

SISTEMAS DE REVESTIMENTO DE FACHADAS EM AÇO

Revisão tecnológica

NELSON VALDEMAR DE SOUSA FERREIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Professor Doutor José Manuel Marques Amorim de Araújo Faria

JULHO DE 2012

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2011/2012

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2011/2012 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

À minha Avó e aos meus Pais

Os Homens Pensam, a Obra avança, o Optimismo Vence

Lecce

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar a minha gratidão às pessoas que mais contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação, nomeadamente:

A toda a minha família, em particular os meus pais e à minha avó, pelo extraordinário apoio e carinho que ofereceram durante toda a minha vida e pelos preciosos valores que me inculcaram.

À minha namorada Joana, sempre do meu lado, pelo apoio e paciência demonstrada durante a realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Amorim Faria, pela dedicação, disponibilidade e preciosa ajuda na orientação deste trabalho.

Aos meus colegas, pelo bom e constante apoio durante o meu percurso académico.

A todas as pessoas, que, direta e indiretamente, me ajudaram ao longo da realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

RESUMO

A presente dissertação surge com a pretensão de realizar uma investigação aprofundada sobre os sistemas de revestimento de fachadas em aço, procurando aprofundar os conhecimentos sobre este tema e contribuir para a dinamização e expansão da utilização destes sistemas em Portugal.

Desenvolve-se numa primeira fase a caracterização dos sistemas construtivos com a descrição dos sistemas mais comuns e a definição das exigências de desempenho a satisfazer.

Numa segunda fase efetua-se o enquadramento normativo e regulamentar europeu relativo aos sistemas em estudo, bem como os regulamentos nacionais aplicáveis no âmbito dos espaços industriais.

Posteriormente é definida a base de mercado existente através da caracterização de exemplos de soluções para cada sistema de revestimento estudado e as especificações de desempenho correspondentes, bem como os cuidados essenciais comuns a todas as soluções na fase de utilização.

Por fim é apresentado um estudo de caso baseado num projeto real de um armazém logístico, sendo apresentado as suas principais características e o projeto de dimensionamento de uma solução de revestimento em aço para as fachadas. É igualmente elaborada a pormenorização construtiva do caso em estudo.

Em anexo são apresentadas as características da solução de revestimento e das madres da fachada, bem como os pormenores construtivos elaborados para o caso em estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Fachada, Revestimento, Aço, Desempenho, Normas, Estudo de caso.

ABSTRACT

This dissertation comes with the intention of performing a thorough investigation about the systems to be used as cladding on steel facades, seeking to further the knowledge about this theme and contribute to the stimulation and expansion of such systems in Portugal.

On a first phase is developed the characterization of the construction systems with the description of the most common systems and the definition of performance requirements to meet.

In the second phase the European standards and regulatory framework is carried out for the systems under study as well the applicable national regulations within industrial spaces.

Subsequently, is defined the basis of the existing market base through the characterization of examples of solutions for each cladding system studied and the corresponding performance specifications, as well the essential care procedures common to all the solutions in the utilisation phase.

At last is presented a case study based on a real project of a logistics warehouse, being presented their main characteristics and the project design of a steel cladding solution for the facades. It is also elaborated the constructive detailing for the case study.

In the annexes are presented the characteristics of the cladding solution and the facade purlins and the construction details drawn for the case in study.

KEYWORDS: Facade, Cladding, Steel, Performance, Standards, Case Study.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVO, ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO	1
1.2. BASES DO TRABALHO DESENVOLVIDO	1
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO	5
2.1. NOÇÕES GERAIS SOBRE SISTEMAS CONSTRUTIVOS	5
2.1.1. ABORDAGEM FUNCIONAL	5
2.1.2. ABORDAGEM CELULAR	6
2.1.3. SISTEMAS DE PRODUÇÃO NOS SISTEMAS DE REVESTIMENTOS EM AÇO	7
2.2. FACHADAS LEVES	9
2.3. DEFINIÇÃO GERAL DO SISTEMA	10
2.4. SOLUÇÕES CORRENTES ARTESANAIS TOTAIS	13
2.4.1. SISTEMAS EM CHAPAS PERFILADAS SIMPLES	13
2.4.2. TIPOS DE PERFIS UTILIZADOS EM SISTEMAS EM CHAPAS PERFILADAS SIMPLES	15
2.4.3. SOLUÇÕES DE ACABAMENTO PARA SISTEMAS EM CHAPAS PERFILADAS SIMPLES	16
2.4.4. SOLUÇÕES DE FIXAÇÃO E SOBREPOSIÇÃO PARA SISTEMAS EM CHAPA PERFILADA SIMPLES	19
2.4.5. JUNTAS E TOLERÂNCIAS	21
2.4.6. COMPONENTES DE INTERFACE DO SISTEMA	23
2.5. SOLUÇÕES CORRENTES PREFABRICADAS	27
2.5.1. SISTEMAS DE PAINÉIS COMPOSTOS	27
2.5.2. SISTEMAS DE FACHADAS	38
2.6. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO	44
2.6.1. DOCUMENTAÇÃO DE REFERÊNCIA	44
2.6.2. DEFINIÇÃO DAS EXIGÊNCIAS	45

3. PRINCIPAIS NORMAS E REGULAMENTOS APLICÁVEIS 63

3.1. INTRODUÇÃO	63
3.2. NORMAS APLICÁVEIS A PRODUTOS	64
3.3. NORMAS APLICÁVEIS A SISTEMAS	66
3.4. APROVAÇÕES TÉCNICAS EUROPEIAS	68
3.5. SEGURANÇA ESTRUTURAL	69
3.6. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS	70
3.7. COMPORTAMENTO ACÚSTICO	72
3.8. COMPORTAMENTO TÉRMICO	73
3.9. EXIGÊNCIAS APLICÁVEIS A INDÚSTRIAS ESPECÍFICAS	74

4. EXEMPLOS DE SOLUÇÕES E ESPECIFICAÇÕES DE DESEMPENHO 73 |

4.1. PESQUISA DE MERCADO	75
4.1.1. ERFI REVESTIMENTOS E PERFILADOS LDA.....	75
4.1.2. KINGSPAN INSULATION LTD.....	75
4.1.3. ALUCOIL S.A.....	75
4.1.4. STEADMANS LTD.....	76
4.1.5. ARCELORMITTAL	76
4.2. SOLUÇÃO EM CHAPA PERFILADA SIMPLES	76
4.2.1. MARCA E SOLUÇÃO ANALISADA	76
4.2.2. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO.....	76
4.2.3. PORMENORES CONSTRUTIVOS	78
4.2.4. ESPECIFICAÇÕES DE DESEMPENHO	80
4.3. SOLUÇÃO EM PAINEL COMPOSTO TIPO SANDWICH	82
4.3.1. MARCA E SOLUÇÃO ANALISADA	82
4.3.2. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO.....	82
4.3.3. PORMENORES CONSTRUTIVOS	84
4.3.4. ESPECIFICAÇÃO DE DESEMPENHO	89
4.4. SOLUÇÃO EM PAINÉIS COMPOSTOS TIPO CASSETE	92
4.4.1. MARCA E SOLUÇÃO ANALISADA	92
4.4.2. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO.....	92
4.4.3. PORMENORES CONSTRUTIVOS	95

4.4.4. ESPECIFICAÇÃO DE DESEMPENHO.....	96
4.5. SOLUÇÃO EM PELE DUPLA COM OU SEM ESPAÇADORES.....	98
4.5.1. MARCA E SOLUÇÃO ANALISADA.....	98
4.5.2. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO.....	98
4.5.3. PORMENORES CONSTRUTIVOS.....	99
4.5.4. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO.....	102
4.6. SOLUÇÃO EM PELE DUPLA COM BANDEJA.....	104
4.6.1. MARCA E SOLUÇÃO ANALISADA.....	104
4.6.2. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO.....	104
4.6.3. PORMENORES CONSTRUTIVOS.....	105
4.6.4. ESPECIFICAÇÕES DE DESEMPENHO.....	106
4.7. CUIDADOS ESSENCIAIS NA FASE DE UTILIZAÇÃO.....	108
4.7.1. LIMPEZA/HIGIENE.....	108
4.7.2. DURABILIDADE.....	109
4.7.3. APARÊNCIA.....	110
5. ESTUDO DE CASO.....	113
5.1. OBJETO.....	113
5.2. BREVE DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO.....	114
5.3. DEFINIÇÃO DA SOLUÇÃO.....	116
5.3.1. QUANTIFICAÇÃO DAS AÇÕES.....	116
5.3.2. DIMENSIONAMENTO DO REVESTIMENTO.....	121
5.3.3. DIMENSIONAMENTO DE MADRES DE FACHADA.....	122
5.4. PORMENORIZAÇÃO COMPLETA DA SOLUÇÃO.....	132
5.4.1. MATERIAIS.....	132
5.4.2. PORMENORES CONSTRUTIVOS.....	133
5.5. OUTRAS ESPECIFICAÇÕES DE DESEMPENHO.....	133
6. CONCLUSÕES.....	135
6.1. PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS. CONCLUSÕES.....	135
6.2 DESEMPENHO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA REVESTIMENTO DE FACHADAS – SÍNTESE DE ASPETOS MAIS RELEVANTES.....	135
6.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS E RECOMENDAÇÕES.....	137
BIBLIOGRAFIA.....	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Decomposição do edifício segundo a abordagem celular.	7
Fig. 2.2 – Esquema de corte longitudinal de uma fachada leve.	10
Fig. 2.3 – Exemplos de perfis utilizados em estruturas secundárias.	11
Fig. 2.4 – Disposição da estrutura secundária: a) Vãos simples, b) Vãos duplos, c) Vãos simples sobrepostos.	11
Fig. 2.5 – Representação esquemática da composição do sistema.	12
Fig. 2.6 - Representação esquemática da composição do sistema numa estrutura porticada.	12
Fig. 2.7– Exemplos de interface: a) Revestimento/peitoril, b) Revestimento/rufo.	13
Fig. 2.8 – Revestimento em chapa perfilada simples sobre madres secundárias verticais.	14
Fig. 2.9 - Revestimento em chapa perfilada simples sobre madres secundárias horizontais.	14
Fig. 2.10 – Exemplo de aplicação de uma chapa perfilada sinusoidal.	15
Fig. 2.11 – Exemplos de perfis de chapa.	16
Fig. 2.12 – Exemplo de aplicação de forro anti condensação.	17
Fig. 2.13 – Perfil de uma chapa de aço galvanizado com acabamento exterior em PVC.	18
Fig. 2.14 – Fixação: a) Parafuso autoperfurante com anilha vedante, b) Parafuso autorroscante com anilha vedante.	19
Fig. 2.15 – Representação da fixação no vale e na coroa de uma chapa trapezoidal.	20
Fig. 2.16 - Fixação com cunha entre a estrutura secundária e estrutura principal.	20
Fig.2.17 – Fixação e sobreposição de duas chapas adjacentes: a) simples nas coroas, b) sobreposição da coroa e do vale.	21
Fig. 2.18 – Fixação e sobreposição de chapas perfiladas trapezoidais.	21
Fig. 2.19 – Juntas verticais e horizontais em ligações entre chapas perfiladas.	22
Fig. 2.20 – Disposição das tiras vedantes: a) Na junta horizontal, b) Na junta vertical.	22
Fig. 2.21 – Tolerâncias da cunha de fixação entre a estrutura secundária e estrutura principal.	23
Fig. 2.22 – Representação dos componentes de interface.	24
Fig. 2.23 – Remate de esquina vertical.	24
Fig. 2.24 – Exemplos de perfis das peças de canto.	25
Fig. 2.25 – Remate de coroamento: a) Disposição do remate, b) Exemplos de perfis.	25
Fig. 2.26 – Remate de reentrância: a) Disposição do remate, b) Exemplos de perfis.	25
Fig. 2.27 – Remate de esquina horizontal.	26
Fig. 2.28 – Remate de caixilharia: a) Disposição do remate, b) Exemplo de perfil de soleira, c) Exemplo de perfil de ombreira.	26
Fig. 2.29 – Remate da base da fachada.	27
Fig. 2.30 – Constituição de um painel composto em chapas de aço.	28

Fig. 2.31 – Exemplos de perfis de painéis sandwich: a) liso, b) trapezoidal.....	28
Fig. 2.32 – Painel com chapa perfurada.....	29
Fig. 2.33 – Fixação oculta de painéis sandwich dispostos verticalmente.	30
Fig. 2.34 – Tipos de Fixação: a) Direta entre painéis e estrutura secundária à vista, b) Vertical oculta.....	30
Fig. 2.35 – Fixação direta entre painéis e à estrutura secundária.	31
Fig. 2.36 – Fixação primária e secundária.	31
Fig. 2.37 – Juntas verticais: a) aberta com ocultação da fixação, b) fechada sem ocultação da fixação.....	31
Fig. 2.38 – Vedantes em juntas: a) Junta vertical, b) Junta horizontal.	32
Fig. 2.39 – Junta: a) Vertical com duas tiras de vedante, b) Horizontal.	32
Fig. 2.40 – Remate de esquina: a) Painel em esquina, b) Perfil metálico.	33
Fig. 2.41 – Remates de coroamento: a) Painéis adaptados horizontalmente, b) Painéis dispostos verticalmente.	33
Fig. 2.42 – Remate de esquina horizontal em um rebordo inferior.	33
Fig. 2.43 – Perfis de remate de caixilharia; a) Soleira, b) Padieira.	34
Fig. 2.44 – Remate de base da fachada: a) Painéis dispostos horizontalmente, b) Painéis dispostos verticalmente.	34
Fig. 2.45 – Decomposição do sistema de painéis compostos tipo cassete.	35
Fig. 2.46 – Painel tipo cassete: a) Composição do painel, b) Ligação entre painéis verticalmente adjacentes.	36
Fig. 2.47 – Montantes: a) Perfil vertical, b) Distanciador em U, c) Perfil vertical, d) Distanciador em L.....	36
Fig. 2.48 – Painel tipo cassete: a) Decomposição da estrutura secundária, b) Solução de fixação.	37
Fig. 2.49 – Remate: a) De esquina, b) De coroamento.....	37
Fig. 2.50 – Remate: a) De reentrância, b) De base da fachada.	38
Fig. 2.51 – Remates: a) Padieira, b) Peitoril, c) Ombreira.	38
Fig. 2.52 - Revestimento em pele dupla com separadores.....	39
Fig. 2.53 – Componentes de espaçamento: a) Em Z, b) Em carril e suporte.	39
Fig. 2.54 – Disposição do sistema: a) Vertical, b) Horizontal.....	40
Fig. 2.55 – Fixação primária e secundária em sistema de revestimentos em pele dupla sem separadores.....	40
Fig. 2.56 – Revestimento em pele dupla sem separador.....	41
Fig. 2.57 – Decomposição do sistema de revestimento em pele dupla com bandeja.	42
Fig. 2.58 – Bandejas horizontais: a) Face interior lisa, b) Face interior perfurada.....	42

Fig. 2.59 – Disposição dos espaçadores.	43
Fig. 2.60 – Chapas Exteriores: a) Esquema de disposição, b) sobreposição de duas chapas adjacentes.	43
Fig. 2.61 – Tipos de juntas verticais: a) Emenda, b) Transição, c) Largura.	43
Fig. 2.62 – Ação do vento e do peso-próprio em sistemas de revestimento.	46
Fig. 2.63 – Requisitos de desempenho acústico: a) transmissão de sons aéreos, b) reverberação, c) sons de impacto.	54
Fig. 2.64 – Exemplo de variação do índice ponderado de absorção sonora: a) Em perfis simétricos e assimétricos, b) Em perfis de diferentes profundidades.	54
Fig. 2.65 – Representação dos aspetos de controlo do ruído.	55
Fig. 2.66 – Principais meios de perda de calor através dos sistemas de revestimento.	56
Fig. 4.1 – Chapa perfilada modelo TR35/995: a) Posição A, b) Posição B.	76
Fig. 4.2 – Dimensões características.	77
Fig. 4.3 – Parafuso de fixação: a) Autorroscante 6,3x64 mm, b) Autorroscante 6,3x19 mm.	77
Fig. 4.4 – Remate de esquina vertical: a) Em chapas dispostas horizontalmente, b) Em chapas dispostas verticalmente.	78
Fig. 4.5 – Remate de esquina vertical entre uma chapa disposta verticalmente e horizontalmente.	78
Fig. 4.6 – Remate: a) Remate de coroamento (corte vertical), b) de reentrância entre duas chapas dispostas verticalmente.	79
Fig. 4.7 – Perfis para remate em aberturas: a) Disposição dos perfis de empena e beirado, b) Perfil de beirado.	79
Fig. 4.8 – Remate de empena: a) Sobre coroa da chapa de cobertura, b) Sobre vale da chapa de cobertura.	80
Fig. 4.9 – Remate de base de fachada: a) De pingadeira, b) De pingadeira sobre fundação.	80
Fig. 4.10 – Painel composto tipo sandwich: a) Painel KS1150 TC b) Dimensões características da chapa interior.	82
Fig. 4.11 – Dimensões e perfis característicos da chapa exterior.	82
Fig. 4.12 – Fixação da solução em estudo: a) Fixação primária, b) Fixação secundária.	83
Fig. 4.13 – Disposição das fixações primárias padrão.	83
Fig. 4.14 – Disposição das fixações primárias em zonas de vento forte.	83
Fig. 4.15 – Junta macho-fêmea com fita anti condensação.	84
Fig. 4.16 – Juntas entre painéis: a) Junta horizontal, b) junta vertical.	84
Fig. 4.17 – Remate de esquina vertical entre painéis dispostos horizontalmente.	85
Fig. 4.18 - Remate de esquina vertical entre painéis dispostos verticalmente.	85
Fig. 4.19 – Remate de coroamento.	86

Fig. 4.20 – Remate de reentrância entre um painel vertical e horizontal.....	86
Fig. 4.21 – Remates para caixilharias: a) Padeira, b) Pingadeira, c) Ombreira.....	87
Fig. 4.22 – Remates para portadas: a) Padeira, b) Ombreira.	87
Fig. 4.23 – Remate para aberturas de tubagens.....	88
Fig. 4.24– Remate de empena.	88
Fig. 4.25 – Remates de base da fachada.....	88
Fig. 4.26 – Painel Larson metals FR: a) Padrão de corte, b) Perfil lateral.	93
Fig. 4.27 – Perfil montante LC-H1.	93
Fig. 4.28 – Perfis: a) Perfil de suspensão LC3, b) Distanciador LC-H2, c) Peças de reforço verticais.	94
Fig. 4.29 – Fixação dos componentes do sistema Larson metals FR.	94
Fig. 4.30 – Juntas da solução Larson metals FR: a) Vertical, b) Horizontal.	94
Fig. 4.31 – Remates em painel cassete: a) De esquina, b) De coroamento.....	95
Fig. 4.32 – Remate de reentrância em painel cassete.....	95
Fig. 4.33 – Remates em painel cassete: a) Padeira, b) Peitoril, c) Ombreira.	96
Fig. 4.34 – Remate de base de fachada em bandeja perfurada.	96
Fig. 4.35 – Chapa perfilada exterior AS24/1000.	98
Fig. 4.36 – Chapa perfilada interior AS20/1000.	98
Fig. 4.37 – Dimensões características da chapa perfilada AS24/1000 e AS20/1000.....	98
Fig.4.38 – Esquema de fixação das chapas exteriores: a) Fixação padrão, b) Fixação com sobreposição.	99
Fig.4.39 - Esquema de fixação das chapas interiores: a) fixação padrão, b) fixação com sobreposição..	99
Fig. 4.40 – Remates de esquina vertical da solução AS Twin skin wall system.	100
Fig. 4.41 - Remate de coroamento da solução AS Twin skin wall system.....	100
Fig. 4.42 - Remates de reentrância da solução AS Twin skin wall system.....	100
Fig. 4.43 - Remates de esquina horizontal da solução AS Twin skin wall system (corte vertical).....	101
Fig. 4.44 - Remates de caixilharia da solução AS Twin skin wall system: a) Padeira, b) Ombreira, c) Ombreira.....	101
Fig. 4.45 - Remates de portada da solução AS Twin skin wall system: a) Ombreira, b) Padeira.....	101
Fig. 4.46 - Remate de empena da solução AS Twin skin wall system.....	101
Fig. 4.47 - Remate de base de fachada da solução AS Twin skin wall system.....	102
Fig. 4.48 – Solução em pele dupla com bandeja: a) Globalwall, b) DS Bandeja 90/500 SR.....	104
Fig. 4.49 – Remate de esquina vertical da solução Globalwall DS: a) Perfil de canto, b) Perfil curvo.....	105
Fig. 4.50 – Remate de coroamento da solução Globalwall DS: a) Em capacete, b) Em curvatura....	105

Fig. 4.51 – Remate de reentrância da solução Globalwall DS: a) Perfil de canto, b) Perfil curvo.....	105
Fig. 4.52 – Remate de esquina horizontal da solução Globalwall DS.	105
Fig. 4.53 – Remate de aberturas da solução Globalwall DS	106
Fig. 4.54 – Remate de base da fachada da solução Globalwall DS.....	106
Fig. 5.1 – Planta do armazém.	114
Fig. 5.2 – Alçado Sul do armazém: a) Chapa metálica, b) Portão em chapa metálica, c) Murete em betão.....	115
Fig. 5.3 – Alçado Norte do armazém.....	115
Fig. 5.4 – Alçado Nascente do armazém.	115
Fig. 5.5 – Alçado Poente do armazém.....	115
Fig. 5.6 - Estrutura resistente principal.	115
Fig. 5.7 – Altura de referência e forma do perfil de pressão dinâmica no edifício.	118
Fig. 5.8 – Zonas em paredes verticais com o vento a ser aplicado nas fachadas laterais.....	118
Fig. 5.9 – Representação dos coeficientes de pressão exterior e interior das fachadas laterais.....	121
Fig. 5.10 - Representação dos coeficientes de pressão exterior e interior das fachadas de empena.	122
Fig. 5.11 – Perfil modelo CEE plus.	122
Fig. 5.12 – Madres da fachada: a) Esquema estático, b) Diagrama de momentos.....	123
Fig. 5.13 – Disposição dos coeficientes de pressão exterior para as fachadas Norte e Sul.....	123
Fig. 5.14 – Repartição dos coeficientes de pressão exterior para as fachadas Norte e Sul.	124
Fig. 5.15 – Coeficientes de pressão totais para as fachadas Norte e Sul.	124
Fig. 5.16 – Disposição das madres ao longo da fachada.	124
Fig. 5.17 – Deslocamento do eixo neutro segundo a direção y.....	127
Fig. 5.18 – Disposição dos coeficientes de pressão exterior para as fachadas Poente e Nascente. .	129
Fig. 5.19 – Coeficientes de pressão totais para as fachadas Poente e Nascente.	130
Fig. 5.20 – Representação no alçado Sul dos cortes.	133
Fig. 5.21 – Representação no alçado Nascente do corte D-D'.....	133

Índice de Quadros

Quadro 2.1 – Órgãos principais e secundários da envolvente exterior.	6
Quadro 2.2 – Tipos de prefabricação.....	8
Quadro 2.3 – Condutibilidade térmica e massa volúmica da espuma rígida de poliuretano e poliisocianurato entre paramentos metálicos.	29
Quadro 2.4 – Exigências de desempenho de sistemas de revestimento de fachadas em aço.	45
Quadro 2.5 – Pesos próprios correntes de exemplos de sistema de revestimento.	47
Quadro 2.6- Limites de deformação correntes em sistemas de revestimento em aço.....	48
Quadro 2.7 – Conversão da classificação ao fogo.	50
Quadro 2.8 – Índice ponderado de redução sonora em vários sistemas de revestimento em aço.....	54
Quadro 2.9 - Valores correntes do coeficiente de transmissão térmica para várias soluções.	57
Quadro 3.1 – Propriedades a cumprir pelas chapas de revestimento em aço com acabamento.	64
Quadro 3.2 – Relação entre a resistência à corrosão, categorias de corrosividade e tipos de atmosfera.....	65
Quadro 3.3 – Faixa de aplicação de uma solução de chapa com acabamento em poliéster.	65
Quadro 3.4 – Classificação da reação ao fogo segundo a EN 13501-1.....	70
Quadro 3.5 – Classificação para elementos ou partes de obras sem funções de suporte de carga e produtos a eles destinados.	71
Quadro 3.6 – Índices mínimos de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m, n}$, w	72
Quadro 3.7 – Normas relevantes para a especificação do comportamento térmico.	73
Quadro 3.8 – coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis para a envolvente vertical opaca [78].....	73
Quadro 3.9 - Coeficientes de transmissão térmica de referência para a envolvente vertical opaca.....	73
Quadro 3.10 – Concentrações máximas dos poluentes.	74
Quadro 4.1 – Valores das dimensões características da chapa perfilada TR35/995.....	77
Quadro 4.2 – Tipos de acabamentos e espessuras.	77
Quadro 4.3 – Características mecânicas do perfil TR35/995 da Erfi	81
Quadro 4.4 – Cargas máximas admissíveis do perfil TR35/995 da Erfi	81
Quadro 4.5 – Tipos de acabamentos e espessuras.	83
Quadro 4.6 - Características mecânicas da solução KS1150 TC.....	89
Quadro 4.7 – Cargas máximas admissíveis.	89
Quadro 4.8 – Ciclo de vida dos acabamentos da solução KS1150 TC	90

Quadro 4.9. – Desempenho térmico da solução KS1150 TC.	91
Quadro 4.10 – Tolerâncias da solução KS1150 TC.	91
Quadro 4.11 – Índice ponderado de redução sonora.	92
Quadro 4.12 – Características dos perfis LC-H1.	93
Quadro 4.13 - Características mecânicas da solução Larson metals FR.	97
Quadro 4.14 – Pressões de sucção do vento admissíveis.	97
Quadro 4.15 – Tolerâncias da solução Larson metals FR.	97
Quadro 4.16 – Valores das dimensões características da chapa perfilada AS24/1000 e AS20/1000. 98	
Quadro 4.17 – Características dos acabamentos do sistema AS Twin skin wall system.	99
Quadro 4.18 – Características mecânicas.	102
Quadro 4.19 - Pressões de pressão e sucção do vento para a chapa exterior AS24/1000W.	102
Quadro 4.20 - Pressões de sucção do vento e cargas máximas admissíveis para a chapa interior AS20/1000.	103
Quadro 4.21 – Tolerâncias da solução AS Twin skin wall system.	103
Quadro 4.22 – Coeficientes de transmissão térmica da solução AS Twin skin wall system	103
Quadro 4.23 – Dimensões características da bandeja 90/500 SR.	104
Quadro 4.24 – Dimensões características da chapa Frequence 18/76B.	104
Quadro 4.25 – Cargas máximas admissíveis para a bandeja 90/500 SR.	107
Quadro 4.26 – Cargas máximas admissíveis para a chapa Frequence 18/76B.	107
Quadro 4.27 – Características mecânicas da bandeja e da chapa exterior.	108
Quadro 4.28 – Durabilidade dos diferentes tipos de acabamentos.	109
Quadro 5.1 – Características do edifício em estudo.	116
Quadro 5.2 – Dimensões do pavilhão com o vento a incidir transversalmente.	119
Quadro 5.3 – Coeficientes de pressão exteriores segundo uma aplicação transversal.	119
Quadro 5.4 - Dimensões do pavilhão segundo uma aplicação longitudinal.	119
Quadro 5.5 – Coeficientes de pressão exteriores segundo uma aplicação longitudinal.	119
Quadro 5.6 – Carga uniformemente distribuída admissível para o modelo KS1150TC (2 vãos).	121
Quadro 5.7 – Características dos perfis C+300x5 e C+300x4.	124
Quadro 5.8 – Descrição e pormenorização dos materiais.	132

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

λ – Coeficiente de condutibilidade térmica [W/m.°C]

ρ – Massa volúmica [Kg/m³]

R_w – Índice ponderado de redução sonora [dB]

R – Resistência térmica [m²°C/W]

R_{se} – Resistência térmica superficial interior [m²°C/W]

R_{si} – Resistência térmica superficial exterior [m²°C/W]

U – Coeficiente de transmissão térmica [W/m²°C]

σ – Tensão [Mpa]

γ_G – Coeficiente de majoração para as ações permanentes

γ_Q – Coeficiente de majoração para as ações variáveis

δ_{max} – Deslocamento máximo [mm]

δ – Deslocamento [mm]

MCRMA – Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association

REEF – Recueil des Eléments utiles à l’Etablissement et l’Exécution des projects et marchés de bâtiments en France

EOTA – European Organization of Technical Approvals

CPT – Cahier des Prescriptions Techniques

ETA – European Technical Approval

ETAG – European Technical Approval Guideline

ISO – International Organization for Standardization

UEAtc – Union Européenne pour l’Agrément Technique dans la Construction

NF – Norme Française

PIR – Polyisocyanurate

PUR – Polyurethane

EN – European Standard

DPC – Diretiva dos Produtos de Construção

CEN – Centro Europeu de Normalização

CSTB – Centre Scientifique et de Technique du Bâtiment

BBA – British Board of Agrément

CAD – Computer Aided Design

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmicos dos Edifícios

RRAE - Regulamento dos requisitos Acústicos dos Edifícios

RGSCIE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios

ELU – Estado Limite Ultimo

ELS – Estado Limite de Utilização

1

INTRODUÇÃO

1.1. OBJETIVO, ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO

A fachada de um edifício apresenta-se como um elemento essencial na sua composição, quer pela função primária de proteção do edifício do ambiente exterior, quer pelo impacto que provoca na identidade estética e funcional do edifício e também pelos cuidados e custos que a sua execução implica. Justifica-se assim uma investigação mais aprofundada deste elemento, mais precisamente sobre os sistemas utilizados para a sua construção em armazéns.

A presente dissertação tem assim por objeto de estudo a análise de sistemas construtivos destinados a serem utilizados como revestimentos de fachada em aço, efetuando uma revisão tecnológica de soluções de conceção recente ao nível do fabrico, montagem e desempenho, no âmbito dos espaços industriais.

Mais do que uma síntese de especificações e documentos técnicos, pretende-se que esta dissertação seja uma análise e revisão aprofundada dos sistemas existentes a nível europeu e respetivas soluções de modo a possibilitar uma caracterização adequada e rigorosa dos sistemas, com o objetivo de permitir e facilitar a seleção das diferentes soluções existentes no mercado, de acordo com o nível de qualidade que se pretende e com o objetivo de constituírem um sistema capaz de satisfazer adequadamente as exigências de conceção, dimensionamento, utilização e de enquadramento com os sistemas construtivos periféricos.

Outro dos objetivos deste trabalho é contribuir para a divulgação e utilização dos diferentes sistemas estudados no mercado português, fornecendo à indústria da construção Portuguesa uma maior gama de soluções passíveis de serem utilizadas como revestimento de fachadas.

1.2. BASES DO TRABALHO DESENVOLVIDO

O trabalho apresentado nesta dissertação tem por base uma forte componente bibliográfica internacional com principal destaque para a informação presente no site da Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association (MCRMA) [1].

Foram pesquisados e consultados diversos catálogos, especificações e documentos técnicos de vários fabricantes, nacionais e internacionais, para a caracterização dos sistemas construtivos e para a caracterização dos exemplos de soluções.

Foram também consultadas diversas normas e regulamentos europeus aplicáveis, com destaque para a pesquisa ao nível da Enciclopédia Francesa da Construção, designada REEF4 [2], e para a pesquisa ao nível da Organização Europeia de Aprovação Técnica (EOTA).

O estudo de caso foi elaborado com base em plantas, cortes e alçados gentilmente cedidos pela empresa SOPSEC – Sociedade de Prestação de Serviços de Engenharia Civil, S.A.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está dividida em seis capítulos distintos.

No presente capítulo é feita uma introdução ao trabalho realizado e uma síntese do conteúdo da dissertação, sendo primeiramente apresentado o objetivo, âmbito e justificação. São também apresentadas as bases de trabalho adotadas e desenvolvidas e, por fim, é apresentada a presente organização por capítulos.

No capítulo 2 pretende-se apresentar e descrever os sistemas de revestimento de fachadas em aço existentes: chapa perfilada simples, painéis compostos tipo sandwich e cassete, em pele dupla com e sem separadores e em pele dupla com bandeja. Primeiramente, são analisadas as noções relevantes para os sistemas em estudo relativamente à abordagem ao edifício de um modo funcional ou celular, bem como acerca do sistema de produção nos sistemas (produção artesanal e prefabricação). Define-se igualmente o conceito de fachada leve e efetua-se uma definição geral do sistema através da sua decomposição nos seus componentes principais. São apresentados e caracterizados os diferentes sistemas existentes atualmente, divididos segundo soluções correntes artesanais e prefabricadas. Esta caracterização inclui os tipos de chapas, soluções de acabamento, fixações e juntas e tolerâncias bem como os diferentes componentes de interface e remate existentes para os diversos sistemas. Por fim são definidas e descritas as principais exigências de desempenho a cumprir.

No capítulo 3 é apresentado o resultado da pesquisa bibliográfica acerca das normas e regulamentos europeus aplicáveis no âmbito dos espaços industriais em sistemas de revestimento de fachadas em aço. Apresenta-se inicialmente a pesquisa normativa aplicável aos produtos dos sistemas analisados neste trabalho. Seguidamente, é apresentada a pesquisa normativa aplicável aos sistemas, incluindo os cadernos de prescrições técnicas (CPT) obtidas através da pesquisa realizada no Reef4[®]. São igualmente apresentadas as aprovações técnicas europeias (ETA) e diretrizes (ETAG) mais diretamente aplicáveis ao sistema em estudo, bem como os documentos normativos e regulamentos aplicáveis à segurança estrutural, segurança contra incêndios, conforto acústico e conforto térmico. Por fim, são apresentadas as exigências aplicáveis a indústrias específicas, com relevância para a indústria agroalimentar.

No capítulo 4 são analisados e descritos detalhadamente exemplos de soluções para cada tipo de sistema descrito no capítulo 2. Para tal foi efetuada uma pesquisa de mercado e respetivas soluções. Para cada solução apresentada é efetuada uma descrição detalhada incluindo os respetivos pormenores construtivos e especificações de desempenho. Neste capítulo também são apresentados os cuidados essenciais na fase de utilização comuns a todas as soluções analisadas neste trabalho para a limpeza, durabilidade e aspeto.

No capítulo 5 é apresentado um estudo de caso de um armazém logístico baseado num caso real que foi adaptado para garantir a necessária privacidade do armazém original adotado. São apresentados os cálculos para a quantificação das ações, coeficientes de pressão e as forças exercidas pelo vento. Com base nestes cálculos é adotada e dimensionada uma solução de revestimento das fachadas e posteriormente o dimensionamento das madres da fachada. É apresentada a pormenorização completa da solução de revestimento e de madres adotadas e adaptada ao caso em estudo (os pormenores construtivos realizados encontram-se em anexo).

Por fim, no capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões obtidas deste trabalho, bem como uma sugestão de desenvolvimento e trabalhos futuros neles inspirados.

2

CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

Este capítulo pretende definir uma metodologia de classificação das soluções existentes no mercado dos revestimentos de fachadas em aço, com o objetivo de as organizar, criando deste modo um modelo de classificação que permita uma melhor perceção da solução adequada a cada caso concreto de projeto, face à grande variedade de soluções existentes no mercado.

Esta classificação tem por base informação selecionada, proveniente dos fabricantes das marcas analisadas, e considera também as exigências de desempenho que o sistema em estudo deve satisfazer.

2.1. NOÇÕES GERAIS SOBRE SISTEMAS CONSTRUTIVOS

A associação a um edifício do conceito de sistema destina-se a permitir o seu mais fácil estudo, conceção e caracterização [3]. Como tal, a aplicação de uma visão sistémica a um edifício observando-o como um sistema permite a definição de duas abordagens diferentes no que se refere à sua divisão em elementos mais simples: a abordagem celular e a abordagem funcional.

2.1.1. ABORDAGEM FUNCIONAL

Esta abordagem analisa o edifício sob o ponto de vista funcional, efetuando a sua divisão em órgãos, sendo o edifício dividido considerando que os órgãos são uma subdivisão funcional que asseguram funções com características semelhantes e necessárias à satisfação das exigências do utente.

Esta abordagem pode, segundo a norma ISO 6241 [4], apresentar uma decomposição de um edifício com base nos seguintes órgãos principais:

- Estrutura;
- Envolvente exterior;
- Compartimentações exteriores;
- Compartimentações interiores;
- Instalações e equipamentos.

Posteriormente, a decomposição pode desenvolver-se em vários níveis. Como possível decomposição apresenta-se o seguinte quadro (Quadro 2.1) com uma decomposição referente à envolvente exterior, visto ser neste órgão principal que se insere o revestimento de fachadas:

Quadro 2.1 – Órgãos principais e secundários da envolvente exterior [3].

Órgãos principais	Exemplos de órgãos secundários	
Envolvente exterior	Envolvente enterrada	Fundação parede, desvão sanitário, pavimento térreo
	Envolvente acima do solo	Aberturas, cobertura, pavimento sobre espaço exterior
		Parede, cobertura, pavimento sobre espaço exterior
		Aberturas (porta, janela, clarabóia)

Segundo a abordagem funcional, é possível então decompor os sistemas de revestimento em aço na seguinte divisão:

- Órgão principal: envolvente exterior;
- Órgão principal de segundo nível: envolvente acima do solo;
- Órgão secundário: parede exterior.

O conceito de exigência funcional advém da necessidade de satisfazer as necessidades dos utilizadores do edifício e como tal o edifício deve garantir a realização de todas as funções necessárias para a satisfação dessas necessidades através da associação de órgãos dos edifícios a funções que possam ser asseguradas por esses mesmos órgãos.

2.1.2. ABORDAGEM CELULAR

A abordagem celular analisa o edifício como um conjunto de células individuais não sobrepostas e complementares entre si e que no seu todo definem o edifício [3]. Esta abordagem permite a divisão do edifício em subsistemas de construção, ou seja, a divisão em um conjunto de elementos de construção com propriedades e características próprias capazes de conferir uma identidade própria ao subsistema.

Segundo esta abordagem a decomposição do edifício é feita segundo os seguintes níveis (Figura 2.1):

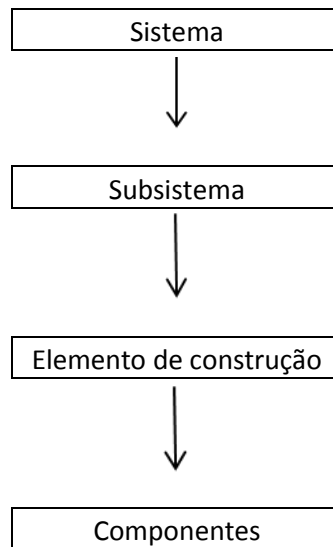


Fig. 2.1 – Decomposição do edifício segundo a abordagem celular.

O elemento de construção resulta da divisão de um subsistema de construção em elementos realizados a partir de materiais simples, componentes e processos de construção. No que se refere aos componentes, trata-se de produtos realizados com vários materiais básicos em unidades industriais, ou seja, em regime de pré-fabricação (de segunda ou terceira transformação), com o objetivo de serem inseridos em elementos de construção, respeitando os processos de construção e montagem.

Segundo esta abordagem, e efetuando-se neste trabalho uma análise dos sistemas de revestimento de fachadas em aço, é possível definir a seguinte divisão:

- Sistema: parede exterior;
- Subsistema: revestimento final exterior;
- Elemento construção: chapas metálicas, painéis sandwich, entre outros.

Neste caso, a parede exterior (sistema na abordagem celular) é um elemento constituinte da envolvente exterior (órgão principal na abordagem funcional) mas a parede exterior pode apresentar como subsistemas o revestimento final exterior e o revestimento final interior além da própria estrutura, entre outros possíveis subsistemas. Estes dois subsistemas são distintos entre si e portanto não coincidem na mesma divisão celular mas coincidem na atribuição das exigências funcionais relativas ao órgão “envolvente exterior”. Como tal, o resultado da abordagem celular não coincide com o resultado da abordagem funcional.

Para o âmbito deste trabalho que consiste na revisão tecnológica de sistemas de revestimento em aço, a abordagem celular torna-se a mais relevante.

2.1.3. SISTEMAS DE PRODUÇÃO NOS SISTEMAS DE REVESTIMENTOS EM AÇO

a) Prefabricação

O conceito de prefabricação na construção baseia-se na ideia de execução dos componentes em série, fora dos seus locais de implantação, criando um sistema construtivo adequado para o seu destino,

através de uma execução por meio de operações simples de montagem e união, com a precisão característica dos métodos industriais, mantendo as características e exigências normais de durabilidade, resistência, conforto e aspeto. A aplicação da prefabricação na construção tem como característica determinante o facto de permitir, graças a um encadeamento rigoroso e detalhado durante a montagem, a execução expedita através de mão-de-obra não especializada, sem recorrer a alterações ou retoques, permitindo também a redução da necessidade de trabalhos de acabamentos.

É usual distinguir dois tipos principais de prefabricação considerando o peso dos componentes executados. Usando este critério de classificação, a distinção pode ser feita em prefabricação leve e pesada. A prefabricação leve é baseada em materiais e componentes de peso reduzido em que no local de implantação apenas ocorrem operações mínimas de montagens e ligações. A prefabricação leve encontra-se indicada para a produção de elementos não resistentes em construções de prefabricação parcial, mas especialmente, quando não existe ou se justifique a utilização de equipamento pesado para montagem e ligação de elementos, para a execução de construções isoladas e de pequena dimensão, e também para a produção de elementos de baixo número de repetições.

No que se refere à prefabricação pesada, esta encontra-se associada a elementos de betão armado e pré esforçado. Também se pode referir a prefabricação ligeira, que é um tipo de prefabricação associado à utilização de elementos de dimensões reduzidas num processo construtivo e produtivo de grande escala.

