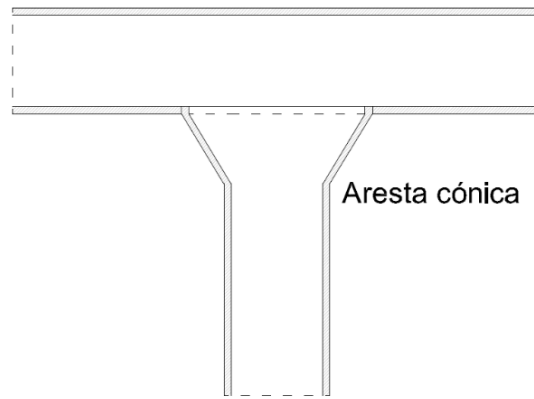


Figura 14 - Tubo de queda com transição em aresta cônica

O caudal de cálculo de cada tubo de queda será o somatório de todos os caudais de cálculo dos sistemas de drenagem que para este descarregam.

O diâmetro a adotar num tubo de queda pode ser determinado explicitando a equação 13, fórmula do RGSP, (16), para o dimensionamento de tubos de queda em função do diâmetro.

$$D = \frac{Q}{\alpha \pi H \sqrt{2gH}} - \frac{\beta H}{\alpha} \quad 13$$

5. SISTEMAS DE REVESTIMIENTO

Atualmente no mercado existem vastos sistemas de revestimento de fachadas e coberturas, sendo que a distinção se fundamenta em técnicas com ou sem ventilação e o modo de junção das placas metálicas. Os sistemas de revestimento de coberturas e fachadas são na realidade idênticos, diferendo essencialmente na moldagem quanto aos remates e intersecções, assim como, a largura e comprimento admissível das placas.

Estes sistemas de revestimento têm evoluído ao longo dos últimos anos fazendo que com se tornem mais concorrentes no mercado, visto que as suas características perante os materiais correntes apresentam vantajosas qualidades na sua escolha, destacando-se a facilidade de fabrico e colocação, durabilidade e versatilidade, uma vez que se adaptam a diversas formas.

5.1. Sistemas sem ventilação

Os sistemas sem ventilação, tal como o próprio nome indica, representam todos aqueles que não possuem ventilação entre o suporte e o revestimento.

Os sistemas sem ventilação quer em fachadas quer em coberturas, são denominados por sistemas quentes, Figura 15.

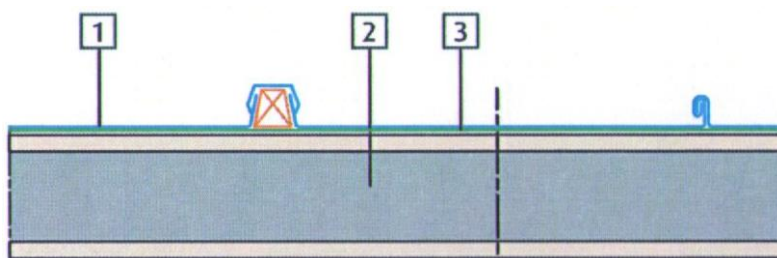


Figura 15 - Cobertura Quente, (1) Cobertura em zinco ou cobre, (2) Suporte isolante e (3) Tela barreira de vapor.

5.1.1. Camarinha/Junta agrafada

O sistema camarinha, frequentemente reconhecido assim em Portugal, e o de junta agrafada são sistemas sem ventilação. Estes sistemas podem ser empregues tanto em coberturas como

fachadas. O sistema camarinha consiste em encaixar as chapas entre si sob nervuras laterais ao longo de todo o seu comprimento, após colocação de presilhas de fixação ao suporte (20), Figura 16.

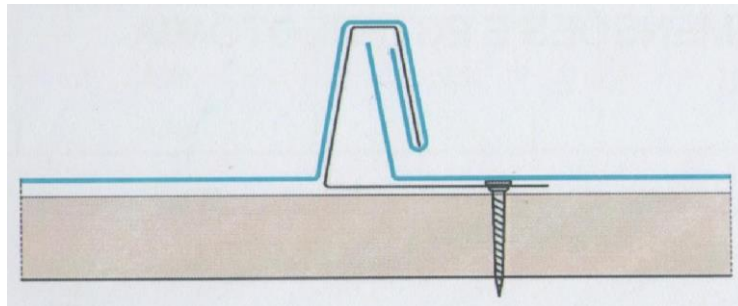


Figura 16 - Sistema Camarinha

O sistema junta agrafada, muito similar ao sistema camarinha, consiste em agrafar as chapas entre si ao longo da sua extensão, Figura 17. Depois de colocadas as presilhas de fixação ao suporte é executada uma dobra das nervuras laterais. A dobragem pode ser simples ou dupla, ver Figura 18.

O sistema junta agrafada é aplicado maioritariamente em grandes coberturas e fachadas, assim como em regiões com climas rigorosos.

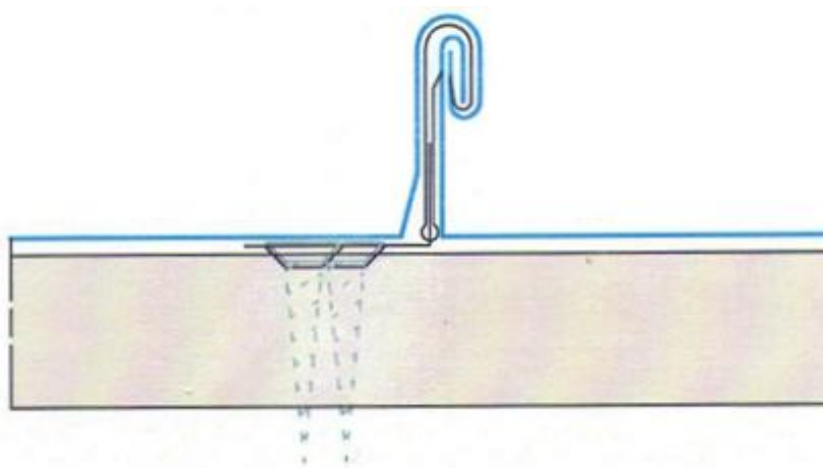


Figura 17 - Sistema Junta agrafada

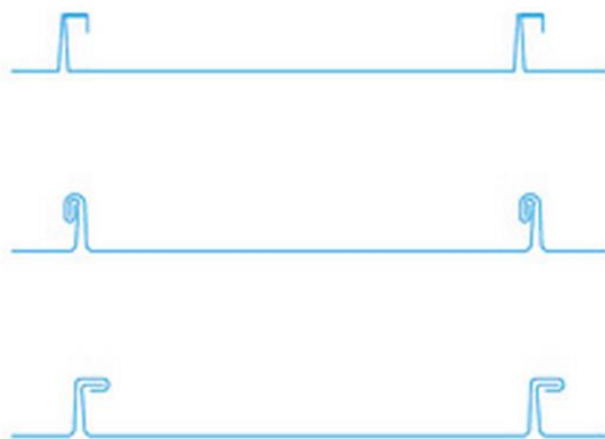


Figura 18 - Esquema de dobras do sistema Junta agrafada

5.1.1.1. Instalação do sistema Camarinha

Este sistema requer uma estrutura de suporte com pendente mínima de 2% (21).

A aplicação do sistema camarinha inicia-se pela fixação de presilhas na estrutura de suporte, sendo posteriormente colocadas as placas de revestimento.

As placas seguintes são colocadas inferiormente à placa anterior, isto é, entrando lateralmente na junta da chapa, conforme se evidencia na Figura 19.

Deve ser sempre assegurada uma folga mínima de 20 mm, para prevenir os efeitos de dilatação e contração.

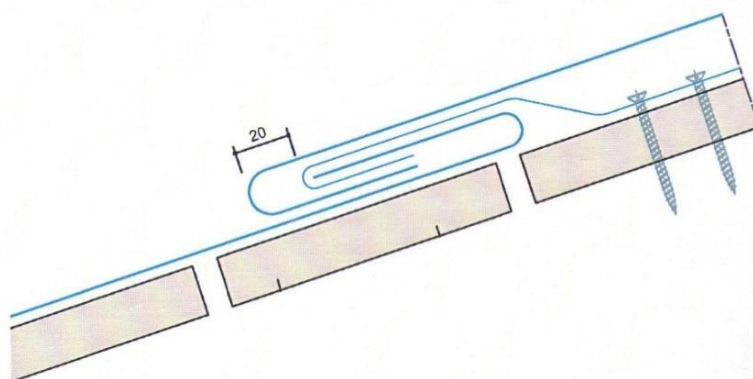


Figura 19 – Sistema Camarinha - Aplicação de placas

A aplicação contínua das placas implica uma sobreposição das mesmas ou degrau que está diretamente relacionada com a inclinação da pendente de cobertura, consultar Tabela 7, (21).

Inclinação das pendentes		
2% a 14%,	Degrau	Altura degrau ≥ 8 cm
15% a 46%	Dupla sobreposição	Comprimento de sobreposição ≥ 25 cm
$\geq 47\%$	Sobreposição simples	Comprimento de sobreposição ≥ 5 cm

Tabela 7 - Inclinação das pendentes – Sistema Camarinha

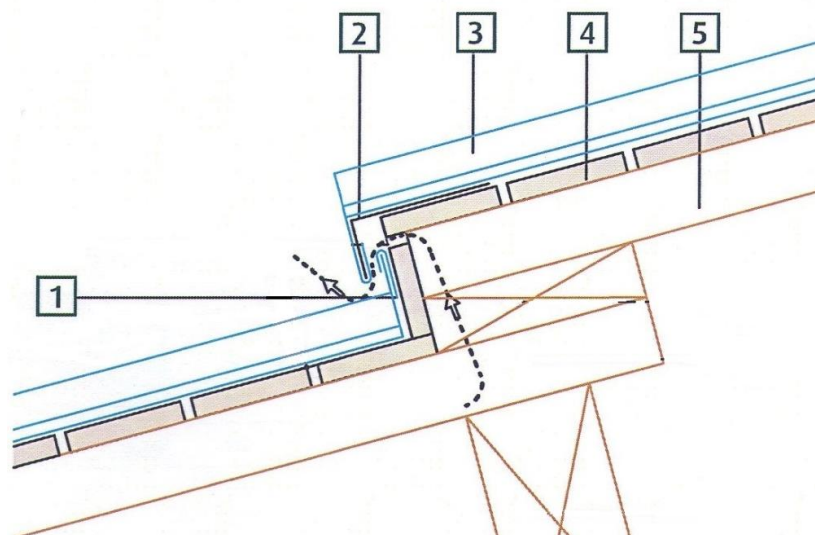


Figura 20 - Degrau em cobertura - Sistema Camarinha, 1 e 2 – Presilha, 3 – Placas de revestimento, zinco ou cobre, 4 – Calhas e perfis e 5 – Viga.

5.1.1.2. Instalação do sistema Junta agrafada

Este sistema é instalado apenas em estruturas de suporte com pendente mínima de 5% (22).

Inicia-se a instalação do sistema Junta agrafada pela aplicação de presilhas na estrutura de suporte, sendo posteriormente colocadas as placas de zinco ou cobre.

As placas seguintes serão colocadas superiormente às placas anteriores, sendo em seguida,

com maquinaria própria, executado o primeiro fecho, fazendo com que as duas placas fiquem fixas entre si e à estrutura de suporte. Por último é realizado um segundo fecho, Figura 21.



Figura 21 – Etapas do fecho das nervuras das placas de revestimento – Sistema Junta agrafada

Deve ainda ser assegurado, além da folga mínima para dilatação e contração, uma folga de 5 milímetros entre as chapas no sentido transversal (20). Esta folga permite que não seja exercida pressão sobre as presilhas de fixação aquando da ocorrência de dilatações, Figura 22.

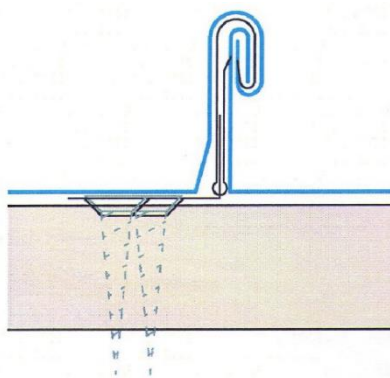


Figura 22 - Fecho das nervuras das placas e folga transversal - Sistema Junta agrafada

A aplicação contínua das placas implica uma sobreposição das mesmas ou degrau, que diretamente depende da inclinação da pendente, consultar Tabela 8, (20).

Inclinação das pendentes		
5%	Degrau	Altura degrau \geq 8 cm
10%	Degrau	Altura degrau \geq 5 cm
$10\% \leq i \leq 15\%$	Sobreposição simples	Comprimento de sobreposição \geq 25 cm

Tabela 8 - Inclinação das pendentes – Sistema Junta agrafada

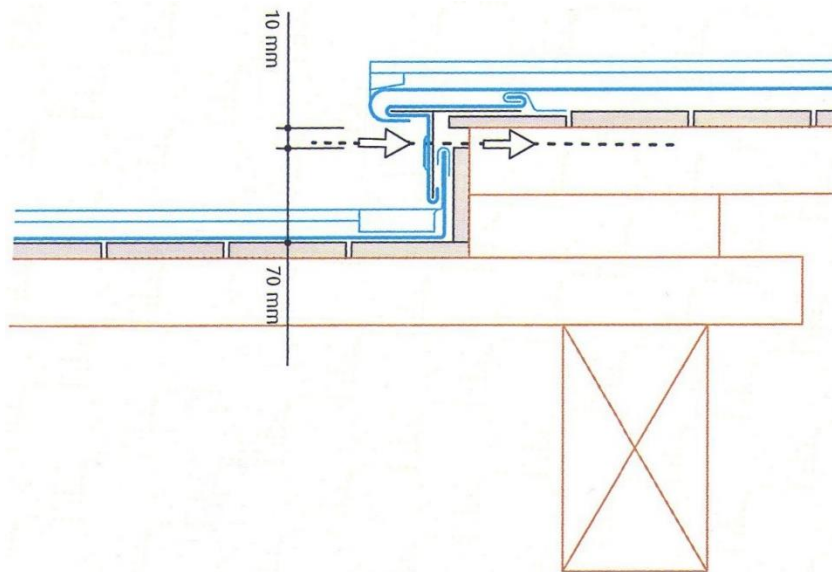


Figura 23 - Degrau em cobertura - Sistema junta agrafada

5.2. Sistemas com ventilação

Os sistemas com ventilação são sistemas com ventilação entre o suporte e o revestimento metálico. A ventilação permite que exista boas condições de funcionamento da cobertura ou fachada, no sentido de garantir que a base de suporte do material de revestimento mantém as suas características de resistência.

Os sistemas com ventilação são designados por sistemas frios, fachadas ou coberturas (20), Figura 24.

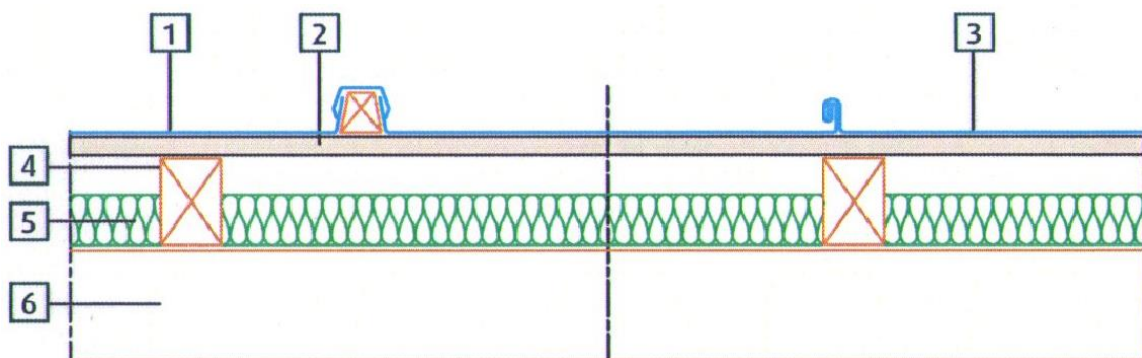


Figura 24 - Cobertura Fria, (20), 1 - Cobertura em zinco ou cobre. 2 - Suporte de madeira, 3 - Tela barreira de vapor, 4 - Viga, 5 - Material de isolamento na caixa-de-ar e 6 - Laje.