Quadro 2.2 – Tipos de prefabricação.

Tipos de prefabricação		
Quanto ao tipo de elemento	Prefabricação leve	Associada a elementos e materiais de peso reduzido
	Prefabricação pesada	Associada a elementos de betão armado e pré esforçado
Quanto à sua quantificação	Prefabricação ligeira	Utilização de elementos de pequena dimensão para aplicação em grande escala

Para além das distinções anteriormente mencionadas também é possível uma divisão relativamente ao grau de prefabricação existente dos sistemas: a prefabricação total ou parcial. A prefabricação total caracteriza-se pela produção e montagem de sistemas fora do local de implantação em que na sua grande maioria todos os elementos são prefabricados. Está-se perante um caso de prefabricação parcial quando, numa produção e montagem, a técnica de prefabricação se encontra associada a outros métodos de construção tradicionais, não constituindo neste caso a totalidade dos elementos desse mesmo edifício, ou seja, refere-se a um elemento prefabricado a ser contido ou integrado num sistema. Em qualquer dos dois casos referidos, podem ser utilizados elementos de prefabricação pesada ou leve.

No que se refere aos sistemas de prefabricação relativamente à sua versatilidade, estes sistemas podem-se decompor em sistemas abertos e sistemas fechados. Um sistema aberto é um sistema no qual o fabricante permite a inserção de materiais produzidos por diversos fabricantes sem a definição exaustiva do sistema de montagem e dos processos de construção. No sistema fechado, o fabricante apresenta a definição detalhada dos diversos elementos e processos de construção, não se admitindo a integração de materiais de construção ou componentes de outros fabricantes, sem que o responsável

pelo sistema os integre todos de forma coerente e assumido a responsabilidade global pelo desempenho do sistema ou subsistema.

O conceito de prefabricação leve é suficientemente vasto para incluir qualquer solução de prefabricação, parcial, total, aberta ou fechada, que conduza a soluções cujo peso por metro quadrado não exceda um valor limite que normalmente se considera rondar os 100 Kg/m² [5].

b) Produção artesanal

Por fim, torna-se necessário referir o modo de produção artesanal. Este processo caracteriza-se pela execução dos componentes construtivos no seu local de implantação final bem como a execução das montagens e das ligações. Assim, este método de produção implica obviamente uma maior alocação de recursos e um aumento de tarefas em estaleiro, ao contrário do que se verifica na prefabricação.

2.2. FACHADAS LEVES

Neste subcapítulo pretende-se definir o conceito de fachada leve quando inserido no âmbito das soluções de revestimentos em aço. As fachadas leves são soluções de prefabricação leve realizadas a partir de materiais leves tais como o aço, alumínio ou vidro. De acordo com as diretivas UEAtc e a norma francesa NF P 28-001, é possível definir fachada leve como um conjunto de elementos construtivos com função de vedação vertical externa (vedação de fachada), constituídos por componentes prefabricados que formam várias camadas, sendo que pelo menos a camada mais externa tem massa inferior a 100 kg/m² [6], [7]. Estas camadas, onde se incluem os revestimentos em aço, encontram-se normalmente apoiadas numa estrutura secundária, tais como as madres secundárias verticais ou horizontais, que são fixas à estrutura principal do edifício também podendo ser suportadas através de fixação direta à estrutura resistente principal do edifício.

Como tal, é possível definir três áreas de construção no que se refere às fachadas: a estrutura principal ou primária do edifício, a estrutura secundária e o revestimento. A estrutura primária suporta as cargas do edifício e transfere as cargas da fachada para as fundações, a estrutura secundária compreende o suporte das cargas do revestimento transferindo as cargas para a estrutura primária e a terceira camada tem uma função, tal como referido previamente, de vedação externa.

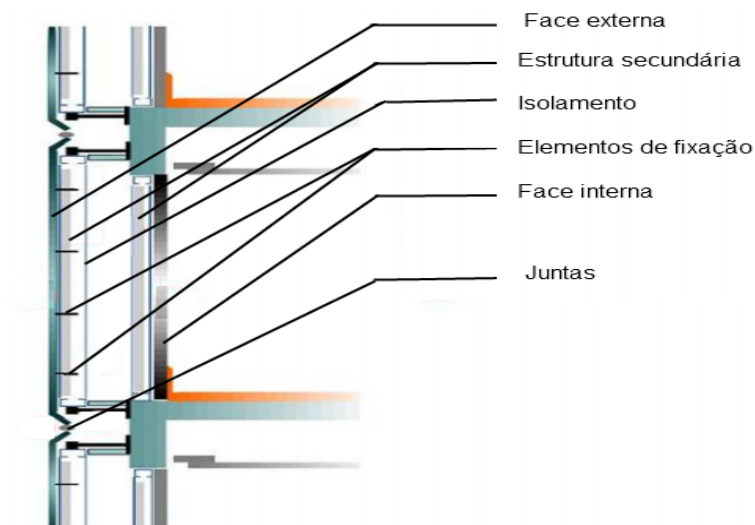


Fig. 2.2 – Esquema de corte longitudinal de uma fachada leve. Adaptado de [7].

As fachadas leves podem ser classificadas de acordo com o seu posicionamento em relação à estrutura principal do edifício, agrupando-se assim em três famílias:

- Fachada cortina: constituída por uma ou mais camadas, colocada à face exterior da borda das lajes, formando uma cortina exterior ao plano dos pavimentos do edifício;
- Fachada semi-cortina; constituída igualmente por uma ou mais camadas, cuja camada interior é colocada entre os pavimentos e a camada exterior se encontra posicionada à face exterior da borda das lajes. A camada interior pode não ser leve, podendo ter função resistente com a camada exterior servindo como revestimento. No entanto, a fachada é formada pela parede e pelo revestimento servindo como vedação externa em conjunto;
- Fachada painel: as camadas são inteiramente inseridas entre os pavimentos.

2.3. DEFINIÇÃO GERAL DO SISTEMA

A constituição dos sistemas de revestimento em estudo baseia-se nos três componentes principais seguidamente expostos:

- Estrutura principal: estrutura de suporte dos componentes a jusante, constituída por vigas e colunas, perfis metálicos ou em madeira ou por uma parede de alvenaria ou betão, que permite suportar a estrutura secundária. No caso da estrutura principal ser uma parede de alvenaria ou de betão, esta estrutura serve igualmente como revestimento interior da fachada;
- Estrutura secundária não integrada: perfis metálicos em aço ou alumínio tais como montantes e travessas. A estrutura secundária tem como funções principais o suporte do revestimento, a transferência das cargas do revestimento para a estrutura principal e

também a função de travar/contraventurar a estrutura principal. As estruturas secundárias existem atualmente em vários perfis e tamanhos, podendo ser fornecidas pelos fabricantes das chapas ou adquiridos separadamente a outro fabricante. A figura 2.3 representa os diferentes tipos de perfis usados nas estruturas secundárias.



Fig. 2.3 – Exemplos de perfis utilizados em estruturas secundárias.

A disposição da estrutura secundária deve ter em conta a quantificação e a distribuição das cargas aplicadas, o máximo vão permitido pela estrutura secundária e as dimensões da área a revestir. Existem correntemente três métodos distintos de disposição da estrutura secundária: vãos simples, vãos duplos e vãos simples sobrepostos (Figura 2.4). A escolha do método a aplicar deve depender da informação disponibilizada pelo fabricante da estrutura secundária.

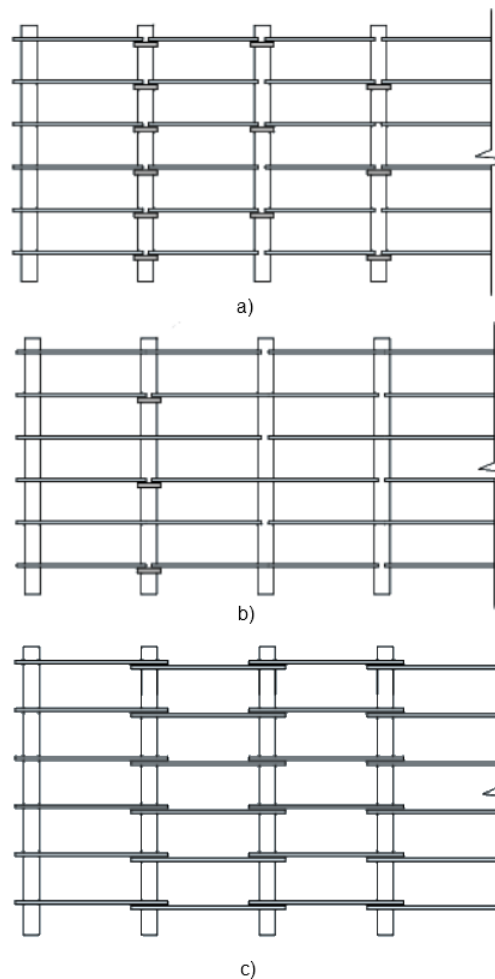


Fig. 2.4 – Disposição da estrutura secundária: a) Vãos simples, b) Vãos duplos, c) Vãos simples sobrepostos.

- Revestimento: elementos tais como chapas metálicas, painéis sandwich, painéis em casete entre outros, incluindo os componentes de fixação (componentes com o objetivo de assegurar a fixação dos componentes de revestimento à estrutura secundária e eventualmente assegurar a fixação da estrutura secundária à estrutura primária). Inclui as juntas (componentes de vedação sobre a forma de membranas flexíveis ou perfis previamente formados com o objetivo de garantir a estanquidade do elemento de fachada e de garantir a absorção das deformações diferenciais entre os elementos e/ou componentes construtivos) e também os isolantes térmicos (placas de poliestireno extrudido, expandido, lã de rocha, entre outros). O revestimento possui várias funções tais como a definição de uma envolvente que separe o espaço interior do ambiente exterior, assegurar uma envolvente estanque ao ar e à água, providenciar isolamento acústico e térmico, prevenir a propagação do fogo, travar a estrutura secundária e transferir carga para a ela.

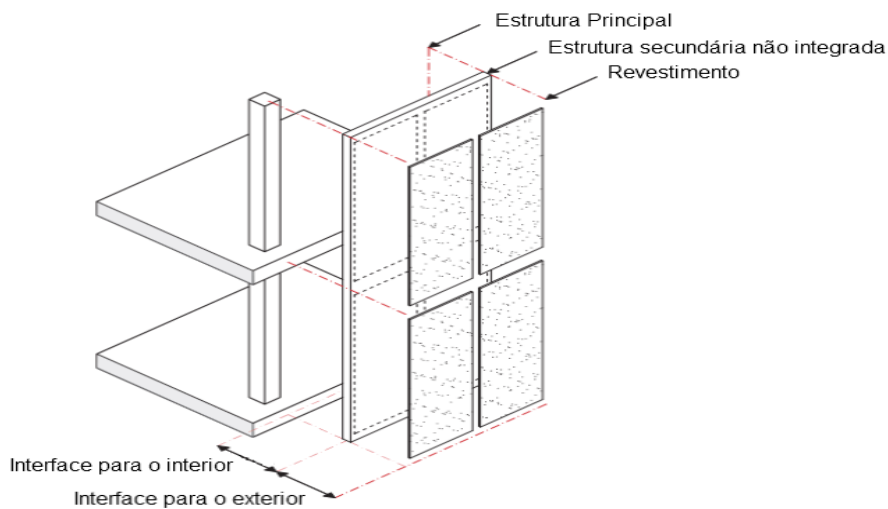


Fig. 2.5 – Representação esquemática da composição do sistema. Adaptado de [8].

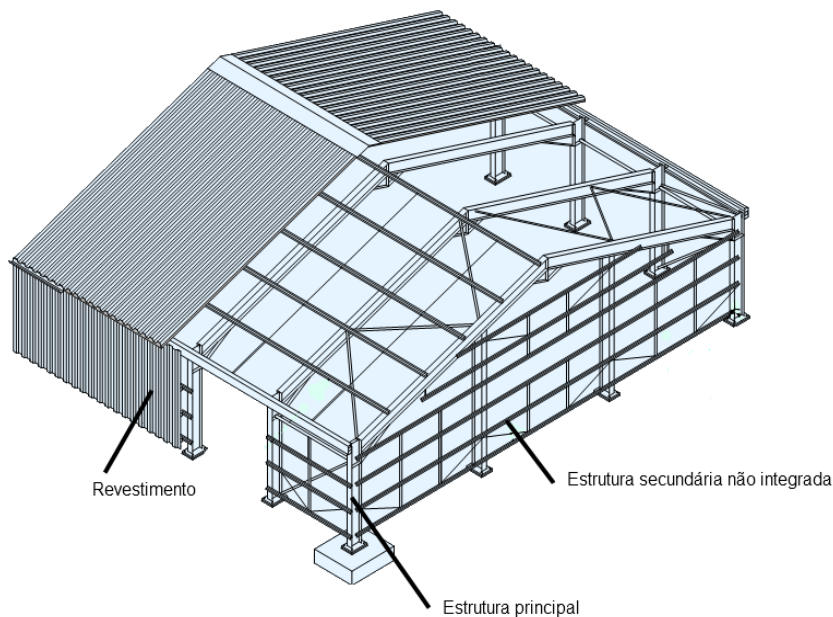


Fig. 2.6 - Representação esquemática da composição do sistema numa estrutura porticada. Adaptado de [10].

Para além destes componentes é necessário ter em conta os componentes do sistema que servem como interface com outros sistemas tais como sistemas de fundações, cobertura (ligação a platibanda, rufos, etc.), águas pluviais (caleiras e tubos de queda) e aberturas (caixilharia, peitoris, ombreiras, entre outros) (Figura 2.7).

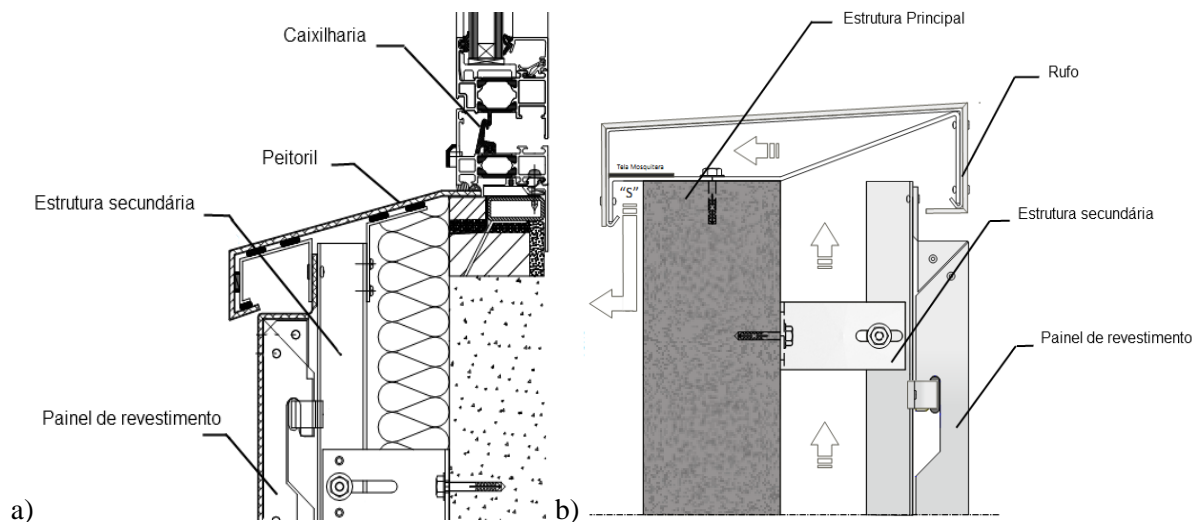


Fig. 2.7– Exemplos de interface: a) Revestimento/peitoril, b) Revestimento/rufo. Adaptado de [11].

Estes três componentes principais podem ser aplicados e montados na obra com um nível de produção artesanal ou com prefabricação. No primeiro caso, os materiais são adquiridos e inseridos em obra separadamente sendo posteriormente integrados entre si respeitando a ordem lógica de aplicação e montagem. No segundo caso, os componentes são integrados entre si fora do local de implantação sendo posteriormente inseridos em obra integrando os três componentes principais, e originando assim uma solução de revestimento prefabricada. É segundo estes diferentes graus de produção que se efetua a descrição das soluções no presente trabalho. Estes componentes e as suas características e propriedades, consideradas para o desenvolvimento de projetos e para a análise do seu desempenho, são descritos de acordo com as soluções de revestimento em aço e integram os subcapítulos 2.4. e 2.5.

2.4. SOLUÇÕES CORRENTES ARTESANAIS TOTAIS

2.4.1. SISTEMAS EM CHAPAS PERFILADAS SIMPLES

As chapas de aço perfiladas simples são realizadas a partir de tiras de aço laminadas a frio numa direção, sendo posteriormente moldadas em variados perfis. É apresentada como a solução mais simples de revestimento em aço, consistindo unicamente numa chapa ou folha de aço colocada e fixada diretamente sobre a estrutura secundária não integrada (mães secundárias verticais ou horizontais) sem camada de isolamento ou de revestimento interno.

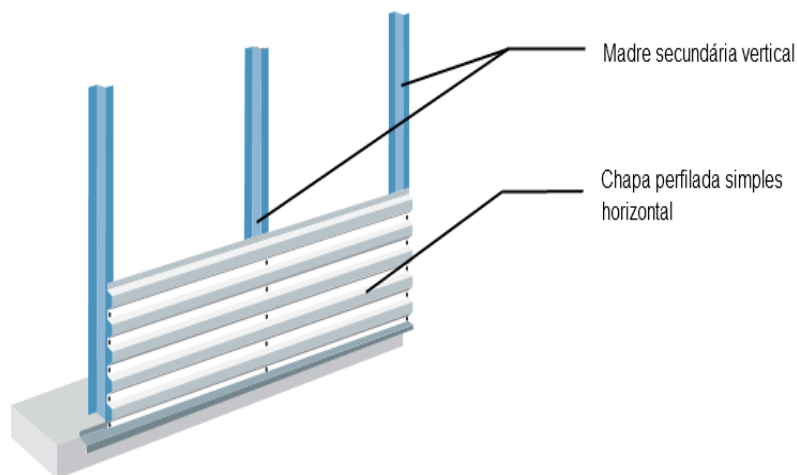


Fig. 2.8 – Revestimento em chapa perfilada simples sobre madres secundárias verticais. Adaptado de [12].

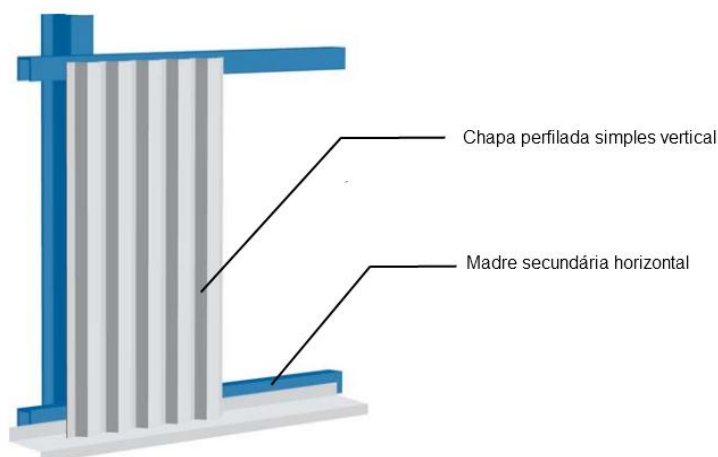


Fig. 2.9 - Revestimento em chapa perfilada simples sobre madres secundárias horizontais. Adaptado de [12].

No caso de as chapas estarem dispostas horizontalmente, estas são colocadas sobre madres verticais (Figura 2.8) e, no caso de chapas dispostas verticalmente, a colocação é feita sobre madres horizontais (Figura 2.9). A razão do suporte estar na direção perpendicular à direção da chapa deve-se ao facto de como a estabilidade das chapas reside na direção do perfil, estas são suportadas e fixas às madres perpendicularmente à orientação vertical ou horizontal do perfil, em conformidade com a orientação da estrutura secundária de suporte.

Esta solução recorre a um meio de produção do tipo artesanal total já que todo o seu processo de produção é realizado em obra, incluindo os processos de fixação da chapa perfilada à estrutura secundária e consequentemente a fixação da estrutura secundária à estrutura primária e também os processos de colocação de juntas e dos componentes de interface.

As chapas de aço são, há muito tempo, uma solução usada como revestimento de fachadas e coberturas, que, devido ao facto de ser a solução mais simples, barata e sem qualquer tipo de isolamento, é usada em edifícios que não requerem grandes necessidades em termos de conforto

térmico ou acústico, tais como edifícios agrícolas, armazéns ou edifícios que produzem aquecimento através das suas próprias funções tais como fundições.

2.4.2. TIPOS DE PERFIS UTILIZADOS EM SISTEMAS EM CHAPAS PERFILADAS SIMPLES.

Inicialmente, as chapas de aço apresentavam unicamente um perfil sinusoidal ou ondulado sendo protegidas da corrosão por materiais como o alcatrão ou a tinta. No entanto, esta proteção, sendo eficaz quando a adesão da camada protetora à chapa de aço era adequada, mal ocorria fissuração da proteção, a corrosão desenvolvia-se frequentemente e com rapidez. Os avanços nas técnicas de laminação a frio permitiram a introdução no mercado de vários tipos de perfis para além do perfil sinusoidal, desde o tipo trapezoidal, ao tipo zigzag bem como uma vasta gama de perfis especiais, todos eles com muito mais adequada proteção anticorrosiva. A melhoria verificada na resistência e rigidez destes perfis permitiu a utilização de camadas com menor espessura e um maior espaçamento das estruturas de suporte (Figuras 2.10 e 2.11).

A vantagem na utilização de chapas de aço deve-se à sua favorável razão resistência/peso próprio e à sua ductilidade tornando estas chapas numa solução económica, prática e leve. O principal problema associado às chapas de aço relaciona-se com a questão da corrosão e de como aumentar a proteção destas face a este problema, pelo que foram desenvolvidas várias soluções de acabamento que são posteriormente analisadas na secção 2.4.3.



Fig. 2.10 – Exemplo de aplicação de uma chapa perfilada sinusoidal.

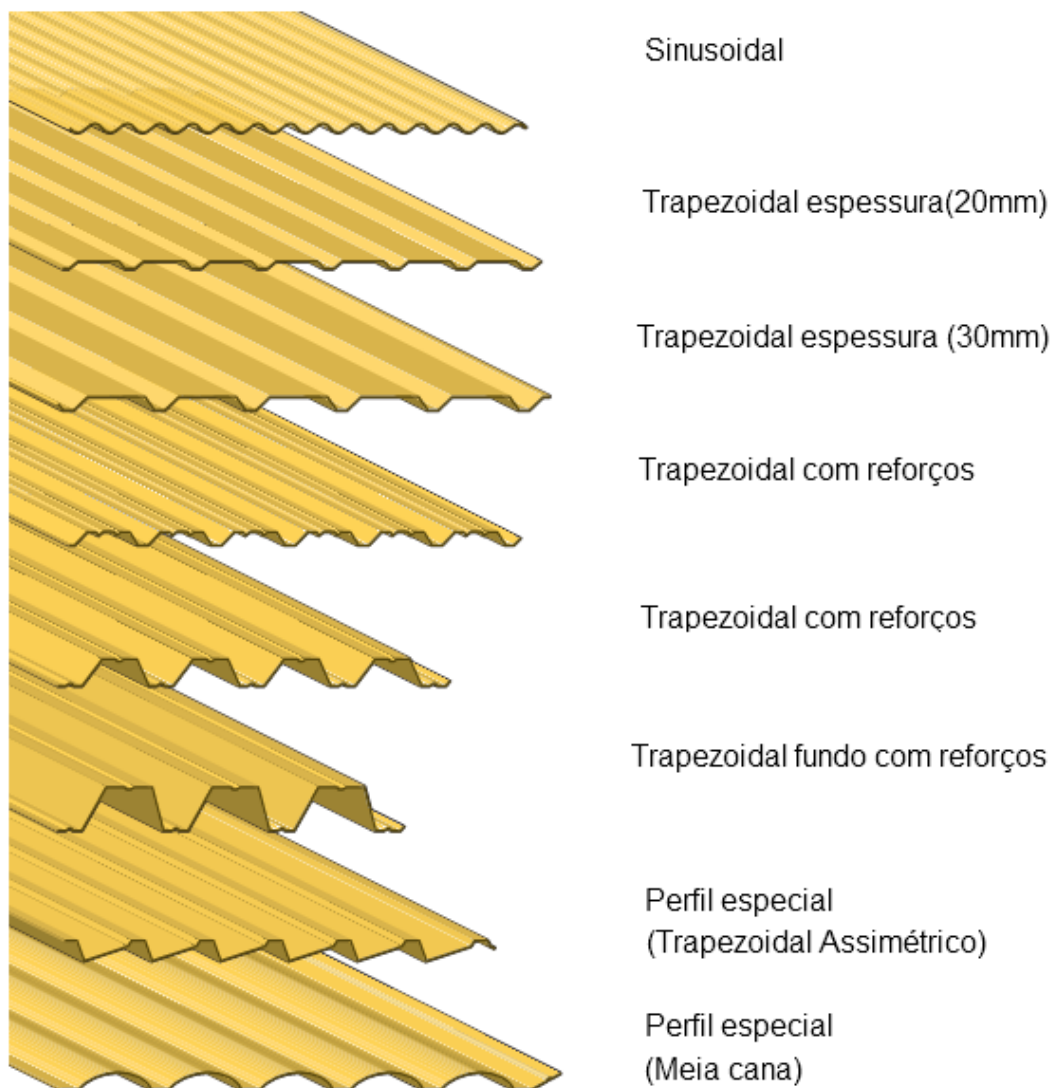


Fig. 2.11 – Exemplos de perfis de chapa. Adaptado de [13].

2.4.3. SOLUÇÕES DE ACABAMENTO PARA SISTEMAS EM CHAPAS PERFILADAS SIMPLES

Quando o aço é exposto a condições que provocam corrosão tais como humidade permanente, poluição atmosférica, soluções salinas ou em contacto com diferentes metais, ocorre no aço um processo de oxidação denominado como corrosão onde o aço tende a ficar em um estado oxidado similar em termos de composição ao minério de ferro a partir do qual foi produzido.

A oxidação leva ao aparecimento de uma película superficial avermelhada conhecida como ferrugem, ocorrendo uma corrosão progressiva já que, apesar do aparecimento do depósito inicial à superfície, a corrosão continua a desenvolver-se por baixo desta. Este fenómeno leva a uma redução das propriedades favoráveis das chapas de aço referidas anteriormente: a sua razão resistência/ peso e a sua ductilidade. Esta redução do desempenho deve-se ao facto de a ferrugem possuir propriedades de qualidade oposta, ou seja, a ferrugem tem como propriedades uma reduzida ductilidade e resistência.

Com o objetivo de diminuir os efeitos da corrosão nas chapas de aço, recorre-se ao aço galvanizado (aço com uma camada superficial fina de zinco), que permite uma maior durabilidade. Porém, com o tempo, essa durabilidade diminui graças ao efeito das ações climáticas tais como a ação do vento e da chuva, ocorrendo uma corrosão e desaparecimento progressivo da camada de zinco.

Os acabamentos orgânicos são um tipo de acabamento muito utilizado atualmente e servem como uma barreira com o objetivo de proteger a camada de zinco da corrosão atmosférica, dos efeitos de erosão do vento e da chuva e de eventuais danos causados durante a manipulação, fixação e uso das chapas. A outra função dos acabamentos orgânicos é a de permitir a aplicação de cores à superfície da chapa perfilada melhorando as suas características estéticas. A cor é aplicada por adição de um pigmento ao material de acabamento, no entanto, os efeitos da radiação ultravioleta, do vento e da chuva leva à perda gradual, mas não uniforme, da intensidade da cor, diminuindo assim a qualidade estética das chapas. Esta perda de cor verifica-se principalmente nas fachadas viradas a Sul e implica a repintura regular de modo que o acabamento orgânico continue a permitir a proteção da camada de zinco subjacente.

Para as superfícies interiores, o acabamento utilizado em chapas perfiladas simples pode ser do mesmo tipo aplicado na superfície exterior, mas também pode ser aplicado um forro anti condensação que consiste na aplicação de um forro durante o processo de laminação. Esse forro permite absorver a condensação que ocorre na face interior das chapas em condições de elevada humidade, mantendo a humidade retida nesse forro até que as condições higrotérmicas permitam que essa humidade seja libertada para o ar. Este tipo de acabamento interno só é aplicável em soluções de chapas perfiladas simples (Figura 2.12).



Fig. 2.12 – Exemplo de aplicação de forro anti condensação.

Os tipos de acabamentos orgânicos utilizados em chapas perfiladas em aço são os seguintes:

- PVC ou Plastisol – Cloreto de polivinilo;
- PMMA - Polimetil-metacrilato;
- PVDF - Fluoreto de Polivinilideno;

- Poliéster Silicone.

O PVC (cloreto de polivinilo), também conhecido por Plastisol, é geralmente o mais usado e o mais barato tipo de acabamento plástico. Consiste numa camada relativamente espessa (200 microns) de PVC com tinta primária que é aplicada sobre a camada protetora de zinco formando uma camada (Figura 2.13) com uma boa durabilidade e resistente durante o manuseamento, fixação e uso das chapas, apresentando uma esperança de vida de 30 ou mais anos no que se refere à capacidade de proteção da camada de zinco. No entanto, e tal como referido anteriormente, a duração relativamente à retenção da cor é menor, necessitando de repintura após 10-20 anos.

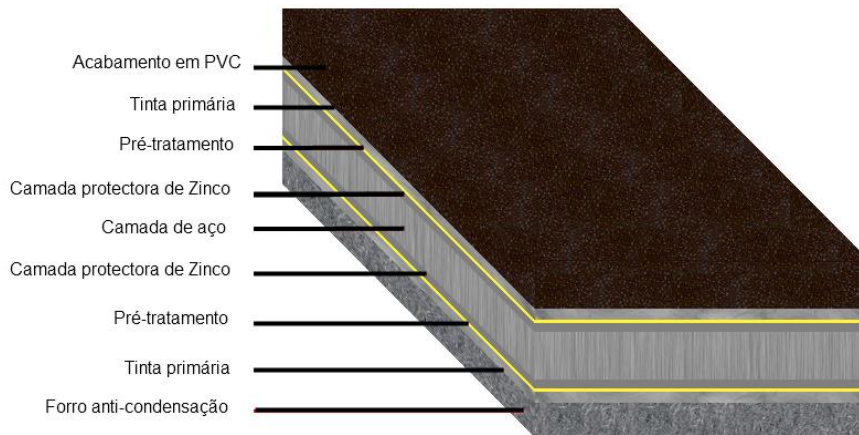


Fig. 2.13 – Perfil de uma chapa de aço galvanizado com acabamento exterior em PVC. Adaptado de [15].

O acabamento em PMMA é baseado no acrílico também conhecido como polimetil-metacrilato que é colocado com calor sobre pressão sobre a chapa de aço galvanizado até atingir uma espessura de 75 microns formando uma camada de acabamento com uma elevada resistência ao impacto e ao manuseamento, fixação e uso das chapas. Também apresenta elevada resistência aos químicos e à radiação ultravioleta, permitindo uma retenção da cor até aos 20 anos.

O PVDF é um acabamento plástico que consiste numa película fina (25 microns) de Fluoreto de Polivinilideno colocada sobre a camada de zinco. É caracterizada pela sua elevada resistência aos elementos climáticos, químicos e à radiação ultravioleta, sendo também caracterizada pela sua elevada durabilidade. No entanto, a reduzida espessura leva a uma menor resistência à abrasão do que os acabamentos que apresentam maiores espessuras, como o Plastisol e o PMMA e leva também a uma maior probabilidade de ocorrerem danos durante o manuseamento e fixação das chapas. A duração relativamente à retenção da cor é de cerca de 15 a 30 anos até necessitar de repintura.

O Poliéster Silicone é o acabamento orgânico mais barato e encontra-se indicado para o uso em climas temperados onde se espera que a primeira operação da manutenção ocorra num curto espaço de tempo (5 a 8 anos). Não é adequado para aplicação em chapas localizadas em climas marinhos ou onde exista um elevado nível de poluição atmosférica de origem industrial. As chapas de aço galvanizado levam uma película de primário e de poliéster silicone com uma espessura de 25 microns. Este acabamento providencia uma proteção razoável contra eventuais danos no manuseamento, fixação e uso e oferece uma resistência elevada à radiação ultravioleta.

2.4.4. SOLUÇÕES DE FIXAÇÃO E SOBREPOSIÇÃO PARA SISTEMAS EM CHAPA PERFILADA SIMPLES

As chapas perfiladas simples são geralmente fixadas mecanicamente à estrutura secundária, à estrutura primária ou entre duas chapas adjacentes através de parafusos em aço revestido ou em aço inoxidável para evitar a sua corrosão e conseqüentemente a corrosão das chapas. Os parafusos utilizados podem ser de dois tipos: autoperfurantes ou autorroscantes (Figura 2.14). No caso de a fixação ser efetuada com parafusos autorroscantes é necessário executar previamente o furo, de acordo com o diâmetro do parafuso utilizado.

Os parafusos devem ser sempre fixados com anilhas vedantes de modo a criar, quando a fixação é executada corretamente, uma fixação estanque à água e ao vapor. A anilha vedante é composta por uma aduela metálica e por uma anilha em neoprene. Estas anilhas vedantes devem apresentar resistência adequada às forças aplicadas durante a sua instalação e também devem ser resistentes às ações ambientais e mecânicas a que, eventualmente irão estar sujeitas durante o seu período de serviço.

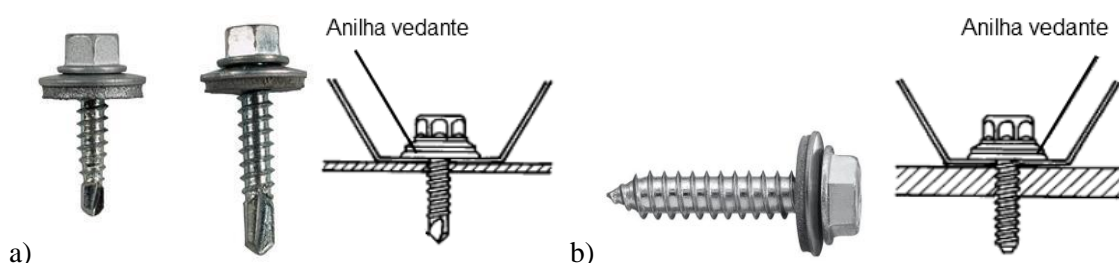


Fig. 2.14 – Fixação: a) Parafuso autoperfurante com anilha vedante, b) Parafuso autorroscante com anilha vedante [16].

É possível definir dois tipos diferentes de fixação: a fixação primária e a fixação secundária. A fixação primária tem como função a transmissão das cargas pelos componentes até à estrutura principal. Consiste na fixação das chapas à estrutura secundária ou aos separadores ou também na fixação da estrutura secundária à estrutura principal. A fixação secundária não tem uma função de transmissão de cargas mas sim de garantir uma ligação estável entre chapas. Este tipo de fixação recorre a parafusos de menor comprimento para efetuar a ligação entre duas chapas adjacentes ou a ligação entre as chapas e os vários acessórios existentes.

Por uma questão de minimizar a visibilidade das fixações, normalmente a fixação é efetuada no vale da chapa. No entanto, a fixação na coroa da chapa tornou-se um método de fixação corrente, permitindo minimizar a penetração de água devido a fixações mal executadas. Essa minimização só é eficaz se a sobreposição das chapas for efetuada de modo a garantir que as duas chapas se ajustam adequadamente, diminuindo o mais possível o espaço entre as duas chapas, e também se existir o cuidado de executar a fixação sem aplicar força excessiva durante o aperto de modo a causar deformações nas chapas perfiladas. Para minimizar a visibilidade das fixações, é também possível aplicar, sobre a cabeça dos parafusos, uma tampa com a cor da chapa. No entanto, a aplicação dessas tampas são bastante demoradas e pouco eficazes com a única vantagem de melhorar o aspeto.

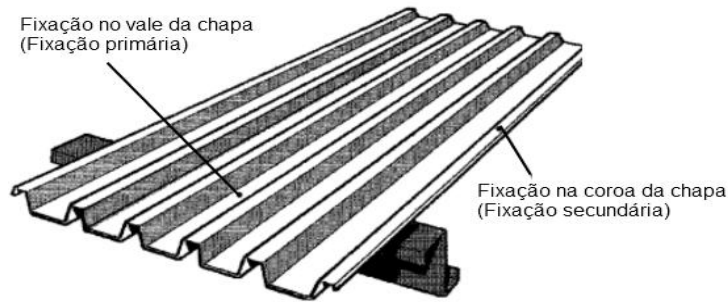


Fig. 2.15 – Representação da fixação no vale e na coroa de uma chapa trapezoidal. Adaptado de [17].

No caso de as chapas estarem dispostas horizontalmente, a fixação é concretizada verticalmente através da ligação da chapa à madre secundária horizontal, tal como descrito na figura 2.8. Na situação em que as chapas são dispostas verticalmente, a fixação ocorre horizontalmente entre a chapa e as madres secundárias horizontais, tal como descrito na figura 2.9. As fixações verticais ou horizontais apresentam, no que se refere à estanquidade à água, idêntica eficiência já que a sobreposição das chapas e a sua inclinação permitem o escoamento da água ao longo da face exterior das chapas, independentemente da disposição das fixações.

A fixação da estrutura secundária à estrutura principal é, tal como referido anteriormente, do tipo primário, através de uma cunha aparafusada à estrutura principal ou fixada diretamente com parafusos.

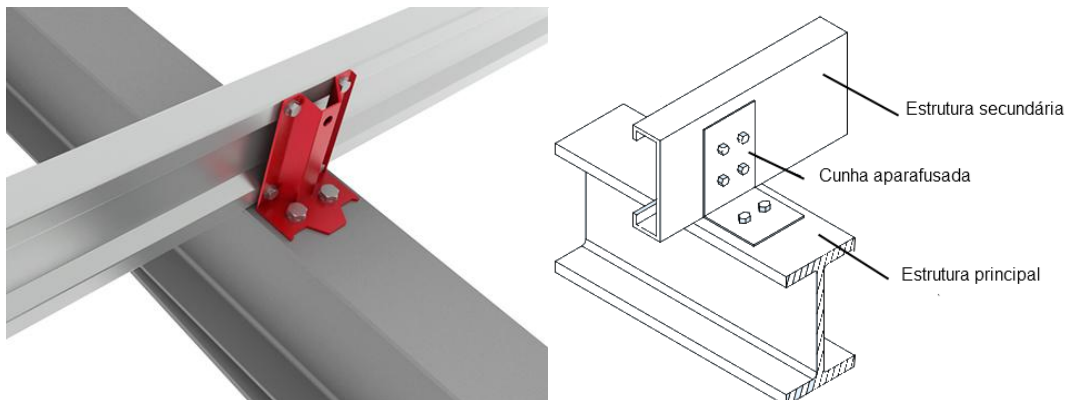


Fig. 2.16 - Fixação com cunha entre a estrutura secundária e estrutura principal. Adaptado de [10].

a) Sobreposição e fixação em chapas perfiladas sinusoidais

A sobreposição das chapas pode ser efetuada por dois métodos: através da sobreposição simples das coroas das chapas, tal como representado na figura 2.17 a), ou através da sobreposição das chapas de modo a que a chapa superior cubra a coroa e o vale da chapa inferior, tal como representado na figura 2.17 b). Este último método permite garantir uma maior estanquidade à água.

A fixação entre duas chapas adjacentes é, tal como referido anteriormente, do tipo secundário e é efetuada na coroa da chapa, correntemente com parafusos autoperfurantes. A fixação primária é efectuada no vale da crista.

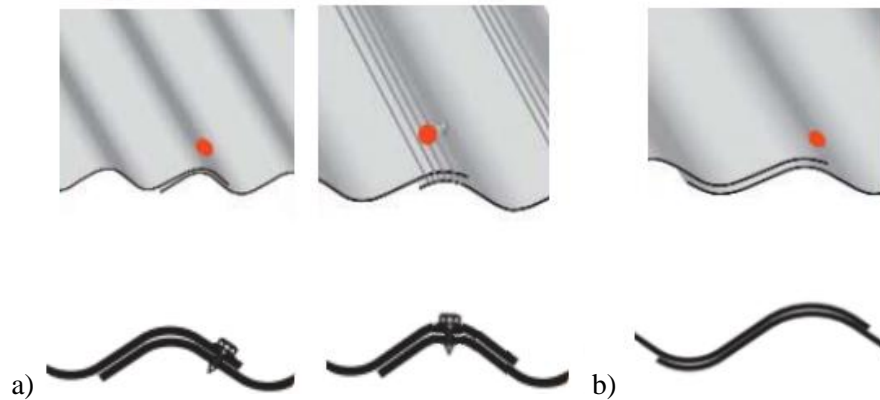


Fig. 2.17 – Fixação e sobreposição de duas chapas adjacentes: a) simples nas coroas, b) sobreposição da coroa e do vale.

b) Sobreposição e fixação em chapas perfiladas trapezoidais

No caso de chapas com perfis trapezoidais a fixação primária e secundária é realizada do mesmo modo que as chapas sinusoidais (ver figura 2.21).

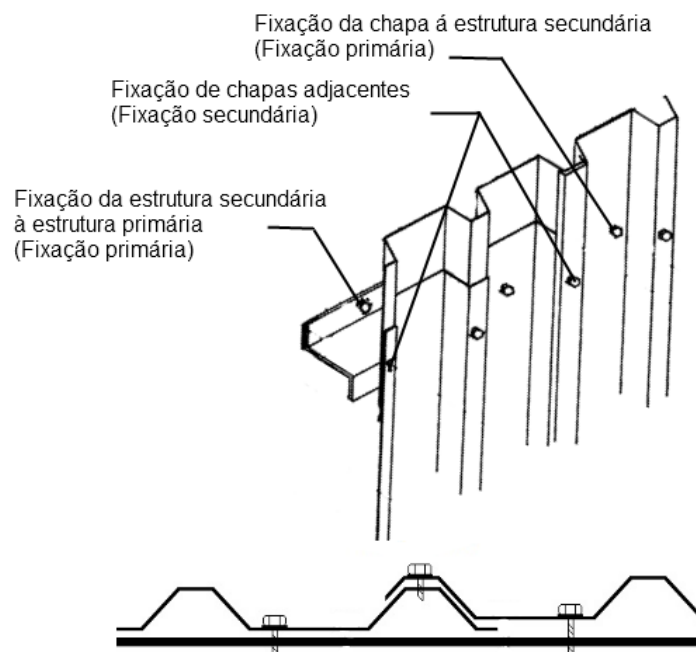


Fig 2.18 – Fixação e sobreposição de chapas perfiladas trapezoidais. Adaptado de [18].

2.4.5. JUNTAS E TOLERÂNCIAS

De modo a garantir que a fachada realiza as funções a que se destina, torna-se necessário combinar elementos de dimensões variadas. Esses elementos são geralmente conectados através de juntas, sendo necessário que as juntas não interfiram com a continuidade dos elementos ou com a aparência da

fachada como um todo. Para além do efeito das juntas na aparência da fachada é necessário igualmente garantir a estanquidade à água, ao vapor e às poeiras e partículas.

Os princípios gerais de conceção versam sobre três grandes grupos de propriedades: propriedades geométricas, estruturais e ambientais [3].

No caso das chapas perfiladas simples existem juntas abertas, verticais e horizontais. A junta vertical encontra-se na ligação das chapas adjacentes horizontalmente e a junta horizontal encontra-se na ligação das chapas adjacentes verticalmente, tal como demonstrado na figura 2.19. Neste tipo de juntas, a distância entre as chapas é muito reduzida graças à fixação mas, no entanto, os efeitos de capilaridade podem levar à penetração de água. De modo a evitar a penetração de água, poeira, ou outras partículas, é corrente aplicar uma massa vedante do tipo butílico ou de silicone. No caso das juntas horizontais, deve-se colocar duas tiras de vedante preferencialmente a 15 mm do fim de cada chapa, tal como descrito na figura 2.20 a). No caso das juntas verticais, deve-se aplicar uma tira de vedante contínua entre as duas coroas das chapas, tal como descrito na figura 2.20 b). Em ambos os casos, as tiras de vedante devem ter pelo menos 6 mm de espessura e estarem colocadas o mais próximo possível da fixação, pois é a fixação que aplica a força de compressão necessária para garantir a eficiência do vedante.

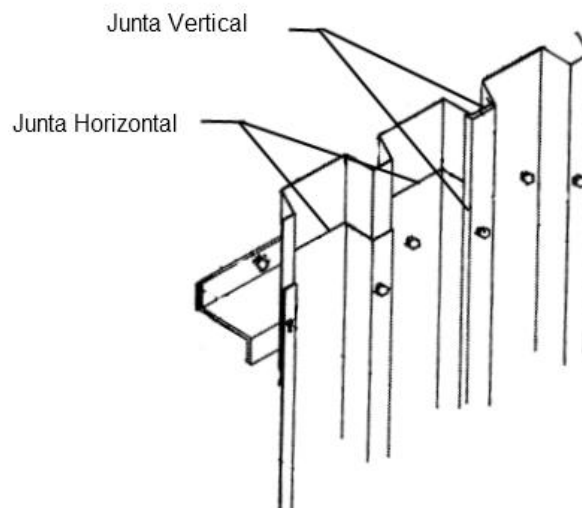


Fig. 2.19 – Juntas verticais e horizontais em ligações entre chapas perfiladas. Adaptado de [18].

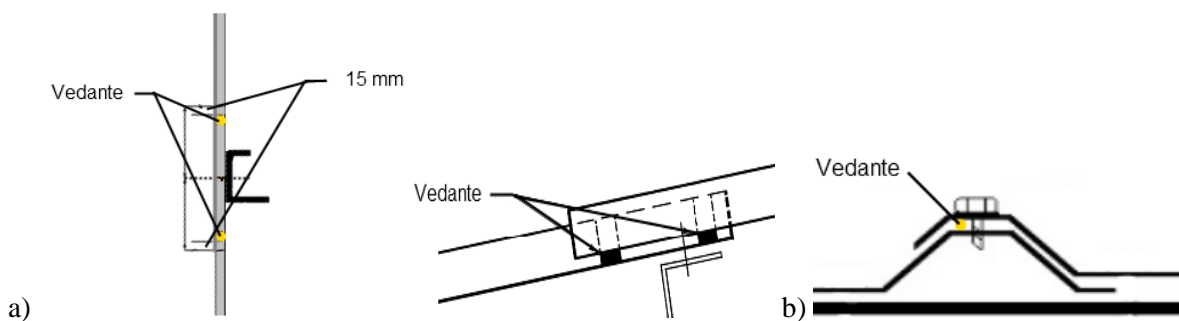


Fig. 2.20 – Disposição das tiras vedantes: a) Na junta horizontal, b) Na junta vertical.

A questão das tolerâncias é importante quando se descrevem os sistemas e a sua pormenorização. O conceito de tolerância advém da diferença entre a posição atual de um determinado componente relativamente ao edifício como um todo e a posição prevista com base nos cálculos de projeto. Como resultado dessa diferença, o intervalo entre determinados componentes poderá tornar-se demasiado grande, mas também poderá ocorrer a situação em que componentes distintos poderão ser forçados a interagir um com o outro, provocando esforços substanciais nos sistemas construtivos. Para evitar a ocorrência destas duas situações extremas e garantir que os vários componentes interagem corretamente, a pormenorização deve ter em conta, não apenas o desempenho do sistema e os fatores externos atuantes, mas também as alterações dimensionais espectáveis e não espectáveis.

No fundo, a preocupação com as tolerâncias relaciona-se com a necessidade de assegurar as corretas ligações entre os três componentes principais (estrutura principal, estrutura secundária e revestimentos) sem comprometer as exigências que a envolvente exterior deve cumprir tais como a estabilidade, estanquidade ao ar, água, entre outras.

Primeiramente deve-se assegurar que os componentes fabricados num determinado material são produzidos de acordo com as tolerâncias especificadas para esse material. No caso de componentes em aço, as tolerâncias espectáveis são da ordem dos milímetros. Deve-se também ter em conta que, na ligação entre diferentes materiais, os componentes de ligação devem permitir ajustamentos dimensionais em uma, duas ou três dimensões. Na ligação entre chapas, a sobreposição das duas chapas adjacentes permite que as variações dimensionais sejam acomodadas sem grande dificuldade. Na ligação da estrutura secundária à estrutura primária, os ajustamentos podem ser realizados através de ranhuras nos componentes de fixação que permitem o ajustamento dos parafusos de fixação ao longo de uma direção.

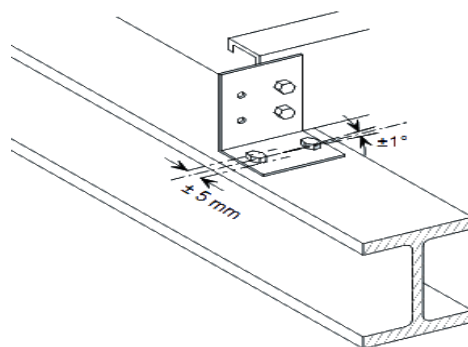


Fig. 2.21 – Tolerâncias da cunha de fixação entre a estrutura secundária e estrutura principal [18].

2.4.6. COMPONENTES DE INTERFACE DO SISTEMA

Em soluções em chapa perfilada simples, os componentes de interface que servem como ligação com outros sistemas partilham funções com os restantes componentes do sistema, tais como a estanquidade ao ar, água, difusão de vapor, entre outros. Como tal, é necessário que estes componentes apresentem uma integração completa e adequada com o restante sistema, tornando-se importante que os fornecedores dos componentes do sistema também forneçam os componentes de interface de modo a diminuir eventuais incompatibilidades.

Os componentes de interface analisados são os seguintes (Figura 2.22):

- Remate de esquina vertical;
- Remate de coroamento;
- Remate de reentrância;
- Remate de esquina horizontal;
- Remate de caixilharias e portadas;
- Remate de base de fachada.

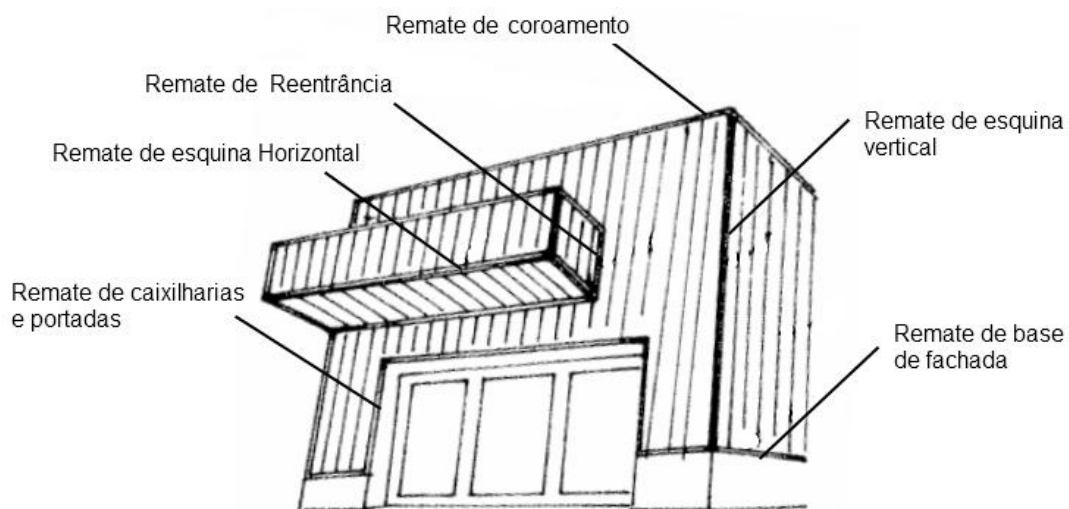


Fig. 2.22 – Representação dos componentes de interface. Adaptado de [19].

a) Remate de esquina vertical (Figuras 2.23 e 2.24)

O remate de esquina vertical é efetuado recorrendo a uma peça de canto que é sobreposta sobre as duas chapas que formam a esquina. A peça de canto pode apresentar vários perfis distintos, inclusive peças curvas.

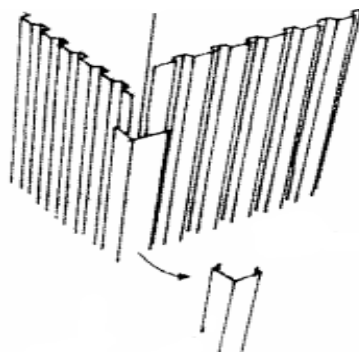


Fig. 2.23 – Remate de esquina vertical. Adaptado de [19].

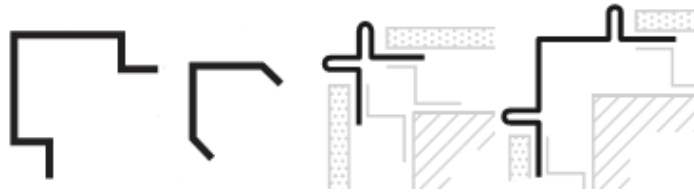


Fig. 2.24 – Exemplos de perfis das peças de canto.

b) Remate de coroamento (Figura 2.25)

Para o remate de coroamento é efetuado um capeamento com um perfil metálico formando um capacete protetor, assegurando uma inclinação adequada para o escoamento de águas.

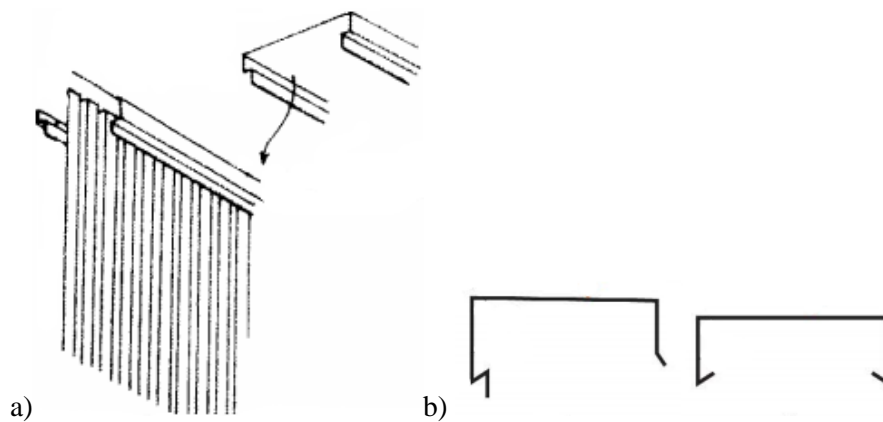


Fig. 2.25 – Remate de coroamento: a) Disposição do remate, b) Exemplos de perfis. Adaptado de [19].

c) Remate de reentrância (Figura 2.26)

O remate de reentrância recorre ao mesmo método utilizado para o remate de esquina vertical, com a exceção de que o perfil é invertido.

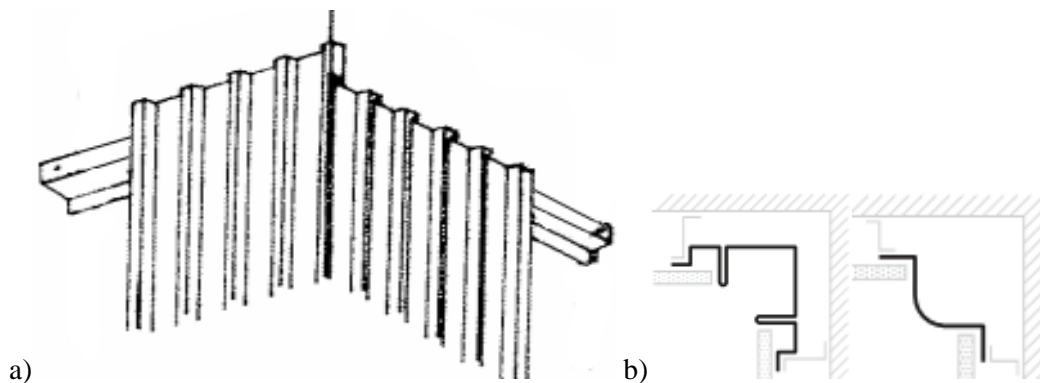


Fig. 2.26 – Remate de reentrância: a) Disposição do remate, b) Exemplos de perfis. Adaptado de [19].

d) Remate de esquina horizontal (Figura 2.27)

O procedimento de remate de esquina horizontal, no caso em que a esquina é formada pela ligação entre duas chapas, é idêntico ao remate de esquina vertical. No caso de a esquina ser formada devido à presença de um lintel, irá necessitar de perfis especiais.

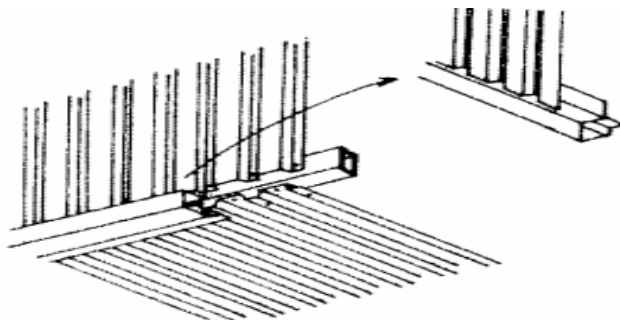


Fig. 2.27 – Remate de esquina horizontal. Adaptado de [19].

e) Remate de caixilharias e portadas (Figura 2.28)

Para este remate, recorre-se a vários perfis diferentes tais como: perfis para ombreiras, pingadeiras, revestimento interior da padieira, soleira, entre outros. Poderá necessitar de outros componentes tais como calços e batentes, tal como especificado pelo fabricante.

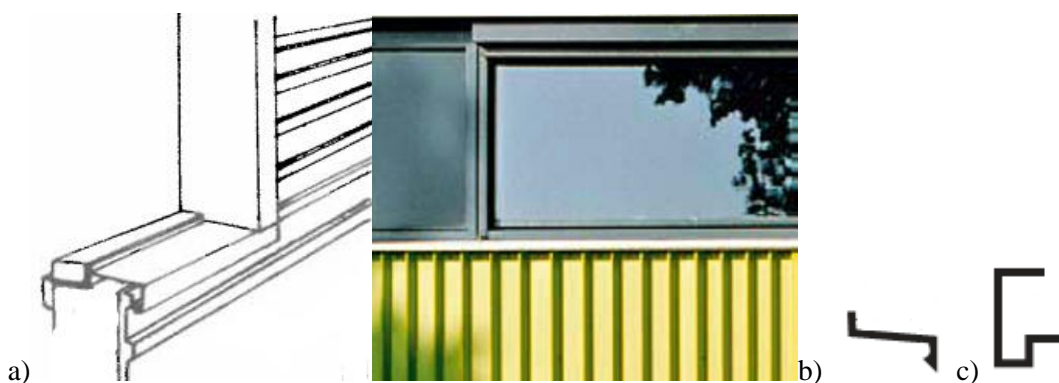


Fig. 2.28 – Remate de caixilharia: a) Disposição do remate, b) Exemplo de perfil de soleira, c) Exemplo de perfil de ombreira. Adaptado de [19].

f) Remate de base da fachada (Figura 2.29)

Para este remate, é colocada uma pingadeira sobre a base da fachada de modo a que o espaço por baixo das chapas seja coberto e protegido em termos sobretudo de entradas de água da chuva.

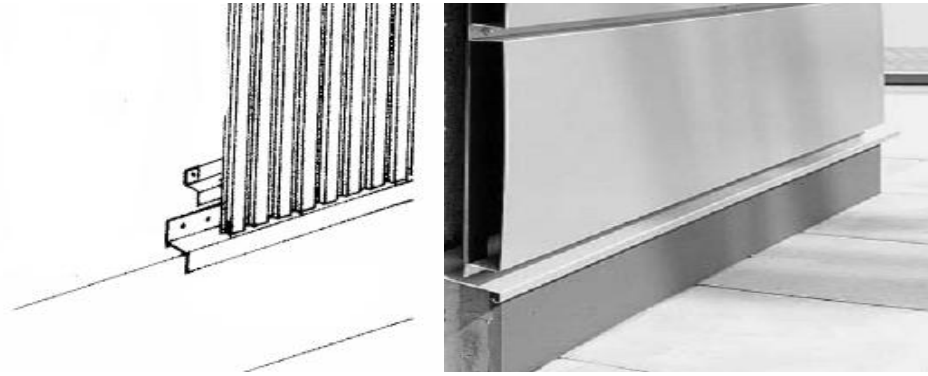


Fig. 2.29 – Remate da base da fachada. Adaptado de [19].

2.5. SOLUÇÕES CORRENTES PREFABRICADAS

Os sistemas de revestimentos em aço apresentam atualmente várias soluções diferentes em vários aspetos e propriedades, desde o seu modo de produção, o sistema de fixação, o tipo de isolamento térmico, a sua inércia, etc. Inicialmente, a chapa simples de aço era a solução mais utilizada mas era também a mais elementar. As fracas propriedades em termos de resistência térmica, resistência ao fogo, acústica, rigidez e conforto higrométrico que esta solução apresenta, juntamente com os cada vez maiores requisitos de conforto e conservação de energia, levaram progressivamente à adoção de soluções mais evoluídas e capazes de atenuar estas desvantagens. Este subcapítulo tem como objetivo a análise e descrição das soluções prefabricadas existentes mais correntes.

O objetivo destas soluções, para além de melhorar as propriedades referidas anteriormente, é de reduzir o custo da montagem, o número de operários *in situ* e melhorar o custo global do investimento em termos de custos iniciais e de exploração. Uma das maiores vantagens tem a ver com a possibilidade de a fabricação poder ser deslocada para uma fase mais inicial do planeamento e a montagem poder ser realizada independentemente do clima. O uso de uma solução prefabricada implica, no entanto, a existência de uma barreira à criatividade arquitetónica porque o sistema apresenta uma solução padrão por omissão.

As soluções descritas podem ser agrupadas do seguinte modo:

- Sistemas de painéis compostos;
- Sistemas de fachadas.

Cada uma destas soluções apresenta características e propriedades transversais a todas as soluções mas também apresentam propriedades particulares. Essas propriedades e características são analisadas nos seguintes pontos.

2.5.1. SISTEMAS DE PAINÉIS COMPOSTOS

Um painel composto consiste na união de duas películas de fina espessura a um núcleo de peso leve, formando, otimizando assim as propriedades de cada componente. No caso em estudo de

revestimentos em aço, um painel composto é formado por uma camada rígida de isolamento colocada entre duas chapas, perfiladas ou não, de aço. O resultado é um painel rígido e resistente, mas com um reduzido peso próprio e uma reduzida condutividade térmica. O uso de chapas de aço já com o acabamento na sua face exterior e interior permitem criar painéis compostos provenientes da fábrica permitindo a sua fixação rápida e simples em obra.

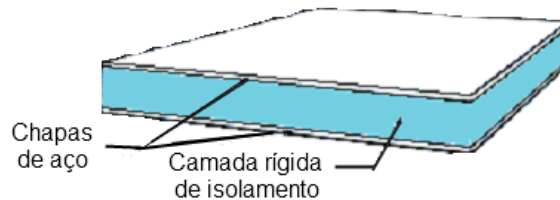


Fig. 2.30 – Constituição de um painel composto em chapas de aço.

a) Painéis compostos tipo sandwich

Os painéis sandwich são painéis compostos constituídos por chapas perfiladas ou lisas e uma camada de isolamento cuja espessura do conjunto varia geralmente entre 40 a 100 mm e um comprimento entre 300 a 1200mm. Estes painéis são montados em fábrica com as juntas já formadas no painel tornando o processo de montagem em obra eficiente e célere. O processo consiste na fixação da estrutura secundária não integrada á estrutura principal e posteriormente ocorre a fixação do painel á estrutura secundária.

Os painéis podem ser dispostos horizontalmente ou verticalmente tal como as soluções em chapas perfiladas simples analisadas no ponto 2.4.1.

Os painéis sandwich apresentam chapas de revestimento com vários tipos de perfis idênticos aos analisados no ponto 2.4.2. A chapa de revestimento exterior apresenta uma espessura típica entre 0,5 a 0,7mm e a interior deve apresentar uma espessura mínima de 0,4mm. Nos painéis compostos, o perfil da chapa não tem um papel tão importante em termos de resistência e rigidez devido á ação composta entre as duas chapas e a camada de isolamento.

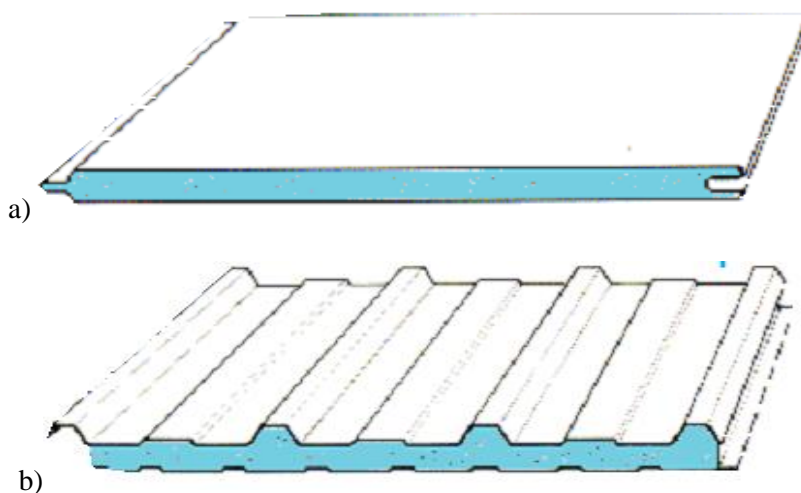


Fig. 2.31 – Exemplos de perfis de painéis sandwich: a) liso, b) trapezoidal.

Em termos de soluções de acabamento, as faces externas recorrem as mesmas opções que as analisadas no ponto 2.4.3. das soluções em chapas perfiladas simples. No que se refere às faces internas, estas necessitam da aplicação de um primário ou verniz epoxídico com o objetivo de facilitar a adesão das chapas à camada de isolamento. Quando necessário, o desempenho acústico dos sistemas pode ser melhorado, especialmente no que se refere à sua habilidade em absorver sons e minimizar a reverberação, através do uso de chapas perfuradas (Figura 2.32).

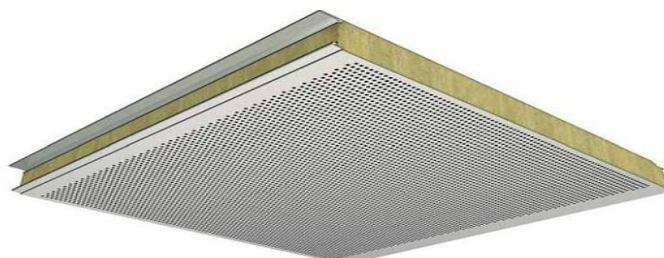


Fig. 2.32 – Painel com chapa perfurada.

Existe um número vasto de materiais de isolamento possíveis de serem aplicados em painéis compósitos, tais como:

- Poliestireno expandido moldado (EPS);
- Poliestireno expandido extrudido (XPS);
- Lã mineral;
- Espuma fenólica;
- Espuma rígida de Poliuretano (PUR);
- Espuma rígida de poli-isocianurato (PIR).

Para aplicação de isolamento em painéis sandwich sem necessidade de camadas adesivas, apenas a espuma rígida de poliuretano (PUR) e poli-isocianurato (PIR) são adequadas, já que são expansíveis e possibilitam a criação de uma ligação autoadesiva às faces interiores das chapas durante o processo de fabricação. Correntemente, a espuma de poli-isocianurato, também conhecido por uretano, é a solução mais utilizada devido à sua rápida expansão quando pulverizada sobre as faces metálicas e também devido à sua grande capacidade autoaderente, ideal para a fabricação de painéis contínuos em fábrica.

Quadro 2.3 – Condutibilidade térmica e massa volúmica da espuma rígida de poliuretano e poli-isocianurato entre paramentos metálicos [20].

Material	Condutibilidade térmica, valor de cálculo, λ (W/m.°C)	Massa volúmica, ρ (Kg/m ³)
Espuma rígida de poliuretano e poli-isocianurato	0,037	35-50

Tal como nas soluções em chapa perfilada simples, os parafusos utilizados para a fixação são também autoperfurantes e autorroscantes e incorporam uma anilha vedante. O tipo de fixação de painéis sandwich depende principalmente do tipo de perfil e de junta utilizada. Painéis lisos ou com perfis pouco acentuados e dispostos verticalmente são fixados entre si e à estrutura secundária através de fixação oculta na junta, tal como descrito na figura 2.33.

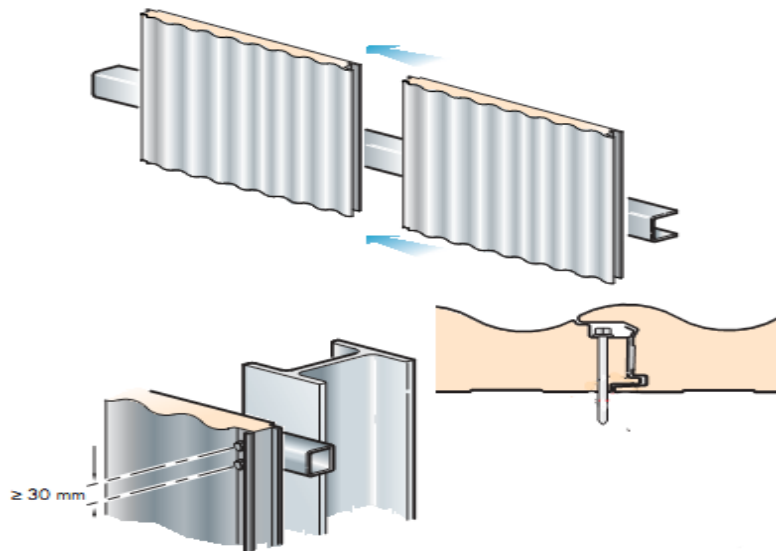


Fig. 2.33 – Fixação oculta de painéis sandwich dispostos verticalmente. Adaptado de [21].

Este tipo de painéis também podem ser fixados entre si e à estrutura secundária com fixação à vista, tal como representado na Figura 2.34 a).

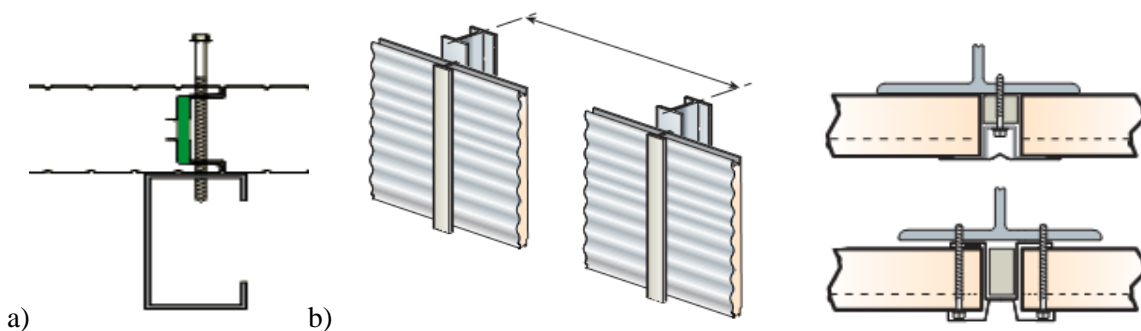


Fig. 2.34 – Tipos de Fixação: a) Direta entre painéis e estrutura secundária à vista, b) Vertical oculta. Adaptado de [21].

Em painéis dispostos horizontalmente, a fixação entre painéis e à estrutura principal é feita diretamente no sentido vertical, ficando oculta graças a um perfil cobre juntas, tal como na Figura 2.34 b).

Em painéis sandwich dispostos verticalmente ou horizontalmente, com perfis acentuados, em que a ligação entre painéis é efectuada através da sobreposição de chapas, pode ser aplicada uma fixação directa dos painéis à estrutura, tal como exemplificado nas figuras 2.34 e 2.35, ou ocorrer uma fixação primária e secundária, tal como nas soluções em chapa perfilada simples, descritas na secção 2.4.4.

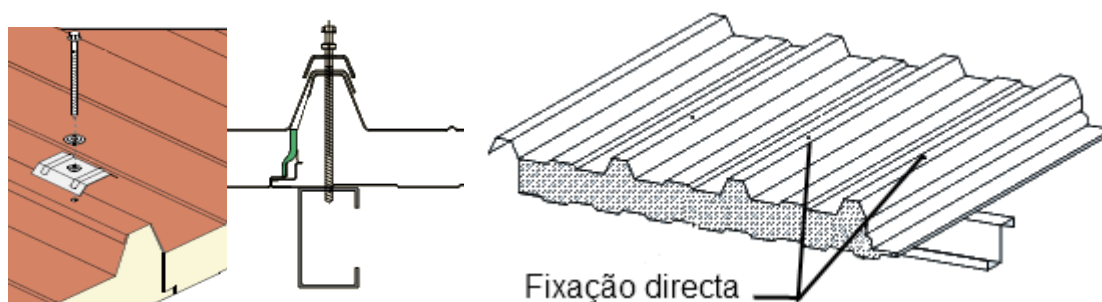


Fig. 2.35 – Fixação directa entre painéis e à estrutura secundária.

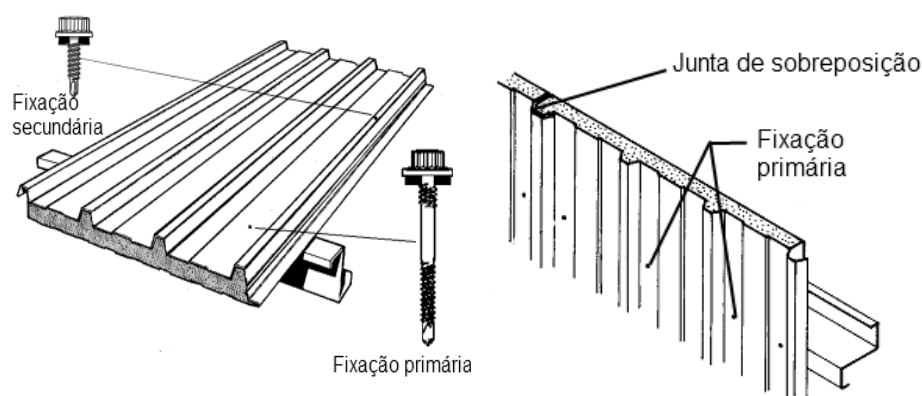


Fig. 2.36 – Fixação primária e secundária. Adaptado de [17].

No que se refere às juntas, pode-se observar nas figuras anteriores que existem vários tipos de juntas, cuja aplicação depende do tipo de perfil e da disposição do painel.

Em painéis com perfis pouco acentuados e dispostos verticalmente, a junta vertical é constituída por um conjunto de encaixe do tipo “macho e fêmea” formado pelas arestas verticais dos dois painéis adjacentes. Este tipo de junta pode ser aberta ou fechada e ambas permitem a ocultação da fixação em que a tira selante é colocada ao longo do encaixe. As juntas horizontais podem ser preenchidas com um fundo de junta e mastique, mas a solução corrente é aplicar isolamento e um cobre juntas tal como representado na figura 2.34 b), ou colocar uma junta aberta protegida com um perfil, tal como representado na figura 2.38.

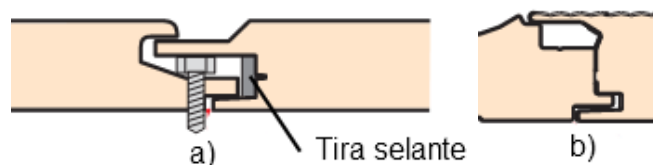


Fig. 2.37 – Juntas verticais: a) aberta com ocultação da fixação, b) fechada sem ocultação da fixação. Adaptado de [21].

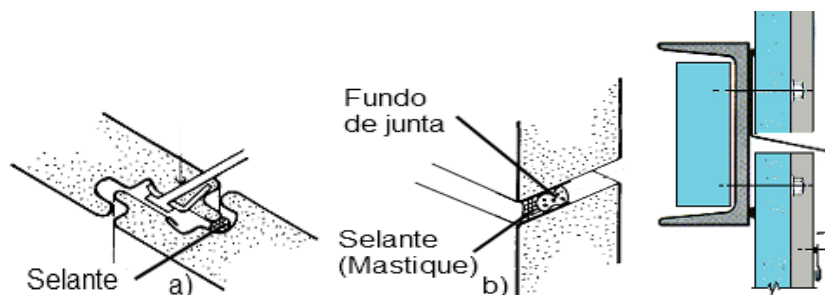


Fig. 2.38 – Selantes em juntas: a) Junta vertical, b) Junta horizontal. Adaptado de [22].

Em painéis dispostos verticalmente, a junta horizontal é constituída pelo conjunto de encaixe, tal como descrito anteriormente, e as juntas verticais são realizadas tal como representado na figura 2.34 b).

No caso de os painéis apresentarem perfis acentuados, a junta vertical consiste na sobreposição das chapas exteriores adjacentes com a aplicação de duas tiras de selante, tal como representado na figura 2.39 a). As juntas horizontais consistem na sobreposição das chapas com a disposição do selante tal como representado na figura 2.39 b), no entanto a aplicação desta solução não é muito corrente pois a aplicação de painéis com perfis acentuados é normalmente restrita a edifícios de um único andar em que não é necessário a sobreposição de painéis em altura.

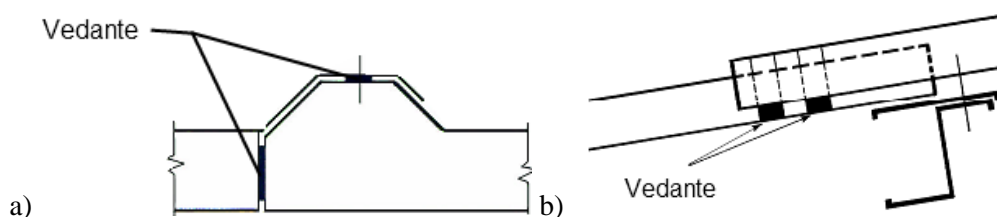


Fig. 2.39 – Junta: a) Vertical com duas tiras de vedante, b) Horizontal. [17].

Em termos de tolerâncias, a sobreposição das chapas adjacentes em painéis de perfis acentuados permite que as variações dimensionais sejam absorvidas nas juntas verticais. Na ligação do revestimento à estrutura secundária, é necessário realizar previamente os furos nos locais de fixação, com uma abertura sobredimensionada. Na ligação da estrutura secundária à estrutura primária, os ajustamentos podem ser realizados através de ranhuras nos componentes de fixação que permitem o ajustamento dos parafusos de fixação ao longo de uma ou duas direções, tal como referido na secção 2.4.5.

Relativamente aos componentes de interface apresentam-se as seguintes soluções:

- Remate de esquina vertical: O remate de esquina vertical pode ser realizado recorrendo a um painel sandwich especialmente formado em forma de esquina, ou através de um perfil metálico;

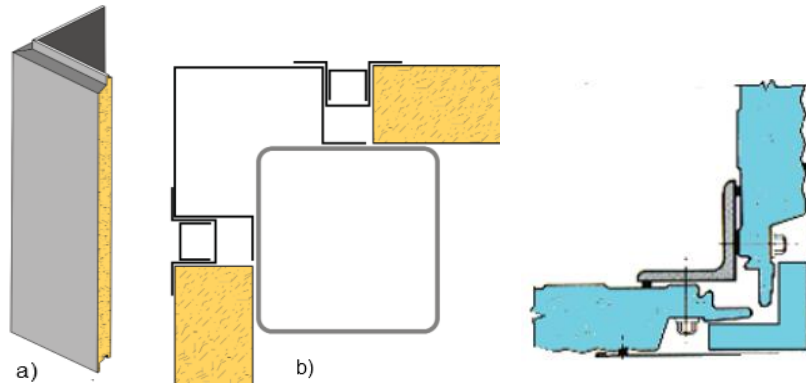


Fig. 2.40 – Remate de esquina: a) Painel em esquina, b) Perfil metálico. Adaptado de [13], [23].

- Remate de coroamento: Para o remate de coroamento é efetuado um capeamento idêntico ao referido na secção 2.4.6 b);

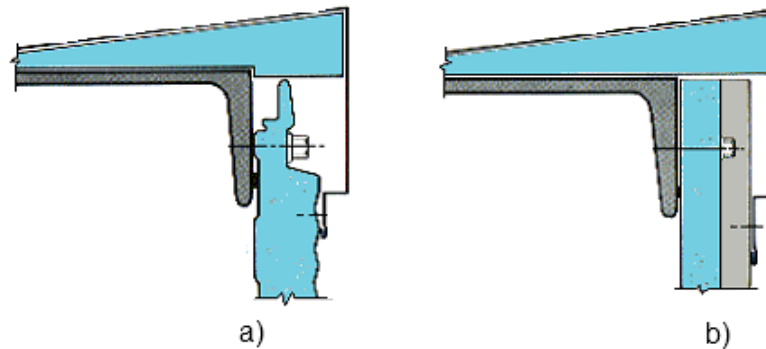


Fig. 2.41 – Remates de coroamento: a) Painéis adaptados horizontalmente, b) Painéis dispostos verticalmente
Adaptado de [23].

- Remate de reentrância: Este remate utiliza o mesmo método e perfis referidos no ponto 2.4.6 c);
- Remate de esquina horizontal: Este remate utiliza o mesmo método e perfis referidos no ponto 2.4.6 d);

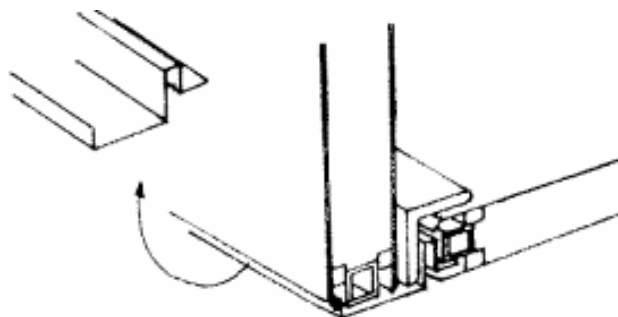


Fig. 2.42 – Remate de esquina horizontal em um rebordo inferior [19].

- Remate de caixilharias e portadas: Aplicação de perfis para ombreiras, pingadeiras, soleiras e padieira;

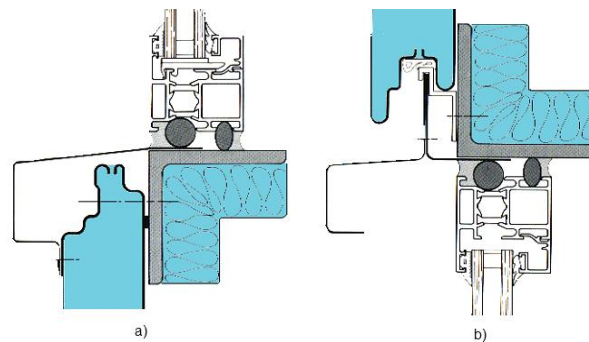


Fig. 2.43 – Perfis de remate de caixilharia; a) Soleira, b) Padieira. [23].