5.2.1. Sistemas de painéis modulares

O sistema de painéis modulares é aplicado apenas em fachadas, podendo ser aplicado com ou sem isolamento. Este sistema permite obter uma boa solução estética, quando comparado com outros sistemas, uma vez que se obtém volumes e diferentes geometrias das peças combinadas entre si, (Figura 25).



Figura 25 - Cassetes modulares

O sistema cassetes modulares, designação atribuída em função do aspeto do sistema, é constituído por cassetes de geometria retangular ou quadrangular, Figura 26, podendo as geometrias ser combinadas. Este sistema resulta da aplicação das diferentes cassetes modulares encaixadas entre si, tornando invisível a união destes elementos.



Figura 26 - Cassete modular de geometria quadrangular. 1 – Orifício para aparafusamento.

5.2.1.1. Instalação do sistema painéis modulares com isolamento

A instalação do sistema cassetes modulares inicia-se pela fixação de calhas e esquadros à estrutura de suporte de acordo com o traçado originalmente definido para o local. Posteriormente, é firmada uma estrutura em perfil ómega ou T, Figura 27. O comprimento dos esquadros de fixação depende da espessura do isolamento.



Figura 27 - Perfil ómega e T

É necessário assegurar uma lâmina de ar mínima de 20 milímetros de modo a garantir a ventilação da estrutura de suporte (23). Esta deve estar situada entre a face interior das cassetes e o isolamento ou a estrutura de suporte.

Este sistema requer uma especial atenção para o perfeito alinhamento do perfil de base, uma vez que as cassetes modulares são colocadas por ajuste fácil por auto encaixe. Na base de revestimento deve ser instalado um perfil perfurado, de modo a permitir a entrada de ar, sobre o qual é fixado o perfil de base, Figura 28.

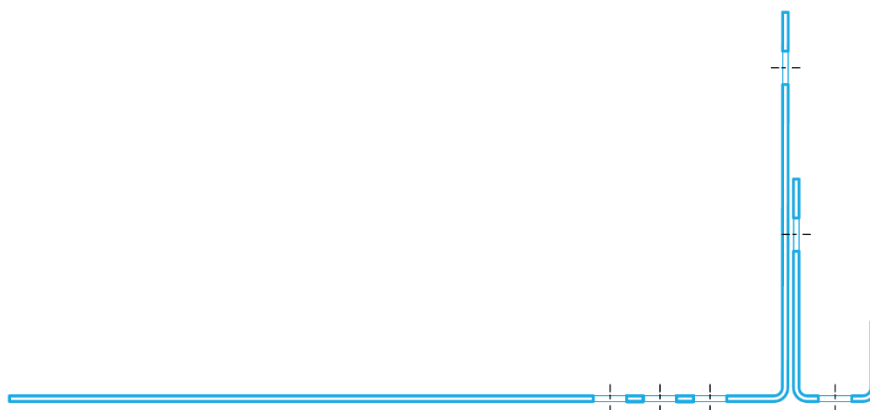


Figura 28 – Acabamento inferior na base do revestimento

Na Figura 29 e Figura 30 é evidenciado a instalação de um sistema de cassetes modulares com isolamento.

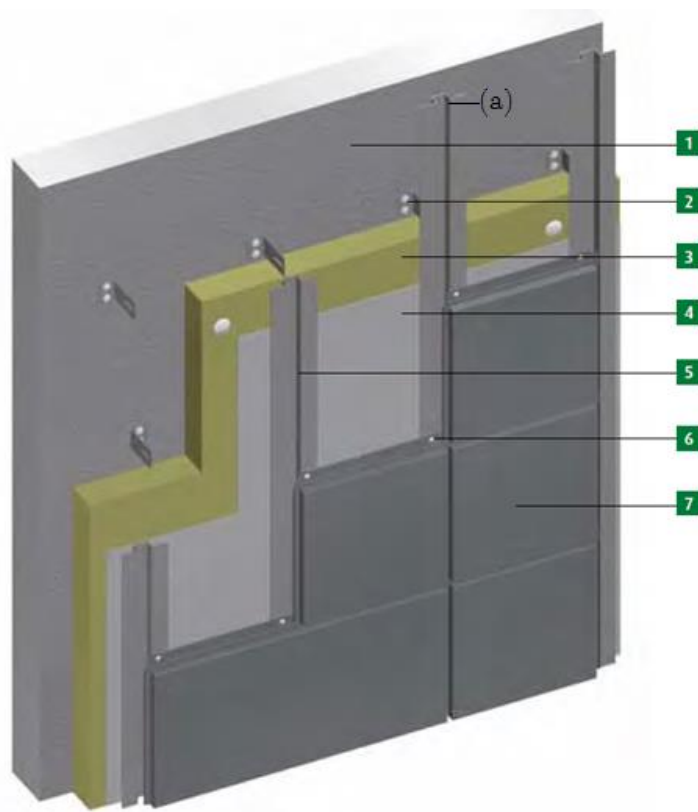


Figura 29 - Sistema cassetes modulares com isolamento, (a) – Perfil, 1 – Estrutura de suporte, 2 – Esquadro, 3 – Isolamento, 4 – Proteção contra chuva, 5 – Calhas de estrutura em alumínio Omega ou T, 6 – Parafuso e 7 – Painel modular

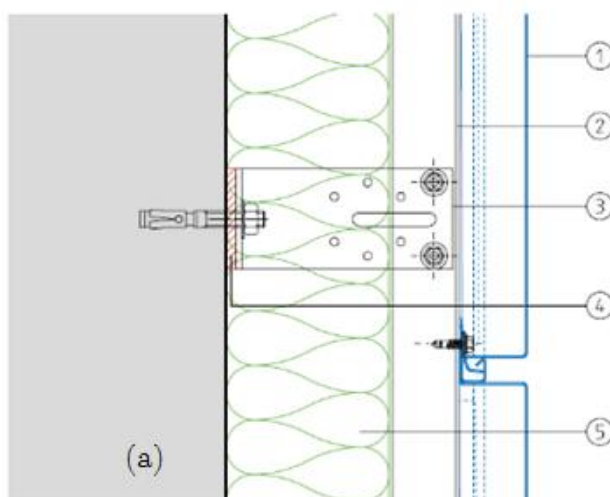


Figura 30 – Sistema cassetes modulares com isolamento (a) - Estrutura de suporte, 1 – Painel modular, 2 – Perfil e calha, 3 – Cantoneira de fixação, 4 – Calço e 5 – Isolamento exterior.

6. DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

Para assegurar a técnica de revestimento devem ser reunidas condições que permitam que o sistema funcione em pleno, desde os sistemas de fixação, procedimentos de instalação, remates e intersecções, efeitos de dilatação ou contração e largura e comprimento das placas de revestimento.

As fixações utilizadas em sistemas de coberturas e fachadas devem ser realizadas de forma a permitir liberdade de movimento entre os elementos. Para isso são empregues fixações ou por encaixe ou por sobreposição sem impedir que os componentes tenham movimentos relativos.

Deste modo, as fixações são efetuadas através de pregos e parafusos aplicados a presilhas que por sua vez foram previamente instalados nos suportes.

Os suportes podem ser realizados através de perfis ou calhas em metal ou madeira, ou ainda, diretamente na superfície de suporte do revestimento.

Os elementos metálicos de fixação devem ser preferencialmente em aço inox, por serem mais resistentes à corrosão, possuem um bom desempenho em ambientes agressivos e não apresentarem condicionamentos relevantes com outros metais.

As fixações destes sistemas, quer em coberturas quer em fachadas, por serem ocultas não condicionam o aspeto estético do revestimento, assim como asseguram a longevidade dos materiais utilizados por não estarem diretamente expostos às condições atmosféricas, e evitarem infiltração de águas.

6.1. Presilhas

As presilhas são elementos de pequenas dimensões, cuja função principal é a ligação entre as placas em zinco ou cobre à estrutura de suporte. As presilhas podem ser fixas ou móveis e possuem orifícios para a inserção de pregos ou parafusos. As primeiras, Figura 31, não

permitem deslocamentos relativos enquanto que as outras, Figura 32, podem acomodar movimentos no sentido do seu deslocamento.

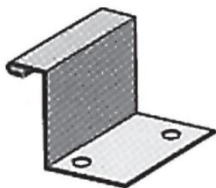


Figura 31 - Presilha fixa

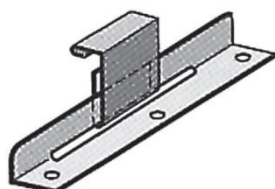


Figura 32 - Presilha móvel

6.2. Pregos e parafusos

Os pregos e parafusos são selecionados de acordo com a estrutura de suporte. Se a estrutura de suporte for de madeira devem ser adotados pregos ou parafusos, enquanto que, se a estrutura for metálica ou de base cimentada devem ser utilizados parafusos, com ou sem buchas respectivamente.

Estes elementos de fixação deverão ser preferencialmente em aço inox, dadas as vantagens anteriormente referidas.

Situações há, porém, que o aço galvanizado é utilizado por razões económicas.

O dimensionamento destes elementos de fixação depende essencialmente da espessura que se tem que vencer até à base de suporte, uma vez que isso determina o seu comprimento.

Quanto maior o comprimento maior terá que ser o diâmetro.

O seu afastamento deve ser limitado de forma a não comprometer a resistência da chapa.

6.3. Calhas e perfis

As calhas e perfis são elementos simples que fazem a ligação das placas de revestimento à cobertura ou à fachada. Estes elementos podem ser executados com diversos materiais sendo os mais correntes o aço galvanizado, aço inox, alumínio e madeira.

As calhas e perfis de modo a facilitar um melhor encaixe entre placas de revestimento apresentam, sobretudo nas coberturas, a forma U, Z ou L, que são preferencialmente aqueles que quando devidamente posicionados minoram os efeitos de flexão desviada.

Nas fachadas são preferencialmente utilizados perfis de secção oca tubular.

6.4. Procedimentos de instalação

Nos sistemas de revestimento de coberturas e fachadas com recurso a placas de zinco ou cobre deve ser assegurado a perfeita fixação na primeira fiada de assentamento das placas de modo a evitar que os elementos subsequentes possam deslizar pondo em perigo a estabilidade de todo o revestimento. Por conseguinte as presilhas correspondentes devem ser do tipo fixa independentemente do tipo de solução adotada para o sistema, Figura 33.

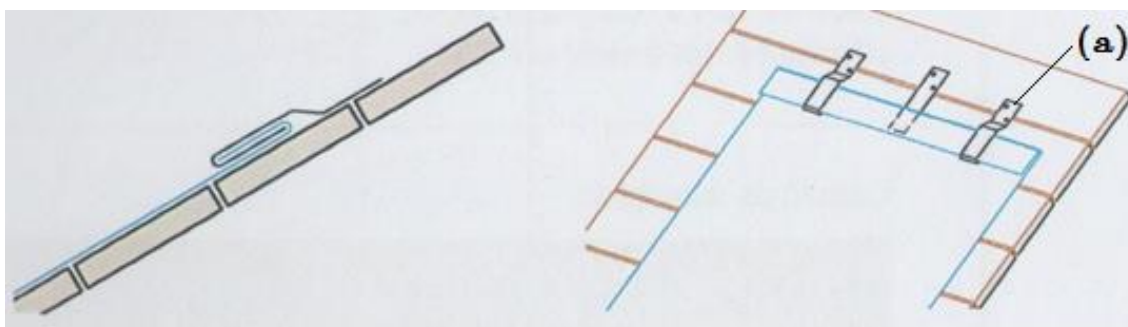


Figura 33 - Fixação do topo das placas de revestimento, (a) Presilhas de primeira fiada.

No lugar de presilhas fixas de primeira fiada a fixação das placas pode também ser executada com recurso a uma chapa em zinco ou cobre, com uma largura aproximada de 12

centímetros, soldada sob o topo da placa ou ainda recorrendo a uma calha de aço inox,
Figura 34.

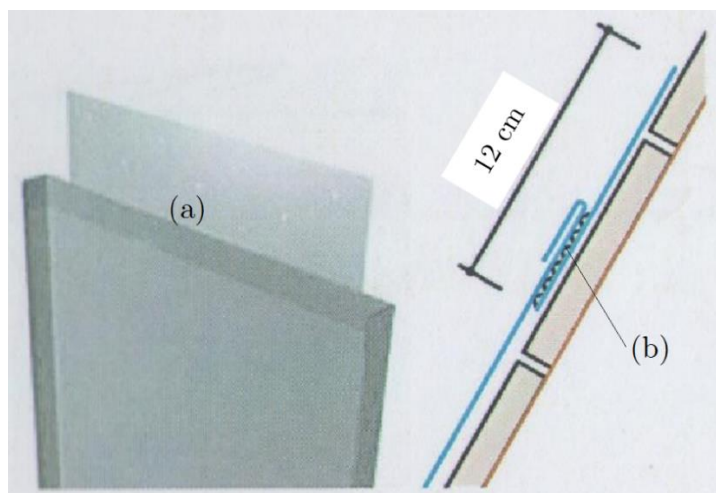


Figura 34 - Fixação das placas de revestimento por soldadura, (a) - Chapa ou perfil de fixação de primeira fiada, (b) - soldadura ou aparafusamento

6.5. Remates e intersecções

Os remates e intersecções devem ser corretamente executados por forma a permitir o funcionamento adequado dos diferentes sistemas de fachada ou cobertura, sem pôr em causa a sua funcionalidade.

6.5.1. Remate em cumeeira

A cumeeira corresponde à intersecção mais elevada dos planos de uma cobertura. Os remates na cumeeira devem eliminar qualquer ponto de infiltração de águas ser pôr em risco todo o sistema. Na Figura 35 evidencia-se o remate numa cumeeira do sistema de junta agrafada. O remate das placas na cumeeira é executado prolongando as mesmas contra um perfil de suporte onde são fixadas. Após esta fixação e de modo a assegurar a estanqueidade é colocada um rufo de cobre juntas.

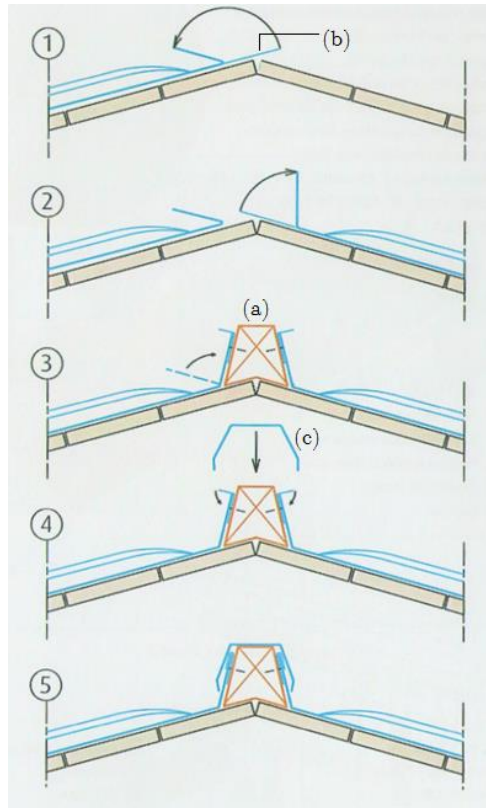


Figura 35 - Remate de cumeeira em junta agrafada, (a) - Perfil de suporte, (b) – placas de revestimento e (c) – rufo

Nas zonas de transição e mudança de direção, como por exemplo em cunhais, algerozes ou outras situações, o remate das placas deve ser executado com os mesmos cuidados das juntas em geral. Na Figura 36 ilustra-se um desses casos.