- Remate de base da fachada: Para a execução deste remate, utilizam-se os mesmos métodos e perfis referenciados no ponto 2.4.6 f);

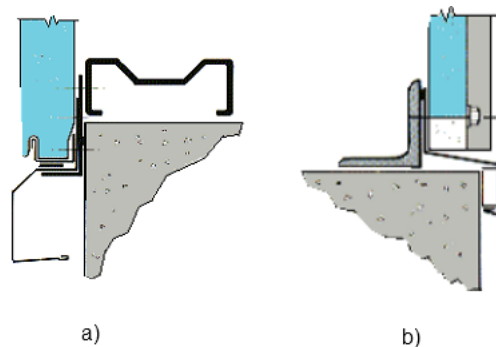


Fig. 2.44 – Remate de base da fachada: a) Painéis dispostos horizontalmente, b) Painéis dispostos verticalmente [23].

b) Painéis compostos tipo cassete

Os painéis compostos do tipo cassete são um sistema de fachada ventilada cujos painéis, de espessura menor que os painéis sandwich, são moldados sob a forma de cassetes, dispondo de uma estrutura secundária constituída por perfis verticais ou horizontais de alumínio ou aço. A estrutura secundária é fixada à estrutura principal por intermédio de distanciadores, que permitem regular a distância ao suporte, criando uma caixa-de-ar ventilada. Parte dessa caixa-de-ar é correntemente preenchida por uma camada de isolante térmico, colocada antes da fixação das cassetes à estrutura secundária.

O processo de montagem inicia-se através da verificação do estado da estrutura principal ou do suporte, para garantir que o suporte apresenta condições adequadas para a fixação e suporte. Posteriormente são instalados os distanciadores e o isolamento térmico e seguidamente colocam-se os montantes. Por fim são colocados, no sentido ascendente, os painéis na zona corrente, terminando com a instalação das cassetes em pontos singulares e interfaces. Todo este processo de montagem ocorre na obra e permite a sua aplicação em suportes de alvenaria ou de betão, desde que sejam suficientemente resistentes, estáveis e com condições de planeza adequadas.

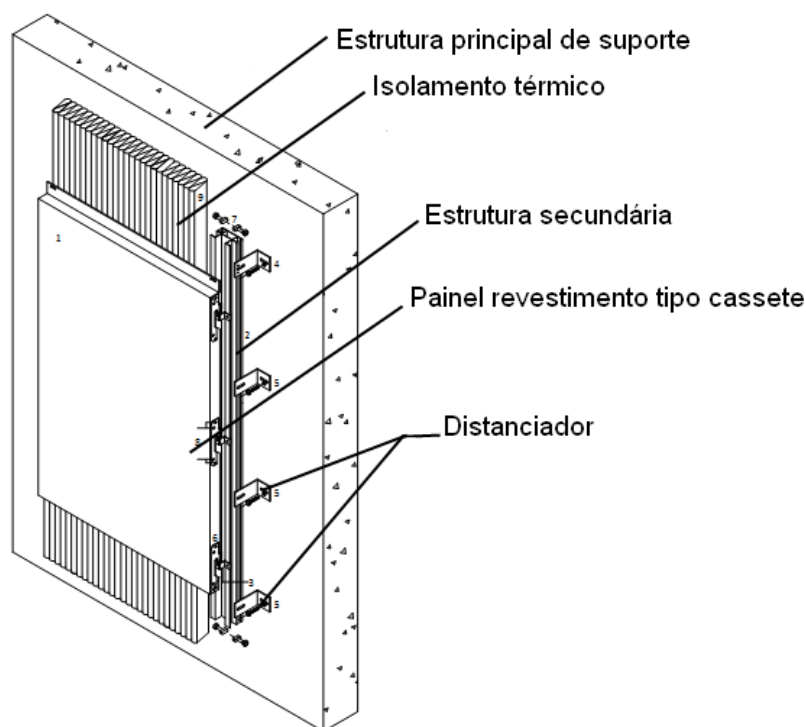


Fig. 2.45 – Decomposição do sistema de painéis compostos tipo cassette. Adaptado de [11].

Os painéis são moldados sob a forma de cassetes, com uma superfície exterior plana e com abas laterais e horizontais, dobradas a 90 graus do painel. Estas abas permitem conferir ao painel rigidez e condições para a sua fixação à estrutura de suporte. A aba horizontal superior possui uma dobra complementar destinada a melhorar o aspeto estético e a estanquidade à água e na aba inferior a dobra complementar é opcional. As abas laterais das cassetes dispõem de entalhes específicos que permitem a fixação do painel à estrutura secundária, mais propriamente às peças de suspensão. A superfície exterior e interior do painel são submetidos às mesmas opções de acabamentos referidos nas soluções em chapas perfiladas simples no ponto 2.4.3.

É possível distinguir dois tipos de cassetes disponíveis:

- Cassetes correntes: são colocadas na zona corrente do revestimento, com disposição vertical ou horizontal, segundo o definido em projeto;
- Cassetes de perfil especial: painéis colocados em cantos e esquinas usados como arranques e remates de fachadas; As suas formas e disposição serão posteriormente analisadas.

Este tipo de painéis permite o seu eventual reforço através do aumento de profundidade da aba dobrada, dobra dupla da aba em forma de U ou Z, incorporação no tardo da cassette de perfis, fixados através de uma tira contínua de adesivo ou através de rebites ou parafusos.

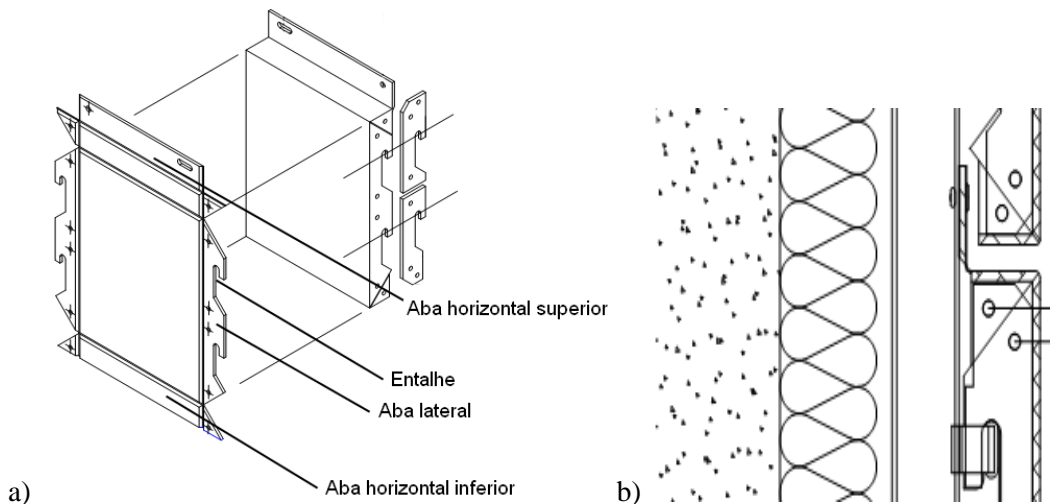


Fig. 2.46 – Painel tipo cassette: a) Composição do painel, b) Ligação entre painéis verticalmente adjacentes. [11].

A ligação entre painéis verticalmente adjacentes é efetuada através da sobreposição da parte inferior do painel sobre a aba horizontal superior do painel adjacente, tal como demonstrado na figura 2.46 b).

A caixa-de-ar deve permitir uma correta fixação da camada de isolamento que deverá ser hidrófugo, com uma barreira de vapor. Os isolamentos utilizados podem ser os referidos no ponto 2.5.1 a).

A estrutura secundária é, tal como nos sistemas já referidos anteriormente, o meio de ligação do revestimento à estrutura principal de suporte. É composto pelos montantes, peças de suspensão das cassetes, distanciadores e fixadores. É este elemento que permite a definição de uma lâmina de ar tornando este sistema de revestimento num sistema ventilado.

Os montantes podem ser constituídos por dois tipos de perfis: perfis que estabelecem a união através de distanciadores em forma de U e perfis que estabelecem a união através de distanciadores em L (Figura 2.47). Os distanciadores são elementos de união da estrutura secundária vertical à estrutura principal e definem a distância entre eles, distância essa a ocupar pela caixa-de-ar e isolamento térmico.

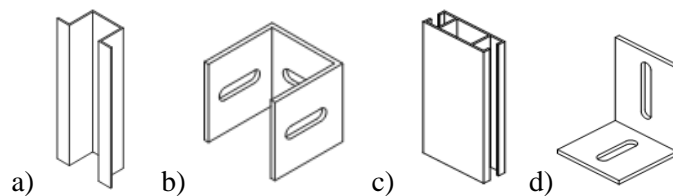


Fig. 2.47 – Montantes: a) Perfil vertical, b) Distanciador em U, c) Perfil vertical, d) Distanciador em L [11].

As peças de suspensão das cassetes são perfis que permitem a regulação em altura da suspensão das cassetes, fixando-se aos montantes por rebites ou parafusos.

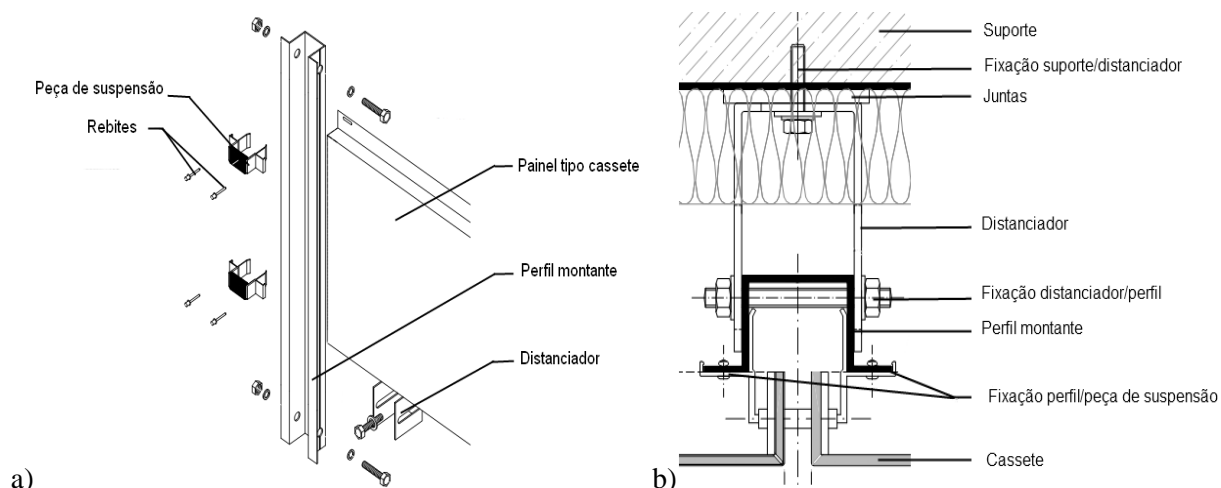


Fig. 2.48 – Painel tipo cassete: a) Decomposição da estrutura secundária, b) Solução de fixação [11].

A união entre as várias peças deve ser realizada de maneira a permitir as dilatações entre as peças de ancoragem fixas e as peças deslizantes. Os montantes são fixados mecanicamente à estrutura de suporte através de parafusos roscados com anilhas vedantes que efetuam a ligação entre o suporte e o distanciador, existindo uma junta entre o distanciador e o suporte. Esta ligação distanciador/suporte permite, para além da transmissão das cargas, a regulação em três dimensões graças às ranhuras do distanciador, permitindo o ajustamento de tolerâncias e a nivelção e aprumação de toda a estrutura secundária. Os painéis também possibilitam o ajustamento nas suas abas.

Os componentes de interface analisados para esta solução são os seguintes:

- Remate de esquina vertical: o remate de esquina vertical é realizado recorrendo a um painel do tipo cassete em forma de esquina, as esquinas não devem ser executadas através da colocação topo a topo das cassetes, mas sim somente após a colocação dos painéis correntes, tal como representado na figura 2.49 a);

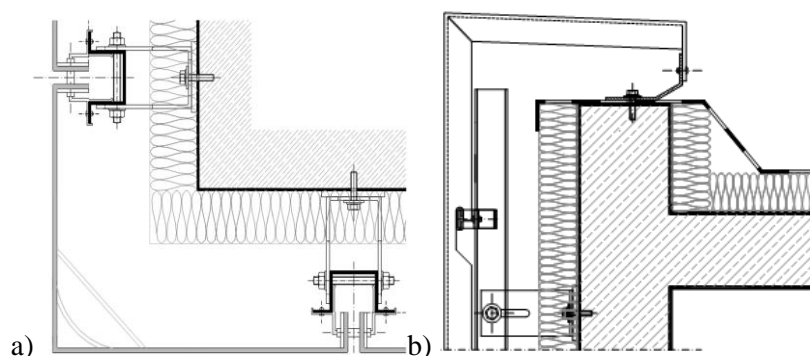


Fig. 2.49 – Remate: a) De esquina, b) De coroamento [11].

- Remate de coroamento: Para o remate de coroamento é efetuado um capeamento através de um painel do tipo cassete, tal como representado na figura 2.49 b);

- Remate de reentrância: O remate de reentrância (Figura 2.50 a)) recorre ao mesmo método utilizado para o remate de esquina vertical, com a exceção de que o perfil é invertido;

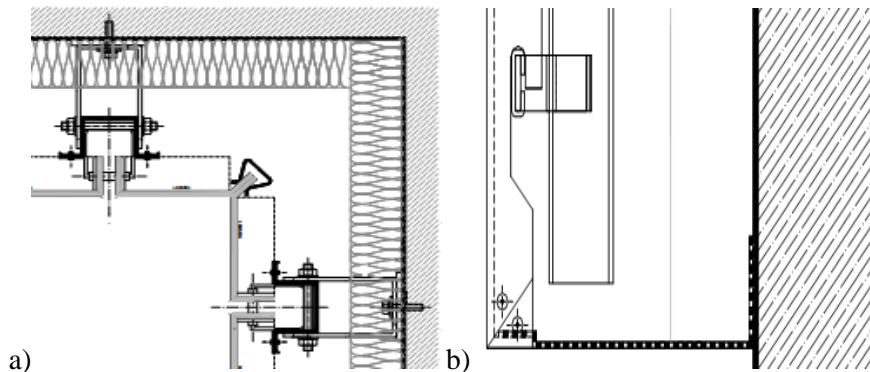


Fig. 2.50 – Remate: a) De reentrância, b) De base da fachada [11].

- Remate de base da fachada: Para a execução deste remate, utiliza-se um perfil inferior sob a forma de uma bandeja perfurada para permitir a circulação do ar, tal como representado na figura 2.50 b);
- Remate de caixilharias e portadas: Aplicação de perfis para ombreiras, pingadeiras, soleiras e padieira (Figura 2.51);

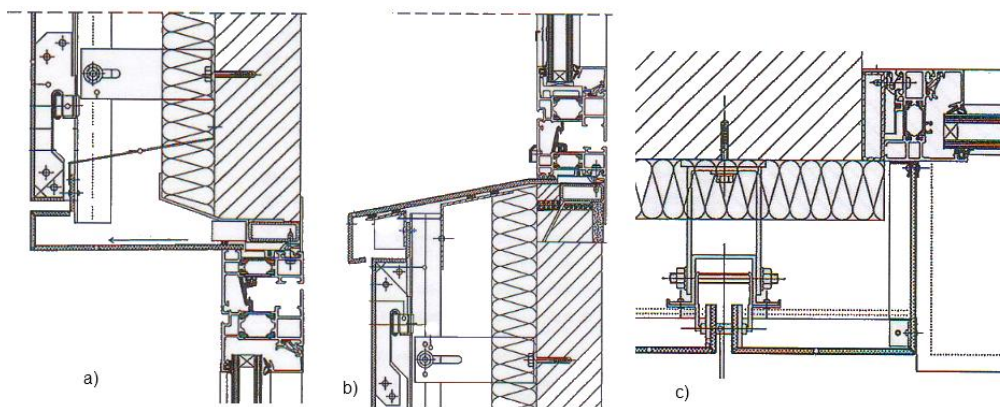


Fig. 2.51 – Remates: a) Padieira, b) Peitoril, c) Ombreira. Adaptado de [11].

2.5.2. SISTEMAS DE FACHADAS

a) Sistema de revestimento em pele dupla com espaçadores

Este tipo de sistema de revestimento é uma solução correntemente usada que é composta por uma chapa metálica perfilada interior, uma camada de isolamento térmico, componentes espaçadores e uma chapa metálica perfilada exterior. Estes componentes são montados em obra e suportados, tal como nas soluções anteriormente referidas, por uma estrutura secundária não integrada e primária.

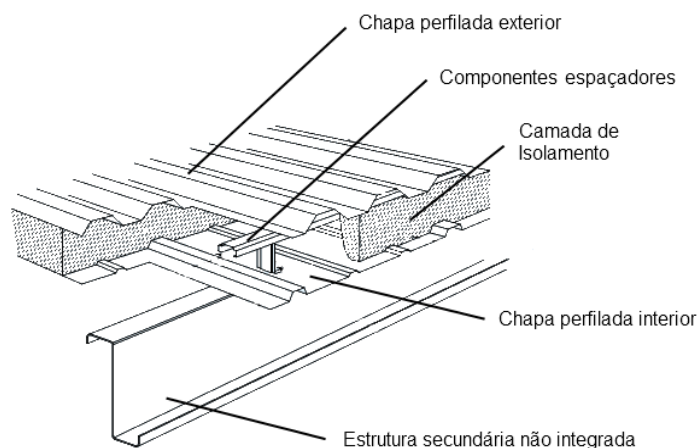


Fig. 2.52 - Revestimento em pele dupla com separadores.

A chapa perfilada interior é o primeiro componente do sistema a ser instalado e serve como suporte do isolamento térmico, criando uma camada estanque ao ar e uma contenção à estrutura secundária. Os perfis correntemente utilizados são do tipo trapezoidais com pouco relevo. A sua espessura varia tipicamente entre 0,4 a 0,7 mm. Quando necessário, e tal como referido na solução em painel sandwich, o desempenho acústico dos sistemas pode ser melhorado com o uso de chapas perfuradas. Os acabamentos são idênticos às soluções anteriormente referidas e é possível criar uma barreira ao ar e ao vapor selando as juntas da chapa ou incorporando uma membrana impermeável sobre a face interior na chapa. A chapa exterior também apresenta acabamentos idênticos.

Após a instalação da chapa interior, colocam-se os componentes de espaçamento. A função primária dos componentes de espaçamento é de suportar a chapa exterior à distância necessária da chapa interior. Estes componentes devem possuir resistência e rigidez suficiente para transmitir as cargas até à estrutura secundária sem estarem sujeitos a deformações excessivas. Para estes componentes transferirem as cargas de um modo seguro e direto, devem ser colocados sobre a estrutura secundária e adequadamente fixados. Os componentes de espaçamento podem ser de dois tipos distintos: espaçadores em Z e espaçadores em carril e suporte. Os espaçadores em z são perfis em aço que podem ser conectados a ponteiras plásticas para minimizar as pontes térmicas, ficando o isolamento comprimido entre o espaçador em Z e a chapa interior. Os espaçadores em carril e suporte consistem em carris em forma de L ou C que fornecem suporte contínuo à chapa exterior, ligada em intervalos por suportes fixados à estrutura secundária.

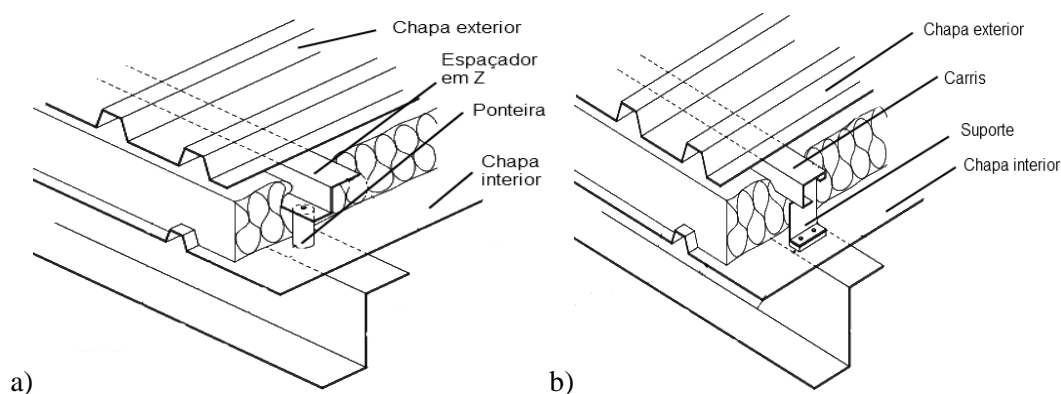


Fig. 2.53 – Componentes de espaçamento: a) Em Z, b) Em carril e suporte.

No caso de o sistema estar disposto verticalmente, os componentes de espaçamento são colocados horizontalmente. Sendo os suportes dispostos horizontalmente, os componentes são colocados verticalmente.

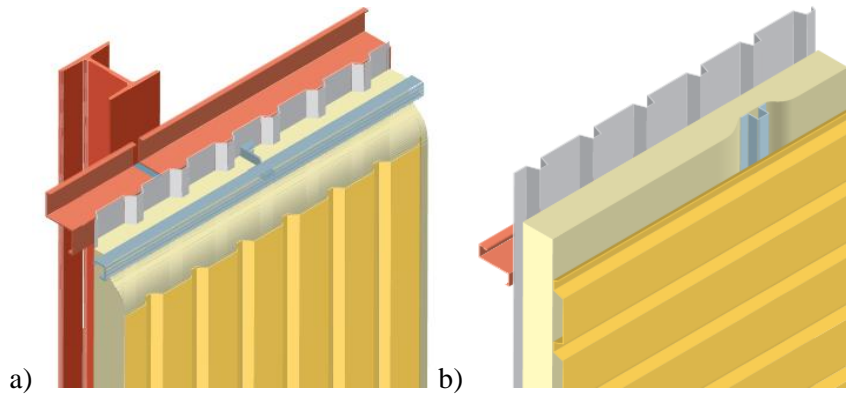


Fig. 2.54 – Disposição do sistema: a) Vertical, b) Horizontal [14].

A solução de isolamento térmico mais utilizada neste tipo de sistemas é a lã mineral, graças ao seu peso próprio reduzido, elevada resistência térmica, facilidade de uso e o seu relativo baixo custo. É levado em obra em rolos, tornando-o facilmente transportável e armazenável, mas quando aplicado, expande até à sua espessura definida em projeto, ocupando o espaço entre a chapa interior e exterior. É possível também utilizar uma camada rígida de lã de rocha, mas tem a desvantagem de ser menos deformável, e por essa razão, mais suscetível de ocorrerem espaços de ar entre o isolamento e as chapas. Após a instalação do isolamento, efetua-se a fixação da chapa exterior.

As fixações e juntas aplicáveis a este sistema são idênticas às fixações aplicáveis a sistemas compostos em painel sandwich. As fixações primárias têm a função estrutural de transferir as cargas para a estrutura secundária e, conseqüentemente, para a estrutura primária e as fixações secundárias têm a função de formar juntas entre painéis adjacentes e entre os painéis e os componentes de interface (Figura 2.55). No entanto, para além de providenciarem ligações estanques aos elementos exteriores, as suas propriedades estruturais poderão ser aplicadas para assegurar restrições laterais e de transferência de cargas.

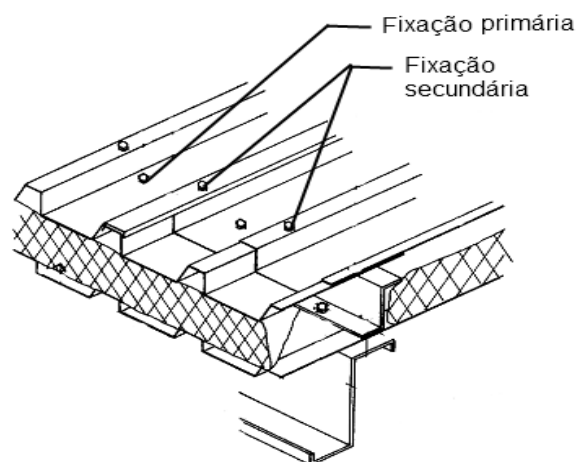


Fig. 2.55 – Fixação primária e secundária em sistema de revestimentos em pele dupla sem separadores. Adaptado de [18].

Em termos da disposição de vedantes, é corrente aplicar uma tira contínua de vedante ao longo da junta horizontal de sobreposição, criando uma barreira à condensação e uma outra tira contínua na mesma junta, criando um vedante aos elementos climáticos.

Os componentes de interface apresentam o mesmo tipo de perfis para os remates que os painéis sandwich referidos no ponto 2.5.1 a), com a exceção dos remates de esquina, em que, nesta solução, não se aplica um sistema especialmente formado em forma de esquina mas sim a colocação de um perfil de canto sobreposto sobre a ligação das duas chapas exteriores.

b) Sistema de revestimento em pele dupla sem espaçadores

Nos sistemas em pele dupla sem separadores, o sistema final assemelha-se bastante aos painéis sandwich, no entanto, neste sistema a adesão chapa interior/isolamento/chapa exterior não é efetuada com componentes auto adesivos, mas sim através de fixações com parafusos (Figura 2.56).

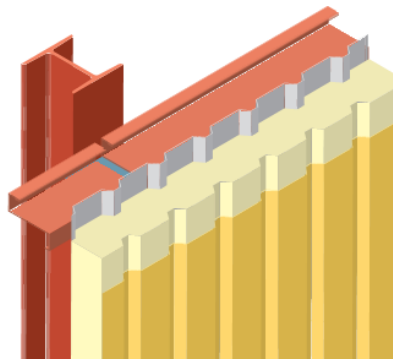


Fig. 2.56 – Revestimento em pele dupla sem separador [14].

Neste caso, os painéis não são compostos em fábrica mas sim montados em obra. O processo de montagem é idêntico ao aplicado na solução de pele dupla com separadores, exceto sem recorrer à instalação de separadores.

O isolamento correntemente utilizado é lã mineral ou placas de espuma executadas de modo a ajustarem-se aos perfis das chapas e ao espaço entre elas de modo a criar uma camada de isolamento sem espaços de ar.

Em termos de fixações, as soluções e disposição são idênticas às aplicadas em painéis sandwich, com a diferença de que as fixações, para além de terem uma função de união das várias camadas, possuem também uma função de suporte do isolamento. Os componentes de interface também são idênticos às soluções em painéis sandwich.

c) Sistema de revestimento em pele dupla com bandeja

Este sistema é constituído por uma bandeja horizontal, duas camadas de isolamento, espaçadores e uma chapa de revestimento exterior perfilada. A sua montagem é efetuada em obra sobre a estrutura principal.

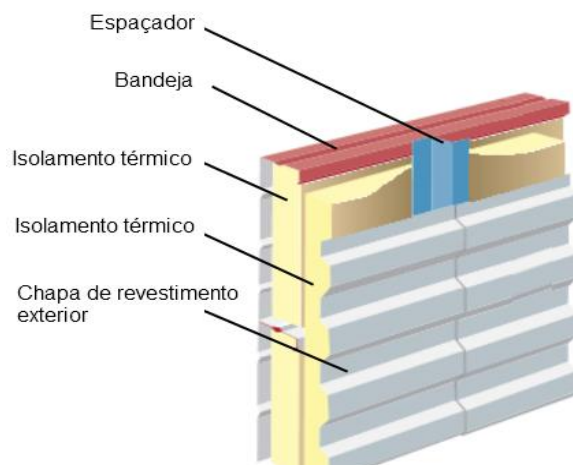


Fig. 2.57 – Decomposição do sistema de revestimento em pele dupla com bandeja. Adaptado de [12].

A grande diferença desta solução para as restantes tem a ver com a existência de bandejas horizontais (Figura 2.58) em vez de uma chapa perfilada interior. Estas bandejas são colocadas diretamente sobre a estrutura principal e servem como suporte do isolamento térmico, dispensando a necessidade de instalação de uma estrutura secundária. As propriedades acústicas do sistema podem melhoradas aplicando bandejas perfuradas.

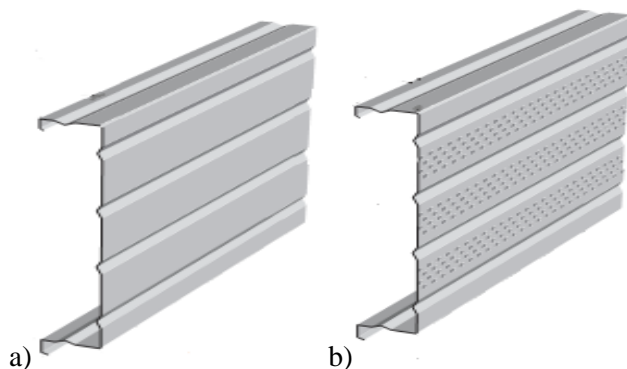


Fig. 2.58 – Bandejas horizontais: a) Face interior lisa, b) Face interior perfurada [12].

A montagem inicia-se com a colocação das bandejas fixadas à estrutura principal. Posteriormente coloca-se uma camada de isolamento entre as bandejas e de seguida outra camada de isolamento sobre as mesmas, disposta perpendicularmente. A espessura global do isolamento deverá ser definida em projeto de acordo com a regulamentação em vigor. Opcionalmente poderá ser colocada uma tela para-vapor quando são aplicadas bandejas perfurantes ou em ambientes de baixa ou média higrometria. A tela poderá estar interligada ou independente dos isolamentos.

Seguidamente efetua-se a montagem dos espaçadores (Figura 2.59). Quando possível, são colocados três tipos de espaçadores: espaçadores horizontais para assegurar a fixação das extremidades da chapa exterior, espaçadores verticais para as esquinas e espaçadores dispostos a 45 graus, assegurando a união da bandeja com a chapa exterior. Podem apresentar vários perfis tais como do tipo Z ou U, e

deverão ter a mesma altura do isolamento. A sequência de montagem inicia-se com a fixação dos perfis horizontais na parte inferior da primeira bandeja e seguidamente coloca-se os perfis diagonais fixados a cada uma das bandejas.

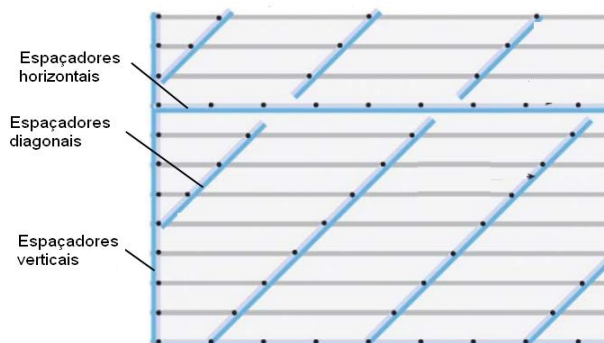


Fig. 2.59 – Disposição dos espaçadores. Adaptado de [13].

A fase final consiste na colocação das chapas exteriores sobre os espaçadores com recurso a parafusos, podendo ser dispostas verticalmente ou horizontalmente. A montagem das chapas deve obedecer a uma ordem pré estabelecida, em função do sentido dos ventos dominantes (Figura 2.60). A fixação e sobreposição dos vários componentes obedecem aos mesmos princípios das soluções 2.5.2 a) e b).

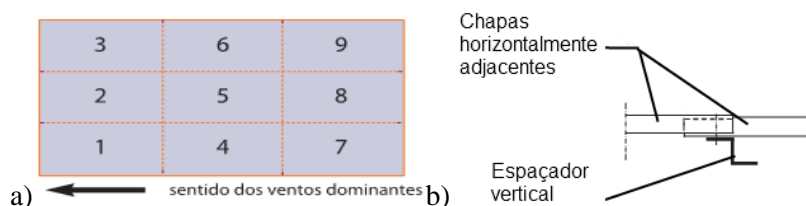


Fig. 2.60 – Chapas Exteriores: a) Esquema de disposição, b) sobreposição de duas chapas adjacentes [12].

As juntas verticais podem ser efetuadas com recurso a um perfil de emendas, com um perfil de transição ou com um perfil de largura (Figura 2.62), juntamente com tiras de vedante em todo o seu comprimento de modo a garantir a sua estanqueidade.

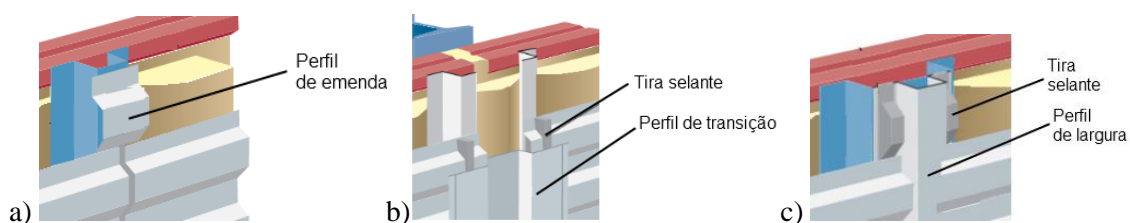


Fig. 2.61 – Tipos de juntas verticais: a) Emenda, b) Transição, c) Largura [12].

Os componentes de interface apresentam o mesmo tipo de soluções para os remates que as soluções em chapa perfilada simples, referidos no ponto 2.4.6, com a exceção dos remates de esquina, que

podem ser efetuados com recurso a perfis de canto ou com peças curvas com uma camada de isolamento também curvo.

2.6. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO

Este subcapítulo pretende estabelecer as exigências de desempenho mais relevantes para os sistemas de revestimentos em aço. As exigências de desempenho são requisitos que permitem avaliar o comportamento de um sistema em fase de utilização. O conceito de desempenho tem como base a quantificação das propriedades específicas de cada produto possibilitando a avaliação da aptidão das soluções na satisfação das exigências de desempenho.

A definição e especificação das exigências mínimas de desempenho deste órgão permitem a concentração dos parâmetros de avaliação da qualidade das diversas soluções de sistemas de revestimento em aço, através da comparação das especificações de desempenho de cada solução, posteriormente efetuada no capítulo 4. Como tal, as exigências de desempenho servem de base ao desenvolvimento do restante estudo, destacando as características fundamentais a ser analisadas nos diferentes sistemas.

2.6.1. DOCUMENTAÇÃO DE REFERÊNCIA

A introdução e aplicação de exigências aos sistemas e elementos de edifícios possibilita a elaboração de métodos qualitativos e quantitativos de modo a permitir uma avaliação do grau de eficiência e desempenho dos sistemas construtivos, permitindo assim assegurar a segurança, conforto e saúde dos utentes.

Esta avaliação é baseada em cálculos e ensaios, bem como através da aplicação de métodos experimentais, implicando a necessidade de criar normas e regulamentos que regem o processo construtivo onde a informação necessária se apresenta de um modo organizado e esclarecedor. Algumas das exigências, tais como a resistência e estabilidade, segurança contra incêndios, higiene, saúde e ambiente, são mais relevantes que outras, não sendo expectável a existência de regulamentação para todas elas. No entanto, para avaliar as restantes exigências, as informações necessárias devem ser recolhidas nos documentos disponíveis de diversos tipos, que se apresentam de seguida:

- Regulamentos;
- Normas;
- Especificações técnicas;
- Documentos pré-normativos;
- Diretivas, Guias ou Relatórios técnicos UEAtc;
- Guias EOTA;
- Documentos de homologação.

2.6.2. DEFINIÇÃO DAS EXIGÊNCIAS

As exigências das soluções em estudo neste trabalho dizem respeito à definição do órgão do edifício onde estas soluções se inserem, ou seja, os sistemas de revestimento em aço partilham as exigências de desempenho da envolvente vertical opaca, sendo estas indissociáveis. As exigências descritas neste subcapítulo são baseadas na documentação referida no ponto 2.6.1. e pretendem abordar exigências tecnológicas bem como exigências relativas à gestão dos sistemas de revestimento de fachadas em aço. O quadro 2.4 resume as exigências de desempenho mais relevantes relativas a sistemas de revestimento de fachadas em aço para edifícios.

Quadro 2.4 – Exigências de desempenho de sistemas de revestimento de fachadas em aço.

Exigências de desempenho	Requisitos de desempenho dos sistemas de revestimento
a) Resistência mecânica e estabilidade	a1) Resistência mecânica e estabilidade das estruturas de apoio secundárias e dos componentes de revestimento
	a2) Limitação da deformação de elementos
	a3) Resistência do elemento de fachada ao impacto intencional ou acidental, interno ou externo
b) Segurança contra incêndios	b1) Reação ao fogo dos componentes de revestimento
	b2) Resistência ao fogo dos componentes de fixação e de suporte
	b3) Acessibilidade através das fachadas em caso de incêndio
	b4) Resistência à propagação do fogo para andares superiores ou edificações vizinhas
c) Higiene, saúde e ambiente	c1) Desenvolvimento de organismos
	c2) Libertação de poeiras e partículas
	c3) Toxicidade dos componentes
	c4) Estanquidade ao ar
d) Segurança na utilização	d1) Conforto táctil e homogeneidade
	d2) Planeza, verticalidade, horizontalidade e retidão das arestas
	d3) Aptidão para incorporar elementos de instalações
e) Acústica	e1) Transmissão de sons aéreos
	e2) Absorção e reverberação
	e3) Comportamento a sons de impacto
	e4) Comportamento a sons associados a equipamentos
f) Economia de energia e desempenho térmico	f1) Consumo de energia
	f2) Transmissão e inércia térmica
	f3) Pontes térmicas
	f4) Taxa mínima de ventilação
g) Durabilidade, Facilidade de limpeza e manutenção	g1) Facilidade de colocação, montagem e desmontagem
	g2) Durabilidade e vida útil do sistema de revestimento
	g3) Garantia de seleção de componentes de acordo com a vida útil expectável
	g4) Facilidade de manutenção, conservação e limpeza
	g5) Facilidade de transporte e armazenamento
h) Outras exigências relevantes	h1) Estanquidade à água
	h2) Condensação intersticial
	h3) Aparência

a) Resistência mecânica e estabilidade

a1) Resistência mecânica e estabilidade das estruturas de apoio secundárias e dos componentes de revestimento

Para permitir que o projeto do sistema de revestimento assegure a sua resistência e estabilidade de modo a não comprometer a estrutura de apoio e os componentes, deve-se ter em conta e quantificar todas as solicitações aplicáveis ao sistema de fachada, como tal deve-se ter em conta o peso próprio, os efeitos da variação de temperatura e da higrotérmica, as cargas horizontais originadas pela ação do vento e outras cargas provenientes da utilização e de operações de manutenção. Deve-se igualmente ter em conta, ao analisar os efeitos de cada solicitação ou da combinação de solicitações, os valores admissíveis de deformação de cada componente, quantificando-os. É necessário ter em conta os seguintes aspetos:

- Cargas;
- Combinações de cargas;
- Deformações;
- Transmissão de cargas entre elementos do sistema de fachada;
- Tabelas de carregamento dos perfis.

Na maioria das aplicações de sistemas de revestimento em aço, a única ação permanente a considerar em projeto é o seu peso-próprio, incluindo a estrutura secundária, espaçadores e isolamento. No caso de sistemas de revestimento aplicáveis a estruturas de suporte em alvenaria ou em betão, é necessário ter em conta, o impacto do peso próprio na especificação dos elementos de fixação. No que se refere às ações variáveis, a ação mais relevante é o vento. A consideração da ação do vento em projeto deve ter em conta a localização geográfica do edifício, a área e a forma do edifício sujeita à ação e a proteção ao vento graças a edifícios na vizinhança, obtendo-se valores de cálculo para as pressões internas e externas a que o edifício está sujeito. As pressões externas variam de acordo com a orientação da fachada e as pressões internas variam de acordo com o número e o tamanho das aberturas e a sua orientação.

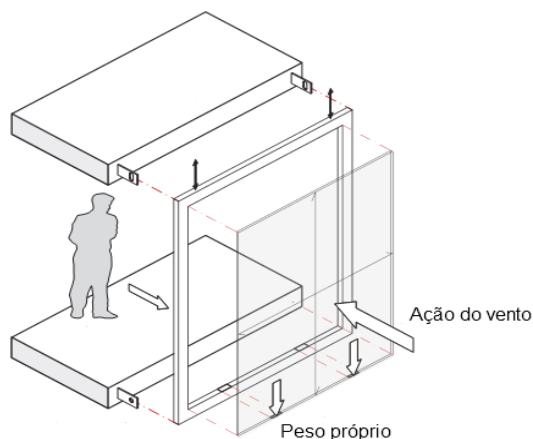


Fig. 2.62 – Ação do vento e do peso-próprio em sistemas de revestimento. Adaptado de [9].

A pressão e a depressão do vento deverão ser consideradas com especial cuidado nas áreas das esquinas das fachadas sujeitas a uma elevada sucção do vento. Estas questões são normalmente consideradas em projeto através da resistência dos componentes de fixação entre o elemento de revestimento e a estrutura secundária.

Quadro 2.5 – Pesos próprios correntes de exemplos de sistema de revestimento.

Sistema de revestimento	Isolamento	Profundidade dos perfis de chapa (mm)	Espessura dos perfis de chapa (mm)		Peso próprio (kN/m ²)
			Interior	Exterior	
Painel sandwich	Espuma rígida de poli-isocianurato	80	0,4	0,5	0,12
Sistema de pele dupla com espaçadores	Lã mineral	180	0,4	0,7	0,16

As cargas deverão ser aplicadas na combinação mais desfavorável para a parte ou efeito sob consideração, tendo em conta o estado limite de utilização e o estado limite último.

Os componentes de revestimento devem possuir a capacidade de transmitir à estrutura secundária o carregamento originário de ações permanentes e variáveis e, consecutivamente, a estrutura secundária deve garantir que o suporte e transmissão das cargas provenientes dos componentes de revestimento para a estrutura principal sejam realizados.

Os fabricantes de sistemas de revestimento devem oferecer tabelas de carregamento referentes aos perfis de estrutura secundária, podendo ser utilizados para selecionar um perfil adequado ou, no caso de o perfil já ter sido escolhido, determinar o espaçamento máximo admissível entre perfis.

O elemento de revestimento deve, quando necessário, ser capaz de providenciar restrições ao movimento da estrutura secundária ou aos espaçadores. Essa capacidade depende da resistência e da rigidez do elemento de revestimento definindo, mais concretamente, no tipo de perfil, o número de fixações e o seu espaçamento. A força de restrição necessária deverá ser definida de acordo com a geometria do perfil da estrutura secundária e a quantidade de carga aplicada.

No caso de utilização de elementos de revestimento que não são capazes de efetuar restrições de movimentos, tais como a utilização de chapas perfuradas por motivos de melhoramento do desempenho acústico, deverão ser cuidadosamente definidos e detalhados os componentes da estrutura secundária e espaçadores, de modo a assegurar a segurança e consistência do sistema.

a2) Limitação à deformação de componentes

Os sistemas de revestimento deverão ser capazes de suportar as cargas definidas em projeto sem ocorrer deformação excessiva e garantindo o cumprimento de exigências de desempenho tais como a estanquidade ao ar e à água e a durabilidade, entre outras. As deformações previstas deverão ser calculadas de acordo com o estado limite de utilização. Os limites de deformação mais correntes são os especificados na tabela seguinte:

Quadro 2.6- Limites de deformação correntes em sistemas de revestimento em aço.

Componente	Deformação máxima permitida
Componente de revestimento abrangido entre a estrutura secundária	Comprimento do vão / 150
Estrutura secundária	Comprimento do vão / 180

Devem-se ter em conta as solicitações provenientes do elemento de revestimento, que devem ser absorvidas pelas juntas e pelos componentes de fixação.

Os dispositivos de fixação devem possuir a capacidade de transmitir as cargas, originadas pelo vento e pelo peso próprio, do conjunto revestimento/estrutura secundária para a estrutura principal garantindo que esse processo de transição de cargas não afeta a estabilidade do sistema.

As juntas e os dispositivos de fixação devem igualmente ser capazes de absorver as deformações originadas pelas variações volumétricas dos componentes e também originadas pelas operações de ajuste às tolerâncias de fabrico e de montagem. Como tal, necessitam de apresentar um ajuste dimensional mínimo que possibilite absorver essas deformações.

a3) Resistência ao impacto intencional ou acidental, interno ou externo

Os sistemas de revestimento em aço devem assegurar que não são atravessados, nem deslocados para fora da sua posição, nem que originem a ocorrência de quedas de objetos para o exterior do edifício. Os sistemas devem então apresentar resistência contra impactos de modo a garantir a segurança dos ocupantes do edifício e também a segurança das pessoas nas proximidades deste.

A resistência aos choques é expressa pela resistência aos impactos de “corpo mole”, descrito nas diretivas UEAtc.

b) Segurança conta incêndios

As exigências de desempenho de um sistema de revestimento de fachada ao fogo diferem das exigências relativas a aspetos tais como a economia de energia e isolamento, estanquidade á água, ou acústica, já que, um incêndio é um acontecimento excecional que resulta geralmente em danos que interferem no estado de utilização do edifício.

b1) Reação e resistência ao fogo dos componentes de revestimento

A avaliação do risco de incêndio comporta duas classificações muito específicas dos materiais constituintes de um sistema, avaliando a sua reação ao fogo e a sua resistência ao fogo. Entende-se por reação ao fogo o comportamento face ao fogo dos materiais de construção, em termos de o seu contributo para a origem e desenvolvimento do incêndio. A resistência ao fogo de um material consiste no tempo que decorre desde o início de um processo térmico normalizado a que um elemento é submetido, até ao momento em que ele deixa de satisfazer determinadas exigências (estabilidade, estanquidade e isolamento térmico) relacionadas com as suas funções.

Os sistemas estudados devem ser especificados para cumprir as exigências relativas à envolvente exterior. Estes sistemas em situações de incêndio devem apresentar estabilidade, não deve permitir a passagem de fogo e fumaça através dos seus componentes e juntas.

Os sistemas de revestimento em chapa perfilada simples possuem uma contribuição significativa para um incêndio, não oferecendo praticamente qualquer resistência ao fogo, não se recomendando a sua aplicação quando as exigências de desempenho em termos de resistência ao fogo são elevadas.

Sistemas prefabricados que usam como isolamento térmico, lã mineral não são considerados como contribuintes significativos para incêndios (são incombustíveis e têm excelente comportamento em termos de reação ao fogo).

No caso de painéis compostos, as exigências da envolvente exterior também se aplicam. As soluções de isolamento aplicado nestes casos, são a espuma rígida de poliuretano (PUR) ou poli-isocianurato (PIR). Os painéis com isolamento em espuma de poli-isocianurato possuem um desempenho superior aos painéis em poliuretano. Painéis com núcleos em poliestireno apresentam risco e não são recomendáveis. A camada que forma o núcleo de cada painel deve apresentar uma boa reação ao fogo, devendo ser difíceis de inflamar. As juntas dos painéis com isolamento em PUR ou em PIR, não devem igualmente apresentar riscos no que se refere à reação ao fogo.

Para avaliar a reação ao fogo de um material, estes, antes de ser submetidos a ensaios, são distribuídos consoante a sua tipologia pelos seguintes grupos:

- Grupo A – materiais flexíveis, com espessura inferior a 5 mm, aplicados sem ligação direta sobre um elemento de suporte;
- Grupo B – materiais flexíveis, com espessura superior a 5 mm, aplicados sem ligação direta sobre o suporte;
- Grupo C – pinturas e revestimentos de paredes e tetos, sobre o elemento de suporte;
- Grupo D – revestimentos de piso assentes sobre o elemento de suporte.

As antigas exigências de classificação dos materiais face à reação ao fogo são feitas com base em cinco classificações, sendo os materiais M0 os não-combustíveis e M1, M2, M3 e M4 com grau crescente de combustibilidade. Segundo esta classificação, as camadas externas das fachadas devem ser projetadas com componentes de revestimento da classe M2 em edifícios cuja altura é inferior a 28 metros, e classe M0 para edifícios com altura superior a 28 metros. É possível transpor esta classificação para a norma EN 13501, cuja classificação é igualmente feita com base em cinco classificações, do A1 (não-combustível) ao A2, B, C e D (grau crescente de combustibilidade), ver Quadro 2.7.

Quadro 2.7 – Conversão da classificação ao fogo.

Produtos de construção - Exceto pavimentos			
Reação ao fogo	Produção de fumo	Produção de gotas ou partículas	Antigas Exigências
A1	-	-	M0
A2	s1	d0	M0
	s2	d1	M1
	s3	d2	
B	s1	d0	M1
	s2	d1	
	s3	d2	
C	s1	d0	M2
	s2	d1	
	s3	d2	
D	s1	d0	M3
	s2	d1	M4
	s3	-	(Não gotejante)
E - F	-	-	M4

A representação da classe resistente de um elemento é dada pela indicação do símbolo que designa a qualificação atribuída, seguida da indicação do escalão de tempo em que é válida a qualificação atribuída. As qualificações existentes são:

- Classe R (EF – estável ao fogo) – aplicável a elementos aos quais se exigem apenas funções de suporte;
- Classe E (PC – para-chamas) – aplicável a elementos de compartimentação, no que respeita à estanquidade;
- Classe EI (CF – corta-fogo) – aplicável a elementos com funções de compartimentação, no que respeita à estanquidade e isolamento térmico.

Os escalões de tempo habitualmente utilizados são: 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 e 360, correspondendo o número ao limite inferior do intervalo em que cada escalão se insere.

b2) Resistência ao fogo dos componentes de fixação e de suporte

Os componentes de fixação e de suporte devem apresentar um tempo mínimo de resistência ao fogo em função da resistência ao fogo especificada para os elementos de revestimento. Os sistemas prefabricados devem ter os seus dispositivos de fixação adequadamente protegidos contra as ações de incêndio.

b3) Acessibilidade ao edifício através das fachadas em caso de incêndio

Os elementos da fachada devem apresentar resistência ao fogo por um período de tempo suficiente para possibilitar a saída dos ocupantes em condições adequadas de segurança e minimizar danos em edificações adjacentes. É necessário igualmente que os sistemas de revestimento assegurem o

isolamento da alta temperatura entre a sua face interna e a face externa. Deve ser previsto o eventual acesso à fachada pelos bombeiros, em respeito às imposições destes últimos.

b4) Resistência à propagação do fogo para andares superiores ou edificações vizinhas

Os sistemas de fachada não devem constituir um meio de propagação do fogo para os andares superiores nem para as edificações vizinhas, devendo existir uma adequada separação ao longo da fachada entre andares, por meio de vigas e peitoris ou o prolongamento das lajes para além do alinhamento da fachada.

Para assegurar um adequado isolamento relativamente aos edifícios vizinhos, deve-se garantir uma distância mínima entre edifícios, em função da sua altura.

Devido à sua fraca resistência ao fogo, é necessário garantir que o uso de sistemas de revestimento em chapa perfilada simples na fronteira de edifícios adjacentes, é limitado, de modo a garantir a minimização do risco de propagação do fogo para as edificações vizinhas.

c) Higiene, saúde e ambiente.

c1) Desenvolvimento de organismos

A água tem um papel muito relevante relativamente à contaminação microbiológica. A presença de humidade na superfície cria um meio propício ao desenvolvimento de microrganismos tais com fungos, bolores, musgos ou líquenes. De modo a minimizar a criação de um meio propício ao desenvolvimento de organismos, a chapa exterior do sistema deve apresentar um acabamento adequado que não permita a absorção de compostos orgânicos, provenientes da tinta, através do filme de água, como tal, o acabamento deve apresentar uma textura lisa de modo a diminuir a fixação de microrganismos.

Na definição do perfil da chapa exterior ou painel e nos interfaces, deve-se evitar a existência de acumulação de água, através da especificação das inclinações dos perfis e abas e a colocação adequada das fixações e vedantes.

c2) Libertação de poeiras e partículas

A libertação de poeiras e partículas, para além de ser esteticamente desagradável, proporciona um ambiente propício ao desenvolvimento de organismos.

As chapas ou os painéis não devem apresentar acabamentos excessivamente ásperos ou pegajosos sobretudo nas paredes que, pela sua situação ou orientação, fiquem particularmente expostas à poluição atmosférica ou à poeira transportada pelo vento ou correntes de ar interiores [2]. Os acabamentos devem também possuir uma boa resistência à radiação ultravioleta para garantir que não ocorra o amolecimento do acabamento, promovendo a aderência de partículas e poeiras. Disposições horizontais das chapas necessitam de cuidados acrescidos devido á acumulação de poeiras e partículas ao longo do tempo, necessitando de limpeza regular.

Os materiais aplicados devem ser testados pelo fabricante em camaras de envelhecimento acelerado, com simulação do efeito da luz solar e humidade.

c3) Toxicidade dos componentes

Os componentes devem garantir a não libertação de compostos orgânicos voláteis (COVs) e escorrências tóxicas associadas. A limpeza do sistema de revestimento não deve recorrer a produtos suscetíveis de alterar o ambiente que os rodeia.

c4) Estanquidade ao ar

A estanquidade ao ar de um sistema de revestimento é essencial para a garantia de adequados níveis de conforto e para a melhoria do desempenho térmico sem grandes alterações na espessura do isolamento. Uma fachada do edifício com deficiente estanquidade pode provocar alterações na eficiência da ventilação do edifício, causando desconforto para os utilizadores e menor desempenho acústico e térmico. A estanquidade ao ar de um sistema é quantificada através da sua permeabilidade ao ar, sendo necessário que os sistemas de revestimento possuam uma reduzida permeabilidade ao ar para evitar os problemas referidos.

O cumprimento desta exigência está dependente efetivamente das soluções aplicadas para a interface entre componentes, em vez do sistema construtivo em si. Os sistemas prefabricados apresentam um desempenho superior, devido à maior homogeneidade e ao uso de várias camadas interligadas. As soluções em chapa perfilada simples podem apresentar desempenhos mais reduzidos pois apresentam uma continuidade menor, necessitando de uma maior atenção na aplicação das ligações e fixações para se obter uma boa estanquidade.

As juntas verticais e horizontais são geralmente os pontos fracos em fachadas, apresentando o risco de penetração do vento. Torna-se necessário uma correta e rigorosa especificação da sobreposição, fixação (aperto dos parafusos e espaçamento) e interfaces dos vários componentes dos sistemas, bem como a correta especificação da aplicação de vedante, de modo a reduzir potenciais pontos permeáveis ao ar.

d) Segurança na utilização

d1) Conforto tátil e homogeneidade

Esta exigência encontra-se mais relacionada com o tipo de acabamento aplicado e o estado de conservação do mesmo. O conforto tátil baseia-se na relação do utilizador com as faces dos sistemas, em que as suas características mais condicionantes são a aspereza, irregularidades na superfície e existência de arestas vivas e de zonas pegajosas.

A homogeneidade nas faces das chapas é traduzida pelo enodoamento pela poeira, brilho e luz. O enodoamento pela poeira ocorre em fachadas com temperaturas superficiais heterogéneas, pelo contacto com locais frios ou exteriores, pois existe uma preferência de fixação de poeiras nas partes mais frias (termoforese), deteriorando o seu aspeto.

Para evitar uma degradação diferencial nos diferentes pontos da parede, é necessário limitar a heterogeneidade da temperatura superficial, principalmente em locais onde é provável ocorrerem condensações localizadas. A homogeneidade do brilho implica que num revestimento não ocorram diferenças na tonalidade ou no brilho. A variação de tonalidades pode ocorrer devido a deficiência no

acabamento aplicado. A homogeneidade deve ser garantida na montagem e durante a fase de utilização.

d2) Planeza, verticalidade, horizontalidade e retidão das arestas

As paredes revestidas devem apresentar satisfatoriamente planeza (isto é, ausência de ondulações) geral e localizada, satisfatórias [3].

Para avaliar a planeza dos paramentos, utiliza-se normalmente uma régua (planeza geral) ou aparelho eletrónico com apalpador e defletómetro (planeza geral ou localizada), sendo as flechas máximas (em mm) admitidas para a planeza geral menores que 10 mm. Se o revestimento for executado segundo a técnica dos pontos e mestras reduz-se para 5 mm. As flechas admissíveis para a planeza localizada são menores ou iguais a 2 mm [3]. A regularidade e perfeição dos paramentos são avaliadas com teste de luz rasante. As irregularidades devem ser imperceptíveis, e as fissuras não devem apresentar largura superior a 0,2mm.

O plano do paramento das paredes dever ser vertical. A verticalidade e horizontalidade de um sistema de revestimento são realizadas com um fio-de-prumo ou nível [3].

As arestas verticais ou horizontais das paredes devem desenvolver-se tanto quanto possível segundo uma linha recta. Os desvios da linha das arestas, relativamente à linha média, devem ser limitados para que sejam imperceptíveis [3].

d3) Aptidão para incorporar elementos de instalações

Os sistemas de revestimento devem permitir a instalação dos vários sistemas que permitem saneamento, distribuição de água, electricidade e outros sistemas de um modo eficaz e sem prejudicar a utilização normal do imóvel. A especificação dos processo de incorporação dos vários sistemas e a forma de como podem, eventualmente, afectar o comportamento global da edificação (térmico, acústico, resistência mecânica, entre outros) deve ser apresentada pelo fabricante dos sistemas.

e) Acústica

e1) Transmissão de sons aéreos

Nos locais onde se verifica uma necessidade de limitar a passagem de ruído através do sistema de revestimento, torna-se necessário considerar o Índice de Redução Sonora. O índice de redução sonora é uma medida da redução do ruído em decibéis numa dada frequência, ao longo de um sistema construtivo. O isolamento, a chapa metálica interior e exteriores, bem como o método de montagem e aplicação, irão caracterizar o desempenho acústico do sistema de revestimento. A camada de isolamento é o material mais influente, em que a lã mineral apresenta um melhor desempenho relativamente às placas rígidas de isolamento.

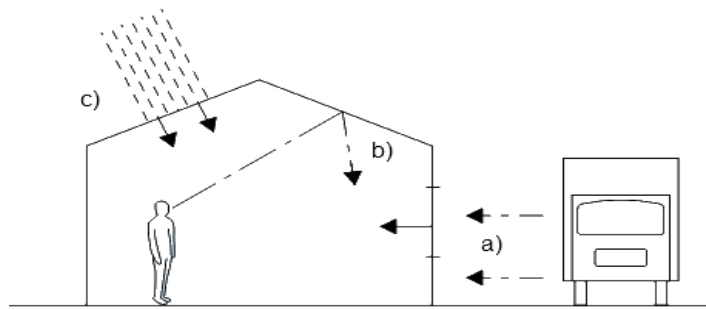


Fig. 2.63 – Requisitos de desempenho acústico: a) transmissão de sons aéreos, b) reverberação, c) sons de impacto. Adaptado de [10].

O índice de redução sonora pode ser expressido através do índice ponderado de redução sonora, R_w , calculado em referência a um conjunto de curvas padrão. O índice ponderado de redução sonora para os vários sistemas, encontra-se representado no quadro seguinte (Quadro 2.8).

Quadro 2.8 – Índice ponderado de redução sonora em vários sistemas de revestimento em aço. Adaptado de [10].

Sistema de revestimento	Índice ponderado de redução sonora, R_w (dB)
Chapa perfilada simples	47
Painel composto com isolamento em espuma rígida	25
Painel composto com isolamento em lã mineral	31
Revestimento em pele dupla com isolamento lã mineral e isolamento acústico	47
Revestimento em pele dupla com isolamento lã mineral	45

Durante a aplicação e montagem dos sistemas em chapa perfilada simples, deve-se garantir que a indevida fixação ou sobreposição dos perfis utilizados não ocorre sobre o risco de ocorrer em alterações significantes no desempenho.

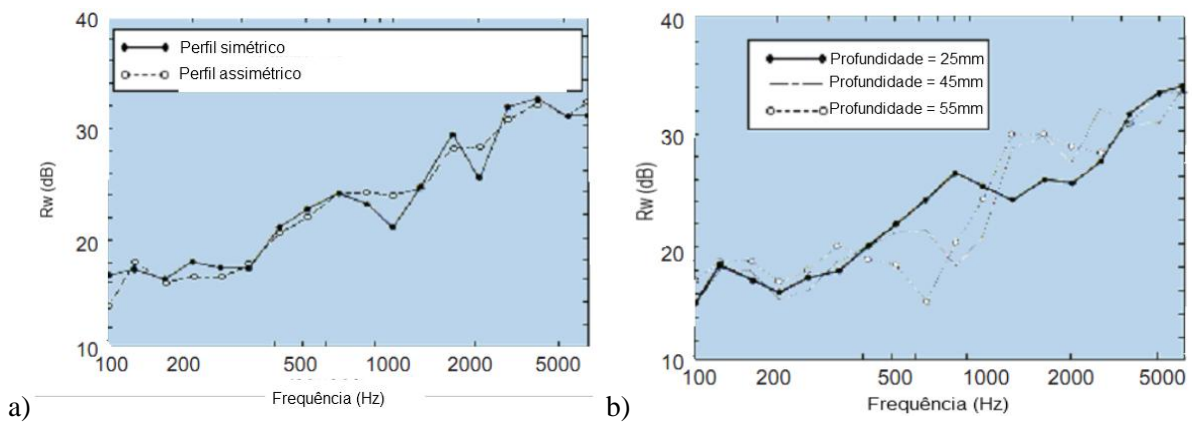


Fig. 2.64 – Exemplo de variação do índice ponderado de absorção sonora: a) Em perfis simétricos e assimétricos, b) Em perfis de diferentes profundidades. Adaptado de [24].

Os painéis compósitos, devido à sua rigidez e ao peso próprio reduzido, apresentam um índice de redução sonora limitado devendo existir o cuidado de analisar a necessidade de execução de meios de melhoria de desempenho tais como espaços de ar, isolamento ou chapas perfuradas.

Em sistemas de pele dupla, o desempenho acústico encontra-se dependente do desempenho da camada de isolamento, mas também, do desempenho das chapas interiores e exteriores e dos elementos de interface.

e2) Absorção e reverberação sonora

Em edifícios de habitação ou serviços, o desempenho acústico interno é um aspeto fundamental para a funcionalidade do edifício. As ondas de pressão sonora podem ser absorvidas através de materiais dos vários tipos. No caso dos sistemas de revestimento de fachadas em aço, as suas superfícies internas lisas e duras refletem o som em vez de o absorver, ocorrendo efeitos adversos no desempenho acústico do edifício, devido às reflexões múltiplas que elevam o nível sonoro interno. O som que é refletido de volta para um compartimento é referido como som de reverberação e a absorção do som é usada para a redução dos níveis de ruído dentro de um edifício.

A capacidade de absorver ruído pode ser medida e expressa através do coeficiente de absorção sonora. O coeficiente de valor 1 significa que uma superfície absorve todos os sons incidentes e um coeficiente de 0 significa que ocorre uma reflexão total.

Em sistemas de revestimentos, as superfícies internas devem ser usadas para limitar a reverberação, podendo ser aproveitadas as propriedades de absorção do som da camada de isolamento, através da aplicação de uma chapa perfurada interior. Em soluções de painéis compostos do tipo sandwich, ou sistemas de pele dupla é corrente a aplicação de chapas perfuradas e uma camada de lã mineral de modo a permitir uma redução da reverberação.

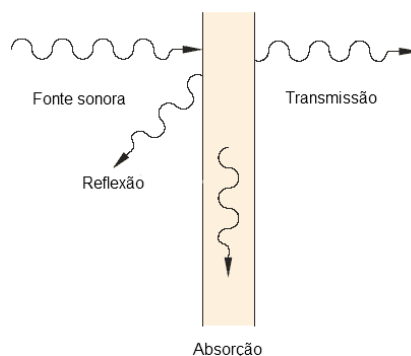


Fig. 2.65 – Representação dos aspectos de controlo do ruído. Adaptado de [25].

e3) Comportamento aos sons de impacto

Os sons de impacto, como os originados pela chuva ou queda de granizo, podem apresentar-se como um inconveniente para os utilizadores dos edifícios. Nesses casos, a melhoria de desempenho passa pela colocação de uma camada de isolamento flexível diretamente debaixo da chapa exterior, servindo como abafador dos sons de impacto.

e4) Comportamento associado aos sons provenientes de equipamentos

É necessário limitar os níveis de ruído provenientes de equipamentos situados no interior dos edifícios, de acordo com o especificado em regulamentos. No caso de edifícios industriais, 65 dB é um nível considerado aceitável, enquanto em edifícios de comércio e serviços esse valor baixa para 50 dB.

A saída dos sons de equipamentos para o exterior também deve ser um especto a ter em conta, principalmente em edifícios industriais em proximidade a áreas residenciais.

Os fabricantes devem apresentar os desempenhos de cada sistema consoante o tipo de edificação a que se destina.

f) Economia de energia e desempenho térmico.

f1) Consumo de energia

Um dos aspetos mais significantes para o consumo energético de um edifício é o desempenho térmico da sua envolvente, tornando-se necessária a redução do consumo de energia através da melhoria do desempenho térmico dos sistemas de revestimento e dos seus componentes.

Os principais meios de perda de calor e redução da eficiência energética são: perdas através de pontes térmicas, transmissão térmica através das camadas e a reduzida estanquidade ao ar nas juntas.

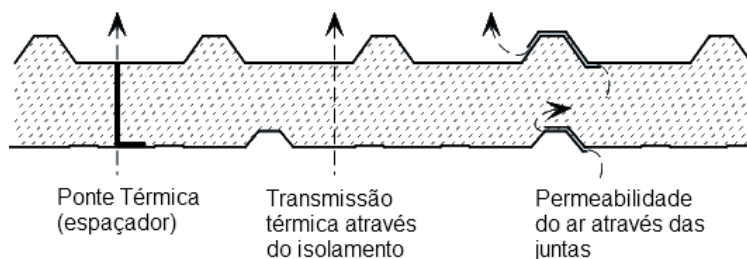


Fig. 2.66 – Principais meios de perda de calor através dos sistemas de revestimento. Adaptado de [10].

Os sistemas de revestimento devem ser projetados com o objetivo de assegurar o conforto térmico para os utilizadores, mas também para garantir a eficiência energética do edifício, não descuidando as particulares características climáticas onde o edifício se encontra. O conforto térmico é normalmente assegurado para temperaturas entre os 20°C e os 25°C e humidades relativas entre 30 e 60%. As características térmicas dos sistemas de revestimento para as temperaturas e humidades relativas da zona climática, onde os edifícios se inserem, permitem analisar o grau de proximidade à zona de conforto que o interior do edifício apresenta.

Deve-se ter em conta que durante os meses quentes, as fontes de calor de origem exterior possuem uma maior intensidade do que as fontes interiores, levando a que o bom desempenho térmico dos sistemas de revestimento ocorra quando estes sistemas oferecem um entrave ao fluxo de calor do exterior para o interior. Durante os meses frios, ou seja, nos meses de aquecimento, deve-se garantir

que as fontes de calor originadas no interior do edifício, tais como sistemas de aquecimento ou pessoas, não atravessam a envolvente.

f2) Coeficiente de transmissão térmica e inércia térmica

Tal como referido anteriormente, as perdas de calor por transmissão térmica através da envolvente afetam significativamente o desempenho térmico do edifício, particularmente em sistemas com isolamento térmico inexistente ou inadequado.

O indicador mais relevante para a avaliação da transmissão térmica é o coeficiente de transmissão térmica, U [$\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$], que permite avaliar a quantidade de calor que atravessa uma superfície de um material de área unitária por unidade de temperatura entre os ambientes que esse material separa. No que se refere aos sistemas de revestimento de fachadas, o valor de U depende da condutividade e espessura do isolamento, o perfil do sistema e a existência de pontes térmicas.

Os fabricantes apresentam o valor do coeficiente de transmissão térmica, de acordo com os valores da espessura do isolamento, em sistemas prefabricados cujo elemento de revestimento é montado em fábrica, tais como os painéis sandwich, sendo esse valor apresentado referindo-se ao sistema completo. Em outros tipos de sistemas tais como o sistema composto do tipo cassete, o valor do coeficiente de transmissão térmica não é apresentado para o sistema na totalidade, visto o fabricante desconhecer o tipo de suporte onde o painel irá ser instalado, bem como o tipo de isolamento a aplicar a montante. Para tal, a avaliação deste parâmetro implica o conhecimento das resistências térmicas das camadas constituintes, em que o U é obtido pelo inverso do somatório das resistências das camadas. O valor da resistência térmica de uma camada obtém-se através da razão da sua espessura pelo valor da condutibilidade térmica, λ , característica do material ou componente. Devem-se ter em conta igualmente as resistências térmicas superficiais, R_{se} e R_{si} .

$$U = \frac{1}{R_{se} + \sum R_j + R_{si}} \quad (2.1)$$

Quadro 2.9 - Valores correntes do coeficiente de transmissão térmica para várias soluções. Adaptado de [10].

Sistema de revestimento	U [$\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$]
Painel composto com isolamento em lã mineral de 120 mm	0,34
Painel composto com isolamento em espuma rígida de poli-isocianurato (PIR) de 60 mm	0,33
Painel composto com isolamento em lã mineral de 150 mm	0,27
Revestimento em pele dupla com isolamento de 180 mm	0,25
Painel composto com isolamento em espuma rígida de poli-isocianurato (PIR) de 100 mm	0,20
Revestimento em pele dupla com isolamento de 210 mm	0,20

É necessário ter em conta os valores máximos referentes ao coeficiente de transmissão térmica especificados nos regulamentos, que permitem a verificação do cumprimento desta exigência de forma

simplificada. Os valores de referência do coeficiente de transmissão térmica permitem a classificação do sistema em termos de nível de qualidade.

A necessidade de melhoria constante da performance térmica dos edifícios levou a uma redução dos valores deste coeficiente através do aumento das espessuras das camadas de isolamento utilizadas. Deste modo, é necessário ter em conta os efeitos que estas mudanças implicam na resistência mecânica e na estabilidade das estruturas de apoio e dos componentes, exigências analisadas no ponto 2.6.2 a), em particular, os efeitos do peso próprio e da profundidade dos elementos de revestimento dos sistemas, com implicações na capacidade de assegurar restrição à estrutura secundária. Como tal, a melhoria do desempenho térmico, em termos de transmissão térmica, deverá ser mais direcionada para a estanquidade ao ar e para as pontes térmicas do que para o aumento constante da espessura da camada de isolamento.

A flutuação da temperatura em compartimentos também leva a efeitos negativos no desempenho térmico, principalmente no conforto. O fenómeno da flutuação de temperatura é determinado pela inércia térmica dos edifícios, tratando-se da capacidade de um elemento construtivo em conservar o calor no seu interior, restituindo-o ao ambiente exterior de uma forma progressiva, descrevendo a maneira de como um edifício reage às mudanças do fluxo de calor em torno da sua média diária. Sistemas de revestimento com inércia fraca implicam edifícios com oscilações de temperatura inadequadas com grandes flutuações em relação aos limites estabelecidos para o conforto térmico. Sistemas com forte inércia térmica apresentam oscilações menos drásticas, ocorrendo um menor desfasamento dos picos de temperatura interior com a temperatura exterior.

f3) Pontes térmicas

O fenómeno da ponte térmica ocorre em locais onde se verifica uma redução das propriedades do isolamento térmico em relação ao material que o rodeia. O coeficiente de transmissão térmica nas zonas de ponte térmica apresenta valores mais elevados, dando origem a uma redução localizada da temperatura superficial. As pontes térmicas implicam inconvenientes tais como: perdas térmicas para o exterior mais elevadas, maior risco de ocorrência de condensações superficiais, eventuais desenvolvimentos de bolores e heterogeneidade de temperaturas.

Os componentes em aço agem correntemente como pontes térmicas, devido à sua elevada condutividade térmica, caso não se apliquem medidas de intervenção para evitar o fluxo de calor, através da aplicação de uma camada de isolamento térmico. Um exemplo corrente de uma ponte térmica em sistemas de revestimento ocorre nos espaçadores em aço aplicados nos sistemas de pele dupla entre a camada de isolamento (Figura 2.66).

Em sistemas prefabricados, a questão das pontes térmicas depende bastante das soluções aplicadas. Em sistemas prefabricados de painéis de dimensão elevada não se verificam pontes térmicas, devendo existir preocupações na pormenorização das zonas de ligação.

f4) Taxa mínima de ventilação

A taxa mínima de ventilação é definida pela ocorrência voluntária de movimento do ar, de acordo com especificações definidas em projeto. A ventilação natural pode ocorrer sob duas formas: efeito da pressão do vento e a causada pelas forças de convecção naturalmente provocadas por entradas e saídas de ar nas construções colocadas a diferentes níveis. A ventilação sob efeito do vento dá-se através da entrada do ar pelas aberturas na fachada de pressão positiva e posterior saída pelas aberturas de

pressão negativa. O efeito das forças de convecção, também denominada por efeito chaminé, caracteriza-se pela entrada do ar pelas aberturas inferiores e a saída pelas aberturas superiores. Para assegurar a adequação do ar interno, a taxa de ventilação está dependente do número de pessoas por metro cúbico, do ambiente instalado, e do tipo de utilização do edifício. Janelas e aberturas, com função de garantir ventilação, devem ser analisadas com precaução visto existirem eventuais pontos fracos de penetração de ruído, tornando-se necessário estudar as áreas de ventilação tendo em conta o nível de ruído a que o edifício em questão será submetido.

g) Durabilidade, facilidade de limpeza e manutenção

g1) Facilidade de colocação, montagem e desmontagem

A facilidade de montagem e desmontagem é uma exigência ligada aos rendimentos de colocação, montagem e desmontagem em obra e também ligada à sua capacidade de não afetar a estrutura principal, durante estas operações. Estes valores são fornecidos pelos fabricantes dos sistemas, com a avaliação a ser verificada em obra. Permitem a avaliação e comparação dos sistemas em termos de rapidez de manuseamento e em termos de cuidado no planeamento. A possibilidade de efetuar a colocação, montagem e desmontagem de um modo seguro e adequado permite facilitar práticas futuras de manutenção e renovação das fachadas, a redução de resíduos e a reutilização de elementos e componentes.

Os sistemas prefabricados apresentam correntemente um desempenho mais elevado relativamente a esta exigência, graças à normalização de soluções construtivas, produtos e componentes de interface. O uso de elementos leves e fixados a seco também levam a melhorias de desempenho ao nível desta exigência.

g2) Durabilidade e vida útil do sistema de revestimento

O cumprimento das exigências já referidas está relacionado com a durabilidade de um elemento, sobretudo as exigências referentes à utilização normal do edifício. A capacidade de os materiais constituintes do sistema manterem as suas características e propriedades iniciais durante um período de tempo adequado, com recurso unicamente a operações da manutenção, é um aspeto que está, igualmente, diretamente relacionado com a durabilidade.

Os agentes agressores que mais impactos geram são os agentes com padrões cíclicos ou com repetição elevada, tais como: batimentos de portas ou janelas, ações de impacto ou choque, utilização corrente do edifício, ataques de organismos, agentes erosivos ou corrosivos, ações de natureza higrotérmica e ações por água proveniente de condensação, capilaridade, lavagens ou chuva.

Os elementos dos sistemas de revestimento, sujeitos a operações periódicas de manutenção e conservação, segundo as indicações especificadas em projeto, devem manter a sua capacidade funcional durante a vida útil prevista em projeto.

g3) Garantia de seleção de componentes de acordo com a vida útil prevista

Os componentes e materiais utilizados nos sistemas de revestimento devem apresentar uma vida útil compatível com a prevista em projeto, principalmente no que se refere à proteção contra a corrosão

dos componentes metálicos, durabilidade dos materiais de preenchimento de juntas e dos elementos de revestimento.

g4) Facilidade de manutenção, conservação e limpeza

Esta exigência refere-se ao planeamento das operações de manutenção, conservação e limpeza dos componentes do sistema de fachada, garantindo a segurança durante a realização destas.

É necessário ter em conta, na fase de projeto, a acessibilidade para a inspeção dos componentes. A segurança durante estas operações deve ser considerada em projeto, prevendo e assegurando a resistência e a estabilidade dos elementos dos sistemas para cargas provenientes de equipamentos de limpeza. Durante a fase de projeto, deve-se também assegurar o planeamento de operações de manutenção preventiva e de inspeção, especificar a eventual troca de componentes de acordo com o período de vida útil previsto, e também, especificar materiais e processos de limpeza adequados.

Os elementos de revestimento devem ser de fácil limpeza, utilizando produtos correntes e sem recurso a produtos tóxicos, corrosivos ou inflamáveis. A limpeza deve ser de fácil execução e sem apresentar incómodos elevados para os utilizadores.

g5) Facilidade de transporte e armazenamento

Esta exigência encontra-se relacionada com as dimensões, peso e características dos elementos a serem transportados e armazenados. A avaliação deste exigência é realizada consoante o método ou equipamento.

Os sistemas de revestimento descritos neste trabalho, apresentam facilidade de transporte e armazenamento, devido à sua geometria tipicamente rectangular, necessitando no entanto de cuidados durante o transporte para resistir às deslocações até à obra. Em sistemas prefabricados, os componentes vão prontos e permitem uma rápida montagem em obra, não sendo significativamente afectados pelos atrasos no transporte.

h) Outras exigências:

h1) Estanquidade à água

As infiltrações de água ocorrem devido à água originada na ação combinada da chuva e do vento ou ao contacto direto de água retida com um elemento do sistema. A estanquidade à água, tal como a estanquidade ao ar, encontra-se dependente das soluções aplicadas para a interface entre componentes mas também pelo tipo de componente de revestimento exterior e também pela caixa-de-ar a montante, levando à inexistência de um meio físico que sirva como passagem da água que eventualmente atravesse o revestimento exterior.

No caso dos sistemas sem caixa-de-ar, o revestimento exterior repele a água da chuva mas a utilização de vedantes que possibilitem a permeabilidade ao vapor é também importante. A utilização de componentes isolantes em sistemas de revestimento com propriedades higroscópicas reduzidas pode levar à obstrução da expulsão da humidade interior, levando à sua acumulação nas paredes do interior e originando condensações superficiais. A impermeabilidade do sistema ao vapor de água deve ser graduada do interior para o exterior.

A estanquidade à água dos sistemas de revestimento deve ser tal que não permita que água incidente no revestimento exterior atinja, independentemente da situação de exposição, os componentes de isolamento e os componentes metálicos do sistema. A especificação e pormenorização adequadas em fase de projeto de componentes tais como pingadeiras, ressaltos ou perfis de base de fachada, devem assegurar que ocorre o descolamento da lâmina de água dos elementos de fachadas, levando à diminuição de eventuais problemas relacionados com a infiltração de água.

h2) Condensação intersticial

A condensação intersticial ocorre no interior das camadas constituintes dos sistemas de revestimento devido ao ar quente e húmido proveniente do interior do edifício que penetra no elemento de revestimento e condensa na chapa exterior e em outros componentes, podendo originar problemas de corrosão nos componentes metálicos e humedecimento do isolamento. O impacto da condensação intersticial depende da capacidade de estanquidade do elemento de revestimento, dos valores de humidade relativa dentro do edifício e da temperatura e humidade do clima exterior. Esta exigência é de importância ainda mais significativa em edifícios com instalações de grande produção de vapor tais como piscinas ou lavandarias, bem como edifícios em climas frios. Sistemas que incorporem chapas perfuradas e barreiras separadas de controlo do fluxo de vapor também requerem especial cuidado.

h3) Aparência

O perfil das chapas exteriores e interiores, bem como o acabamento aplicado, possuem um efeito significativo na aparência de um edifício devido aos seus efeitos na textura e perceção da cor do revestimento. A disposição dos elementos de revestimento também tem um impacto muito elevado na aparência, graças aos efeitos de sombra e de reflexos. Em edifícios cuja localização e função do edifício impliquem o uso de chapas lisas, devem-se aplicar painéis compostos, graças à sua capacidade de manter a rigidez sem necessidade de utilizar chapas perfiladas. É necessário garantir, que elementos de revestimento não perfilados sejam aplicados em obra sem defeitos da superfície, já que os defeitos em painéis lisos são de difícil ocultação.

Na escolha do acabamento a aplicar, deve-se ter em conta o efeito do perfil utilizado na aparência final do elemento de revestimento, prevendo os efeitos dos reflexos e das sombras na perceção visual do tom de cor, considerando também, tal como referido no ponto 2.4.3, a escolha de um acabamento que garanta a não ocorrência de uma perda uniforme da cor.

A aparência dos sistemas de revestimentos também pode ser afetada pela escolha das fixações. A escolha da disposição, tamanho, forma e cor dos parafusos e anilhas vedantes deve ser considerada com especial cuidado. Tal como referido no ponto 2.4.4., podem ser aplicadas tampas com a cor da chapa sobre a cabeça dos parafusos. Em situações onde a exposição das fixações apresentam um forte impacto sobre a aparência, devem ser consideradas soluções com fixação oculta.

3

PRINCIPAIS NORMAS E REGULAMENTOS APLICÁVEIS

3.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo a identificação das principais normas e regulamentos aplicáveis aos sistemas de revestimentos de fachadas em aço.

Os documentos analisados são organizados de acordo com as exigências correntemente aplicáveis aos revestimentos de fachadas em aço, bem como documentos referentes a exigências aplicáveis a indústrias específicas (agrícola, alimentar, armazenamento, entre outras).

Para tal, recorre-se às normas harmonizadas europeias (EN), também referidas como regras técnicas. Estas normas definem como o produto deverá ser normalizado de modo a cumprir as exigências essenciais definidas pela Diretiva dos Produtos de Construção (DPC) e estipulam o sistema de verificação que deve ser aplicado para verificar a conformidade do produto. As normas europeias são elaboradas pelo Centro Europeu de Normalização (CEN) e quando aplicadas, substituem as antigas normas nacionais.

No caso dos produtos inovadores, para os quais ainda não existem normas harmonizadas, ou, no caso de produtos individuais ou realizados por um só fabricante que não possuam importância significativa para a concretização de uma norma, efectua-se uma Aprovação Técnica Europeia (ETA) que consiste numa apreciação técnica que assegura a adequada aptidão ao uso desse produto. A ETA é concedida pela Organização Europeia de Aprovação Técnica (EOTA). A aplicação para uma ETA é efectuada para a entidade do país onde o produto é fabricado, tal como o Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) em França, ou o British Board of Agrément (BBA) no Reino Unido.

Numa primeira abordagem procuraram-se todas as normas europeias e portuguesas aplicáveis ao assunto em estudo, tanto ao nível de materiais, como de execução de trabalhos ou de especificações ou exigências de desempenho. Entendeu-se também ser útil fazer uma pesquisa ao nível da enciclopédia francesa da construção (Reef [2]), publicada pelo CSTB. Em relação à construção inovadora fez-se uma pesquisa ao nível da Organização Europeia de Aprovação Técnica (EOTA), tentando encontrar alguns Guias de Aprovação Técnica Europeia (ETAG) aplicáveis, bem como se procuraram algumas ETA's de fabricação específica europeia.

Nos pontos seguintes (pontos 3.2 a 3.4) refere-se a pesquisa efetuada, iniciando-se pelas normas aplicáveis a produtos e sistemas, tanto tradicionais, como inovadores, e continuando com uma elencação das principais exigências regulamentares aplicáveis, divididas por área (segurança estrutural, segurança contra incêndio, acústica e térmica).

3.2. NORMAS APLICÁVEIS A PRODUTOS

As chapas metálicas em aço galvanizado devem obedecer à norma EN 10326 [26]. Esta norma define a qualidade do aço, espessura mínima, qualidade da superfície e critérios de aderência para a camada protetora de zinco ou zinco alumínio. No caso da proteção do aço ser em pré lacado, deve obedecer à norma EN 10169 [27]. As tolerâncias para as dimensões e formas são definidas na norma EN 10143 [28].

A norma EN 10169 define as exigências de desempenho a cumprir por parte das chapas com revestimentos orgânicos onde se incluem os analisados no ponto 2.4.3. bem como aos ensaios a realizar.