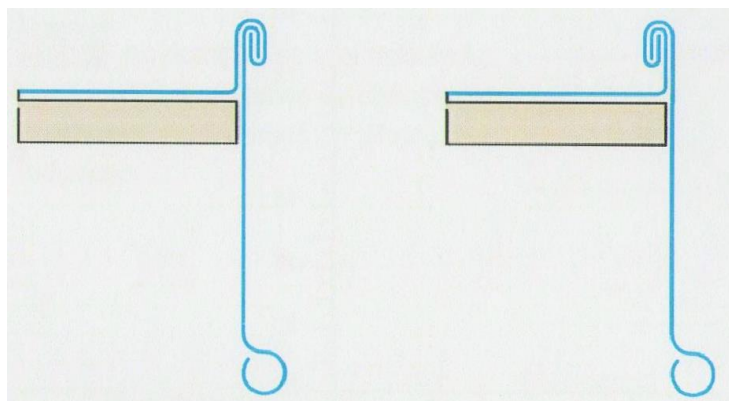


Figura 36 - Remate em ângulo em junta agrafada

6.5.2. Talvegue

O talvegue, também conhecido por engra, corresponde à intersecção mais baixa dos planos de uma cobertura, Figura 37.

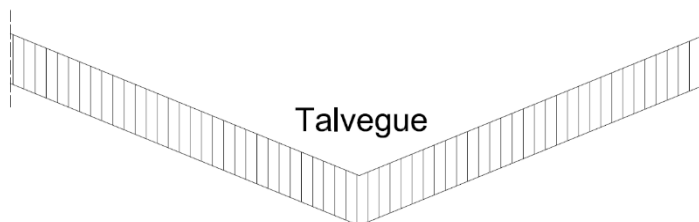


Figura 37 - Talvegue cobertura

O talvegue pode ser realizado por uma única peça que normalmente atinge os 10 metros. Quando é necessário mais do que uma peça para se realizar o talvegue deverá existir uma intersecção cujo comprimento depende da inclinação do mesmo, (Tabela 9), (20).

Inclinação do talvegue	
$i \leq 15\%$	Degrau
$15\% \leq i \leq 25\%$	Junta de dilatação
$i \geq 25\%$	Sobreposição simples

Tabela 9 - Inclinação do talvegue

O degrau de talvegue deverá ser executado com inclinação até 15% e deverá ter uma altura mínima de 5 centímetros (20). Para se executar este tipo de talvegue o suporte da cobertura terá que estar devidamente adaptado, uma vez que é necessário assegurar a distância entre as vigas para a colocação do talvegue.

Na Figura 38 ilustra-se um talvegue com degrau e com os respectivos meios de fixação, presilhas.

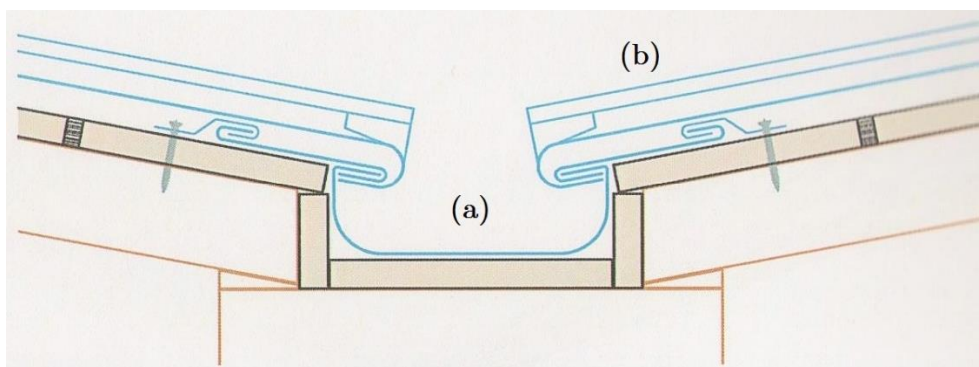


Figura 38 - Talvegue com degrau, (a) – Talvegue com degrau, (b) – Placas de revestimento da cobertura

Quando a inclinação do talvegue for superior a 25% é executada uma sobreposição, Figura 39. O talvegue com sobreposição é composto por uma única placa que é moldada de forma a permitir obter uma inclinação que acompanhe a inclinação da cobertura. Posteriormente esta placa é fixada por encaixe com os elementos da cobertura dependendo do sistema utilizado.

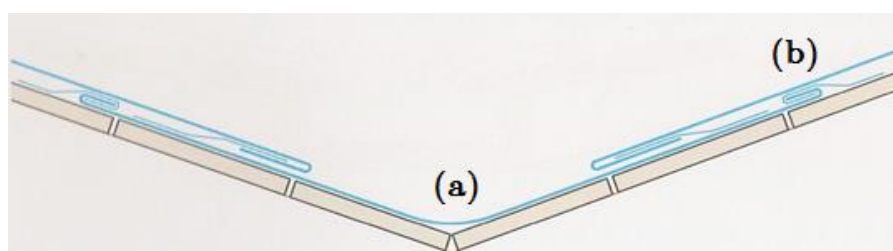


Figura 39 - Talvegue com sobreposição, (a) – Talvegue com sobreposição, (b) – Encaixe da placa do talvegue com o sistema do cobertura.

6.5.3. Arranque em fachada

Arranque de fachada, tal como o próprio nome indica, estabelece princípios para se iniciar a aplicação do revestimento em fachadas. Na Figura 40 mostra-se em corte o arranque de revestimento de fachada ventilada em junta agrafada onde se exhibe uma calha de remate e placa ventilada. A calha de remate permite a fixação da placa ventilada à estrutura de suporte.

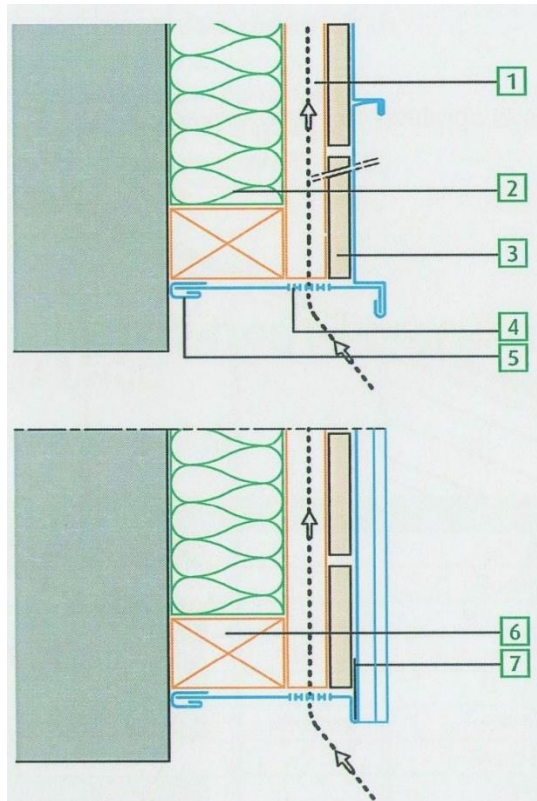


Figura 40 - Arranque de fachada em junta agrafada, 1 - Lâmina de ar, 2 - Isolamento, 3 - Suporte de fixação de placas de revestimento, 4 - Placa ventilada, 5 - Calha de remate, 6 - Perfil de suporte e 7 - Placas de revestimento de fachada.

6.5.4. Topo de fachada

O topo de fachada requer especial atenção uma vez que estabelece a união entre os elementos de revestimento de fachada e de cobertura, sendo necessário assegurar a perfeita ligação entre os dois sistemas, de modo a não colocar em causa o funcionamento dos mesmos.

O topo de fachada, de forma similar ao arranque de fachada, institui elementos característicos para a sua execução, como é o caso da pingadeira de arranque não ventilada e do murete. Na Figura 41 ilustra-se em corte o topo de fachada

A pingadeira de arranque não ventilada e o murete estabelecem a ligação entre o sistema de revestimento de fachada e de cobertura e não permitem a entrada de águas.

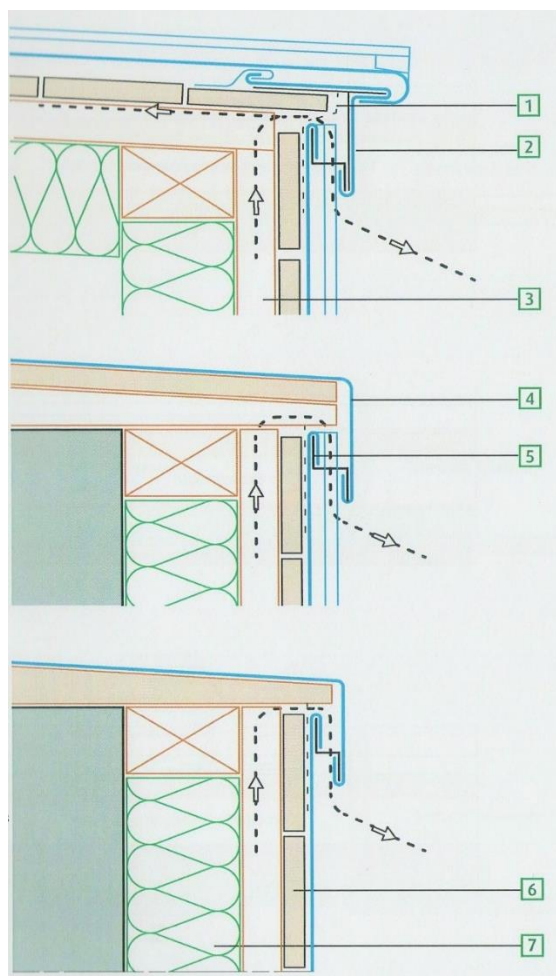


Figura 41 - Topo de fachada, 1 – Grelha anti-insectos, 2 – Pingadeira de arranque não ventilada, 3 – Lâmina de ar, 4 – Murete, 5 – Calha, 6 – Suporte de fixação de placas de revestimento e 7 – Isolamento

6.6. Dilatação e contração

As uniões entre placas de revestimento estão sujeitas a movimentos de dilatação e encurtamento resultando assim a necessidade de aplicação de juntas de dilatação e de contração. A importância de existência de juntas entre as placas de revestimento de coberturas e fachadas resulta da elevada sensibilidade que os metais têm em alterar as suas dimensões quando expostos a diferentes temperaturas.

As juntas de dilatação e contração podem ser definidas como sendo uma separação entre duas partes de uma estrutura, possibilitando que os elementos possam movimentar-se sem que exista danos para os materiais.

A aplicação destes metais em fachadas e coberturas têm que ser revestidos de cuidados especiais em função dos métodos de fixação. Por esta razão recomenda-se a adoção de uma folga de 20 milímetros entre os encaixes das placas, Figura 42.

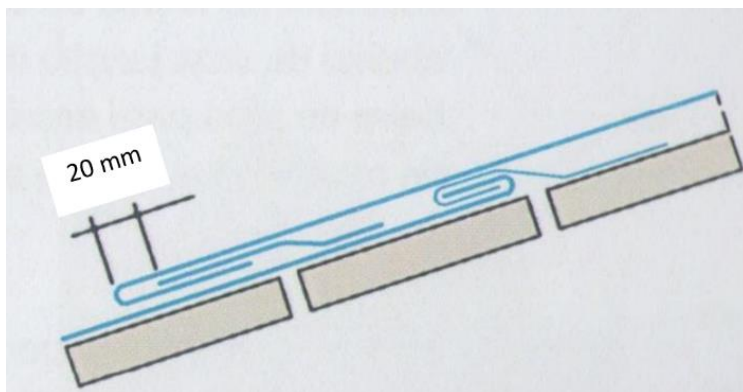


Figura 42 – Folga de encaixe entre placas de zinco e cobre

As juntas de dilatação e contração devem ser bem dimensionadas uma vez que podem originar o desprendimento entre placas durante os movimentos de dilatação e contração. Na Figura 43 ilustra-se o comportamento de uma junta ao longo do tempo para épocas quentes e frias no hemisfério Norte.

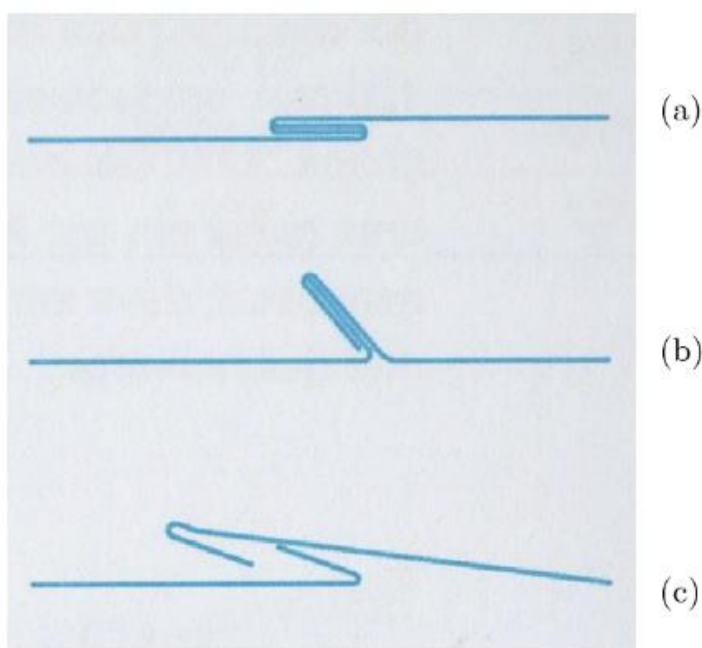


Figura 43 - Comportamento de uma junta de dilatação/contração ao longo do tempo, (a) – Montagem, (b) – Arrefecimento pós montagem e (c) – Aquecimento pós montagem

6.7. Órgãos de drenagem

Os elementos de fixação dos órgãos de drenagem podem ser realizados com diversos materiais, sendo adequado utilizar o mesmo material dos órgãos de drenagem.

Para fixar as caleiras e algerozes à estrutura de suporte podem ser utilizados vários tipos, sendo os mais correntes as designadas escáculas. As escáculas têm diferentes formas dependendo da geometria do órgão de drenagem a fixar, Figura 44 e Figura 45.

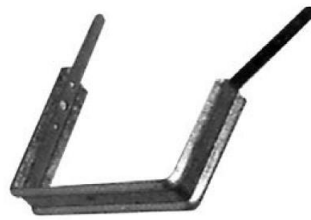


Figura 44 - Escápula quadrada

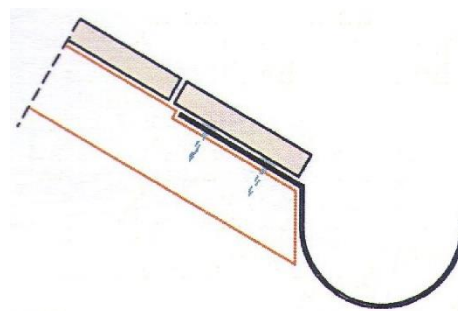


Figura 45 - Escápula redonda fixada na viga

Para fixar tubos de queda são utilizados braçadeiras que, tal como as escáculas, assumem diferentes formas conforme a geometria do tubo de queda, Figura 46 e Figura 47.



Figura 46 - Braçadeira para tubo de queda retangular

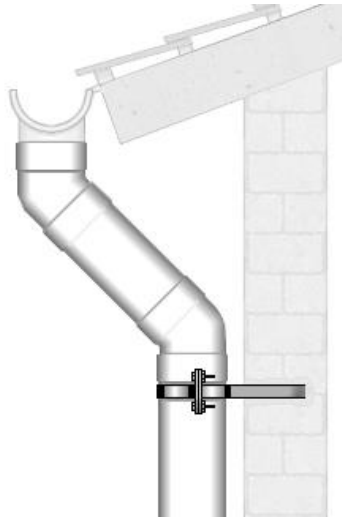


Figura 47 - Braçaderira de fixação de um tubo de queda à estrutura de suporte

6.8. Juntas de dilatação em órgãos de drenagem

As juntas de dilatação são essenciais para garantir o bom funcionamento dos órgãos de drenagem, calceiras, algerozes e tubos de queda. Nestes elementos é possível realizar-se dois tipos distintos de juntas de dilatação, juntas de dilatação tradicional e juntas de dilatação com folha de borracha Etileno-Propileno-Dieno, EPDM.

A junta de dilatação tradicional é concebida de forma a absorver os movimentos originados pelo material constituinte dos órgãos de drenagem, ver Figura 48. É realizada com o mesmo material empregue nos órgãos de drenagem.

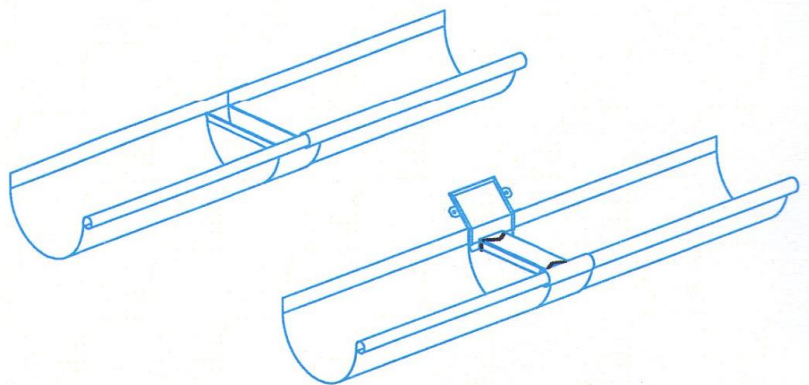


Figura 48 - Junta de dilatação em calceira

As juntas de dilatação em EPDM consistem em aplicar uma lâmina de borracha vulcanizada nos materiais constituintes dos órgãos de drenagem, ver Figura 49.

A aplicação da folha de EPDM permite obter uma grande flexibilidade e elasticidade, admitindo-se como mínimo 60 milímetros de lâmina de borracha EPDM, de modo a absorver os movimentos de origem térmica mas também para facilitar a ligação entre os materiais.

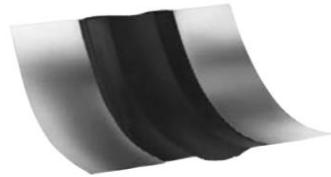


Figura 49 - Junta de dilatação com folha de borracha Etileno-Propileno-Dieno, EPDM

Ao fim de 12 metros do seu desenvolvimento devem ser empregues juntas de dilatação EPDM, tanto nas placas de revestimento como nos órgãos de drenagem.

6.9. Rufos

Os rufos são elementos cuja função visa proteger a ligação entre paredes e coberturas, evitando assim possíveis infiltrações de águas pluviais. Os rufos podem ser ainda empregues na proteção de muros e platibandas, rufos pingadeira, uma vez que a sua forma permite que a água não entre em contacto com a estrutura de suporte, aumentando a durabilidade da mesma, ver Figura 50.

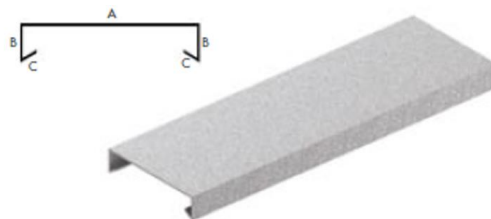


Figura 50 - Rufo pingadeira

Existem vários tipos de rufos, sendo os mais comuns os rufos internos, Figura 51, rufos de encosto, Figura 52, e rufos de encosto com pingadeira, Figura 53.

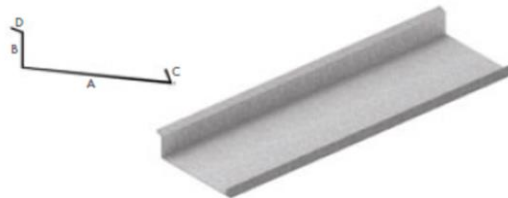


Figura 51 - Rufo interno

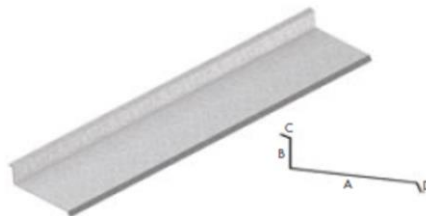


Figura 52 - Rufos de encosto

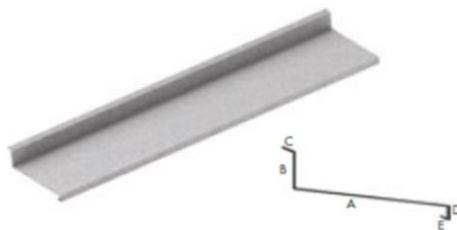


Figura 53 - Rufos de encosto com pingadeira

Os rufos, na sua generalidade, são realizados com materiais metálicos anticorrosivos, de modo a ter resistência às condições atmosféricas a que estão sujeitos.

6.10. Largura e Comprimento admissível das chapas

Dois requisitos fundamentais na escolha da chapa a utilizar são a sua largura e comprimento.

A largura da chapa depende do sistema escolhido e como tal dos elementos de montagem, isto é, máquinas de corte. As máquinas de corte variam em função da empresa aplicadora, sendo que a base comercial destas bobines varia entre 0,50 m e 1,00 m.

O comprimento da chapa está dependente das características de projeto sendo que o seu comprimento máximo assume diferentes valores e critérios conforme o sistema seja uma cobertura ou fachada.

O comprimento máximo admissível para as chapas empregues em coberturas depende do material constituinte e da inclinação da cobertura, Figura 54.



Figura 54 – Comprimento máximo admissível de uma cobertura em função da inclinação

Na Tabela 10 mostra-se o comprimento máximo para chapas de zinco em função da inclinação da cobertura.

Zinco - Comprimento admissível em função da inclinação da cobertura (24)	
$3^{\circ} \leq i < 11^{\circ}$	Comprimento máximo: 15 metros
$11^{\circ} \leq i \leq 30^{\circ}$	Comprimento máximo: 13 metros
$31^{\circ} \leq i \leq 60^{\circ}$	Comprimento máximo: 10 metros
$i \geq 60^{\circ}$	Comprimento máximo: 6 metros

Tabela 10 - Comprimento admissível para chapas de coberturas em zinco

Na Tabela 11 mostra-se o comprimento máximo para chapas de cobre em função da inclinação da cobertura.

Cobre - Comprimento admissível em função da inclinação da cobertura (25)	
$3^\circ \leq i < 4^\circ$	Comprimento máximo: 14,6 metros
$4^\circ \leq i < 10^\circ$	Comprimento máximo: 11 metros
$10^\circ \leq i < 30^\circ$	Comprimento máximo: 9,7 metros
$i \geq 30^\circ$	Comprimento máximo: 8,1 metros

Tabela 11 - Comprimento admissível para chapas de coberturas em cobre

De acordo com o comprimento máximo admissível das chapas para coberturas, Tabela 10 e Tabela 11, podemos verificar que os resultados para chapas de zinco e cobre apresentam valores diferentes uma vez que estamos perante materiais distintos e com diferentes coeficientes de dilatação.

O comprimento das chapas para sistemas de fachadas deve ter em atenção que quanto maior o comprimento da chapa maior deformação poderá existir o que poderá comprometer o sistema uma vez que a sua estrutura é sustentada fundamentalmente por encaixes.

7. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Neste capítulo apresenta-se o estudo de uma cobertura com sistema de revestimento Camarinha em zinco.

Trata-se da cobertura de um edifício industrial idealizado com planta retangular de 25 metros por 50 metros e com uma altura de 30 metros acima do solo, Figura 55.

O edifício está localizado na zona do Porto junto à orla marítima.

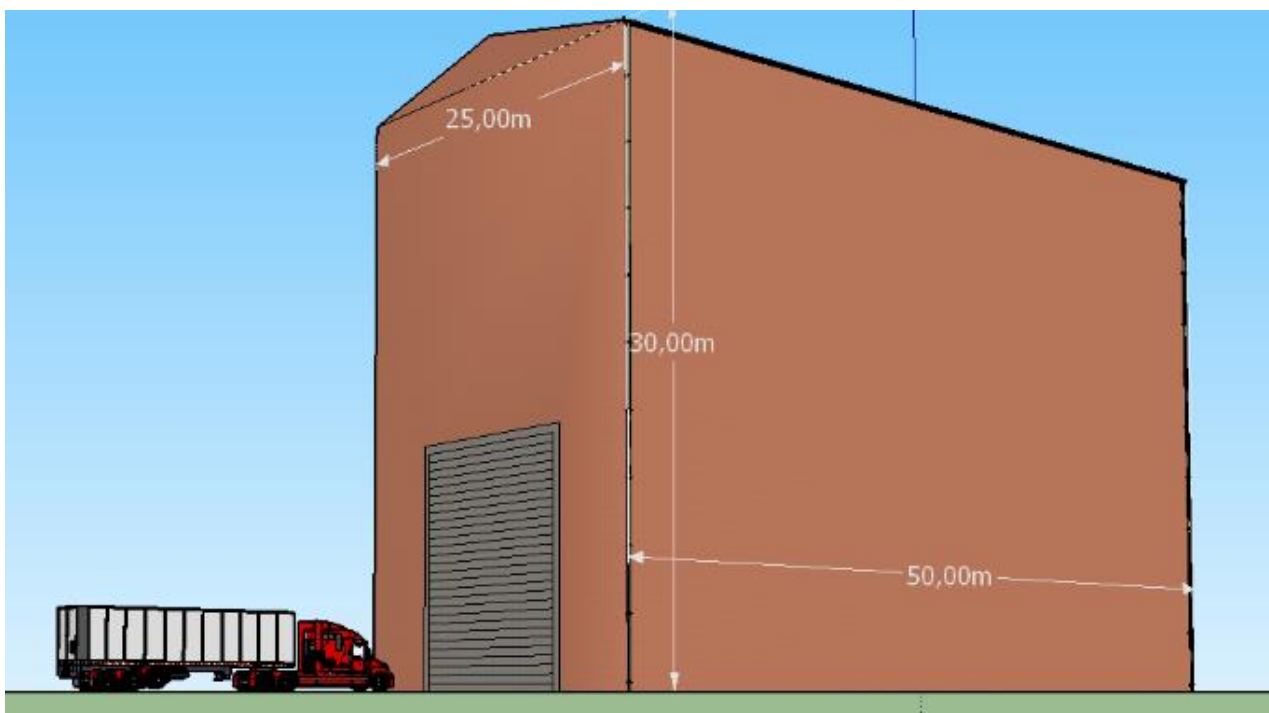


Figura 55 – Exemplo de aplicação

A cobertura tem duas vertentes com uma inclinação de $11,3^\circ$ (Figura 56). As chapas constituintes do sistema de cobertura terão 0,55 metros de largura e 12,5 metros de comprimento, devido ao comprimento máximo admissível em função da inclinação da cobertura, conforme secção 0.

Para o edifício em análise foram adotadas juntas de dilatação EPDM ao fim de 10 metros do seu desenvolvimento, tanto nas placas de revestimento da cobertura como nos órgãos de drenagem, conforme ilustrado na Figura 57.

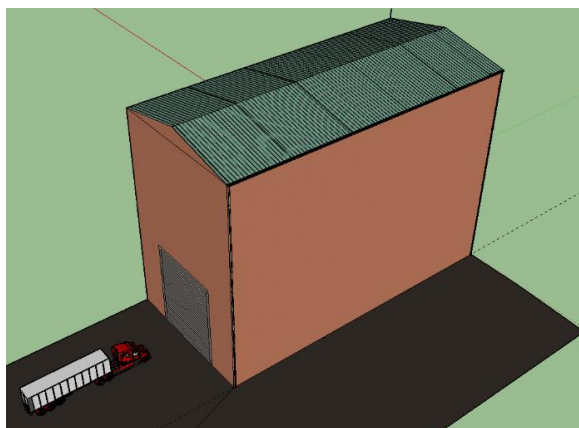


Figura 56 – Cobertura com duas vertentes

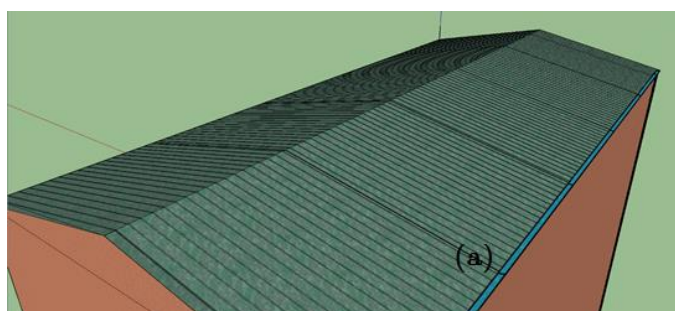


Figura 57 – Edifício em estudo, (a) - Junta de dilatação EPDM na cobertura e caleira

7.1. Ação do vento

Neste exemplo de aplicação e com vista a estudar um caso prático é feita uma breve excursão ao estudo da ação do vento em coberturas e fachadas.

Uma das ações variáveis mais importantes no dimensionamento de revestimentos de edifícios, coberturas e fachadas é a ação do vento.

Em Portugal e em muitos países da Europa, a regulamentação para quantificar a ação do vento é regida pelo Eurocódigo 1, parte 1- 4, (26), cujo principal objetivo é indicar propostas de elementos necessários à sua completa quantificação.

A pressão exercida pelo vento é quantificada para superfícies exteriores e ainda para superfícies interiores, porém no âmbito deste trabalho apenas se torna significativo a

abordagem do cálculo para superfícies exteriores, uma vez que o principal objetivo é avaliar os materiais quando aplicados a fachadas e coberturas.

A pressão exercida pelo vento nas superfícies exteriores é obtida através da equação 14:

$$w_e = q_p(z_e) \times c_{pe} \quad 14$$

onde:

w_e - Pressão exercida pelo vento nas superfícies exteriores;

q_p - Pressão dinâmica de pico;

z_e - Altura de referência para a pressão exterior;

c_{pe} - Coeficiente de pressão para a pressão exterior;

7.1.1. Valor de referência da velocidade do vento, v_b

Num primeiro momento, para uma dada zona geográfica o valor básico da velocidade de referência do vento, v_b , é o valor característico da velocidade média do vento referida a períodos de dez minutos, independentemente da direção e da época do ano, a uma altura de dez metros acima do nível do solo em terreno com campo aberto e obstáculos isolados afastados entre si a uma distância no mínimo vinte vezes a sua altura (26).

O País é dividido em duas zonas, A e B, para a definição de valores de $v_{b,0}$. A zona A representa a generalidade do território, e a zona B representa os arquipélagos dos Açores e da Madeira e as regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5 quilómetros de largura e as regiões com altitude superior a 600 metros (26).

Na Tabela 12 é dado o valor de base de referência do vento para cada uma das zonas do País, (26).

Zona	$V_{b,0}$ [m/s]
A	27
B	30

Tabela 12 – Valor de base de referência da velocidade do vento

De acordo com o Eurocódigo 1 (EC1) (26), o valor de referência da velocidade do vento, v_b , deve ser calculado pela equação 15,

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad 15$$

em que:

v_b - Valor de referência da velocidade do vento;

c_{dir} - Coeficiente de direção;

c_{season} - Coeficiente de sazonal;

$v_{b,0}$ - Valor básico da velocidade de referência do vento.

Para o coeficiente de direção, c_{dir} , o valor a considerar é igual a 1,0.

O coeficiente de sazonal, c_{season} , assume o mesmo valor em método geral. Quando se trata de estruturas provisórias ou em fase de construção, entre Maio e Agosto do mesmo ano, o seu valor pode ser reduzido até 0,9.

7.1.2. Velocidade do vento e variação em altura

A velocidade do vento está diretamente relacionada com a altura da estrutura em estudo, uma vez que a velocidade do vento aumenta com altura, z , acima do solo.

A velocidade média do vento depende da rugosidade do terreno, da orografia e do valor de referência da velocidade do vento, v_b , sendo determinada através da equação 16,

$$V_{m(z)} = C_{r(z)} \times C_{o(z)} \times V_b \quad 16$$

em que:

$c_r(z)$ - Coeficiente de rugosidade;

$c_o(z)$ - Coeficiente de orografia.

O coeficiente de rugosidade, $c_r(z)$, tem como objetivo representar a influência do tipo de terreno envolvente para uma dada localização. O coeficiente de rugosidade é definido para quatro categorias de terreno, que se apresentam na Tabela 13, onde Z_0 representa o comprimento de rugosidade e Z_{min} a altura mínima, (26).