Quadro 3.1 – Propriedades a cumprir pelas chapas de revestimento em aço com acabamento [27].

Property	Referenced standards	For details of test methods and other comments see clause
Coating thickness and tolerances		
Coating thickness	EN 13523-1	7.5.2
Appearance (6.2.3)		
Colour/colour difference	EN 13523-3, EN 13523-15, EN 13523-22	7.5.3
Specular gloss	EN 13523-2	7.5.4
Surface condition (freedom of defects)		7.5.6
Adhesive strength/flexibility (6.2.4)		
Adhesion after cupping	EN 13523-6	7.5.5.1
Coating flexibility (T-bend test)	EN 13523-7	7.5.5.2
Adhesion and resistance to crack formation on rapid deformation (Impact test)	EN 13523-5	7.5.5.3
Coating hardness (6.2.5)		
Pencil hardness	EN 13523-4	7.5.7.1
Buchholz Indentation test	EN ISO 2815	7.5.7.2
Resistance to scratching	EN 13523-12	7.5.7.3
Durability (6.3.3)		
Resistance to humidity	EN 13523-26, EN ISO 4628-2, EN ISO 4628-4, EN ISO 4628-5	7.5.8.1, 7.5.8.2
Behaviour on natural weathering (outdoor exposure)	EN 13523-19, EN 13523-21	7.5.8.1, 7.5.8.3
— Resistance to outdoor corrosion	EN 13523-21, EN ISO 4628-4, EN ISO 4628-5	7.5.8.3.2
— Resistance to natural UV radiation	EN 13523-14, EN 13523-21, EN ISO 4628-4, EN ISO 4628-5	7.5.8.3.3
Behaviour on artificial weathering		7.5.8.1, 7.5.8.4
— Resistance to neutral salt spray (fog)	EN 13523-8, EN ISO 9227, EN ISO 4628-4, EN ISO 4628-5	7.5.8.4.1
— Resistance to intensified UV radiation	EN 13523-10, EN 13523-14	7.5.8.4.2
Other properties	EN 13523-9, EN 13523-11, EN 13523-18, EN 13523-23, EN 13523-24, EN 13523-25, EN 13523-26, EN 13523-27	6.2.6, 7.5.8

Esta norma descreve igualmente a relação entre as categorias de resistência à corrosão (RC1 a RC5) e as categorias de corrosividade (C1- muito baixa até C5- muito elevada) de acordo com o tipo de atmosfera associada ao local onde o edifício se encontra (Quadro 3.2).

Quadro 3.2 – Relação entre a resistência à corrosão, categorias de corrosividade e tipos de atmosfera [27].

Corrosion resistance category	Corrosivity category ^a	Types of atmosphere ^b					
		Rural	Urban	Industrial	Marine	Pollution and humidity	Sea front
RC1	C1 - very low (no requirement)						
RC2	C2 - low						
RC3	C3 - medium			Low SO ₂	Low salinity		
RC4	C4 - high			Moderate SO ₂	Moderate salinity		
RC5	C5 - I - very high			High SO ₂			
	C5 - M - very high				High salinity		High salinity

No caso de espaços industriais, a categoria mínima de resistência à corrosão por parte de chapas com acabamentos orgânicos é a RC3, podendo a exigência aumentar até à categoria RC5.

O anexo B desta norma define os tipos de acabamentos possíveis de aplicar e as respetivas variações correntes da espessura.

A norma francesa XP P34-301 [29] fornece recomendações sobre a faixa de aplicação do tipo de acabamento na face do pano interior e na face exterior, com base nas condições do ambiente interno e externo. A título de exemplo de aplicação desta norma apresenta-se a faixa de aplicação para uma chapa com acabamento em poliéster de 20 µm de espessura na face exterior e 10 µm na interior (Quadro 3.3).

Quadro 3.3 – Faixa de aplicação de uma solução de chapa com acabamento em poliéster. Adaptado de [30].

Revestimento Orgânico	Ambiente Interno (Face com Acabamento 15µm)					Ambiente Externo (Face com Acabamento 35µm)								
	Seco		Úmido		Agressivo	Rural ou Normal	Urbano ou Industrial		Marítimo			Especial		
	Umidade Baixa	Umidade Média	Umidade Alta	Umidade Muito Alta			Normal	Severo	20 a 10 Km	10 a 3 Km	Beira-Mar ⁽¹⁾ < 3 Km	Misto	U.V. Forte	Particular
Poliéster	■	◆	●	●	●	■	■	◆	■	■	■	◆	■	◆

■ Produto Adequado ◆ Sob Consulta ● Produto não Adaptado

⁽¹⁾ Excluindo condições de ataque direto pela água do mar.

As fixações aplicadas (parafusos autoperfurantes e autorroscantes devem respeitar as propriedades mecânicas definidas na norma EN ISO 3506-1 [31]. No caso de aplicação de rebites deve-se ter em conta o definido na norma EN ISO 15973 [32].

As especificações dos diferentes produtos para isolamento térmico devem obedecer às seguintes normas:

- Lã mineral – norma EN 13162 [33];
- Poliestireno expandido moldado (EPS) – norma EN 13163 [34];
- Poliestireno expandido extrudido (XPS) – norma EN 13164 [35];
- Espuma rígida de poliuretano (PUR) e poli-isocianurato (PIR) – EN 13165 [36];
- Espuma fenólica – EN 13166 [37].

Os vedantes utilizados nas diferentes soluções são classificados e devem obedecer aos requisitos definidos na norma EN ISO 11600 [38]. Segundo esta norma é possível tipificar os vedantes utilizados em construção com base na sua área de aplicação, para os sistemas em estudo, os vedantes aplicáveis pertencem ao tipo F-vedantes de fachada. Nos vedantes do tipo F, esta norma define igualmente quatro tipos distintos de classes com, base na capacidade de movimento do vedante (7,5%, 12,5 %, 20 % e 25 %). Nas classes 25 e 20 é possível a subclassificação em módulo reduzido (LM- *low modulus*) e módulo elevado (HM – *high modulus*) e nas outras classes é possível a subclassificação em elástico (E) e plástico (P). Para sistemas de revestimentos de fachadas em aço os vedantes devem obedecer à classificação F-25 LM.

3.3. NORMAS APLICÁVEIS A SISTEMAS

A norma EN 14782 [39] define as regras para a marcação, rotulagem e avaliação de conformidade e os métodos de ensaio para sistemas de chapas metálicas autoportantes, incluindo acabamentos da face exterior e eventuais forros anti condensação na face interior. Esta norma não analisa o desempenho das propriedades acústicas ou térmicas.

A norma EN 14509 [40] trata do desempenho de painéis sandwich autoportantes, incluindo também a definição dos valores das propriedades mecânicas, mas também outras características relevantes, tais como:

- Tolerâncias dimensionais;
- Isolamento térmico;
- Comportamento e desempenho a longo prazo;
- Desempenho ao fogo;
- Desempenho acústico;
- Estanquidade ao ar e à água.

A verificação do risco de ocorrência das condensações intersticiais deve ser realizada de acordo com a regulamentação em vigor tendo em conta a norma EN ISO 13788 [41]. O método baseia-se na conceção de gráficos correspondentes ao perfil de temperaturas e de pressão (pressão de saturação e pressão real). A informação necessária para este método é a seguinte:

- Espessura de cada camada;
- Temperatura e características higrotérmicas exteriores e interiores;
- Condutibilidade térmica de cada camada;
- Resistência à difusão do vapor de água de cada camada.

As exigências e classificação da permeabilidade ao ar dos sistemas são especificadas através da norma EN 12152 [42], segundo o ensaio descrito na norma EN 12153 [43].

Analogamente, para a estanquidade à água, as exigências e classificação são descritas na norma EN 12154 [44], obedecendo ao ensaio da norma EN 12155 [45] (ensaio em laboratório) ou à EN 13051 [46] (ensaio *in situ*).

Na pesquisa ao nível da enciclopédia francesa da construção através do DVD REEF4 [2], na categoria grupo especializado 2 (groupe spécialisé 2- constructions, façades et cloisons légères) foram obtidos os cadernos de prescrições técnicas (CPT - Cahier des Prescriptions Techniques) seguidamente apresentados. Um documento CPT integra, quando apropriado, as condições e especificações comuns para a implementação de uma família de soluções que são objeto de um documento de especificação técnica (Avis technique), que corresponde, à “homologação” em França.

O cahier 3501 [47] define as condições gerais de conceção e fabrico de painéis sandwich com paramentos metálicos com diferentes tipos de isolamento térmico, aplicáveis em revestimentos de fachadas. Inicialmente, são enumerados os diversos componentes constituintes e as correspondentes prescrições (normas para a galvanização das chapas, isolamento, entre outras - normas já referidas no ponto 3.2.). As características dimensionais (definição das diferentes medidas e tolerâncias) e mecânicas são igualmente descritas, bem como as regras relativas à segurança contra incêndios (reação e resistência ao fogo), estanquidade ao ar e à água, viabilidade, térmica e durabilidade. No que se refere à durabilidade, este documento remete em anexo para a norma NF P 34-301 [29].

O cahier 3194 [48] destina-se a descrever os requisitos gerais correntemente usados relativamente às estruturas secundárias e ao isolamento térmico associado em revestimentos, e também à descrição dos componentes correntemente utilizados e à sua implementação, ou seja, este documento apresenta-se como as regras de arte de um sistema de revestimento sobre estrutura portante.

No caso dos sistemas de revestimento em estudo, este CPT aplica-se à estrutura secundária e ao isolamento das soluções do tipo cassette. Inicialmente são definidos os princípios de conceção tais como a estabilidade, deformação e resistência ou as variações dimensionais. No capítulo seguinte, o documento efetua uma descrição dos componentes da estrutura secundária e do isolamento e são referidos os tipos de perfis montantes correntemente utilizados bem como os tipos de distanciadores, apresentando os aspetos a ter em conta na sua conceção.

Relativamente ao isolamento, usa-se a classificação ISOLE para a definição das exigências mínimas a cumprir ⁽¹⁾. Segundo este documento, a classificação mínima do isolamento a aplicar é I₁S₁O₂L₂E₁. Também são descritas as propriedades dos órgãos de fixação do isolamento.

São descritos por fim as regras de implementação relativamente à disposição, repartição e fixação dos distanciadores, isolamento e perfis montantes, bem como em relação à caixa-de-ar.

Um documento relevante é o cahier 3120 [49]. Este documento visa clarificar os principais critérios de tradicionalidade em fachadas leves, ou seja, tem como objetivo apresentar critérios de definição dos limites da construção tradicional e onde começa a prefabricação.

- (1) – Isole é uma classificação de origem Francesa para sistemas construtivos diversos. No fundo, corresponde a uma espécie de certificação de desempenho da solução: I – Compressibilidade (grau varia de 1 a 5), S – Estabilidade dimensional (grau varia de 1 a 4), O – Comportamento à água (grau varia de 1 a 3), L – Comportamento mecânico em coesão e flexão (graus de 1 a 4) e E – Permeabilidade ao vapor de água (graus de 1 a 5).

3.4. APROVAÇÕES TÉCNICAS EUROPEIAS

Neste ponto as aprovações técnicas europeias (ETA's) e as diretrizes da ETA (ETAG's) relevantes para os sistemas em estudo. Uma ETAG é um documento elaborado pela EOTA com o objetivo de estabelecer o modo como devem ser avaliadas as características e exigências específicas de um produto ou uma família de produtos, tais como:

- As exigências específicas para os produtos nos termos das exigências essenciais;
- Procedimentos de ensaios;
- Métodos para a análise dos resultados dos ensaios;
- Lista dos documentos interpretativos relevantes.

A parte 3 da ETAG 16 [50] é a única parte relevante deste documento para este trabalho, visto especificar as definições, métodos e critérios para a avaliação de painéis autoportantes do tipo composto para aplicação na envolvente exterior. A família de produtos analisada neste documento pode referir igualmente outros componentes tais como fixações, vedantes ou estruturas secundárias. As exigências de desempenho para a avaliação da adequação ao uso são referidas na parte 1 desta mesma ETAG tais como a resistência mecânica, segurança em caso de incêndio, acústica, entre outros.

Os métodos específicos de ensaio para a avaliação de conformidade com relevância para este tipo de produtos são enunciados, bem como a sua respetiva descrição em pormenor e estão presentes na parte 3 deste documento.

A ETAG 18, parte 2 [51] define os requisitos a cumprir para esta família de produtos mais propriamente para produtos de acabamentos para proteção ao fogo de elementos em aço, bem como métodos específicos de verificação de conformidade (recolha de amostras, reação e resistência ao fogo, libertação de substâncias nocivas, entre outros). Define igualmente a orientação para a avaliação e verificação da adequação ao uso destes conjuntos de produtos através de quatro tipos de classificação de uso de acabamentos (X a Z2). Os revestimentos de fachadas inserem-se no tipo X.

A parte 2 da ETAG 21 [52] é um documento que estabelece, tal como as ETAG já referidas, as exigências e os métodos de avaliação para a análise do desempenho bem como as condições para o dimensionamento e instalação da envolvente de edifícios em componentes prefabricados para armazenamento de produtos a frio. A relevância desta ETAG para este trabalho advém da consideração, como componentes de compartimentação do edifício, de painéis compostos do tipo sandwich como o tipo de família de produtos a que esta ETAG se destina. Igualmente, o espectro de aplicação desta ETAG, no que se refere a espaços de armazenamento a frio de produtos alimentares ou não, insere-se no âmbito do estudo realizado neste trabalho, mais especificamente os sistemas de revestimento em aço em espaços industriais.

Por fim, a ETAG 23 [53] fornece orientação para a avaliação de um conjunto de unidades prefabricadas para edifícios e para os usos a que se destinam. Os sistemas de revestimento de fachadas em aço estudados podem ser incluídos nas unidades prefabricadas o que torna esta ETAG relevante para este trabalho. Nesta ETAG são descritas as exigências específicas para a execução das unidades (tais como a resistência mecânica e estabilidade, segurança contra incêndios, acústica, durabilidade, entre outros), bem como as características correspondentes dos produtos. Complementarmente são definidos os métodos para a verificação das características dos produtos e, igualmente, a orientação para a avaliação e os métodos de verificação da adequação ao uso das unidades prefabricadas.

Relativamente às ETA's pesquisadas, foram encontradas os seguintes documentos relevantes para os sistemas em estudo:

- ETA 07/0244 - KALWALL: Painéis compostos autoportantes para revestimentos [54]. ETAG correspondente: 16;
- ETA 11/0420 – Ippon Panels: Painéis compostos leves para uso em elementos de revestimento em paredes externas e internas [55]. ETAG correspondente: 16;
- ETA 10/0324 – SAPISOL: Painéis compostos leves para uso em coberturas e paredes externas [56]. ETAG correspondente: 16.

3.5. SEGURANÇA ESTRUTURAL

As cargas características individuais (ações) devem ser obtidas a partir da secção apropriada da norma EN 1991-1 [57] tendo em conta a geometria do edifício e a sua localização, quando aplicável. Estas ações individuais devem ser posteriormente combinadas com recurso aos fatores de segurança adequados segundo a norma EN 1990 – eurocódigo: bases para o projeto de estruturas [58] de modo a ser possível obter as combinações de carga a usar no projeto.

A carga permanente a considerar na maioria dos espaços industriais é o peso próprio do sistema, para tal recorre-se à parte 1-1 da EN 1991 [59].

No que se refere às cargas variáveis, a principal carga a considerar é o vento, de acordo com o descrito na EN 1991-1-4 [60]. Segundo a parte 4 do eurocódigo, a ação do vento é representada por um conjunto simplificado de pressões ou forças cujos efeitos são equivalentes aos efeitos extremos do vento turbulento. Os valores característicos são determinados a partir dos valores de referência da velocidade do vento ou da pressão dinâmica. Para a definição e quantificação da ação do vento sobre um espaço industrial é necessário ter em atenção os seguintes parâmetros preliminares:

- Valor de referência da velocidade do vento;
- Rugosidade do terreno;
- Orografia e construções vizinhas;
- Valor médio da velocidade do vento;
- Turbulência do vento;
- Pressão dinâmica de pico.

A pressão exercida pelo vento nas superfícies de revestimento exteriores depende dos parâmetros anteriormente referidos mas também dos coeficientes de pressão exterior e interior, definidos no capítulo 7.

A EN 13116 [61] especifica os requisitos de desempenho para a resistência das fachadas cortina sob influência da pressão exercida pelo vento, sendo o método de ensaio descrito na EN 12179 [62].

A norma europeia EN 1993-1-3 [63] define, no capítulo 10, secção 10.1, as regras para o cálculo da estrutura secundária não integrada. A secção 10.2 define as regras de cálculo para os revestimentos interiores do tipo bandeja. Esta norma inclui igualmente na secção 10, um método para avaliar o grau de contraventamento (travação) garantido pelo revestimento.

Para a resistência ao impacto, a EN 14019 [64] define as exigências de desempenho de fachadas cortina segundo os ensaios de impacto de corpo mole e impactos de corpo duro. Esta norma é direcionada para a segurança e integridade durante o uso da fachada durante eventuais forças de impacto sobre os sistemas de revestimento. É aplicável às áreas expostas a situações de atividade humana, quer sejam áreas internas ou externas, e tem em conta impactos acidentais originados por indivíduos durante as suas atividades quotidianas e também por impactos originados por equipamentos e dispositivos semelhantes para manutenção, limpeza, reparação e atividades ocasionais semelhantes.

Não tem em conta as exigências de desempenho de impacto devido a impactos excepcionais tais como atos de vandalismo ou colisão de veículos.

3.6. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

No que se referra à segurança contra incêndios, o Decreto-Lei n.º220/2008, de 12 de Novembro de 2008, estabelece o Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndios em Edifícios, RG-SCIE [65]. Este documento engloba as disposições regulamentares de segurança contra incêndio aplicáveis a edifícios e recintos, distribuídos por 12 utilizações-tipo, sendo cada uma dessas utilizações definidas por quatro categorias de risco de incêndio. Introduce as classificações europeias de reação e de resistência ao fogo dos produtos e dos elementos de construção.

Para os sistemas em estudo, os elementos de revestimento devem obedecer às classificações de desempenho referidas na norma europeia EN 13501, mais precisamente nas partes 1 e 2 do documento [66] e [67].

A EN13501-1 [66] define as classes de reação ao fogo, sendo a classe A1 o maior nível de desempenho e a classe F a menor. Outra classificação suplementar é definida para a produção de fumo (s1 a s3) e produção de gotas ou de partículas inflamadas (d0 a d2 ou sem classificação). Indica igualmente quais os ensaios de reação ao fogo a efetuar, nomeadamente:

- EN ISO 1182: ensaio de incombustibilidade;
- EN ISO 1716: ensaio na bomba calorimétrica;
- EN ISO 13823: ensaio do objeto isolado em combustão (SBI);
- EN ISO 11925-2: ensaio da pequena chama.

Quadro 3.4 – Classificação da reação ao fogo segundo a EN 13501-1 [66].

EN 13501-1:2007			
Reação ao fogo	Produção de fumo	Produção de gotas ou partículas	Método de ensaio
A1	-	-	EN ISO 1182 EN ISO 1716
A2	s1	d0	EN ISO 1182
	s2	d1	EN ISO 1716
	s3	d2	EN 13823
B	s1	d0	EN 13823
	s2	d1	EN ISO 11925
	s3	d2	
C	s1	d0	EN 13823
	s2	d1	EN ISO 11925
	s3	d2	
D	s1	d0	EN 13823
	s2	d1	EN ISO 11925
	s3	-	
E	-	Nenhuma classificação d2	EN ISO 11925
F	Desempenho não determinado		

O RG-SCIE define, no artigo 7.º, a classe de reação ao fogo de paredes exteriores tradicionais para a limitação da propagação do incêndio pelo exterior.

A EN 13501-2 [67] refere as classes de resistência ao fogo com base em quatro critérios principais de classificação seguida da indicação do escalão de tempo em que é válida a qualificação atribuída. Os critérios são:

- R – Capacidade de suporte de carga;
- E – estanquidade a chamas e gases inflamáveis;
- I – isolamento térmico;
- W – Radiação.

Os métodos de ensaio que permitem a determinação da resistência ao fogo dos elementos de construção, mais precisamente as paredes, são apresentados na EN 1363-1 [68]. Como os sistemas em estudo não apresentam capacidade de suporte de carga, os métodos de ensaios obedecem á norma EN 1364-1 [69] e também á EN 1364-4 [70].

No caso particular do sistema em painéis compostos do tipo sandwich, a norma EN 15254-5 [71], define as variações de determinados parâmetros e fatores associados com o desenvolvimento de paredes sem capacidade de suporte formadas por painéis metálicos do tipo sandwich e testados de acordo com a EN 1364-1.

O DL n.º220/2008 apresenta em anexo tabelas que definem as classes de desempenho de resistência ao fogo padrão dos elementos de construção de acordo com as normas anteriormente referidas. No caso de revestimentos de fachada, o quadro seguinte apresenta essas classes.

Quadro 3.5 – Classificação para elementos ou partes de obras sem funções de suporte de carga e produtos a eles destinados [65].

Classificação	Duração «em minutos»					
	15	30	60	90	120	
E.....	15					
EI.....	15					
EW.....		20	30	60		

Nota. — A classificação é complementada por «i→o, o→i ou i→o» consoante cumpram os critérios para o fogo interior, exterior ou para ambos.

Onde aplicável, estabilidade mecânica significa que não há partes em colapso passíveis de causar danos pessoais durante o período da classificação E ou EI.

No que se refere a espaços industriais, estes inserem-se na utilização tipo XII - Industriais, oficinas e armazéns. Nas condições específicas da utilização tipo XII (título VIII, capítulo X, artigo 300.º) estão referidas as exigências relativas à limitação à propagação do incendio de paredes exteriores de edifícios que possuam espaços afetos à utilização-tipo XII. Segundo este artigo as paredes exteriores devem garantir no mínimo a classe de resistência ao fogo padrão EI 60 ou REI 60 [65].

3.7.COMPORTAMENTO ACÚSTICO

O procedimento para determinar o isolamento de uma construção relativamente aos sons e o procedimento de medição em fachadas é descrito na norma EN ISO 140-5 [72]. O índice ponderado de redução sonora, R_w , é calculado através da comparação de 16 valores do índice de redução sonora desde 100HZ até 3150 HZ com uma curva padrão de acordo com a norma EN ISO 717-1 [73]. O procedimento para a determinação do coeficiente de absorção sonora é descrita na norma EN ISO 354 [74]. A classe de absorção de um elemento é definida de acordo com a norma EN ISO 11654 [75], onde as classes vão desde A (o maior nível de absorção) até E (menor nível de absorção).

Os requisitos acústicos aplicáveis estão descritos no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, RRAE [76], aprovado pelo Decreto-Lei n.º96/2008, de 9 Junho de 2008. Este documento tem como objetivo garantir a proteção contra o ruído analisando várias tipologias de edifícios: habitacionais, comerciais, industriais, escolares, entre outros. O RRAE é um regulamento cuja verificação de conformidade deverá ser efetuada *in situ*, após a conclusão do edifício. Todavia, no sentido de assegurar essa conformidade, na fase de projeto deverão ser verificados os pressupostos de dimensionamento consistentes com aquele objetivo. Segundo o RRAE é necessário que as fachadas cumpram os valores mínimos de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{2m, n, w}$, artigo 2º). Este índice, entre o exterior dos edifícios e os locais recetores deve cumprir as exigências definidas no seguinte quadro (artigos 5.º a 8.º - resumo no Quadro 3.6).

Quadro 3.6 – Índices mínimos de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m, n, w}$ [76].

Tipologia do edifício	$D_{2m, n, w}$
Edifícios habitacionais, mistos, escolares, de investigação, de leitura ou hospitalares	≥ 33 dB (em zonas mistas) ≥ 28 dB (em zonas sensíveis)
Edifícios comerciais, de serviços ou industriais	≥ 30 dB

As exigências regulamentares para os sons de impacto também se resumem ao RRAE e, segundo este documento, o índice de nível sonoro de percussão padronizado $L'_{n,w}$ deve ser inferior ou igual a 50 dB quando o local de emissão se destina à indústria.

3.8. COMPORTAMENTO TÉRMICO

As normas relevantes para a especificação do comportamento térmico são as representadas no Quadro 3.7:

Quadro 3.7 – Normas relevantes para a especificação do comportamento térmico. Adaptado de [77].

Âmbito da norma	Normas Europeias
Perdas térmicas através do exterior, solo ou espaços não quecidos	EN 13789
Calculo do U <ul style="list-style-type: none"> • Formula geral • Resistência superficial • Resistência térmica total 	EN ISO 6946 EN ISO 6946 EN ISO 6946
Resistência térmica <ul style="list-style-type: none"> • Resist. de camada homogeneas • Valores lambda • Valores lambda (tabela) • Resist. de camadas não homogeneas • Resist. camada de ar 	EN ISO 6946 EN ISO 10456 EN 12524 EN ISO 6946 EN ISO 6946
Calculo do U <ul style="list-style-type: none"> • Parede em contacto com o solo • Parede em contacto com locais não-aquecidos • Coberturas invertidas • Paredes aquecidas 	EN ISO 13370 EN ISO 6946 EN ISO 6946 EN ISO 13370
Pontes térmicas <ul style="list-style-type: none"> • Valores de U lineares (psi) • Valores de U pontuais • Valores simplificados 	EN ISO 10211-2 EN ISO 10211-1 EN ISO 14683

Os coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis (U_{max} , $W/m^2\cdot^{\circ}C$) são apresentados pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, RCCTE [78], aprovado pelo Decreto-Lei n.º80/2006, de 4 de Abril de 2006. Este estabelece requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos edifícios de serviços, ao nível das características da envolvente, limitação das perdas térmicas e controlo dos ganhos solares excessivos.

Quadro 3.8 – coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis para a envolvente vertical opaca [78].

Envolvente exterior	Zona Climática		
	I1	I2	I3
Envolvente vertical opaca	1,80	1,60	1,45

O RCCTE determina igualmente os coeficientes de transmissão térmica de referencia, valores estes de cariz não obrigatório mas simplesmente os valores máximos recomendáveis.

Quadro 3.9 - Coeficientes de transmissão térmica de referência para a envolvente vertical opaca [78].

Envolvente exterior	Zona Climática		
	I1	I2	I3
Envolvente vertical opaca	1,40	1,20	0,95

No que se refere a espaços industriais, o RCCTE não se aplica.

3.9. EXIGÊNCIAS APLICÁVEIS A INDÚSTRIAS ESPECÍFICAS

Os sistemas de fachadas devem garantir um desempenho adequado no que se refere ao desenvolvimento de organismos, libertação de poeiras e partículas, bem como na toxicidade dos componentes para assegurar uma qualidade de ar interior adequada. A qualidade do ar interior nas indústrias agroalimentares é de extrema importância já que, sem um controlo adequado do ar interior, os produtos ficam sujeitos a entrarem em irregularidade face aos regulamentos de alimentação e higiene da União Europeia, tais como eventuais desenvolvimentos de organismos tais como o bolor ou bactérias nas camadas de isolamento e nas faces interiores (devido à condensação intersticial), ou a libertação de fibras dos sistemas para o interior.

A qualidade do ar interior dos edifícios é regulamentada pelo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE) [79], sendo as concentrações máximas mais relevantes as presentes no quadro seguidamente apresentado (Quadro 3.10).

Quadro 3.10 – Concentrações máximas dos poluentes [79].

Poluentes	Concentração máxima de referência
Partículas suspensas no ar (PM ₁₀)	0,15 mg/m ³
Dióxido de carbono	1800 mg/m ³
Monóxido de carbono	12,5 mg/m ³
Ozono	0,2 mg/m ³
Formaldeído	0,1 mg/m ³
Compostos orgânicos voláteis totais	0,6 mg/m ³
Microrganismos (bactérias e fungos)	500 UFC/m ³
Legionella	100 UFC/m ³
Radão	400 Bq/m ³

Em espaços industriais onde a produção de ruído atinge níveis elevados, tal como indústrias transformadoras de madeira ou aço, é necessário garantir que os níveis de ruído para o exterior sejam controlados para tal, o reforço do isolamento sonoro ou a aplicação de chapas interiores perfuradas revela-se uma necessidade. Em Portugal, o Regulamento Geral do Ruído, RGR [80] é o documento que define como um edifício deve se desempenhar face a esta exigência.

O cahier 3501 [47] refere, relativamente às regras relativas de estanquidade à água e ao ar, que, em espaços para a indústria agroalimentar, a colocação de vedantes nas juntas em painéis sandwich é realizada durante a colocação dos painéis.

4

EXEMPLOS DE SOLUÇÕES E ESPECIFICAÇÕES DE DESEMPENHO

Este capítulo pretende, ao apresentar exemplos de soluções, constituir uma amostra significativa das soluções pertencentes aos sistemas descritos no capítulo 2. As marcas analisadas no presente capítulo foram escolhidas, entre as várias marcas existentes no mercado, com base nas características apresentadas pelas soluções que oferecem, quer em termos de adequação das soluções aos sistemas descritos, quer em termos fiabilidade da marca, versatilidade e modernidade.

4.1. PESQUISA DE MERCADO

4.1.1. ERFI REVESTIMENTOS E PERFILADOS LDA.

A ERFI é uma empresa Portuguesa de produção de produtos com aplicações na indústria da construção. Fabrica produtos para coberturas, fachadas, policarbonatos e cofragens colaborantes. No que a este estudo diz respeito, a ERFI oferece, como sistemas para fachadas, soluções em aço para chapas perfiladas simples e painéis sandwich, de aplicação em edifícios de habitação, industriais e agrícolas. Esta empresa apresenta igualmente soluções para a estrutura secundária e peças de interface.

4.1.2. KINGSPAN INSULATION LTD

A Kingspan é uma empresa do Reino Unido de produção de sistemas com propriedade isolantes de aplicação variada, desde revestimentos de fachadas e pavimentos a coberturas. A Kingspan insulation especializa-se na produção de painéis compostos do tipo sandwich para revestimentos de fachadas e coberturas de aplicação em vários tipos de edifícios.

4.1.3. ALUcoil S.A.

A Alucoil é uma empresa de origem espanhola especializada na produção de chapas de alumínio, sistemas de painéis compósitos em alumínio e aço inoxidável e produtos de acabamento. A Alucoil apresenta sistemas de fachada ventilada em painéis compósitos do tipo cassette, incluindo os componentes de fixação e suspensão a montante. A aplicação destes produtos limita-se às fachadas de edifícios.

4.1.4. STEADMANS LTD

A Steadmans é um fabricante do Reino Unido, produtor de sistemas de revestimento de fachadas e coberturas em aço. Apresenta soluções em sistemas em chapa perfilada simples, painéis compostos do tipo sandwich e sistemas de revestimento em pele dupla com espaçadores.

4.1.5. ARCELORMITTAL

A Arcelormittal é uma empresa de origem Luxemburguesa de produção de aço e produtos derivados de aço para várias indústrias, tais como a indústria da construção e automóvel. No que se refere à indústria da construção, apresenta soluções para vários elementos construtivos tais como pavimentos, fachadas, coberturas e vigas metálicas, entre outros.

Nos pontos seguintes é realizada, para cada sistema descrito no capítulo 2, uma análise detalhada de uma solução proveniente das marcas descritas, incluindo a descrição de pormenores e especificações de desempenho.

4.2. SOLUÇÃO EM CHAPA PERFILADA SIMPLES

4.2.1. MARCA E SOLUÇÃO ANALISADA

A análise detalhada de uma solução em chapa perfilada simples é realizada segundo uma solução apresentada pela marca ERFI, mais concretamente a solução TR35/995 [81].

4.2.2. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

O perfil de chapa em estudo trata-se de uma chapa em aço galvanizado de perfil trapezoidal com espessuras disponíveis entre 0,5 a 0,8 mm. As chapas podem ser dispostas horizontalmente ou verticalmente [81].

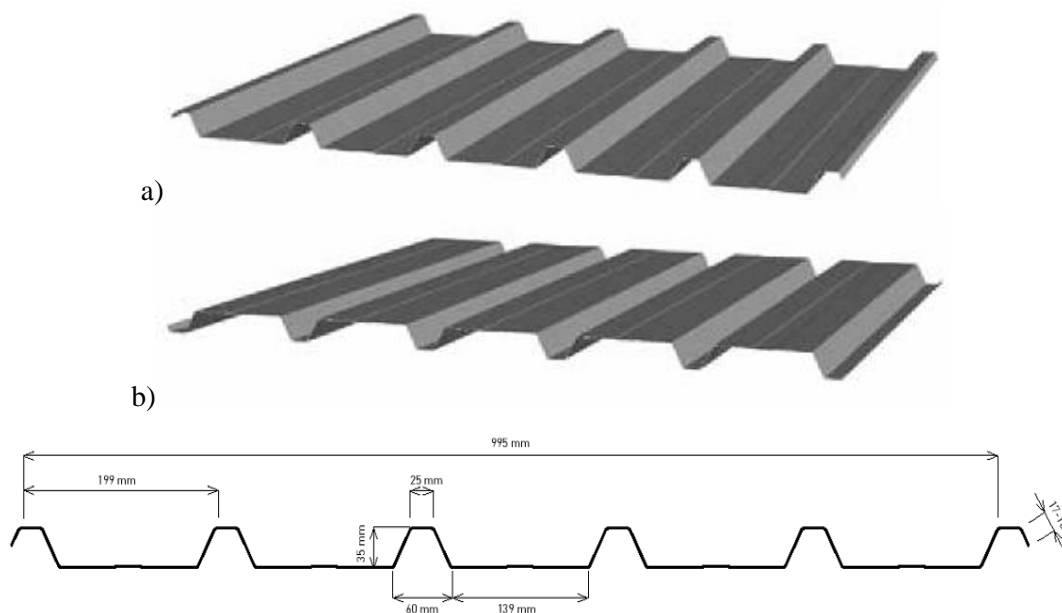


Fig. 4.1 – Chapa perfilada modelo TR35/995: a) Posição A, b) Posição B [81].

As dimensões características da chapa perfilada encontram-se descritas no quadro 4.1 e na figura 4.2:

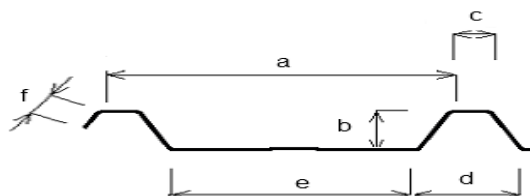


Fig. 4.2 – Dimensões características.

Quadro 4.1 – Valores das dimensões características da chapa perfilada TR35/995 [81].

Designação	Comprimento (mm)
Comprimento total da chapa	995
Comprimento entre coroas consecutivas, a	199
Profundidade da coroa, b	35
Comprimento da coroa, c	25
Comprimento da base da coroa, d	60
Comprimento do vale, e	139
Comprimento da aba de sobreposição, f	17-18

Relativamente à estrutura secundária, as soluções apresentadas são perfis em C, Z e Ω de parede delgada, formados a frio a partir de chapa galvanizada. Os perfis de parede delgada laminados a frio possuem um peso próprio mais reduzido do que as soluções de perfis laminados a quente, graças à sua superior relação entre as características resistentes e o peso. A fixação da estrutura secundária à estrutura principal é efetuada diretamente com recurso a parafusos.

As soluções de acabamento disponíveis, bem como a espessura aplicável na face exterior e interior, estão descritos no quadro 4.2:

Quadro 4.2 – Tipos de acabamentos e espessuras [82].

Acabamento (aplicada sobre galvanização de 275 gr/m ² de zinco)	Espessura da camada (μ)	
	Face exterior	Face interior
Poliéster silicone	25	10/25
PVDF	25	10
PVC ou Plastisol	100/150/200	10

A fixação primária utilizada recorre, tal como referido no ponto 2.4.4., a parafusos autorroscantes de dimensões 6,3 (diâmetro) por 50 mm (comprimento) ou 6,3 por 64 mm em aço zincado (Figura 4.3).



Fig. 4.3 – Parafuso de fixação: a) Autorroscante 6,3x64 mm, b) Autorroscante 6,3x19 mm. [83]

A fixação secundária recorre a parafusos também do tipo autorroscante de diâmetro 6,3 mm e comprimento de 19 mm, com a possibilidade de aplicar uma cabeça de plástico a condizer com a cor da chapa.

4.2.3. PORMENORES CONSTRUTIVOS

a) Remate de esquina vertical

O remate de esquina é efetuado tal como descrito no ponto 2.4.6 a). Como tal, a solução analisada apresenta os seguintes remates (Figura 4.4 e 4.5):

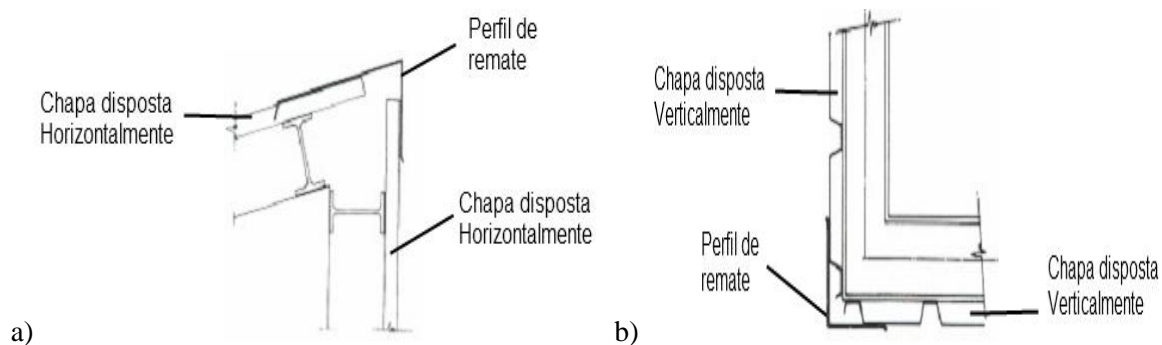


Fig. 4.4 – Remate de esquina vertical: a) Em chapas dispostas horizontalmente, b) Em chapas dispostas verticalmente [83].

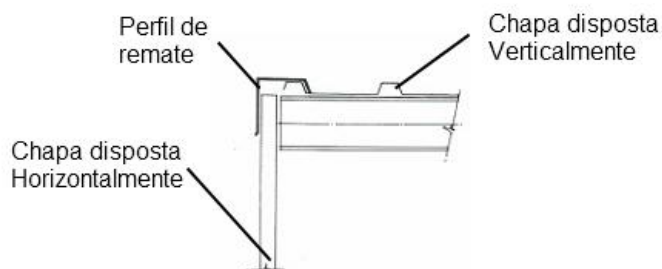


Fig. 4.5 – Remate de esquina vertical entre uma chapa disposta verticalmente e horizontalmente [83].

b) Remate de coroamento

A solução analisada apresenta o pormenor de remate de coroamento tal como representado na Figura 4.6 a):

c) Remate de reentrância

A solução de remate de reentrância é efetuada com recurso a uma peça de canto que é sobreposta sobre as duas chapas e fixada, tal como representado na Figura 4.6 b).

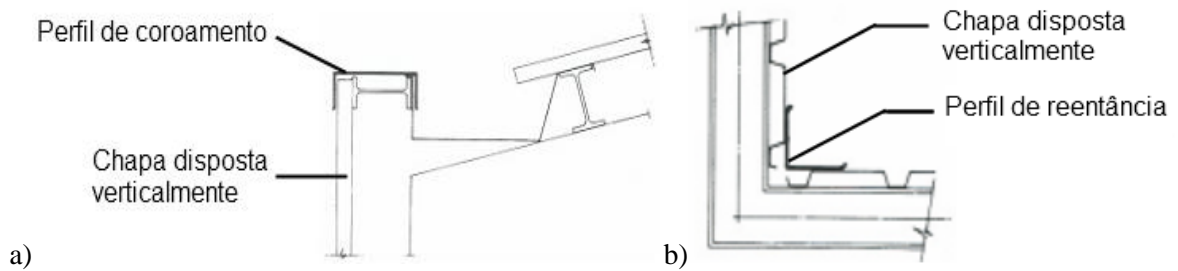


Fig. 4.6 – Remate: a) Remate de coroamento (corte vertical), b) de reentrância entre duas chapas dispostas verticalmente [83].

d) Remate de esquina horizontal

Para a solução estudada, os remates de esquina horizontal apresentam um perfil e configuração idênticos ao descrito em 4.2.3 a).

e) Remate de caixilharias e portadas

A solução estudada não apresenta nenhum perfil específico para utilização em caixilharias e portadas, recorrendo apenas a perfis laterais e de empena para o remate em aberturas (Figura 4.7).

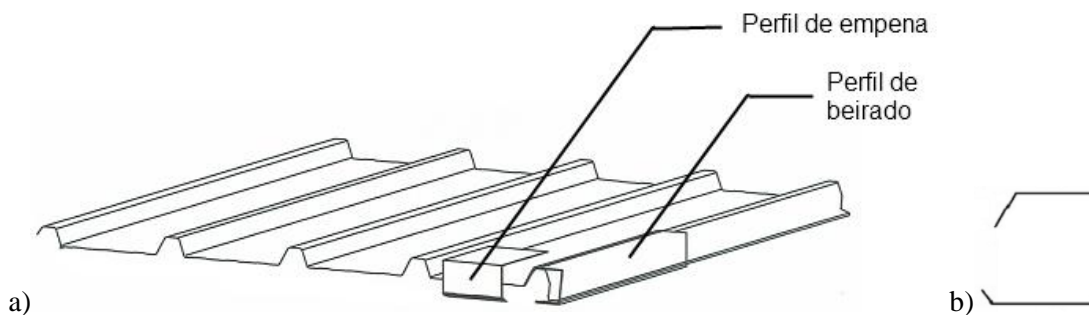


Fig. 4.7 – Perfis para remate em aberturas: a) Disposição dos perfis de empena e beirado, b) Perfil de beirado [83].

f) Remate de empena

Para o remate de empena a solução apresenta um perfil de remate de ligação entre a coroa da chapa de cobertura e a chapa de fachada, sendo aplicado um vedante do tipo Compriband recortado ao longo da sobreposição entre o perfil de remate e a chapa de fachada para assegurar a estanquidade ao ar e á agua (Figura 4.8).