Categoria de terreno	Z_0 [m]	Z_{min} [m]
I – zona costeira exposta aos ventos de mar	0.005	1
II – Zonas de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura)	0.05	3
III – Zona com cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo: zonas suburbanas, florestas permanentes)	0.3	8
IV – Zona na qual pelo menos 15 % da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m.	1.0	15

Tabela 13 - Categorias de terreno e respectivos parâmetros

Com recurso aos valores da Tabela 13, é definido o coeficiente de rugosidade, obtido através das equações 17 e 18,

$$c_{r(z)} = k_r \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{para } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad 17$$

$$c_{r(z)} = k_r \times \ln\left(\frac{z_{\max}}{z_0}\right) \quad \text{para } z \leq z_{\min} \quad 18$$

em que:

k_r – Coeficiente de terreno dependente do comprimento de rugosidade z_0 , calculado através da equação 19,

$$k_r = 0.19 \times \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} \quad 19$$

onde:

$z_{0,II}$ - igual a 0,05 metros (categoria de terreno II, ver Tabela 13);

z_{min} - altura mínima definida na Tabela 13;

z_{max} - correntemente adota-se igual a 200 metros;

7.1.3. Pressão dinâmica de referência

A pressão dinâmica de referência está diretamente relacionada com o teorema de Bernoulli, que descreve o comportamento de um fluido ao longo de uma linha de corrente e traduz o princípio da conservação da energia.

A equação que permite quantificar a pressão dinâmica de referência pode ser traduzida pelo teorema de Bernoulli, em que se descreve dois pontos, inicial e final, $v_0 = 0$ e $v_1 = v$.

$$\frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} \quad 20$$

em que:

g - aceleração gravitacional;

p - pressão ao longo da linha de corrente;

γ - densidade do fluido;

v - velocidade do fluido.

$$\frac{p_0 - p_1}{\gamma} = \frac{v_1^2}{2g} \quad 21$$

$$\Delta p = \frac{\gamma \times v^2}{2g} \quad 22$$

$$\gamma = m \times g \quad 23$$

$$p = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad 24$$

Com efeito, a pressão dinâmica de referência, q_p , é descrita pelo teorema de Bernoulli, deduzida na equação 20 à equação 24 , e indicada no EC1, (26), como:

$$q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2 \quad 25$$

7.1.4. Pressão dinâmica do vento

A pressão dinâmica de pico, diz respeito aos valores extremos de velocidade do vento em regime turbulento. Com efeito, a pressão de pico resulta da velocidade média e das flutuações de curta duração da velocidade do vento.

De acordo com a regulamentação, a pressão de pico é calculada através da equação 26,

$$q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z) = c_e(z) \times q_b \quad 26$$

em que:

ρ – Massa volúmica do ar, que depende da altitude, temperatura e pressão atmosférica para a região quando se verificarem situações de vento intenso;

O valor recomendado para a massa volúmica é $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$

I_v – Intensidade de turbulência à altura z , definida como o quociente entre o desvio padrão da turbulência e a velocidade média do vento;

$c_e(z)$ – Coeficiente de exposição e pode ser obtido através da equação 27,

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad 27$$

Quando se trata de um terreno plano, em que $C_0(z) = 1.0$, o regulamento define o coeficiente de exposição, $C_e(z)$, em função da altura acima do solo e da categoria do terreno, tal como se mostra na Figura 58.

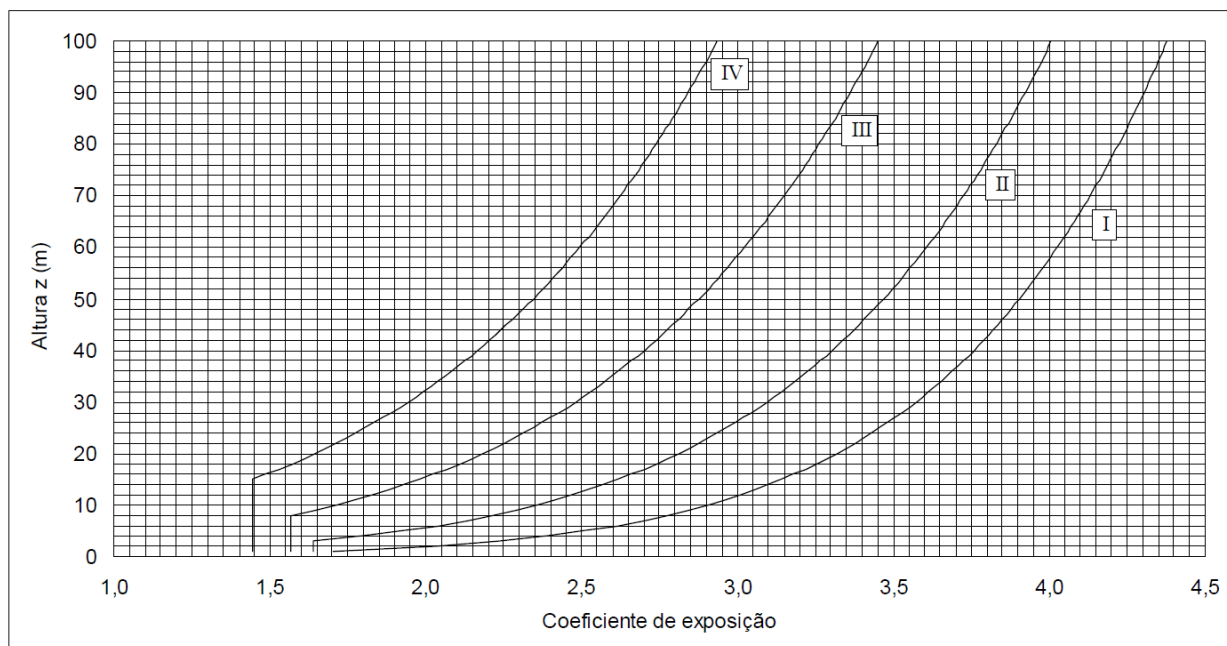


Figura 58 - Coeficiente de exposição para $C_0(z) = 1.0$ e $k_I = 1.0$

7.1.5. Forças exercidas pelo vento

A força exercida pelo vento, F_w , tal como no próprio nome indica, é a força que o vento exerce sobre o conjunto de construções ou sobre um componente. De modo a quantificar a ação do vento, o regulamento indica que poderá ser determinada através da equação 28,

$$F_w = c_s c_d \times c_f \times q_p(z_e) \times A_{ref} \quad 28$$

em que:

$c_s c_d$ - Coeficiente estrutural;

O coeficiente estrutural, avalia os efeitos aleatórios do vento na ocorrência de picos não simultâneos em toda a superfície do edifício, assim como as vibrações induzidas no edifício devido ao efeito do vento. Sempre que se trate de edifícios cuja altura seja inferior 15 metros, elementos de fachada e de cobertura cuja frequência própria seja inferior a 5 Hz, edifícios de estrutura porticada que contenham paredes resistentes cuja altura seja inferior a 100 metros e a 4 vezes a dimensão do edifício na direção do vento, o coeficiente estrutural, $c_s c_d$, é igual

a 1,0, contudo existam casos que o regulamento define um procedimento de cálculo, destacando-se o caso de pontes, chaminés e edifícios não incluídos pelos limites anteriores.

c_f - Coeficiente de força referente à construção ou ao elemento de construção;

O coeficiente de força, c_f , depende da forma do edifício, bem como da incidência do vento.

Para elementos estruturais de secção retangular, com o vento incidindo perpendicularmente a uma face, o coeficiente de força, c_f , é quantificado de acordo com a equação 29,

$$c_f = c_{f,0} \times \psi_r \times \psi_\lambda \quad 29$$

onde, $C_{f,0}$, representa o coeficiente de força para elementos de secção retangular com arestas vivas e sem livre escoamento em torno das extremidades. Este coeficiente pode facilmente ser determinado pela Figura 59.

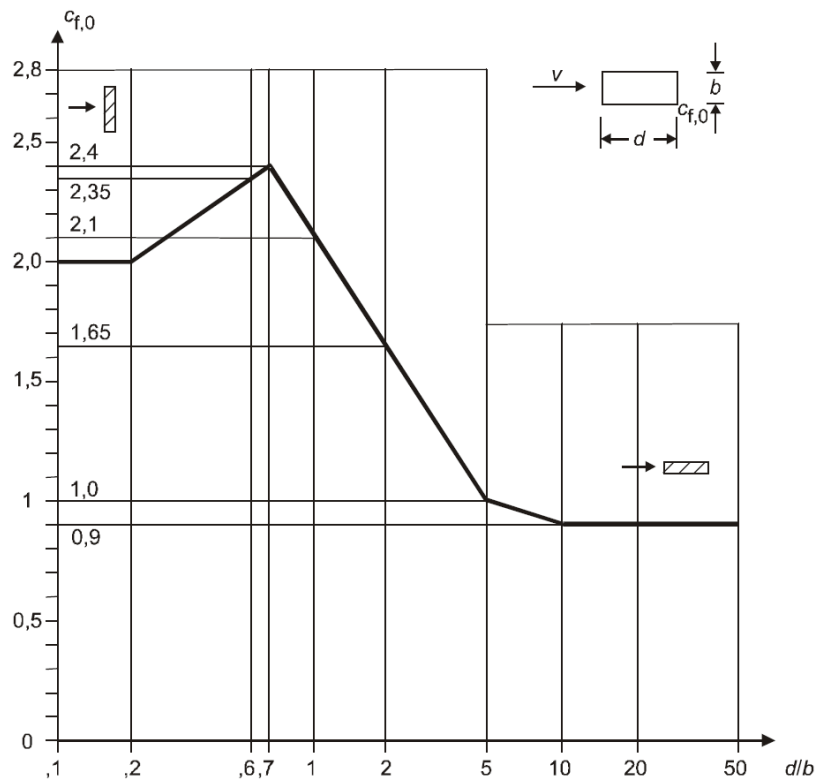


Figura 59 - Coeficiente de força para seções retangulares com arestas vivas e sem livre escoamento em torno das extremidades do elemento

Ainda na obtenção do coeficiente de força surge o coeficiente de redução, ψ_r , para secções quadradas com cantos arredondados. O coeficiente de redução, depende do número de Reynolds.

Por último, o coeficiente de efeitos de extremidade, ψ_λ , para elementos com extremidades que sejam facilmente contornadas pelo vento.

Os coeficientes de força presentes no regulamento, Eurocódigo 1, parte 1- 4, ação do vento, referem-se essencialmente a polígonos regulares e circulares.

$q_p(z_e)$ - Pressão dinâmica de pico à altura de referência z_e ;

A_{ref} - Área de referência da construção ou do elemento de construção.

7.1.6. Forças exteriores

A força exercida pelo vento, F_w , sobre uma construção ou um elemento de construção poderá ser determinada pela soma vetorial das forças $F_{w,e}$, $F_{w,i}$ e F_{fr} , calculadas a partir das pressões exteriores e interiores e as forças de atrito, resultantes do atrito do vento paralelamente às superfícies exteriores. (26)

Com efeito, as forças exteriores e interiores são calculadas a partir da equação 30 e 31 respetivamente. De igual forma, as forças de atrito, são estimadas pela equação 32.

$$F_{w,e} = c_s c_d \times \sum_{\text{superfícies}} W_e \times A_{ref} \quad 30$$

$$F_{w,i} = \sum_{\text{superfícies}} W_i \times A_{ref} \quad 31$$

$$F_{fr} = c_{fr} \times q_p(z_e) \times A_{fr} \quad 32$$

onde:

W_e - Pressão exterior na superfície individual à altura z_e ;

W_i - Pressão interior na superfície individual à altura z_i ;

c_{fr} - Coeficiente de atrito;

A_{fr} - Área de superfície exterior paralela ao vento.

7.1.7. Coeficientes de pressão e de força

Os coeficientes de pressão e força são aplicados no dimensionamento da ação do vento com o intuito de se determinar os coeficientes aerodinâmicos adaptados às construções, em síntese, os coeficientes aerodinâmicos são eleitos de acordo com a construção em causa.

De acordo com a regulamentação os coeficientes aerodinâmicos estão divididos em coeficientes de pressão interior e exterior, coeficientes de pressão resultante, coeficientes de atrito e coeficientes de força. No âmbito deste trabalho apenas se torna significativo abordar os coeficientes de pressão exterior e interior.

7.1.7.1. Coeficientes de pressão interior e exterior

Os coeficientes de pressão interior, conforme o nome indica, apontam os efeitos do vento sobre as superfícies interiores dos edifícios, de igual maneira, os coeficientes de pressão exterior apontam os efeitos do vento sobre as superfícies exteriores dos edifícios.

Os coeficientes de pressão interior e exterior deverão ser determinados de acordo com a geometria da construção.

Os coeficientes de pressão exterior são fornecidos para superfícies carregadas, A , de 1 m^2 e de 10 m^2 , sendo representados por coeficientes locais, $c_{pe,1}$, e por coeficientes globais, $c_{pe,10}$. Os coeficientes locais destinam-se ao cálculo de elementos de pequena dimensão e de ligações com uma área igual ou inferior a 1 m^2 , como elementos de revestimento e elementos de cobertura (26). Os coeficientes globais são utilizados para o cálculo da estrutura resistente global dos edifícios (26). O procedimento indicado, para o cálculo dos coeficientes de pressão

exterior, para superfícies carregadas até 10 m² é indicado na Figura 60 e obtido através da equação 33.

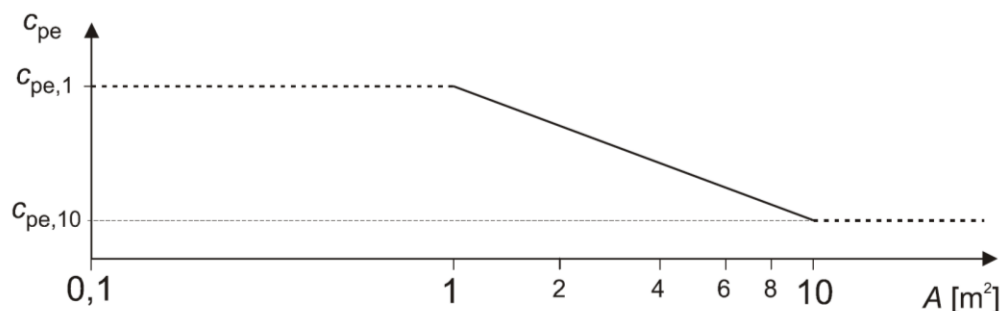


Figura 60 - Procedimento recomendado para a determinação do coeficiente de pressão exterior em edifícios, para uma superfície carregada, A, compreendida entre 1m² e 10 m², (26).

$$C_{pe} = C_{pe,1} - (C_{pe,1} - C_{pe,10}) \log_{10} A \quad 33$$

Para determinar os coeficientes de pressão, e de modo a quantificar os valores para cada situação, evidencia-se na Tabela 14 a respetiva localização no *Eurocódigo 1, parte 1- 4*, (26).

Valores recomendados dos coeficientes de pressão exterior, c_{pe}	Localização no Eurocódigo 1, parte 1- 4
Paredes verticais de edifícios de planta retangular	Quadro 7.1
Coberturas em terraço	Quadro 7.2
Coberturas de uma vertente, direção do vento $\theta = 0^\circ$ e $\theta = 180^\circ$	Quadro 7.3a
Coberturas de uma vertente, direção do vento $\theta = 90^\circ$	Quadro 7.3b
Coberturas de duas vertentes, direção do vento $\theta = 0^\circ$	Quadro 7.4a
Coberturas de duas vertentes, direção do vento $\theta = 90^\circ$	Quadro 7.4b
Coberturas de quatro vertentes	Quadro 7.5
Coberturas múltiplas, com direções do vento 0° 90° e 180°	Quantificados para cada nave individualmente (situações anteriores)
Coberturas em abóbada e cúpulas	Figura 7.11 e Figura 7.12

Tabela 14 - Valores recomendados dos coeficientes de pressão exterior e localização Eurocódigo 1, parte 1- 4

7.2. Quantificação da ação do vento para o exemplo em estudo

Neste subcapítulo é quantificada a pressão exercida pelo vento nas placas de revestimento do edifício em análise.

A pressão exercida pelo vento nas superfícies exteriores, equação 14, depende da pressão dinâmica de pico, qp , e do coeficiente de pressão para a pressão exterior, Cpe .

A pressão dinâmica de pico, (equação 26), relaciona o coeficiente de exposição, Ce , e a pressão dinâmica de referência, qb .

O coeficiente de exposição, $Ce(Ze)$, assume o valor de 3,65 em função da altura acima do solo, 32,5 metros, e da categoria do terreno, ver Figura 58. O edifício localiza-se junto à orla marítima pelo que está inserido na categoria de terreno I, ver Tabela 13.