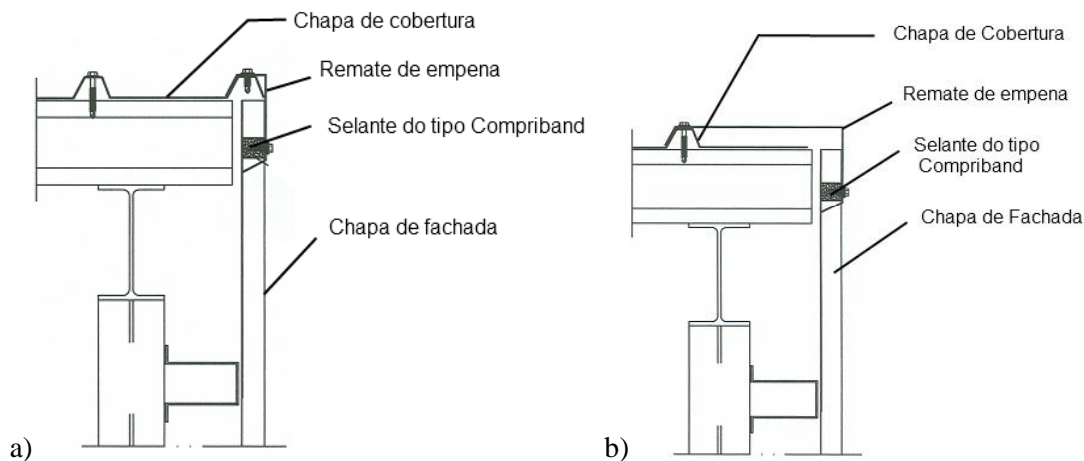


Fig. 4.8 – Remate de empena: a) Sobre coroa da chapa de cobertura, b) Sobre vale da chapa de cobertura [83].

g) Remate de base de fachada

Para o remate de base de fachada é aplicado um perfil formando um remate de pingadeira (Figura 4.9).

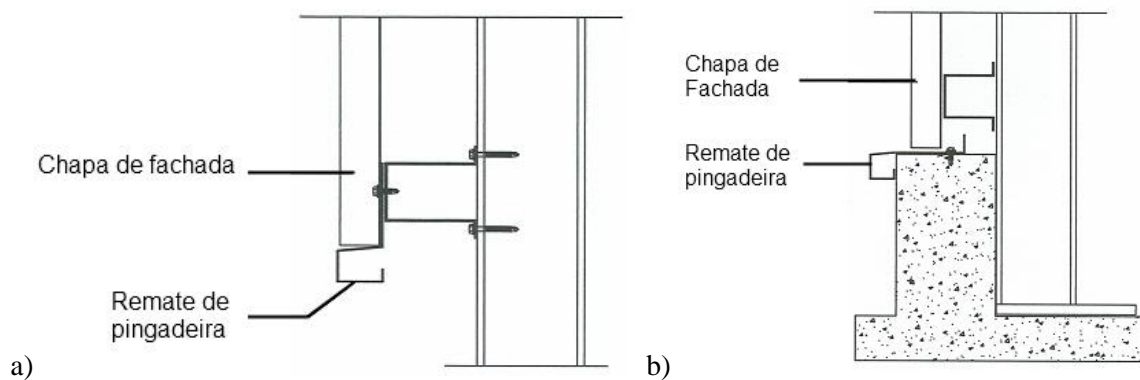



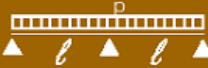

Fig. 4.9 – Remate de base de fachada: a) De pingadeira, b) De pingadeira sobre fundação [83].

4.2.4. ESPECIFICAÇÕES DE DESEMPENHO


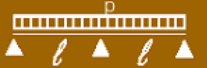

No que se refere à especificação do desempenho referente à resistência mecânica e à estabilidade, é apresentado, por parte do fabricante, um mapa de cargas máximas admissíveis, p , em kN/m^2 . Estes valores são apresentados, para cada condição de apoio, em ordem ao comprimento dos vãos e também de acordo com a espessura da chapa. Em relação às características mecânicas, a informação apresentada refere-se aos valores do peso próprio (valores em Kg/m^2), secção (valores em cm^2), Inércia (valores em cm^4) e de flexão (valores em cm^3). As características mecânicas, são apresentadas, tal como o mapa de cargas admissíveis, para cada condição de apoio, em ordem à espessura.

Os valores das cargas máximas admissíveis são apresentadas considerando uma tensão, σ , de 235 MPa e uma flecha igual ao comprimento do vão, 1, sobre 200 (1/200) [81], ver quadro 4.3 e 4.4.

Quadro 4.3 – Características mecânicas do perfil TR35/995 da Erfi [81].

APOIOS	Esp. (mm)	Peso (Kg/m ²)	Secção (cm ²)	Inércia (cm ⁴)	Flexão W (cm ²)
	0,5	4,91	6,34	11,33	4,70
	0,6	5,89	7,61	13,61	5,64
	0,7	6,87	8,88	15,89	6,60
	0,8	7,85	10,15	18,18	7,56
	0,5	4,91	6,34	11,33	4,70
	0,6	5,89	7,61	13,61	5,64
	0,7	6,87	8,88	15,89	6,60
	0,8	7,85	10,15	18,18	7,56
	0,5	4,91	6,34	11,33	4,70
	0,6	5,89	7,61	13,61	5,64
	0,7	6,87	8,88	15,89	6,60
	0,8	7,85	10,15	18,18	7,56

Quadro 4.4 – Cargas máximas admissíveis do perfil TR35/995 da Erfi [81].

APOIOS	Esp. (mm)	ℓ = m	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00
	0,5	p = Kg/m ²	376	241	167	123	94	80	58	44	34
	0,6		451	289	200	147	113	96	70	53	41
	0,7		528	338	235	172	132	113	82	62	47
	0,8		605	387	269	197	151	129	94	70	54
	0,5	p = Kg/m ²	451	289	200	147	113	89	72	60	50
	0,6		541	346	241	177	135	107	87	72	60
	0,7		634	405	282	207	158	125	101	84	70
	0,8		725	464	322	237	181	143	116	96	81
	0,5	p = Kg/m ²	508	325	226	166	127	100	81	67	56
	0,6		610	390	271	199	152	120	98	81	68
	0,7		713	457	317	233	178	141	114	94	79
	0,8		817	523	363	267	204	161	131	108	91

Os tipos de acabamento utilizados nesta solução permitem, tal como referido na secção 2.4.3, uma melhoria das características da chapa perfilada, quer em termos de resistência à corrosão, abrasão, erosão, radiação ultravioleta e estabilidade térmica.

Os parafusos autorroscantes apresentam uma aduela em aço galvanizado com a cor da chapa e uma anilha de feltro com 3 mm de espessura de modo a garantir um adequado desempenho em relação à estanquidade ao ar e à água.

A sobreposição das chapas é feita de acordo com o descrito no ponto 2.4.4, em que o vedante aplicado é do tipo butílico, quer para as juntas verticais, quer para as horizontais, garantindo um desempenho adequado em termos de estanquidade à água, poeiras e partículas.

No que se refere à tolerância das chapas, a marca analisada não especifica nenhum valor relativo a desvios de comprimento, espessura ou perpendicularidade. Também em termos de especificação de desempenho ao fogo e desempenho acústico, o fabricante não apresenta nenhuma informação.

4.3. SOLUÇÃO EM PAINEL COMPOSTO TIPO SANDWICH

4.3.1. MARCA E SOLUÇÃO ANALISADA

A análise detalhada de uma solução em painel composto do tipo sandwich é realizada segundo uma solução apresentada pela marca Kingspan, mais concretamente a solução KS1150 TC. Trata-se de uma solução possível de ser disposta verticalmente ou horizontalmente com fixação à vista de aplicação em todo o tipo de edifícios [84].

4.3.2. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

Os painéis da solução em estudo apresentam um comprimento total de 1150 mm, com espessuras a variar desde 40 mm a 200 mm. As alturas disponíveis podem variar entre 2 e 14,5 metros [84].



Fig. 4.10 – Painel composto tipo sandwich: a) Painel KS1150 TC b) Dimensões características da chapa interior [84].

No que se refere às chapas interiores, a solução em estudo apresenta como único perfil disponível um perfil especial do tipo nervurado de 0,4 mm de espessura, este perfil caracteriza-se por ser um perfil trapezoidal com uma profundidade de coroa muito reduzida (1mm).

Relativamente à chapa exterior existem vários perfis nervurados passíveis de serem aplicados do tipo sinusoidal, trapezoidal e em meia cana (Figura 4.11). A espessura é de 0,6 mm.

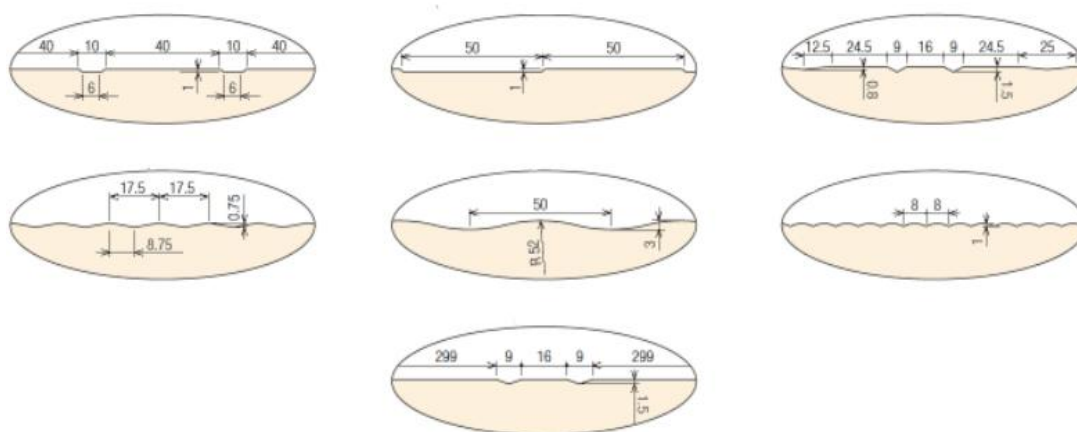


Fig. 4.11 – Dimensões e perfis característicos da chapa exterior. Adaptado de [84].

As soluções de acabamento disponíveis, bem como a espessura aplicável na face exterior e interior, estão descritos no quadro 4.5:

Quadro 4.5 – Tipos de acabamentos e espessuras [84].

Acabamento (aplicada sobre galvanização de 275 gr/m ² de zinco)	Espessura da camada (μ)	
	Face exterior	Face interior
Poliéster silicone	25	15
PVDF	25	Não aplicável
PVC ou Plastisol	200	Não aplicável
PVC ou Plastisol (alta performance)	120	Não aplicável
Forro em esmalte	Não aplicável	150

As soluções apresentadas para a estrutura secundária são em perfis em Ω ou Z em chapa galvanizada a frio, podendo também ser aplicados perfis em I e C em chapa galvanizada a quente. A camada de isolamento aplicada é espuma rígida de poliuretano (PUR).

A fixação primária dos painéis à estrutura secundária é efetuada com parafusos autoperfurantes com anilha vedante. A fixação secundária é igualmente efetuada com parafusos autoperfurantes mas com comprimento menor (Figura 4.14).

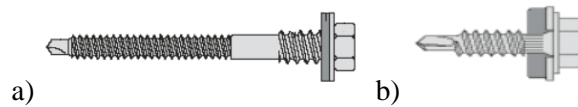


Fig. 4.12 – Fixação da solução em estudo: a) Fixação primária, b) Fixação secundária [85].

As disposições das fixações primárias no painel estão representadas nas figuras 4.13 e 4.14.

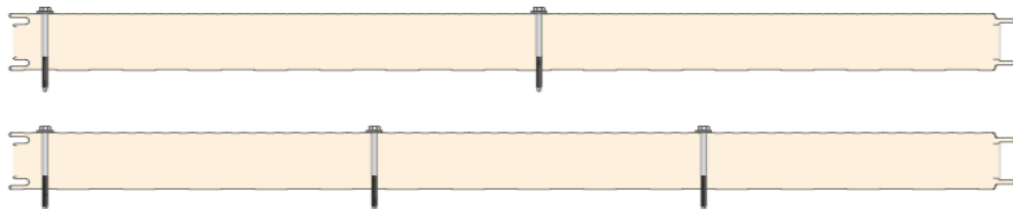


Fig. 4.13 – Disposição das fixações primárias padrão [85].

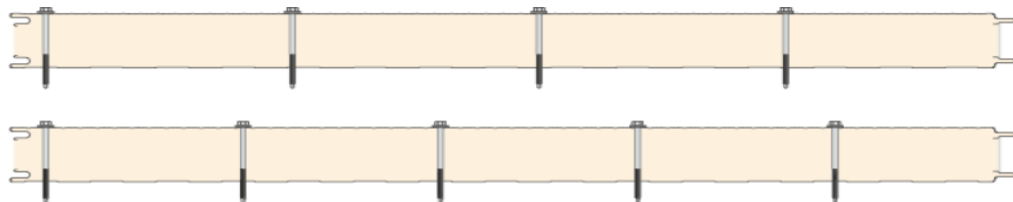


Fig. 4.14 – Disposição das fixações primárias em zonas de vento forte [85]

No que se refere às juntas fechadas do tipo macho-fêmea (horizontais ou verticais), estas apresentam uma fita anti condensação em todo o seu comprimento (Figura 4.15).

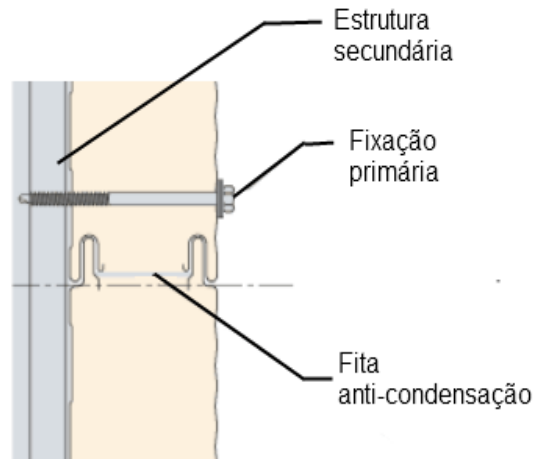


Fig. 4.15 – Junta macho-fêmea com fita anti condensação. Adaptado de [84].

Nas juntas horizontais abertas entre painéis dispostos verticalmente, ou entre um painel horizontal e vertical, a junta é efetuada com recurso a perfis especiais, com a colocação de tira autoadesiva vedante de dimensões 20 mm por 5 mm, tal como representado na figura 4.16 a).

Nas juntas verticais entre painéis dispostos horizontalmente, é colocado um perfil cobre juntas com espuma de isolamento aplicada em obra e uma tira autoadesiva vedante, tal como representado na figura 4.16 b).

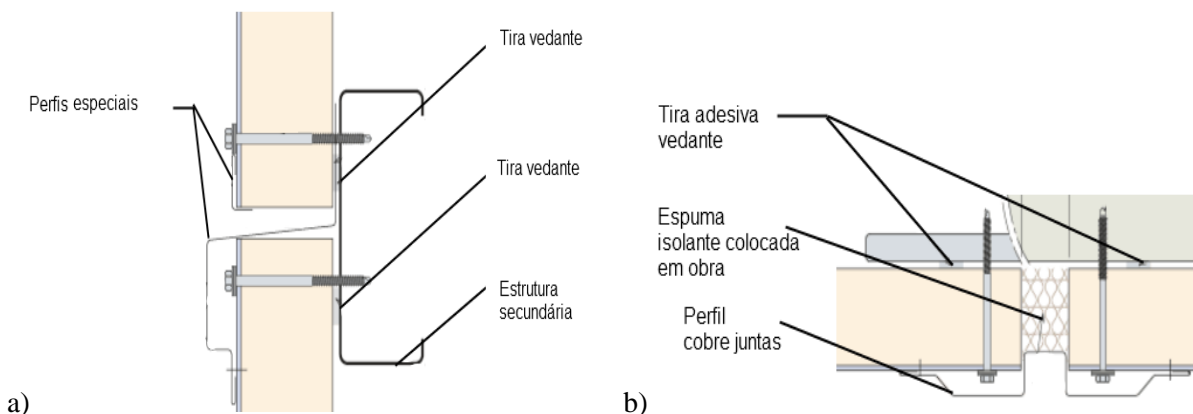


Fig. 4.16 – Juntas entre painéis: a) Junta horizontal, b) junta vertical. Adaptado de [84].

4.3.3. PORMENORES CONSTRUTIVOS

a) Remate de esquina vertical

Entre painéis dispostos horizontalmente, o remate é efetuado através da colocação de dois perfis metálicos, um no canto exterior e outro no canto interior (Figura 4.17).

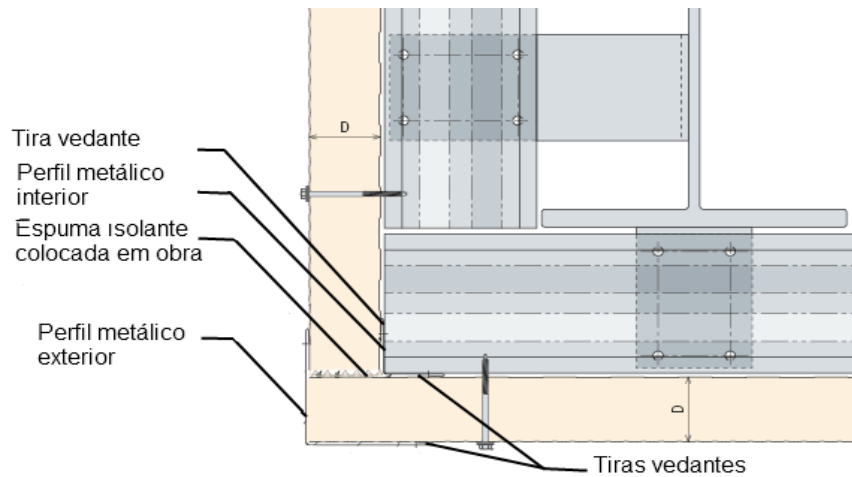


Fig. 4.17 – Remate de esquina vertical entre painéis dispostos horizontalmente. Adaptado de [84].

Entre painéis dispostos verticalmente, o remate não é efectuado através de perfis metálicos, mas sim através de um painel sandwich especialmente elaborado em forma de esquina. Em alternativa, é possível empregar um painel sandwich curvo (Figura 4.18)

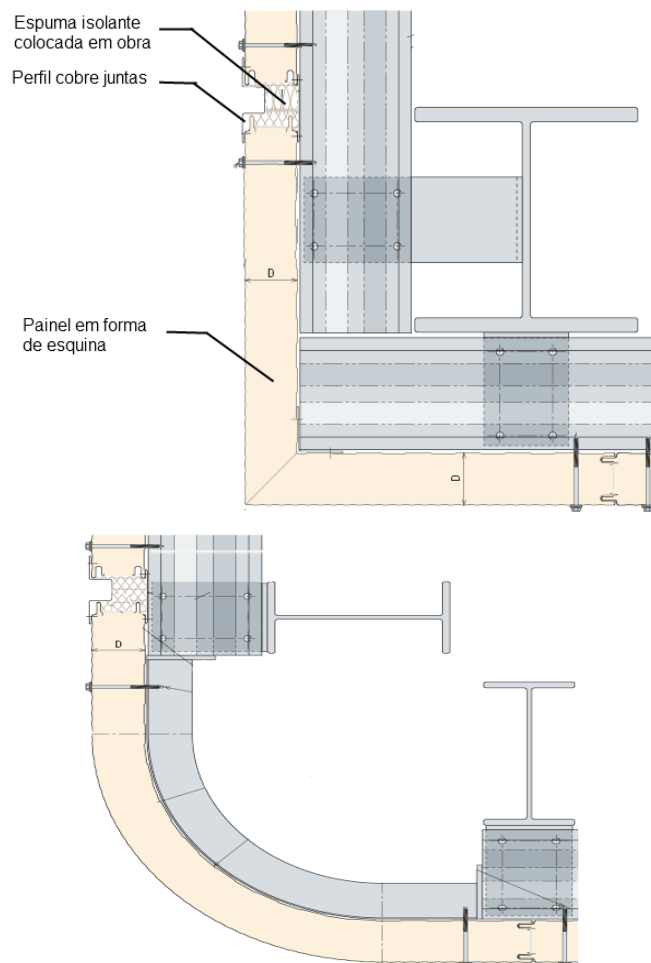


Fig. 4.18 - Remate de esquina vertical entre painéis dispostos verticalmente. Adaptado de [84].

b) Remate de coroamento

Para o remate de coroamento é efetuado um capeamento com um perfil metálico (Figura 4.19).

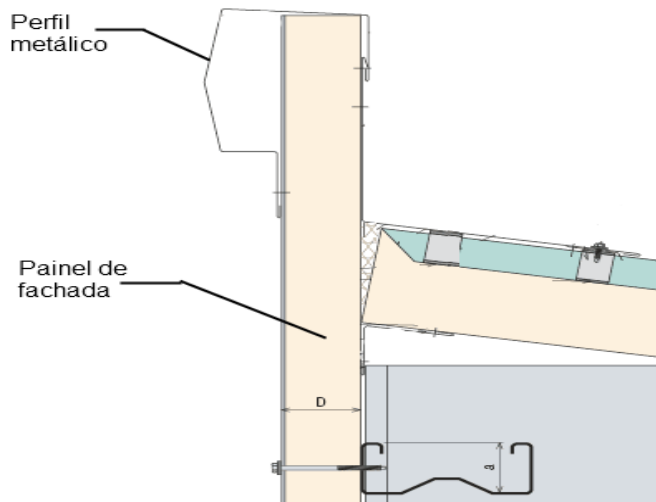


Fig. 4.19 – Remate de coroamento, adaptado de [84].

c) Remate de reentrância

Para o remate de reentrância recorre-se a um perfil metálico invertido, com a aplicação de tiras vedantes e, caso necessário, espuma isolante (Figura 4.20).

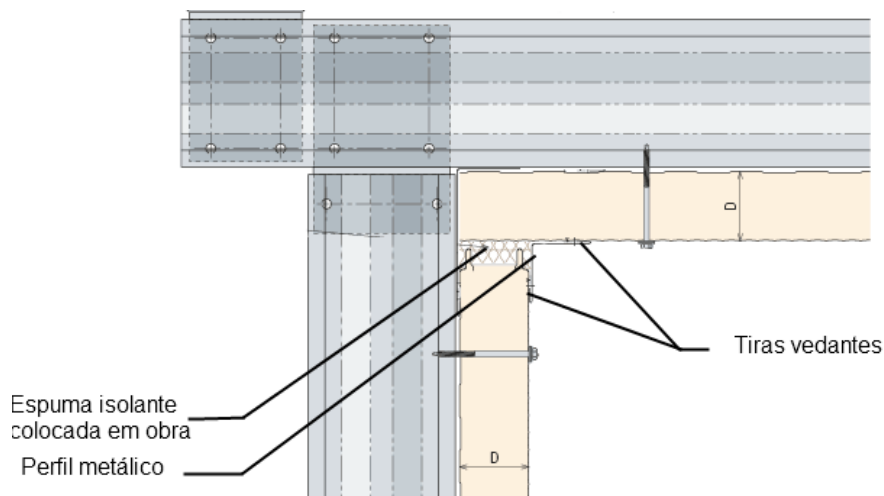


Fig. 4.20 – Remate de reentrância entre um painel vertical e horizontal. Adaptado de [84].

d) Remate de caixilharias, portadas e aberturas para tubagens

No que se refere ao remate de caixilharias e portadas, recorre-se a perfis especiais para as ombreiras, pingadeiras, soleiras e padieiras, tal como representadas nas seguintes figuras (Figuras 4.21 e 4.22):

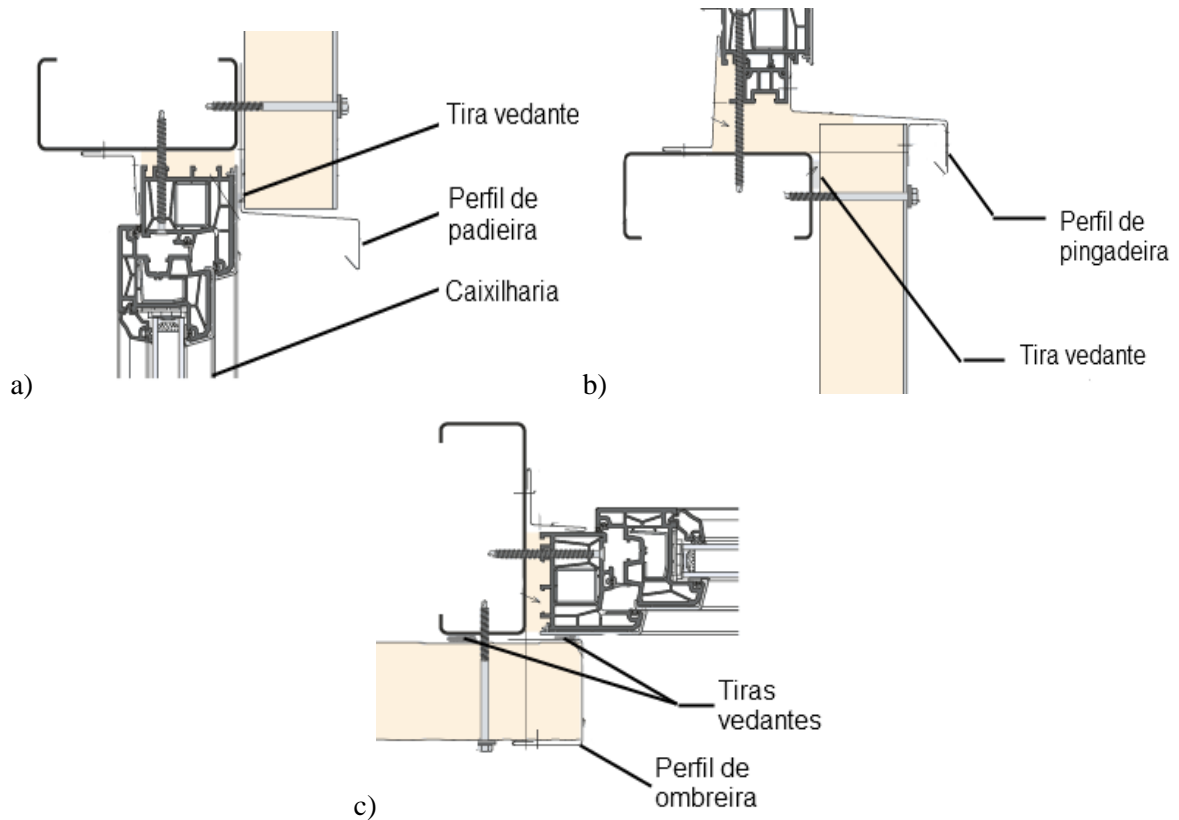


Fig. 4.21 – Remates para caixilharias: a) Padieira, b) Pingadeira, c) Ombreira. Adaptado de [84].

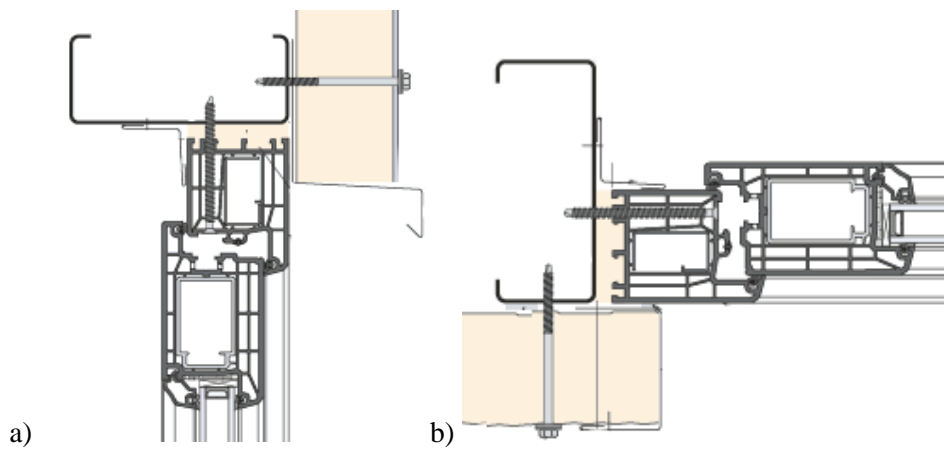


Fig. 4.22 – Remates para portadas: a) Padieira, b) Ombreira. Adaptado de [84].

Para a abertura de tubagens, a solução em estudo apresenta uma manga metálica colocada em redor da tubagem na face exterior. O isolamento deve ser colocado em redor da tubagem (Figura 4.23).

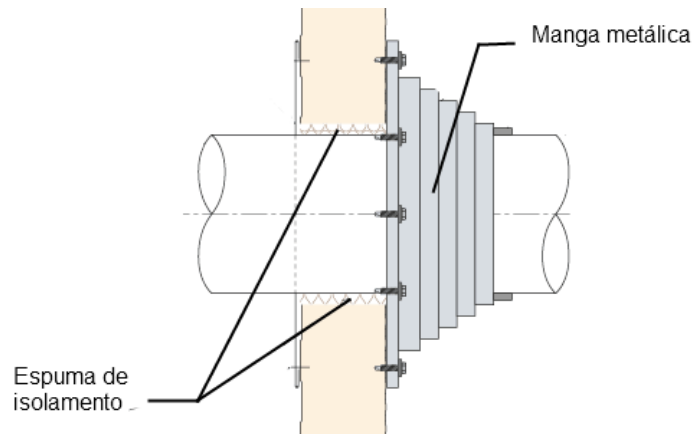


Fig. 4.23 – Remate para aberturas de tubagens. Adaptado de [84].

e) Remate de empena

Para o remate de empena a solução apresenta um perfil de remate de ligação entre a coroa da chapa de cobertura e a chapa de fachada (Figura 4.24)

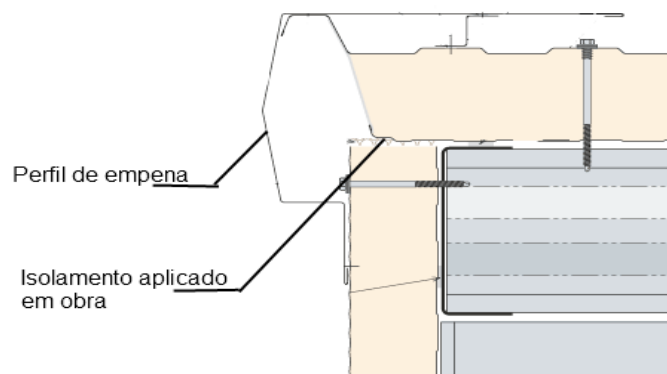


Fig. 4.24– Remate de empena. Adaptado de [84].

f) Remate de base de fachada

Para o remate de fachada é colocada uma pingadeira sobre a base para que o espaço por baixo dos painéis seja coberto (Figura 4.25)

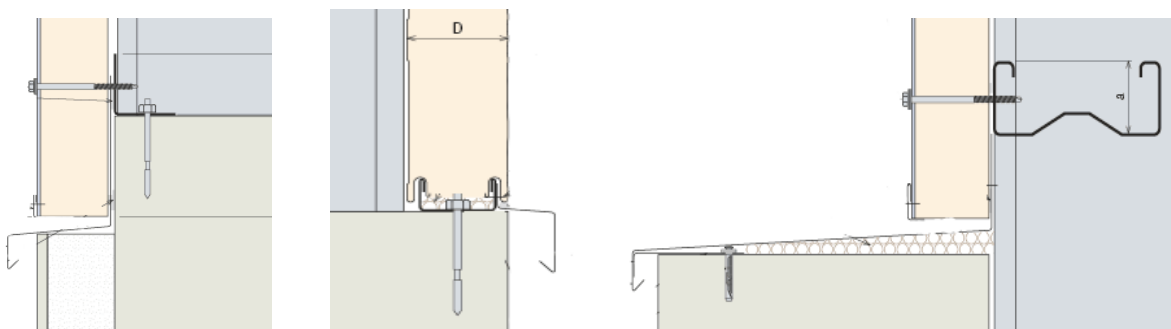


Fig. 4.25 – Remates de base da fachada. Adaptado de [84].

4.3.4. ESPECIFICAÇÃO DE DESEMPENHO

No que se refere à especificação do desempenho referente à resistência mecânica e à estabilidade, é apresentado, por parte do fabricante, um mapa de cargas máximas admissíveis, p , em kN/m^2 . Estes valores são apresentados, para cada condição de apoio, em ordem ao comprimento dos vãos e também de acordo com a espessura da chapa. Em relação às características mecânicas, a informação apresentada refere-se unicamente aos valores do peso próprio (em Kg/m^2), em ordem à espessura., não apresentando os valores relativos à secção, inércia e de flexão (Quadro 4.6).

Os valores das cargas máximas admissíveis são apresentadas considerando uma tensão, σ , de 235 MPa e uma deformação igual ao comprimento do vão, l , sobre 100 ($l/100$) [84], ver Quadro 4.7.

Quadro 4.6 - Características mecânicas da solução KS1150 TC [84].

Espessura do painel (mm)	Peso próprio (Kg/m^2)
40	10,24
50	10,64
60	11,04
70	11,44
80	11,84
100	12,64
120	13,44
150	13,74
170	14,44
200	15,49

Quadro 4.7 – Cargas máximas admissíveis [84].

Panel thickness (mm)		Span (m)												
		2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
△		SINGLE SPAN												
40	Pressure	2.82	1.91	1.23	0.80	0.54	0.32	0.18	0.09	0.04	-	-	-	-
	Suction	1.96	1.26	0.87	0.64	0.49	0.39	0.31	0.22	0.15	0.10	0.06	0.03	0.02
50	Pressure	3.54	2.45	1.70	1.25	0.90	0.64	0.46	0.31	0.20	0.12	0.07	0.03	0.01
	Suction	2.47	1.58	1.10	0.81	0.62	0.49	0.39	0.33	0.27	0.23	0.17	0.12	0.09
60	Pressure	3.71	2.95	2.05	1.51	1.15	0.91	0.70	0.53	0.40	0.29	0.20	0.13	0.09
	Suction	2.97	1.90	1.32	0.97	0.74	0.59	0.48	0.39	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18
70	Pressure	3.87	3.10	2.40	1.76	1.35	1.07	0.86	0.71	0.57	0.45	0.35	0.27	0.20
	Suction	3.48	2.23	1.55	1.14	0.87	0.69	0.56	0.46	0.39	0.33	0.28	0.25	0.22
80	Pressure	4.04	3.24	2.70	2.02	1.54	1.22	0.99	0.82	0.69	0.59	0.49	0.39	0.32
	Suction	3.98	2.55	1.77	1.30	1.00	0.79	0.64	0.53	0.44	0.38	0.33	0.28	0.25
100	Pressure	4.38	3.51	2.92	2.50	1.94	1.53	1.24	1.02	0.86	0.73	0.63	0.55	0.48
	Suction	5.00	3.20	2.22	1.63	1.25	0.99	0.80	0.66	0.56	0.47	0.41	0.36	0.31
a_{mh} (mm)		40												

		DOUBLE SPAN													
40	Pressure	2.20	1.45	1.01	0.74	0.57	0.45	0.36	0.30	0.25	0.21	0.19	0.16	0.14	
	Suction	2.13	1.50	1.04	0.77	0.59	0.46	0.38	0.31	0.26	0.22	0.19	0.17	0.15	
	a; b _{mn} (mm)	64	51	40											
50	Pressure	2.81	1.83	1.27	0.93	0.71	0.56	0.46	0.38	0.32	0.27	0.23	0.20	0.18	
	Suction	2.72	1.89	1.31	0.96	0.74	0.58	0.47	0.39	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18	
	a; b _{mn} (mm)	81	63	50	40										
60	Pressure	3.43	2.20	1.53	1.12	0.86	0.68	0.55	0.45	0.38	0.33	0.28	0.24	0.21	
	Suction	3.33	2.28	1.58	1.16	0.89	0.70	0.57	0.47	0.40	0.34	0.29	0.25	0.22	
	a; b _{mn} (mm)	97	75	59	48	40									
70	Pressure	4.02	2.57	1.79	1.31	1.01	0.79	0.64	0.53	0.45	0.38	0.33	0.29	0.25	
	Suction	3.95	2.66	1.85	1.36	1.04	0.82	0.67	0.55	0.46	0.39	0.34	0.30	0.26	
	a; b _{mn} (mm)	112	86	69	55	45	40								
80	Pressure	4.60	2.95	2.05	1.50	1.15	0.91	0.74	0.61	0.51	0.44	0.38	0.33	0.29	
	Suction	4.59	3.05	2.12	1.56	1.19	0.94	0.76	0.63	0.53	0.45	0.39	0.34	0.30	
	a; b _{mn} (mm)	126	98	78	63	51	42	40							
100	Pressure	5.77	3.69	2.57	1.89	1.44	1.14	0.92	0.76	0.64	0.55	0.47	0.41	0.36	
	Suction	5.88	3.82	2.66	1.95	1.49	1.18	0.96	0.79	0.66	0.57	0.49	0.42	0.37	
	a; b _{mn} (mm)	155	120	95	77	63	51	42	40						

		TRIPLE SPAN													
40	Pressure	2.27	1.45	1.01	0.74	0.57	0.45	0.36	0.30	0.25	0.21	0.19	0.16	0.14	
	Suction	2.35	1.50	1.04	0.77	0.59	0.46	0.38	0.31	0.26	0.22	0.19	0.17	0.15	
	a; b _{mn} (mm)	57	42	40											
50	Pressure	2.87	1.83	1.27	0.93	0.71	0.56	0.46	0.38	0.32	0.27	0.23	0.20	0.18	
	Suction	2.95	1.89	1.31	0.96	0.74	0.58	0.47	0.39	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18	
	a; b _{mn} (mm)	71	52	40											
60	Pressure	3.44	2.20	1.53	1.12	0.86	0.68	0.55	0.45	0.38	0.33	0.28	0.24	0.21	
	Suction	3.56	2.28	1.58	1.16	0.89	0.70	0.57	0.47	0.40	0.34	0.29	0.25	0.22	
	a; b _{mn} (mm)	85	63	48	40										
70	Pressure	4.02	2.57	1.79	1.31	1.01	0.79	0.64	0.53	0.45	0.38	0.33	0.29	0.25	
	Suction	4.16	2.66	1.85	1.36	1.04	0.82	0.67	0.55	0.46	0.39	0.34	0.30	0.26	
	a; b _{mn} (mm)	99	73	56	43	40									
80	Pressure	4.60	2.95	2.05	1.50	1.15	0.91	0.74	0.61	0.51	0.44	0.38	0.33	0.29	
	Suction	4.77	3.05	2.12	1.56	1.19	0.94	0.76	0.63	0.53	0.45	0.39	0.34	0.30	
	a; b _{mn} (mm)	113	84	64	49	40									
100	Pressure	5.77	3.69	2.57	1.89	1.44	1.14	0.92	0.76	0.64	0.55	0.47	0.41	0.36	
	Suction	5.98	3.82	2.66	1.95	1.49	1.18	0.96	0.79	0.66	0.57	0.49	0.42	0.37	
	a; b _{mn} (mm)	140	104	79	62	48	40								

Os tipos de acabamento utilizados nesta solução permitem, tal como referido na secção 2.4.3., uma melhoria das características da chapa perfilada, em termos de resistência à corrosão, abrasão, erosão, radiação ultravioleta e estabilidade térmica. Apresenta-se, no quadro 4.8, o ciclo de vida dos acabamentos.

Quadro 4.8 – Ciclo de vida dos acabamentos da solução KS1150 TC [84].

Acabamento	Ciclo de vida (anos)	
	Primeira manutenção	Total
Poliéster silicone	15	30+
PVDF	15	40+
PVC ou Plastisol	25	40+
PVC ou Plastisol (alta performance)	12	40+
Forro em esmalte	Não disponível	Não disponível

Tal como referido no ponto anterior, a camada de isolamento aplicada é espuma rígida de poliuretano (PUR). Os coeficientes de transmissão térmica, U, (valores em W/m²K) de acordo com a espessura de painel, bem como os correspondentes valores da resistência térmica, R, (valores em m²K/W) estão descritos no quadro 4.9.

Quadro 4.9. – Desempenho térmico da solução KS1150 TC [86].

Espessura do painel (mm)	Coef. Transmissão térmica U (W/m ² .K)	Resist. Térmica R (m ² .K/W)
40	0,50	1,82
50	0,41	2,27
60	0,35	2,73
70	0,30	3,18
80	0,26	3,64
100	0,21	4,55
120	0,18	5,45
150	0,14	6,82
170	0,13	7,73
200	0,11	9,09

A fixação dos painéis é efetuada com parafusos autoperfurantes de diâmetro 5,5mm com comprimento variável desde 77 a 154 mm, dependendo da espessura dos painéis, apresentando uma anilha vedante com 16 mm de diâmetro e um ciclo de vida de 25 anos.

A estanquidade ao ar, poeiras, partículas e som é assegurada através da colocação de uma fita autoadesiva vedante com dimensões de 9 por 3mm.

A solução estudada é resistente ao desenvolvimento de organismos tais como bolores, fungos e insetos e não apresenta componentes nocivos ao utilizador, tais como a resina de ureia-formaldeído, habitualmente usada em espumas de isolamento.

No que se refere às tolerâncias da solução, a marca analisada especifica valores referentes ao comprimento do painel e à espessura, tal como descrito no seguinte quadro (Quadro 4.10).