A pressão dinâmica de referência é obtida através da equação 25, em que o valor recomendado para a massa volúmica do ar, ρ , é igual a 1,25 kg/m³ e o valor de referência da velocidade do vento, v_b , é igual a 30 m/s, ver Tabela 12.

Com efeito, a pressão dinâmica de referência, é traduzida a partir da expressão 34.

$$qb = \frac{1}{2} \times 1,25 \times 30^2 = 562,5Pa \quad 34$$

Conhecida a pressão dinâmica de referência e o coeficiente de exposição é possível determinar a pressão dinâmica de pico, ver expressão 35.

$$qp(Ze) = 3,65 \times 562,5 = 2053,12Pa = 2,05kPa \quad 35$$

7.2.1. Coeficiente de pressão interior

Para o exemplo em estudo assume-se que o coeficiente de pressão interior, cpi , é nulo. Esta situação ocorre em edifícios industriais com pouca ou quase nenhuma fenestração.

7.2.2. Coeficiente de pressão exterior

Para quantificar o coeficiente de pressão exterior, C_{pe} , a cobertura do edifício, inclinada com duas pendentes, considera-se o ângulo de incidência do vento igual a 0° ou a 90° , conforme a Tabela 14.

De acordo com o Eurocódigo 1, parte 1-4, (26), o coeficiente de pressão exterior para coberturas de duas vertentes cuja direção do vento é 0° é obtido do quadro 7.4.a, Anexo A, para cada zona na cobertura e para elementos com áreas entre 1m^2 e 10m^2 , $C_{pe,1}$ e $C_{pe,10}$, respetivamente.

A inclinação da cobertura está representada na Figura 61.

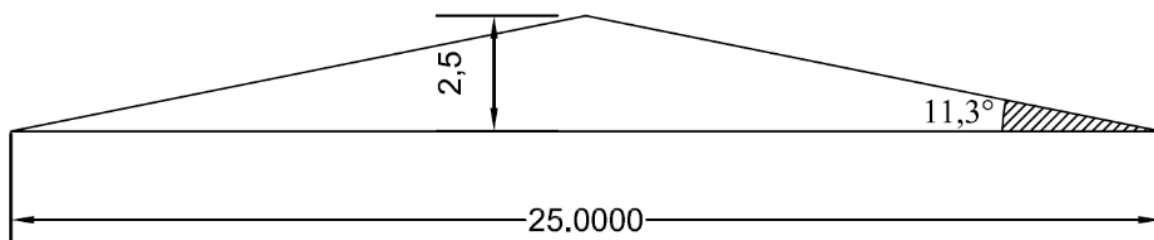


Figura 61 - Inclinação da pendente de cobertura

Para uma direção do vento igual a 0° , o Eurocódigo 1, parte 1-4, (26), considera a cobertura dividida em cinco zonas, como mostra a Figura 62, sendo necessário analisar qual a zona mais desfavorável.

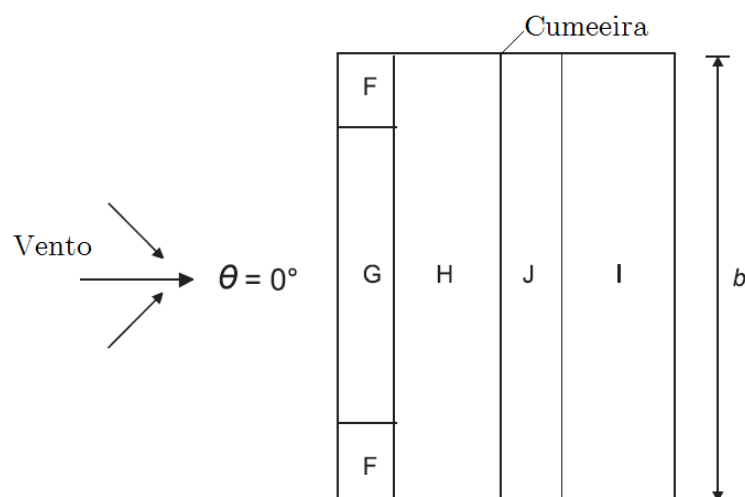


Figura 62 – Cobertura de duas vertentes com direção do vento 0°

Os valores do coeficiente de pressão exterior para cada zona são obtidos através da equação 33 e estão indicados para as respetivas zonas na Tabela 15.

Quadro 7.4.a Direção do vento 0°		
C _{pe}		
Zona F	-1,08	Zona gravosa
Zona G	-0,913	
Zona H	-0,30	
Zona I	-0,40	
Zona J	-1,08	Zona gravosa

Tabela 15 – Zona mais gravosa com direção do vento 0°

Pode-se concluir que com o vento incidindo a 0° existem duas zonas igualmente críticas, a zona F e a zona J.

Para uma direção do vento igual a 90° , o Eurocódigo 1, parte 1-4, (26), considera a cobertura dividida em quatro zonas, como mostra a Figura 63, existindo igualmente a necessidade de se analisar qual a zona mais desfavorável. O coeficiente de pressão exterior para coberturas de duas vertentes e para uma direção do vento igual a 90° , é indicado no quadro 7.4.b, (26), Anexo B.

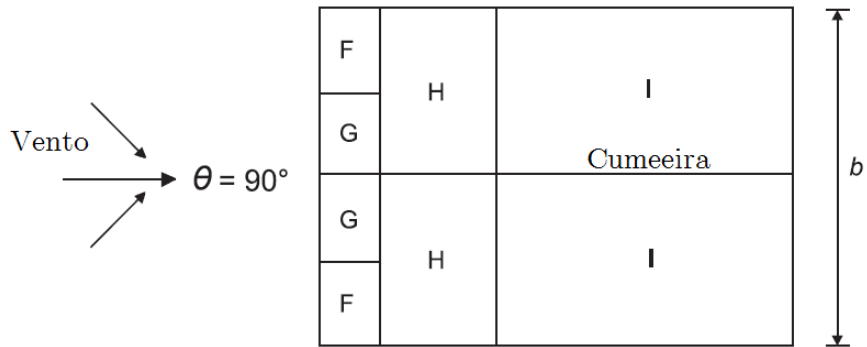


Figura 63 - Cobertura de duas vertentes com direção do vento 90°

Os valores do coeficiente de pressão exterior para cada zona são obtidos através da equação 33 e estão indicados para as respectivas zonas na Tabela 16.

Quadro 7.4.b Direção do vento 90°		
C _{pe}		
Zona F	-1,41	Zona gravosa
Zona G	-1,41	Zona gravosa
Zona H	-0,7	
Zona I	-0,5	

Tabela 16 - Zona mais gravosa com direção do vento 90°

De acordo com a análise efetuada para identificar que a direção do vento mais desfavorável é a direção igual a 90° , pois os valores de coeficiente pressão exterior são mais gravosos.

Quantifica-se assim a pressão exercida pelo vento na cobertura:

$$w_e = 2,05 \times (-1,41) = -2,89 \text{ KN} / \text{m}^2$$

A pressão de sucção exercida pelo vento na cobertura é então majorada no sentido de se considerar a ação mais desfavorável (equação 36).

$$w_{sd} = \gamma_f \times w_e \quad 36$$

O coeficiente, γ_f , é um coeficiente parcial relativo às ações, que tem em conta a possibilidade de desvios desfavoráveis dos valores das ações em relação aos valores representativos, (27).

Este coeficiente de majoração assume um valor igual a 1,5, (27).

A pressão de sucção solicitante de cálculo é assim igual a 4,34 kN/m², tendo em conta o valor da pressão exercida de sucção em módulo, isto é, assumindo o valor positivo.

O valor da pressão de sucção solicitante é possível transpor por metro, isto é, uma carga distribuída uniformemente linear na cobertura (equação 37)

$$w_{sd} / ml = 4,34KN / m \quad 37$$

7.3. Caleira

As caleiras são realizadas em zinco tal como o material usado nas chapas do sistema de cobertura. Este dispositivo de drenagem terá geometria retangular e serão caleiras de beiral, isto é, apoiadas em escáfulas metálicas à vista.

7.3.1. Dimensionamento da caleira

De modo a dimensionar a caleira é necessário avaliar a pressão média máxima do local a implementar este órgão de drenagem.

A precipitação média máxima é calculada de acordo com a equação 2 do RGSPP, (16), assumindo um tempo de retorno mínimo igual a 5 anos, pelo facto de se tratar do dimensionamento hidráulico de uma rede predial de drenagem pluvial. A duração de precipitação é igual, nas mesmas condições, a 5 minutos. Assim obtém-se uma precipitação média máxima de 104,93 mm/h/m², conforme expressão 38.

$$I = 259,26 \times 5^{-0.562} = 104,93mm / h / m^2 \quad 38$$

Uma vez que a cobertura dispõe de duas vertentes a área de contribuição do caudal de cálculo é igual a metade a área de cobertura (expressão 39).

$$A_{contribuição} = 12,5 \times 50 = 625m^2 \quad 39$$

Deste modo o caudal de cálculo é igual a $0,01822 \text{ m}^3/\text{s}$, (expressão 40).

$$Q_{cálculo} = \frac{1 \times 104,93 \times 625}{3600} = 18,22l / s = 0,01822m^3 / s \quad 40$$

Para o dimensionamento das caldeiras foi adotado uma inclinação de 1% e uma constante de rugosidade do zinco de $130 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$.

Foi adotada uma altura de lâmina de água de 0,05 metros (Figura 64). Com estes dados e recorrendo à equação 4, a sua substituição permite encontrar um valor mínimo, b, para a largura da caldeira. Conforme se explicita na expressão 41.

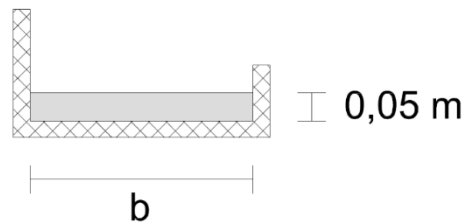


Figura 64 - Dimensionamento da caldeira

$$0,01848 = 130 \times (b \times 0,05) \times \left(\frac{b \times 0,05}{b + 2 \times 0,05} \right)^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{0,01} \approx b = 0,26m \quad 41$$

Conhecidas as dimensões da caldeira é necessário verificar se as mesmas garantem que o caudal efetivo, ou seja, aquele que é assegurado pela caldeira, é superior ao caudal de cálculo, (expressão 42).

$$Q_{efetivo} = 130 \times (0,26 \times 0,05) \times \left(\frac{0,26 \times 0,05}{0,26 + 2 \times 0,05} \right)^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{0,01} = 0,01846m^3 / s \quad 42$$

Verifica-se que a capacidade de escoamento da caldeira satisfaz o valor do caudal de cálculo. Como se referiu anteriormente a altura da lâmina de água não pode ser superior a 70% da altura da caldeira. Assim, conforme a Figura 65 as dimensões da caldeira são 0,15 metros de altura e 0,26 metros de largura.

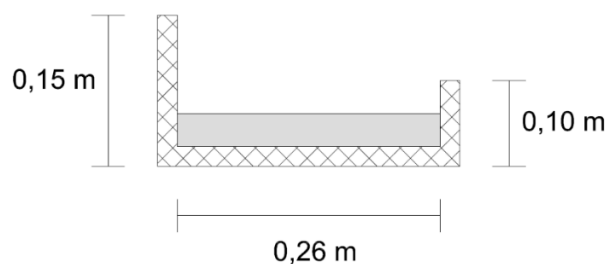


Figura 65 – Dimensões da calreira em estudo

Na Figura 66 ilustra-se a calreira, aplicada ao edifício em estudo, com uma lâmina de água de 0,05 metros. A fixação da calreira faz-se a partir de escápuas retangulares fixadas à estrutura resistente e afastadas a 5 metros entre si.

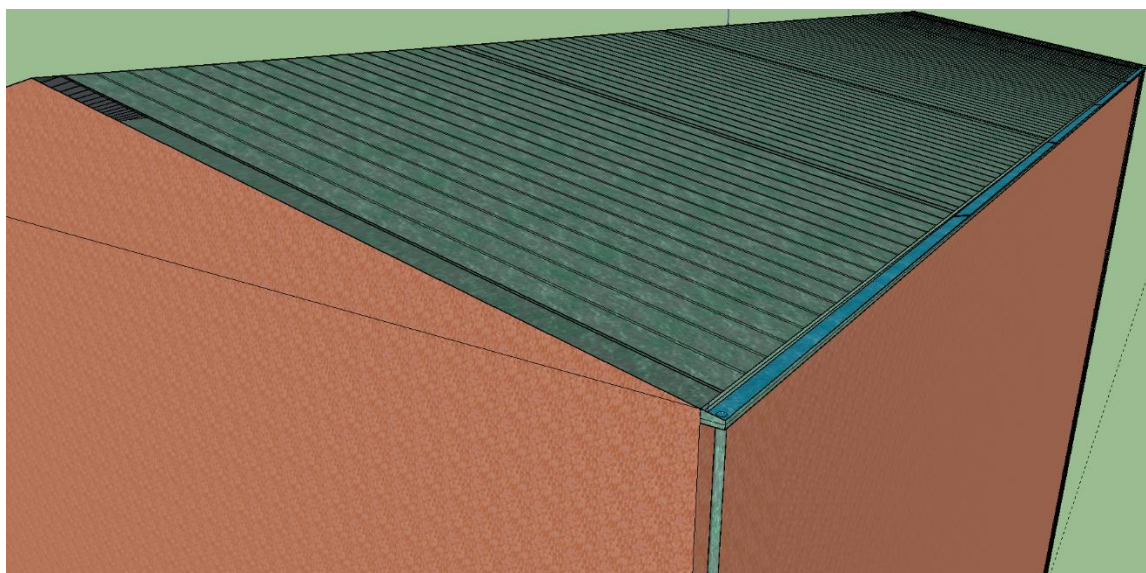


Figura 66 – Calreira do edifício em estudo

7.3.2. Verificação da calreira à flexão

Concluído o dimensionamento da calreira é necessário verificar a mesma à flexão. A flexão é a solicitação que tende a provocar deformação nas peças, isto é, curvar os elementos. Uma vez que a calreira constitui um dos dispositivos da rede de drenagem, o seu mau funcionamento poderá colocar em risco todo o sistema de escoamento de águas provenientes da cobertura.

Uma das hipóteses para calcular a flexão na caleira é através da fórmula da tensão normal, (28), equação 43,

$$\sigma = \frac{M}{I} \times y \quad 43$$

onde:

M - Momento fletor;

I - Momento de inércia;

y – distância do centro de gravidade ao eixo condicionante.

Para o cálculo do momento fletor na caleira é necessário quantificar a carga assente na mesma, isto é, o peso da água e o próprio peso da caleira. O peso da água, para a caleira em estudo é igual a 0,127 kN/m, uma vez que o peso específico da água é de 9,8 kN/m³, (expressão 44).

$$PEd_{\text{água}} = (0,26 \times 0,05) \times 9,8 = 0,127 \text{ kN / m} \quad 44$$

O peso próprio, PP, da caleira é obtido pela multiplicação entre o peso específico do zinco, Tabela 1, e pela área da caleira. De acordo com a Figura 65 e admitindo uma espessura de zinco de 2 milímetros, a área da caleira do edifício em estudo é igual a 10,2 cm². O peso próprio da caleira é igual a 0,0073 kN/m (expressão 45).

$$PP_{\text{caleira}} = (10,2 \times 10^{-4}) \times 7140 = 7,3 \text{ kg / m} = 0,0073 \text{ kN / m} \quad 45$$

As cargas na caleira são majoradas para estados limites últimos, em que para ações permanentes desfavoráveis o coeficiente de majoração é igual a 1,35, e para ações variáveis permanentes o coeficiente de majoração é igual a 1,5, (27). Deste modo, a carga na caleira é igual a 0,20 kN/m (Expressão 46).

$$Carg a_{\text{Caleira } q} = 1,35 \times 0,0073 + 1,5 \times 0,127 = 0,20 \text{ kN / m} \quad 46$$

Em suma, o momento fletor para vigas contínuas é obtido através da equação 47, (28),

$$M_{sd} = \frac{p \times l^2}{8}$$

47

onde:

p – Carga;

l – Vão de cálculo.

O vão de cálculo é de 5 metros, uma vez que os elementos de fixação da caleira, escápuas, estão afastados entre si a 5 metros. Não existe regulamentação que especifique a distância máxima para estes elementos, pelo que este valor foi adotado empiricamente por conhecimentos de aplicação na construção.

O momento fletor para a carga na caleira é igual a 0,625 kN/m.

Ainda na verificação da caleira à flexão, é necessário quantificar o momento de inércia. O momento de inércia mede a distribuição da massa de um corpo em torno de um eixo de rotação, o eixo neutro.

A caleira em estudo pode ser dividida em três secções retangulares distintas, como mostra a Figura 67. Uma vez que as secções são de geometria retangular, com largura b e altura h , a inércia de cada secção é obtida a partir da equação 48, (28),

$$I = \frac{b \times h^3}{12}$$

48

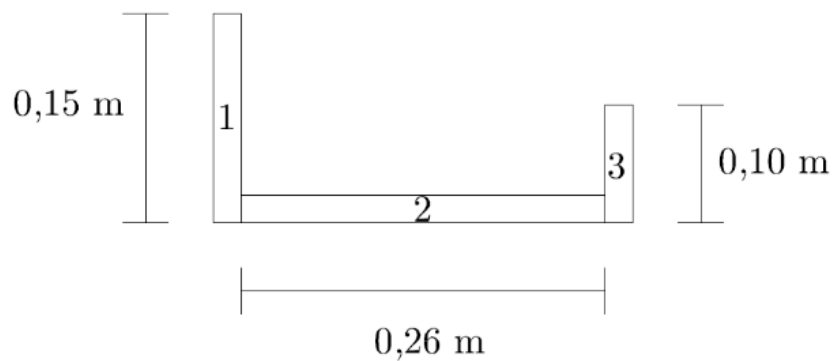


Figura 67 – Secções retangulares da caleira em estudo

O momento de inércia para a calreira em estudo é igual a $292,95 \text{ cm}^4$, conforme expressão 49.

$$I = \frac{15 \times 0,2^3}{12} + \frac{0,2 \times 26^3}{12} + \frac{10 \times 0,2^3}{12} = 292,95 \text{ cm}^4 \quad 49$$

O centro de gravidade, x_G e y_G , é obtido a partir do quociente entre os momentos estáticos em relação a cada eixo baricêntrico e a área da secção.

O momento estático em relação ao eixo do y é igual a $121,5 \text{ cm}^3$, de igual forma, o momento estático em relação ao eixo do x é igual a $37,7 \text{ cm}^3$, ver Anexo C.

Por tudo isto, o centro de gravidade, x_G e y_G é de $11,9 \text{ cm}$ e $3,7 \text{ cm}$ respectivamente, tal como se mostra na Figura 68, (Anexo C).

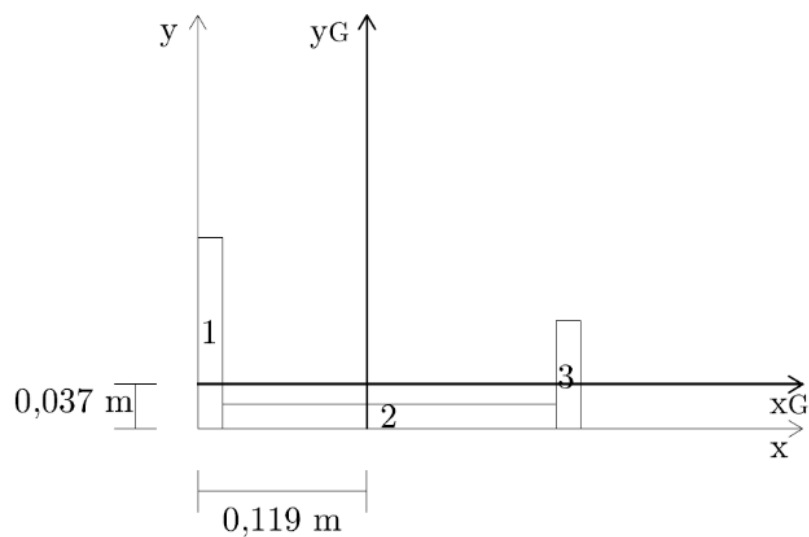


Figura 68 – Centro de gravidade da calreira

Note-se que a tensão na calreira é dada através da expressão 50.

$$\sigma = \frac{0,625}{292,95 \times 10^{-8}} \times 3,7 \times 10^{-2} = 7893,8 \text{ kPa} \quad 50$$

Em suma, a calreira resiste à flexão, conforme evidenciado na expressão 51, onde se mostra que a tensão da rotura do zinco é superior à tensão instalada na calreira.

$$130 \text{ MPa} \geq 7,9 \text{ MPa} \quad 51$$

7.3.3. Verificação da flecha na caleira

É relevante considerar a verificação da flecha na caleira de modo a assegurar que a deformação do elemento não prejudica o seu correto funcionamento ou o seu aspeto. Os valores limites são estabelecidos de acordo com a natureza e a função da estrutura.

Os valores recomendados para os limites dos deslocamentos verticais é obtida através do quadro NA.I e na Figura NA.I do Eurocódigo 3, parte 1-1, (29), ver anexo D. Para uma cobertura em geral o valor da flecha é limitado a $L/200$, para a flecha no estado final relativamente à linha reta que une os apoios, e a $L/250$ para a variação da flecha da viga devida à ação variável de base associada aos valores de combinação das restantes ações variáveis, em que L representa o vão.

Existem fórmulas simplificadas para obter a flecha de acordo com a estrutura em estudo, modelo de ações e hipóteses de sustentação. A estrutura em estudo trata-se de uma caleira, podendo igualar-se ao estudo de uma viga composta por 10 tramos, cada um com 5 metros. Quanto à hipótese de carga, trata-se de uma carga uniformemente distribuída ao longo da sua extensão. As hipóteses de sustentação passam por apoio simples e encastramento perfeito nas extremidades da caleira, Figura 69, e nos restantes tramos por encastramento perfeito, Figura 70.

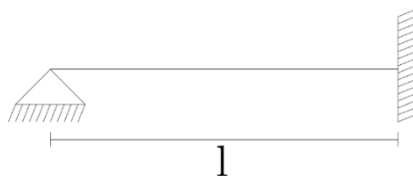


Figura 69 – Apoio simples e encastramento perfeito

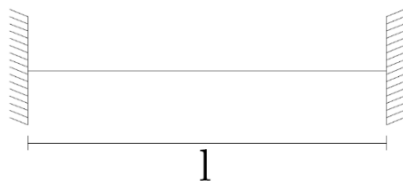


Figura 70 – Encastramento perfeito

De acordo com as tabelas técnicas, (28), a flecha para apoio simples e encastramento perfeito é obtida através da equação 52,

$$\delta = \frac{1}{184,6} \frac{pl^4}{EI} \quad 52$$

onde:

E – Módulo de elasticidade. O módulo de elasticidade para o zinco é igual a 108 GPa, conforme Tabela 1.

A flecha máxima para os tramos das extremidades é de 2,14 milímetros, conforme expressão 53.

$$\delta = \frac{1}{184,6} \frac{0,20 \times 5^4}{108000 \times 292,95 \times 10^{-8}} = 0,00214m = 2,14mm \quad 53$$

A flecha máxima para encastramentos perfeitos e para cargas uniformemente distribuídas é obtida através da equação 54, (28).

$$\delta = \frac{1}{384} \frac{pl^4}{EI} \quad 54$$

A flecha nos tramos centrais é de 1,03 milímetros, conforme expressão 55.

$$\delta = \frac{1}{384} \frac{0,20 \times 5^4}{108000 \times 292,95 \times 10^{-8}} = 0,00103m = 1,03mm \quad 55$$

Para o caso em estudo a flecha máxima é limitada a 0,02 metros, Expressão 56. Uma vez que a flecha de cálculo para cada tramo está muito além dos valores impostos, é garantida a sua verificação.

$$\delta_{máx} = \frac{L}{250} = \frac{5}{250} = 0,02m \quad 56$$

Na Figura 71 mostra-se a flecha existente ao longo da caleira.

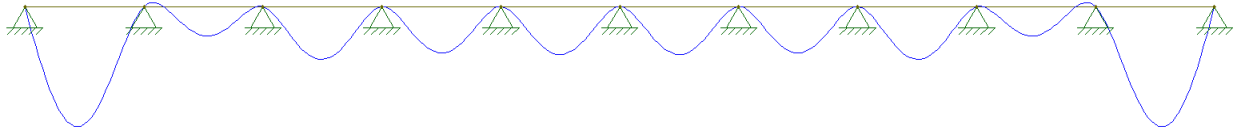


Figura 71 - Flecha na caleira

7.4. Tubo de queda

Para os tubos de queda é adotado também o zinco como material constituinte. Os tubos de queda serão de geometria circular e entrada em aresta viva. Uma vez que não existe regulamentação quanto ao comprimento máximo para fixar tubos de queda ao elemento estrutural, entendeu-se que este não devia ser superior a 3 metros, pelo que foram dispostas 10 braçadeiras para o edifício em estudo.

7.4.1. Dimensionamento do tubo de queda

No dimensionamento destes elementos o caudal de cálculo será o caudal para o qual a caleira está dimensionada, ou seja, considerando uma altura para a lâmina de água igual a 0,05 m. Com recurso à equação 12 pode-se obter uma fórmula direta para determinar o diâmetro dos tubos de queda. Esta dedução é efetuada com base no modelo de cálculo fornecido pelo RGSPP, (16), e justifica a origem da equação 13, em que:

$$Q = \left(\alpha + \beta \frac{H}{D} \right) \pi D H \sqrt{2gH}$$

$$\Leftrightarrow Q = \alpha \pi D H \sqrt{2gH} + \beta \frac{H}{D} \pi D H \sqrt{2gH}$$

$$\Leftrightarrow Q = \alpha \pi D H \sqrt{2gH} + \beta \pi H^2 \sqrt{2gH}$$

$$\Leftrightarrow Q - \beta \pi H^2 \sqrt{2gH} = \alpha \pi D H \sqrt{2gH}$$

$$\Leftrightarrow \alpha \pi D H \sqrt{2gH} = Q - \beta \pi H^2 \sqrt{2gH}$$

$$\Leftrightarrow D = \frac{Q}{\alpha \pi H \sqrt{2gH}} - \frac{\beta H}{\alpha}$$

Assim e com recurso à equação 13, tem-se que:

$$D = \frac{\left(\frac{0,01848}{2}\right)}{0,453 \times \pi \times 0,05 \sqrt{2 \times 9,8 \times 0,05}} - \frac{0,350 \times 0,05}{0,453} = 0,0925m \approx 93mm \quad 57$$

De acordo com catálogos comerciais o diâmetro do tubo de queda mais aproximado do diâmetro de cálculo será de 95 mm.

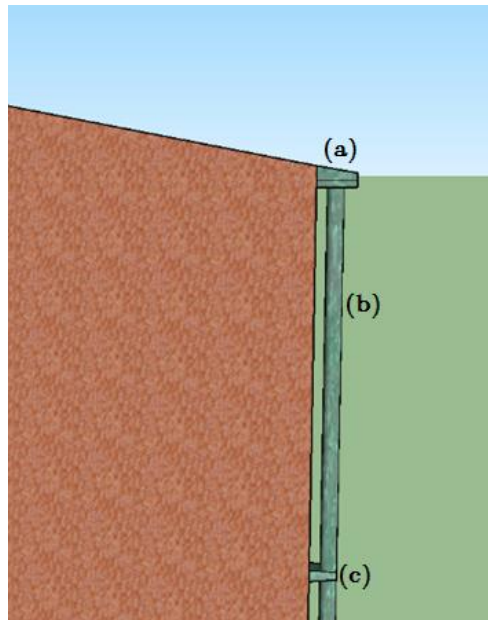


Figura 72 – Tubo de queda no edifício em estudo, (a) - Caldeira retangular, (b) – Tubo de queda circular e (c) – Braçadeira circular

7.5. Dimensionamento da espessura da chapa e dos parafusos

O momento fletor solicitante de cálculo, M_{sd} , para uma estrutura simplesmente apoiada, como é caso das chapas de cobertura, é obtido através da equação 58, (28),

$$M_{sd} = \frac{p \times l^2}{8} \quad 58$$

O momento fletor solicitante é igual a 0,164 kN.m/m.

O momento fletor resistente de cálculo, Mrd , tem que ser igual ou superior ao momento fletor solicitante, Msd . O Msd representa a ação, por metro, a que a cobertura está sujeita.

O momento fletor resistente de cálculo pode ser obtido através da equação 59, (28),

$$Mrd = \frac{Wpl \times f_0^2}{\gamma_{M0}} \quad 59$$

onde:

Wpl - Módulo de flexão plástico da secção. Este coeficiente pode ser obtido através da equação 60, onde t simboliza a espessura da chapa.

f_0 - Tensão de rotura do material;

γ_{M0} - Coeficiente parcial relativo a uma propriedade do material, assegura também incertezas de modelação e desvios de dimensões, (27). Este coeficiente é igual a 1,1 de acordo com Eurocódigo 0, (27).

$$Wpl = \frac{1 \times t^2}{4} \quad 60$$

A espessura da chapa de zinco da cobertura pode ser obtida através da equação 61, obtendo-se assim uma espessura de 2,35 milímetros, sendo que foi adotado como tensão de rotura do zinco 130 MPa, (Tabela 1). A espessura da placa de zinco foi aproximada para a unidade, por excesso, obtendo-se assim uma espessura de 3 milímetros.

$$t \geq \sqrt{\frac{Msd \times \gamma_{M0} \times 4}{f_0}} \quad 61$$

De modo a não provocar a deformação da chapa é importante definir a distância entre os parafusos de fixação da mesma e para isso conhecer a ação de corte que atua por metro de desenvolvimento na placa de revestimento, conforme Figura 73.

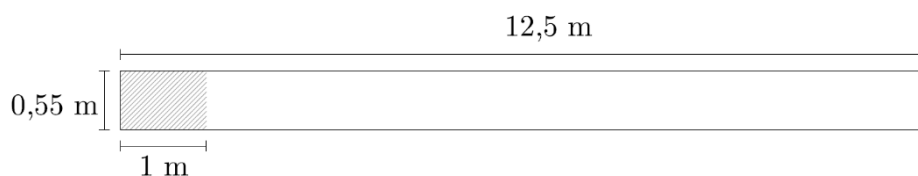


Figura 73 – Chapa de cobertura em zinco

De modo a simplificar o cálculo, considera-se que a chapa de cobertura se trata de uma laje simplesmente apoiada, sendo que a reação no apoio é dada pela equação 62, (28), (Figura 74). Obtém-se assim uma reação no apoio igual a 1,2 kN/m.

$$R_{\text{apoiado}} = \frac{p \times l}{2}$$

62

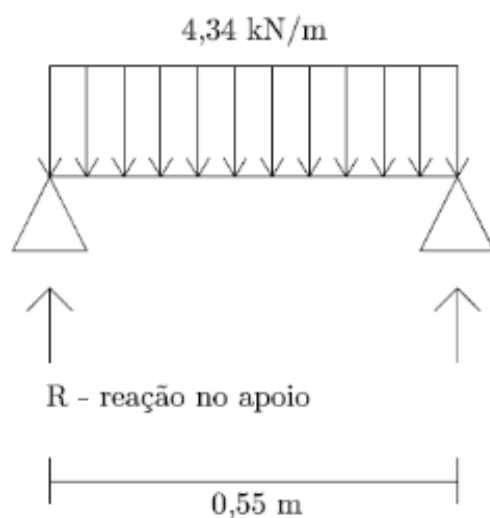


Figura 74 – Reação no apoio

A reação no apoio representa a ação de corte que atua na chapa por metro de desenvolvimento, isto é, a ação que os elementos de fixação têm que garantir de modo a não ocorrer desprendimento da mesma.

Para os elementos de fixação adotou-se presilhas fixas e parafusos M4 de rosca métrica ambos em aço inox, conforme secção 0 (Figura 75)

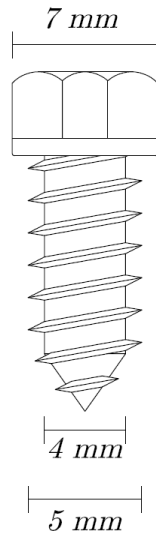


Figura 75 – Parafuso M4

A capacidade resistente de cada parafuso é calculada através da equação 63, (29), onde:

$$N_{Rd} = \frac{f_0 \times A_s}{\gamma_M} \quad 63$$

A_s – Representa a área de cada parafuso, obtida através da equação da área do círculo (equação 64).

$$A_{parafuso} = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad 64$$

Admitindo que para os elementos em aço inox se utiliza a classe 40, designação segundo ASTM A955, (30), a tensão de rotura é de 300 MPa.

A capacidade resistente do parafuso é assim igual a 3,44 kN, conforme indicado na expressão 65. Em suma, os parafusos resistem à tração uma vez que a sua capacidade resistente é superior à ação na chapa, 1,2 kN/m.

$$N_{rd} = \frac{300 \times 12,6}{1,1 \times 1000} = 3,44 \text{ kN} \quad 65$$

7.5.1. Resistência das presilhas na zona da cabeça do parafuso e ao corte

Ainda no dimensionamento da placa de revestimento e dos elementos de fixação é importante verificar a resistência das presilhas na zona da cabeça do parafuso e ao corte.

A zona das presilhas onde estão inseridos os elementos de furação requer especial atenção uma vez que é nesta zona que existe maior concentração de tensões. Por tudo isto, a faixa mais solicitada é onde estão inseridas as presilhas, podendo originar destacamentos.

A resistência das presilhas na zona da cabeça do parafuso e ao corte é obtida através da equação 66, (29),

$$V_{rd} = \frac{\pi \times D_0 \times t \times \frac{f_0}{\sqrt{3}}}{\gamma_M} \geq N_{sd} / \text{parafuso} \quad 66$$

onde:

D_0 - Diâmetro do furo;

t - Espessura das presilhas, sendo que foi adotada a mesma espessura que as placas de revestimento, ou seja, 3 milímetros.

Os parafusos M4, conforme Figura 75, admitem um diâmetro do furo de 5 milímetros.

Assim obtém-se uma resistência das presilhas de 3,21 kN, conforme expressão 67.

$$V_{rd} = \frac{\pi \times 5 \times 3 \times \frac{130}{\sqrt{3}}}{1,1} = 3215,4kN = 3,21kN \quad 67$$

De modo a verificar a resistência das presilhas na zona da cabeça do parafuso e ao corte, a sua resistência tem que ser superior à resistência do parafuso num determinado afastamento, isto é, a capacidade resistente que um parafuso apresenta de modo isolado à ação de corte que atua na chapa por metro de desenvolvimento. Admitindo um afastamento entre parafusos igual ao vão de cálculo, isto é, de 0,55 m, tem-se que:

$$N_{sd} / \text{parafuso} = 4,35 \times 0,55 \times 0,55 = 1,31kN \quad 68$$

Como a resistência das presilhas ao corte, V_{rd} , é superior ao $N_{sd}/\text{parafuso}$, equação 68, verifica-se assim a resistência das presilhas ao corte e na zona da cabeça do parafuso.

8. CONCLUSÃO

O presente trabalho, partindo do projeto até à sua conclusão, obrigou-me a uma exaustiva busca de elementos, não só porque a técnica de colocação de fachadas e coberturas em zinco e cobre, é uma técnica em crescimento, com poucas empresas devidamente credenciadas mas também porque existe pouca prática do mercado na sua aplicabilidade.

Desde logo, deparei-me com a falta de regulamentação específica, designadamente sobre comprimentos máximos, largura, inclinação e elementos de fixação, no que se refere às chapas. Não existe regulamentação portuguesa sobre este tipo de revestimento e, no que toca a técnicas e legislação, as empresas baseiam-se essencialmente no conhecimento sobre o que se faz em outros países da Europa, onde o emprego destes materiais, como técnicas de revestimento, já é mais evoluído, como em França e na Bélgica.

Existe a necessidade de criar regulamentação em Portugal para este tipo de sistemas de revestimento de forma a simplificar a sua abordagem e conhecimento nas diferentes fases de obra, principalmente no dimensionamento e aplicação.

Em Portugal, a empresa que domina a utilização de zinco é a VMZinc do grupo Umicore, um grupo multinacional sediado em Bruxelas, que atua na área dos metais. Esta empresa utiliza fundamentalmente estudos desenvolvidos em França e Bélgica, para proceder à aplicação, do mesmo modo, em Portugal.

É de extrema importância salientar e divulgar os aspetos positivos da aplicabilidade deste tipo de estruturas, quer do ponto de vista económico, de salubridade e de facilidade de fabrico e colocação, como forma de responder à crescente necessidade de evolução, em termos construtivos, no panorama habitacional. De realçar, igualmente, a sua importância na reabilitação de imóveis, quer do âmbito habitacional como também em edifícios públicos, designadamente em recintos desportivos, recreativos e culturais.

9. REFERÊNCIAS

1. Jesus, Christiano Romanholo Marques de. *Zinco e as suas aplicações na Engenharia Civil*. Salvador : Universidade Salvador - Departamento de Engenharia e Arquitetura, 2011.
2. Wiki.br. [Online] <http://wiki.advfn.com/pt/>.
3. Tabela Periódica Completa. [Online] [Citação: 2014 de 5 de 22.] <http://www.tabelaperiodicacompleta.com/elemento-quimico/zinco>.
4. MSPC. [Online] [Citação: 23 de 5 de 2014.] http://www.mspc.eng.br/quim1/quim1_030.asp.
5. Zincopper. *Zincopper*. [Online] <http://www.zincopper.com/>.
6. VMZinc. [Online] <http://www.vMZinc.pt/o-material/durabilidade45.html>.
7. *ZINCOPPER*. [Online] [Citação: 7 de 6 de 2014.] <http://www.zincopper.com/produtos.php>.
8. MSPC. [Online] [Citação: 23 de 5 de 2014.] http://www.mspc.eng.br/quim1/quim1_029.shtml.
9. Pereira, Daniel Dayrell. *Recuperação de zinco presente em efluentes industriais e produzidos pela votorantim metais unidade três marias utilizando-se a técnica líquido-líquido*. Belo Horizonte, : Escola de Engenharia da UFMG, 2006.
10. wikipedia. [Online] [Citação: 2014 de 5 de 26.] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Zinco>.
11. César Luiz Canata Júnior. UFPR. [Online] [Citação: 2014 de 5 de 27.] <http://www.eletrica.ufpr.br/piazza/materiais/CesarCanata.pdf>.
12. Internacional Copper Association - Procobre. [Online] [Citação: 28 de 5 de 2014.] <http://procobre.org/pt/>.
13. LAzinco. [Online] <http://lazinco.pai.pt/ms/ms/la-zinco-revestimentos-de-zinco-e-cobre-lda-zinco-4585-590-recarei/ms-90038240-p-2/>.

14. VMZinc. [Online] <http://www.vnzinc.pt/as-nossas-solucoes/recomendacoes/compatibilidade.html>.
15. Escola Superior de Tecnologia de Tomar. *Risco de Ocorrência de Condensações – Método de Glaser*.
16. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. *Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais*.
17. Franco, A. Lencastre e F. M. *Lições de Hidrologia*. s.l. : Fundação para a Ciência e a Tecnologia, 1990.
18. Lança, Pedro. *Física dos Edifícios - Redes Prediais* . s.l. : Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Beja.
19. Pereira, João Pedro Dias de Nunes. *Sistemas prediais não tradicionais de drenagem de águas residuais pluviais*. 2012.
20. VMZinc. *Le Mémento du couvreur zingueur*. 2012.
21. VMZinc . VMZinc - Camarinha. [Online] <http://www.vnzinc.pt/as-nossas-solucoes/cobertura/vnz-camarinha6.html>.
22. VMZinc. VMZinc Junta agrafada. [Online] <http://www.vnzinc.pt/as-nossas-solucoes/cobertura/vnz-junta-agrafada9.html>.
23. VMZinc - VMZ Mozaik. *VMZ Mozaik - Fachadas*.
24. VMZinc . VMZinc Couverture. 2014.
25. European Copper in Architecture Campaign. *Cobiertas de cobre*.
26. CEN - COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. *Eurocódigo 1 - Acções em estruturas - PARTE 1-4 : Acções do Vento*. Bruxelas : IPQ, 2010. EN 1991-1-4.
27. —. *Eurocódigo - Bases para o projecto de estruturas*. Bruxelas : IPQ, 2002. EN 1990:2002.

28. A. Correia dos Reis, M. Brazão Farinha e J.P. Brazão Farinha. *Tabelas Técnicas*. s.l. : Edições Técnicas E.T.L.,L.da, 2008.
29. CEN - COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. *Eurocódigo 3 - Projecto de estruturas de aço, Parte1-1: Regras gerais e regras para edifícios*. Bruxelas : IPQ, 2010. EN 1993-1-1.
30. ASTM International. *Standart Specification for Deformed and Plain Stainless Steel Bars for Concret*. A 955/A 955M-02.
31. ZWM - Metais não ferrosos . [Online] [Citação: 2014 de 5 de 26.] http://www.zwm.com.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=130&Itemid=213&lang=pt.
32. Vieira, Caetano Manuel Martins. *Ação do vento em edifícios altos*. s.l. : Instituto Superior de Engenharia de Lisboa , 2013.
33. Caleiras Torres. [Online] <http://www.caleiratorres.pt/portfolio.html>.
34. Monokapa. [Online] [Citação:] <http://monokapa.com.br/zonas-ou-pontos-singulares-algerozes-e-caleiras/>.
35. *Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, RGSP*.
36. Ipanema Calhas. Ipanema Calhas. [Online] <http://www.calhasipanema.com.br/rufos.html>.
37. VMZinc. *VMZ Junta agrafada - Ficha técnica*.
38. Rolocaleira. Rolocaleira - Fabrico de Caleiras e Componentes. 2007.
39. VMZinc. *VMZinc - Evacuação de águas pluviais*.

ANEXOS

Anexo A – Coeficientes de pressão exterior para coberturas de duas vertentes com direcção do vento igual a 0° , Eurocódigo 1, Parte 1-4, (26).

Quadro 7.4a – Coeficientes de pressão exterior para coberturas de duas vertentes

Ângulo de inclinação α	Zona: Direcção do vento $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

NOTA 1 : Com $\theta = 0^\circ$ e para inclinações entre $\alpha = -5^\circ$ e $\alpha = +45^\circ$, a pressão varia rapidamente entre valores positivos e negativos na vertente virada a barlavento, razão pela qual são fornecidos valores positivos e negativos. Para estas coberturas deverão ser considerados quatro casos, em que os valores maiores ou menores em todas as áreas F, G e H são combinados com os valores maiores ou menores nas áreas I e J. Não é permitida a mistura, numa mesma vertente, de valores positivos com valores negativos.

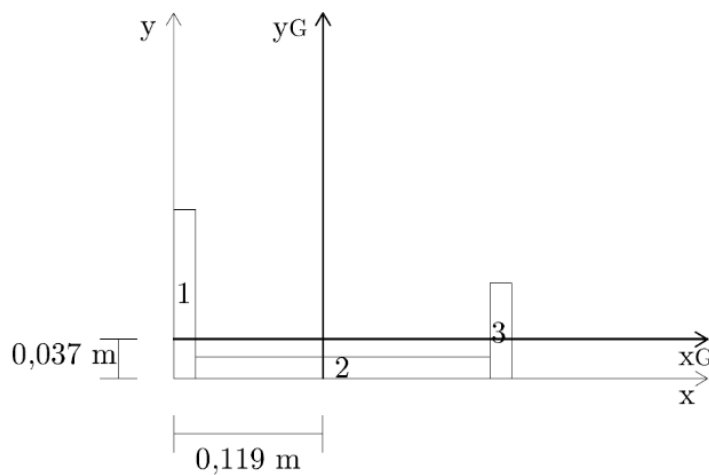
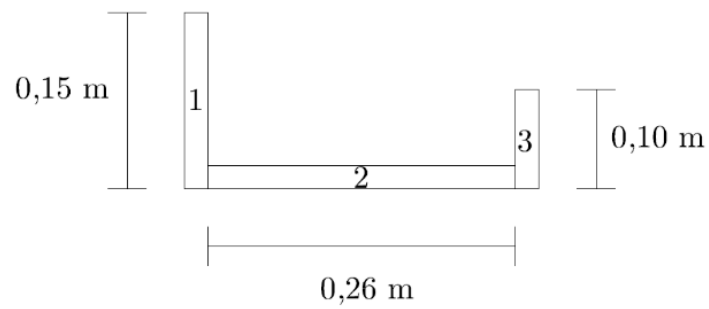
NOTA 2 : Para ângulos de inclinação intermédios entre ângulos com o mesmo sinal, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre valores com o mesmo sinal. (Não efectuar interpolação entre $\alpha = +5^\circ$ e $\alpha = -5^\circ$, mas antes utilizar os valores relativos às coberturas em terraço indicados em 7.2.3). Os valores iguais a 0,0 são fornecidos para efeitos de interpolação.

Anexo B - Coeficientes de pressão exterior para coberturas de duas vertentes com direcção do vento igual a 90° , Eurocódigo 1, Parte 1-4, (26).

Quadro 7.4b – Coeficientes de pressão exterior para coberturas de duas vertentes

Ângulo de inclinação α	Zona; Direcção do vento $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

Anexo C - Momento estático em relação aos eixos baricêntricos e centro de gravidade.



$$Momento_y = (0,2 \times 15) \times 0,1 + (26 \times 0,2) \times 13,2 + (0,2 \times 10) \times 26,3 = 121,5 \text{ cm}^3$$

$$Momento_x = (0,2 \times 15) \times 7,5 + (26 \times 0,2) \times 1 + (0,2 \times 10) \times 5 = 37,7 \text{ cm}^3$$

$$x_G = \frac{Momento_y}{A} = \frac{121,5}{10,2} = 11,9 \text{ cm}$$

$$y_G = \frac{Momento_x}{A} = \frac{37,7}{10,2} = 3,7 \text{ cm}$$

Anexo D – Valores recomendados para os limites dos deslocamentos verticais, quadro NA.I, Eurocódigo 3, Parte 1-1, (29),

onde:

$\delta_{m\acute{a}x}$ - Flecha no estado final relativamente à linha reta que une os apoios;

δ_0 - Contra-flecha da viga no estado não carregado;

δ_1 - Variação da flecha da viga devido às ações permanente imediatamente após a sua aplicação;

δ_2 - Variação da flecha da viga devido à ação variável de base associada aos valores de combinações das restantes ações variáveis.

Quadro NA.I – Valores recomendados para os limites dos deslocamentos verticais

Condições	Limites (ver a Figura NA.I)	
	δ_{max}	δ_2
Coberturas em geral	L/200	L/250
Coberturas utilizadas frequentemente por pessoas, para além do pessoal de manutenção	L/250	L/300
Pavimentos em geral	L/250	L/300
Pavimentos e coberturas que suportem rebocos ou outros acabamentos frágeis ou divisórias não flexíveis	L/250	L/350
Pavimentos que suportem colunas (a não ser que o deslocamento tenha sido incluído na análise global para o estado limite último)	L/400	L/500
Quando δ_{max} possa afectar o aspecto do edifício	L/250	-

NOTA: No caso geral, L representa o vão da viga. No caso de vigas em consola, L representa duas vezes o vão real da consola.

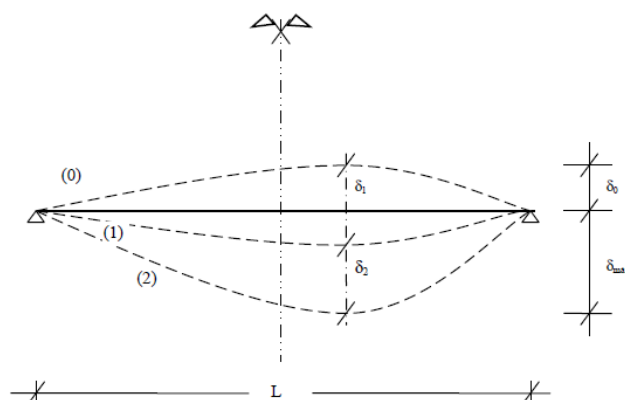


Figura NA.I – Deslocamentos verticais a considerar