Quadro 4.10 – Tolerâncias da solução KS1150 TC [84].

Tolerâncias (mm)			
Comprimento do painel, c (m)	Espessura, e (mm)		
c < 6	± 4	e ≤ 50	± 2
6 < c < 12	± 6	50 < e < 100	3 -2
c ≥ 12	± 8	e ≥ 100	3 -3
Largura	± 3		

Em termos de desempenho acústico, a solução KS1150 TC apresenta um índice ponderado de redução sonora de acordo com o descrito no seguinte quadro (Quadro 4.11).

Quadro 4.11 – Índice ponderado de redução sonora. [86]

Espessura do painel (mm)	Índice ponderado de redução sonora, R_w (dB)
40	27
50	27
60	27
70	27
80	27
100	28
120	28
150	29
170	29
200	29

No que se refere ao desempenho ao fogo, a solução apresenta, para painéis de espessura superior a 50 mm, uma classificação de resistência ao fogo de EW 30, para o exterior e EI 15 para o interior [86].

4.4. SOLUÇÃO EM PAINÉIS COMPOSTOS TIPO CASSETE

4.4.1. MARCA E SOLUÇÃO ANALISADA

A solução escolhida para a análise detalhada provém da marca Alucoil e trata-se do sistema de fachada ventilada com painéis do tipo cassete Larson metals FR em aço inoxidável. Este sistema é do tipo fechado pois todos os componentes provêm do mesmo fabricante, incluindo a estrutura secundária [87].

4.4.2. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

A solução em estudo trata-se, tal como já referido, de um sistema revestimento de fachada ventilada de fixação a um suporte resistente. O sistema é composto, tal como descrito no ponto 2.5.1.b) pelos seguintes componentes: painéis cassetes, perfis de montante, peças de suspensão e distanciadores.

Os painéis de revestimento são painéis compósitos constituídos por um núcleo em lã mineral unido a duas chapas de aço inoxidável e o sistema é moldado sob a forma de cassete com superfície exterior plana (Figura 4.26). Na solução em estudo, os painéis padrão apresentam uma espessura de 3, 4 ou 6 mm com comprimentos variáveis entre 2 a 8 metros e uma largura de 1 metro. O acabamento aplicado é do tipo de PVDF de duas camadas com espessura de 25 μ [87]. A disposição dos painéis pode ser vertical ou horizontal.

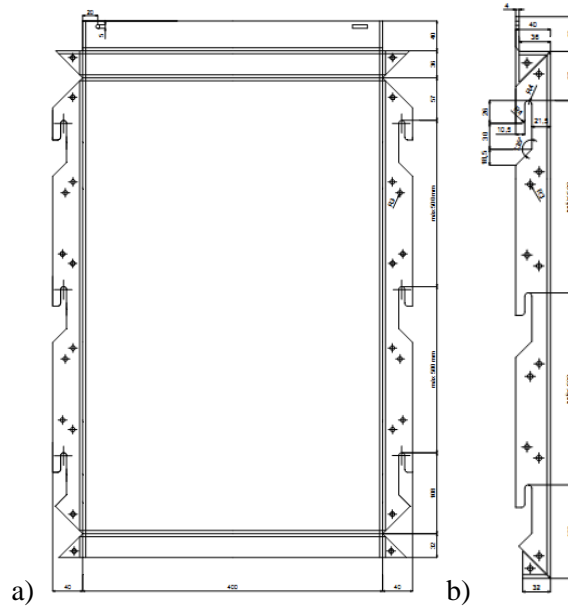


Fig. 4.26 – Painel Larson metals FR: a) Padrão de corte, b) Perfil lateral [88].

Os perfis de montante da solução analisada são do tipo LC-H1, apresentam uma forma em Ω , de alumínio (Figura 4.27).

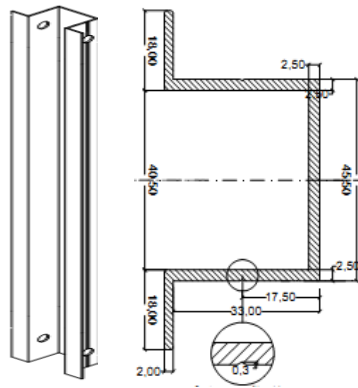


Fig. 4.27 – Perfil montante LC-H1 [87].

As características do perfil estão representadas no quadro 4.12:

Quadro 4.12 – Características dos perfis LC-H1 [88].

Perfil de alumínio LC-H1	
Espessura média (mm)	2,5
Comprimento máximo (mm)	6000
Massa nominal (kg/m)	0,91
Inercia (cm ⁴)	5,9
Momento resistente Wy (cm ³)	3,04

Relativamente às peças de suspensão das cassetes, estas são do tipo LC3, tal como representado na figura 4.28 a), constituídos por perfis em alumínio com espessura média de 25 mm.

Os distanciadores analisados são do tipo LC-H2, tal como representados na figura 4.28 b). São perfis em forma de U previstos para suportar o perfil montante LC-H1, com 3 mm de espessura e profundidades variáveis desde 50 mm a 150 mm.

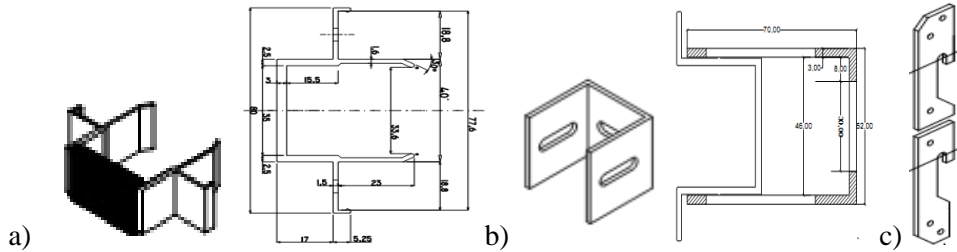


Fig. 4.28 –Perfis: a) Perfil de suspensão LC3, b) Distanciador LC-H2, c) Peças de reforço verticais [87].

Caso seja especificado em projeto, é possível colocar reforços horizontais ou verticais, fixados às abas das cassetes com rebites. Os reforços verticais apresentam entalhes para permitir a sua suspensão através das peças LC3 (Figura 4.28 c)).

No que se refere às fixações aplicadas na solução, a fixação dos distanciadores ao suporte resistente é efetuada com parafusos autorroscantes de aço. As fixações dos montantes LC-H1 aos distanciadores LC-H2 podem ser efetuadas com recurso a parafusos roscados do tipo M8x80. As peças de suspensão são fixadas aos montantes através de rebites com diâmetro de 4,8 mm e comprimento de 16 mm.

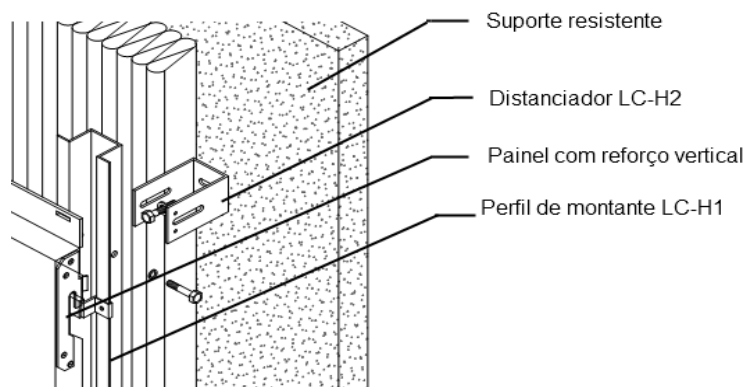


Fig. 4.29 – Fixação dos componentes do sistema Larson metals FR. Adaptado de [87].

As juntas abertas verticais e horizontais estão representadas da figura 4.30:

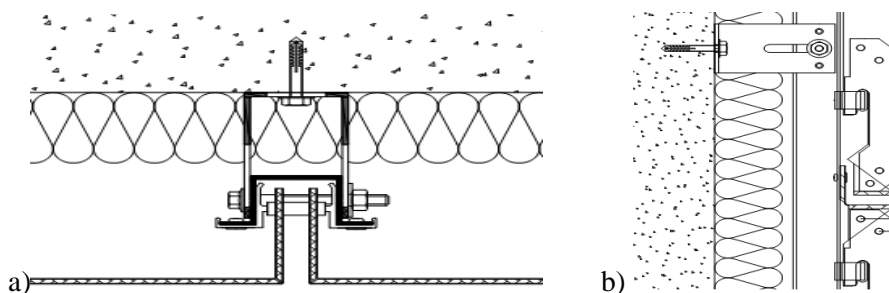


Fig. 4.30 – Juntas da solução Larson metals FR: a) Vertical, b) Horizontal [87].

4.4.3. PORMENORES CONSTRUTIVOS

a) Remate de esquina vertical

O remate de esquina vertical é realizado através de um perfil de cassete especial em esquina, podendo apresentar igualmente um perfil curvo, tal como representado na figura 4.31 a).

b) Remate de coroamento

Para o remate de coroamento recorre-se a um painel para o capeamento, tal como representado na figura 4.31 b).

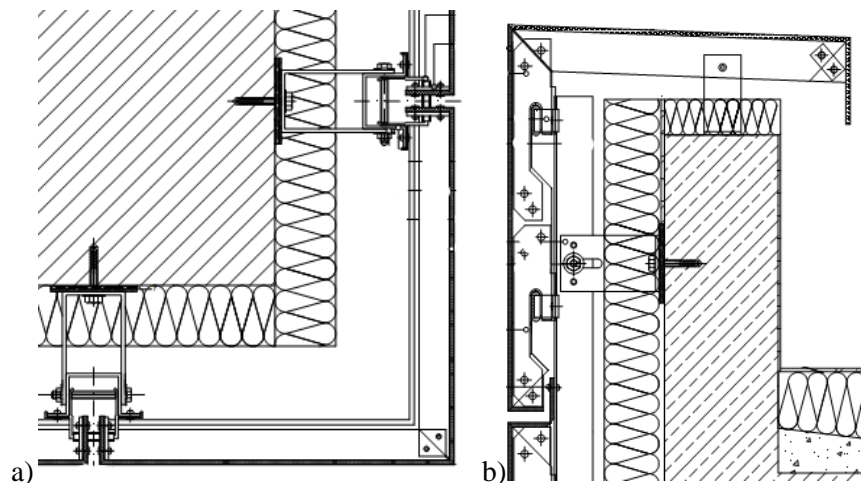


Fig. 4.31 – Remates em painel cassete: a) De esquina, b) De coroamento [88].

c) Remate de reentrância

O remate de reentrância é idêntico ao remate de esquina, mas com um perfil em cassete invertido (Figura 4.32).

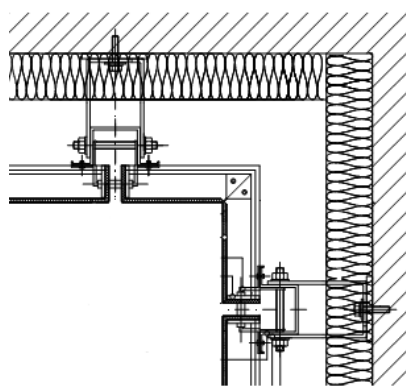


Fig. 4.32 – Remate de reentrância em painel cassete [88].

d) Remate de esquina horizontal

O remate em esquina recorre a um perfil idêntico ao utilizado para o remate vertical.

e) Remate de caixilharias e portadas

Os remates para caixilharias e portadas apresentam-se representados na figura 4.33.

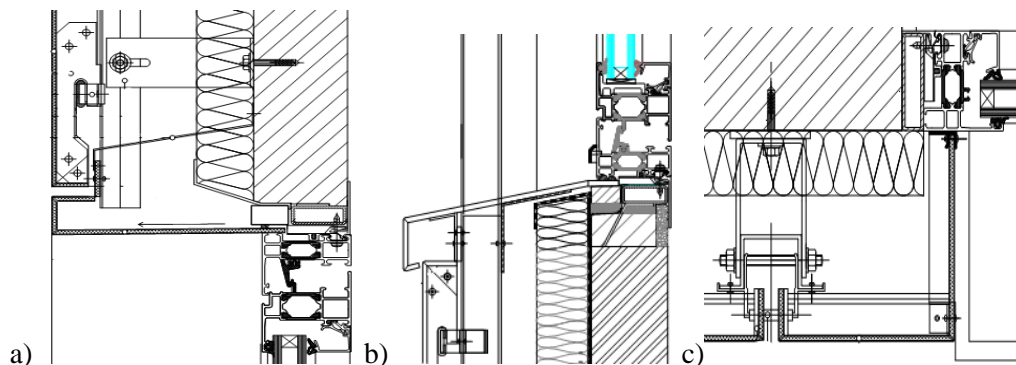


Fig. 4.33 – Remates em painel cassete: a) Padieira, b) Peitoril, c) Ombreira [88].

f) Remate de base de fachada

Aplicação de um perfil em bandeja perfurada para a base inferior da fachada (Figura 4.34).

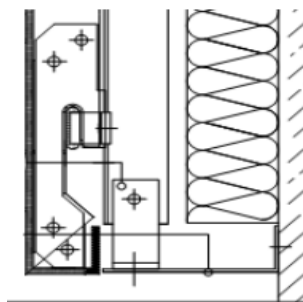


Fig. 4.34 – Remate de base de fachada em bandeja perfurada [88].

4.4.4. ESPECIFICAÇÃO DE DESEMPENHO

Os tipos de suporte adequados para a aplicação da solução Larson metals FR podem ser os seguintes [87]:

- Paredes ou outros elementos de betão armado;
- Paredes exteriores simples de alvenaria de tijolo ou de blocos de betão, sem função estrutural, com, pelo menos, 0,22 m de espessura no tosco, desde que sejam travadas por peças de ligação com afastamento não superior a 4 m em altura e a 5 m no comprimento;
- Paredes exteriores duplas de alvenaria de tijolo ou de blocos de betão sem função estrutural, em que o pano que suporta o revestimento tenha, pelo menos, 0,15 m de espessura no tosco, e se encontre ligado ao pano interior e devidamente travado por peças de ligação nas mesmas condições definidas para as paredes exteriores simples;
- Paredes estruturais de alvenaria de tijolo ou de blocos de betão, desde que sejam tidos em conta, no projecto, os esforços devidos à acção do vento.


No que se refere à especificação do desempenho referente à resistência mecânica e à estabilidade, é apresentado, por parte do fabricante, o quadro de pressões de vento admissíveis, em kPa, em ordem às dimensões do painel.

Em relação às características mecânicas, a informação apresentada refere-se aos valores do peso próprio, rigidez à flexão e coeficiente de dilatação térmica. Para os valores das pressões do vento admissíveis apresentados é considerado um painel de 4mm de espessura com abas laterais de 50 mm, uma tensão de 51 MPa e uma deformação igual ao comprimento entre suportes, l , sobre 200 ($l/200$) [87], ver Quadro 4.13 e 4.14.

Quadro 4.13 - Características mecânicas da solução Larson metals FR [87].

Características mecânicas	
Peso próprio (kg/m^2)	8,61
Rigidez à flexão EI ($\text{kN.cm}^2/\text{m}$)	2891
Coef. de dilatação térmica (mm/m.K)	$2,4 \times 10^{-6}$

Quadro 4.14 – Pressões de sucção do vento admissíveis. Adaptado de [88].

Pressão de sucção (KPa)					
	Altura máxima H				
	L=500 mm	L=625 mm	L=750 mm	L=1000 mm	L=1250 mm
0,50	7000	7000	7000	7000	1825
0,60	7000	7000	7000	4850	1650
0,70	7000	7000	7000	2275	1475
0,80	7000	7000	6000	1900	1400
0,90	7000	7000	4475	1650	1300
1,00	7000	7000	3300	1525	1225
1,10	7000	7000	2525	1400	1175
1,20	7000	7000	2050	1325	1125
1,40	7000	5825	1550	1175	1050
1,60	7000	4150	1350	925	775
1,80	7000	2850	1200	850	700
2,0	7000	2050	1075	800	675
2,2	7000	1700	1000	775	625
2,4	7000	1400	950	725	600
2,6	6250	1180	895	708	583

Os componentes do sistema não libertam substâncias perigosas e possuem resistência ao desenvolvimento de organismos bem como uma adequada estanquidade à água, poeiras e partículas, desde que sejam verificados os procedimentos de montagem, remates, pontos singulares e planeza.

O acabamento em PVDF permite um bom desempenho no que se refere à durabilidade, em termos de resistência à corrosão, abrasão, erosão, radiação ultravioleta e estabilidade térmica.

Em termos de desempenho térmico, o fabricante não revela informação, visto o sistema não ter em conta o desempenho térmico do suporte resistente nem da camada de isolamento.

No que se refere às tolerâncias da solução, a marca analisada especifica valores descritos no seguinte quadro (Quadro 4.15).

Quadro 4.15 – Tolerâncias da solução Larson metals FR [88].

Característica	Tolerâncias (mm)
Largura	-0 ;+2
Comprimento	-0 ;+4
Falta de esquadria	± 3
Espessura	-0 ;+2

Em termos de desempenho acústico, a solução não contribui para o isolamento acústico, necessitando da definição de todo o sistema de revestimento para a sua determinação.

No desempenho ao fogo, a solução enquadra-se na classe de reação ao fogo B-s1 d0 [87].

4.5. SOLUÇÃO EM PELE DUPLA COM OU SEM ESPAÇADORES

4.5.1. MARCA E SOLUÇÃO ANALISADA

A marca analisada é a Steadmans e a solução em análise trata-se da AS Twin skin wall system [89].

4.5.2. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

A solução analisada consiste numa camada de isolamento em lã mineral, com uma chapa perfilada exterior modelo AS24/1000W e uma chapa interior modelo AS20/1000, com espaçadores.

A chapa perfilada exterior modelo AS24/1000 apresenta um perfil do tipo trapezoidal, com espessuras de 0,5mm e 0,7mm. A chapa perfilada interior modelo AS20/1000 apresenta igualmente um perfil trapezoidal com espessuras de 0,4mm e 0,7mm [89].

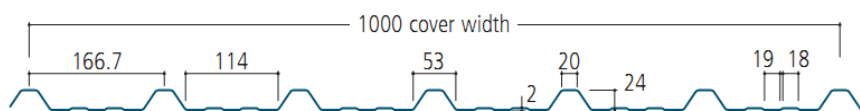


Fig. 4.35 – Chapa perfilada exterior AS24/1000 [89].



Fig. 4.36 – Chapa perfilada interior AS20/1000 [89].

As dimensões características das chapas estão descritas na figura 4.37 e no quadro 4.1.

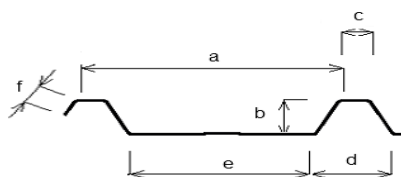


Fig. 4.37 – Dimensões características da chapa perfilada AS24/1000 e AS20/1000

Quadro 4.16 – Valores das dimensões características da chapa perfilada AS24/1000 e AS20/1000 [89].

Designação	AS24/1000	AS20/1000
	Comprimento (mm)	Comprimento (mm)
Comprimento total da chapa	1000	1000
Comprimento entre coroas consecutivas, a	166.7	200
Profundidade da coroa, b	24	20
Comprimento da coroa, c	20	80
Comprimento da base da coroa, d	53	120
Comprimento do vale, e	114	80
Comprimento da aba de sobreposição, f	Não especificado	Não especificado

Os acabamentos aplicados para a face exterior das chapas estão descritos no quadro 4.17. Para a face interior, levam um acabamento em tinta epóxi.

Quadro 4.17 – Características dos acabamentos do sistema AS Twin skin wall system [89].

Acabamento	Espessura da camada (μ)	
	Chapa exterior	Chapa interior
Poliéster silicone	Não especificado	Não aplicável
PVDF	27	Não aplicável
PVC ou Plastisol	200	200
PMMA	50	Não aplicável

Os espaçadores utilizados para esta solução são do tipo carril e suporte, tal como descritos no ponto 2.5.2. a). A estrutura secundária recorre a perfis em Z.

Para as chapas exteriores, a sobreposição das chapas adjacentes verticais efetua-se colocando duas tiras vedantes do tipo butílico de dimensões 6mm por 5mm. A sobreposição das chapas adjacentes horizontais é efetuada colocando uma tira de vedante do tipo butílico com as mesmas dimensões. As fixações são efetuadas com parafusos autoperfurantes de 25 mm de comprimento e com anilhas vedantes de 16 mm ao longo do vale da chapa.



Fig. 4.38 – Esquema de fixação das chapas exteriores: a) Fixação padrão, b) Fixação com sobreposição.

Adaptado de [89].

No que se refere às chapas interiores, a sobreposição das chapas adjacentes verticais efetua-se colocando uma tira vedante do tipo butílico de 4 mm de diâmetro. A sobreposição das chapas adjacentes horizontais é efetuada colocando uma tira vedante do tipo butílico de dimensões 50mm por 1mm para assegurar a estanquidade ao ar e ao vapor de água. As fixações são efetuadas com parafusos auto perfurantes de 25 mm de comprimento e com anilhas vedantes de 16mm ao longo do vale da chapa para a fixação primária e na coroa para a fixação secundária.



Fig. 4.39 - Esquema de fixação das chapas interiores: a) fixação padrão, b) fixação com sobreposição. Adaptado de [89].

4.5.3. PORMENORES CONSTRUTIVOS

a) Remate de esquina vertical

Para o remate vertical recorre-se a um perfil exterior e interior em forma de canto (Figura 4.40).

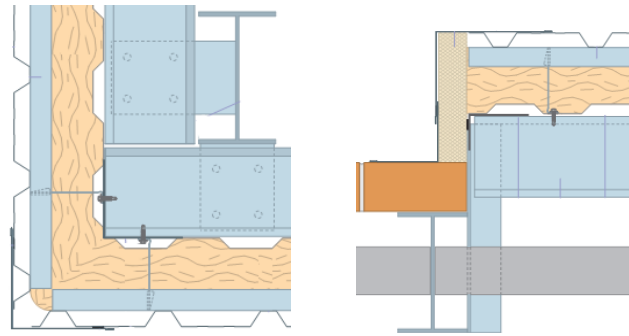


Fig. 4.40 – Remates de esquina vertical da solução AS Twin skin wall system [90].

b) Remate de coroamento

O remate de coroamento é realizado do mesmo modo que o remate de coroamento referido no ponto 4.3.3 b) (Figura 4.419).

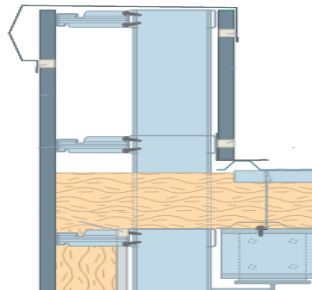


Fig. 4.41 - Remate de coroamento da solução AS Twin skin wall system [90].

c) Remate de reentrância

O remate de reentrância é realizado do mesmo modo que o referido no ponto 4.3.3 c) (Figura 4.42).

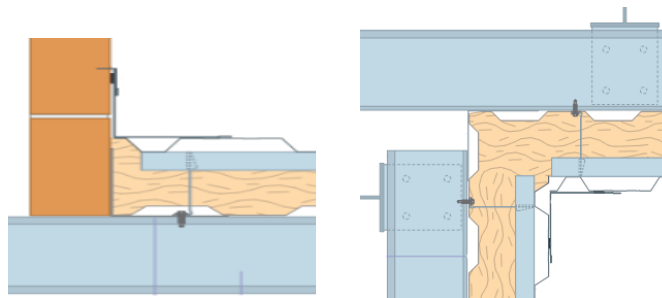


Fig. 4.42 - Remates de reentrância da solução AS Twin skin wall system [90].

d) Remate de esquina horizontal

O remate de esquina horizontal é efetuado através de um perfil em forma de pingadeira ou em perfil de reentrância (Figura 4.43).

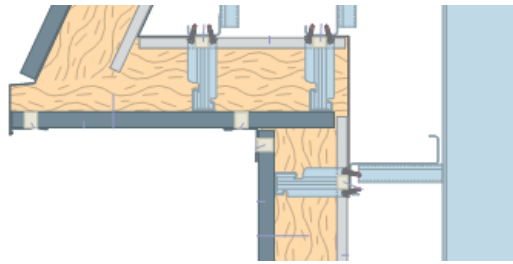


Fig. 4.43 - Remates de esquina horizontal da solução AS Twin skin wall system (corte vertical) [90].

e) Remate de caixilharias e portadas

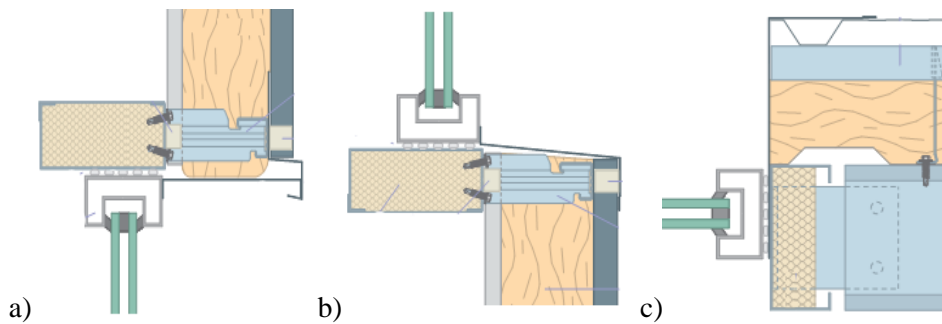


Fig. 4.44 - Remates de caixilharia da solução AS Twin skin wall system: a) Padieira, b) Ombreira, c) Ombreira [90].

Para as portadas apresentam-se os seguintes remates (Figura 4.45):

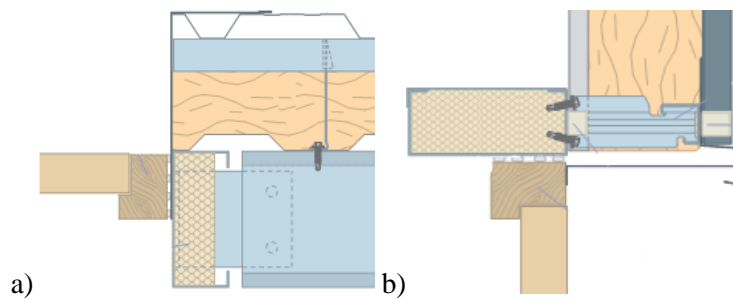


Fig. 4.45 - Remates de portada da solução AS Twin skin wall system: a) Ombreira, b) Padieira [90].

f) Remate de empena (Figura 4.46)

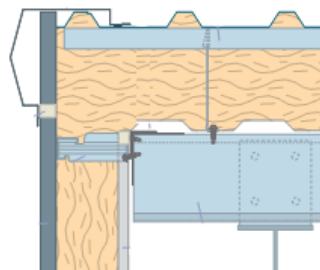


Fig. 4.46 - Remate de empena da solução AS Twin skin wall system [90].

g) Remate de base de fachada

O remate de base de fachada recorre ao mesmo tipo de perfis referidos nas soluções anteriores (Figura 4.47).

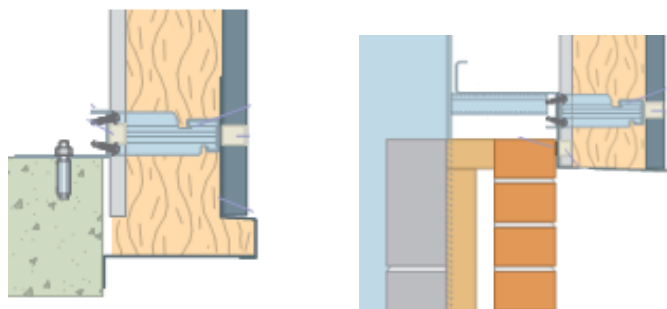


Fig. 4.47 - Remate de base de fachada da solução AS Twin skin wall system [90].

4.5.4. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO

No que se refere á especificação do desempenho referente à resistência mecânica e à estabilidade, é apresentado, por parte do fabricante, o quadro de pressões de sucção de vento admissíveis, em kPa, e também do quadro de cargas máximas admissíveis, em ordem às condições de apoio, para a chapa exterior e interior. Para os valores das pressões do vento admissíveis apresentados é considerado uma chapa exterior AS24/1000 de 0,5mm de espessura e uma chapa interior AS20/1000 com uma espessura de 0,7mm.

Em relação às características mecânicas, a informação apresentada refere-se aos valores do peso próprio e momento de inércia.

Quadro 4.18 – Características mecânicas [87].

Características mecânicas	AS24/1000W	AS20/1000
Peso próprio (kg/m ²)	4,57	5,75
Momento de Inércia (cm ⁴ /m)	3,514	4,195

Quadro 4.19 - Pressões de pressão e sucção do vento para a chapa exterior AS24/1000W. Adaptado de [87].

Wind suction	Deflection limit L/120								
Span	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80
single	2.09	1.54	1.13	0.79	0.58	0.43	0.33	0.26	0.21
double	2.04	1.50	1.15	0.90	0.73	0.61	0.51	0.43	0.37
triple	2.54	1.87	1.43	1.13	0.92	0.76	0.64	0.54	0.47
Wind pressure	Deflection limit L/120								
Span	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80
single	2.04	1.50	1.13	0.79	0.58	0.43	0.33	0.26	0.21
double	1.71	1.32	1.05	0.86	0.71	0.60	0.52	0.45	0.38
triple	2.07	1.60	1.28	1.05	0.87	0.74	0.63	0.55	0.48

Quadro 4.20 - Pressões de sucção do vento e cargas máximas admissíveis para a chapa interior AS20/1000.
Adaptado de [87].

Wind suction	Deflection limit L/90								
Span	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80
single	2.75	2.03	1.57	1.25	0.97	0.75	0.59	0.48	0.39
double	2.75	2.03	1.57	1.25	1.02	0.85	0.72	0.62	0.54
triple	3.43	2.53	1.95	1.55	1.26	1.05	0.89	0.76	0.66
Imposed load	Deflection limit L/200								
Span	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80
single	1.85	1.15	0.75	0.51	0.36	0.25	0.18	0.13	0.09
double	2.11	1.60	1.26	0.89	0.63	0.46	0.34	0.26	0.19
triple	2.58	1.95	1.29	0.89	0.63	0.46	0.34	0.26	0.19
Drifting snow load									
Span	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80
single	3.54	2.58	1.96	1.53	1.22	1.00	0.83	0.69	0.59
double	3.22	2.44	1.91	1.53	1.22	1.00	0.83	0.69	0.59
triple	3.94	3.00	2.36	1.90	1.55	1.27	1.05	0.89	0.75

As tolerâncias encontram-se representadas no seguinte quadro (Quadro 4.21):

Quadro 4.21 – Tolerâncias da solução AS Twin skin wall system [87].

Tolerâncias (mm)	
Comprimento do painel, c (m)	
c < 3	± 5
c > 3	± 10
Largura (mm)	
	0; +3

Relativamente à durabilidade, as chapas perfiladas apresentam um ciclo de vida de 40 anos, ao passo que as primeiras operações de manutenção ocorrem, no máximo, ao fim dos primeiros 30 anos, dependendo da sua localização geográfica e da cor do acabamento. Não são afectadas pelo desenvolvimento de organismos e apresentam uma classificação da reacção ao fogo do tipo B [87].

A solução não é afectada pela condensação superficial graças ao isolamento térmico, bem como não é afectada pela condensação intersticial desde que a aplicação do vedante seja corretamente efectuada.

Quanto ao desempenho térmico, a solução apresenta os valores de coeficiente de transmissão térmica em ordem à espessura da camada de isolamento, tal como descrito no 4.22:

Quadro 4.22 – Coeficientes de transmissão térmica da solução AS Twin skin wall system [87].

Espessura do painel (mm)	Coef. Transmissão térmica U (W/m ² .K)
130	0,35
150	0,30
180	0,25
220	0,20
280	0,16

4.6. SOLUÇÃO EM PELE DUPLA COM BANDEJA

4.6.1. MARCA E SOLUÇÃO ANALISADA

A marca analisada é a Arcelormittal e a solução estudada trata-se da Globalwall DS (Figura 4.48).

4.6.2. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

A solução Globalwall DS analisada é constituída pelos seguintes componentes: bandeja, isolamento no interior e à frente da bandeja, espaçadores e chapa perfilada exterior. A bandeja da solução analisada é do tipo 90/500 SR (Figura 4.48) com as dimensões descritas no quadro 4.23.

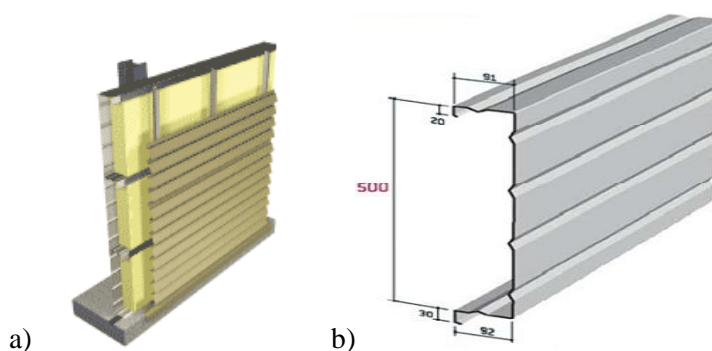


Fig. 4.48 – Solução em pele dupla com bandeja: a) Globalwall, b) DS Bandeja 90/500 SR [91].

Quadro 4.23 – Dimensões características da bandeja 90/500 SR [91].

Designação	Dimensão (mm)
Largura	500
Profundidade	91
Largura da aba superior	20
Largura da aba inferior	30
Espessura	0,75/0,88/1,00/1,25
Comprimento máximo (em m)	18

O isolamento utilizado é de lã mineral de 90 mm de espessura no interior e com espessura de 100mm à frente da bandeja. Os espaçadores são perfis em Z, dispostos verticalmente, com largura de 120 mm (largura idêntica ao isolamento à frente da bandeja acrescido de 20 mm).

A chapa perfilada exterior da solução analisada é o modelo Frequency 18/76B, apresentando um perfil sinusoidal, com as dimensões descritas no quadro 4.24.

Quadro 4.24 – Dimensões características da chapa Frequency 18/76B [91].

Designação	Dimensão (mm)
Comprimento total da chapa	988
Comprimento entre coroas consecutivas	76
Profundidade da coroa	18
Largura	1185
Espessura	0,63/0,75

As fixações são efectuadas com recurso a parafusos autoperfurantes e as juntas verticais são realizadas com recurso a um perfil de transição e a tiras de vedante.

4.6.3. PORMENORES CONSTRUTIVOS

a) Remate de esquina vertical (Figura 4.49)

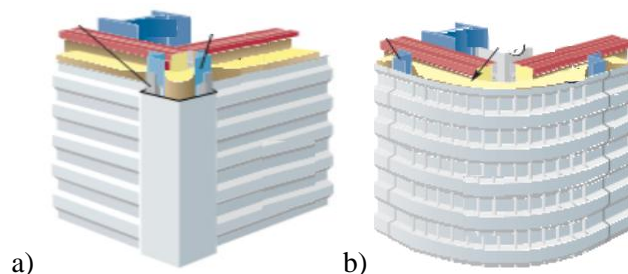


Fig. 4.49 – Remate de esquina vertical da solução Globalwall DS: a) Perfil de canto, b) Perfil curvo [91].

b) Remate de coroamento (Figura 4.50)

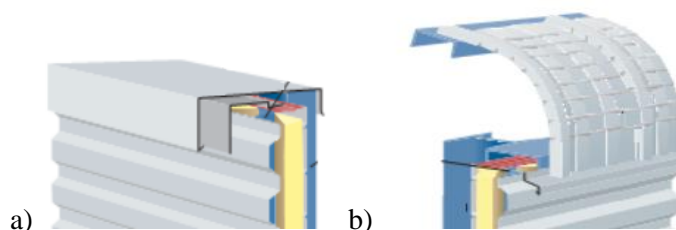


Fig. 4.50 – Remate de coroamento da solução Globalwall DS: a) Em capacete, b) Em curvatura [91].

c) Remate de reentrância (Figura 4.51)

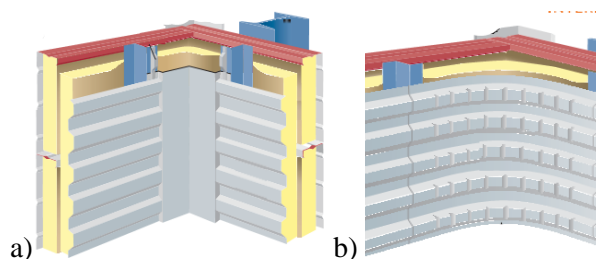


Fig. 4.51 – Remate de reentrância da solução Globalwall DS: a) Perfil de canto, b) Perfil curvo [91].

d) Remate de esquina horizontal (Figura 4.52)

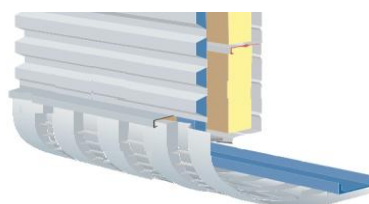


Fig. 4.52 – Remate de esquina horizontal da solução Globalwall DS [91].

e) Remate de aberturas (Figura 4.53)

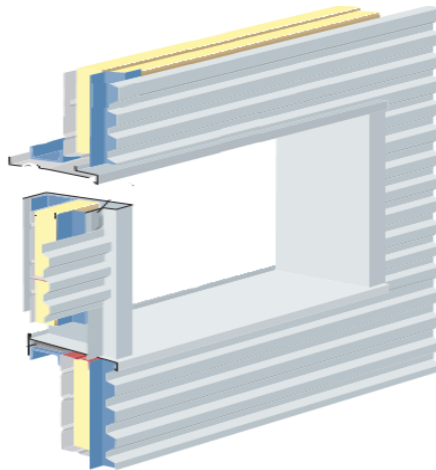


Fig. 4.53 – Remate de aberturas da solução Globalwall DS [91].

f) Remate de base de fachada (Figura 4.54)

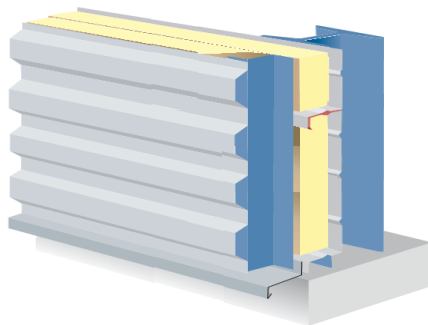


Fig. 4.54 – Remate de base da fachada da solução Globalwall DS [91].

4.6.4. ESPECIFICAÇÕES DE DESEMPENHO

No que se refere à especificação do desempenho referente à resistência mecânica e à estabilidade, é apresentado, no quadro 4.25, uma tabela com as cargas máximas admissíveis para a bandeja, em N/m^2 em função do comprimento dos vãos e do tipo de condições de apoio. Do mesmo modo apresentam-se no quadro 31 as cargas admissíveis para a chapa exterior tendo em conta um flecha de $1/180$ [91]. Em relação às características mecânicas, a informação apresentada refere-se aos valores do peso próprio da bandeja e da chapa perfilada (Quadro 4.27).

Quadro 4.25 – Cargas máximas admissíveis para a bandeja bandeja 90/500 SR [91].

BANDEJA 1.500.90 BS PV SOCOTEC BM 7367	2 APOIOS			VÃO (m)	3 APOIOS		
	ESPESSURA (mm)				ESPESSURA (mm)		
	0,75	0,88	1,00		0,75	0,88	1,00
Pressão	122	143		4,00	148		
Depressão	88	104			132		
Pressão	107	126	143	4,25	134		
Depressão	77	90	102		115		
Pressão	95	111	126	4,50	122	144	
Depressão	67	78	89		101	118	
Pressão	81	95	108	4,75	112	132	
Depressão	59	69	78		89	104	
Pressão	69	81	92	5,00	101	118	135
Depressão	52	61	69		79	92	105
Pressão	59	69	79	5,25	91	107	122
Depressão	46	54	62		72	85	96
Pressão	51	60	68	5,50	83	97	110
Depressão	42	49	56		66	78	88
Pressão	44	52	59	5,75	75	89	101
Depressão	38	44	50		61	72	82
Pressão		45	52	6,00	69	81	92
Depressão		40	45		55	65	74
Pressão			45	6,25	63	74	84
Depressão			41		50	59	67
Pressão			40	6,50	58	68	78
Depressão			38		45	53	61
Pressão				6,75	52	61	69
Depressão					41	49	55
Pressão				7,00	45	53	60
Depressão					38	45	51
Pressão				7,25		46	52
Depressão						41	46
Pressão				7,50		40	46
Depressão						38	43

Quadro 4.26 – Cargas máximas admissíveis para a chapa Frequency 18/76B [91].

Perfil 13.76.18 H PV VERITAS CN 53 B 960166V e SOCOTEC FM 7933	2 APOIOS		VÃO (m)	3 APOIOS	
	ESPESSURA (mm)			ESPESSURA (mm)	
	0,63	0,75		0,63	0,75
Pressão	117	132	1,50	177	
Depressão	113	122		173	
Pressão	96	111	1,60	153	
Depressão	93	102		144	
Pressão	79	94	1,70	133	165
Depressão	78	87		122	129
Pressão	66	81	1,80	117	140
Depressão	65	75		104	111
Pressão	56	73	1,90	100	121
Depressão	56	65		90	97
Pressão		65	2,00	86	105
Depressão		57		78	85
Pressão		59	2,10	74	91
Depressão		51		69	76

Quadro 4.27 – Características mecânicas da bandeja e da chapa exterior. [91].

Espessura (mm)	Peso próprio (kg/m ²)	
	Bandeja 90/500 SR	Chapa 18/76B
0,63	-	5,93
0,75	8,80	7,06
0,88	10,40	-
1	11,80	-

Em termos de tolerâncias, o fabricante apenas refere as tolerâncias máximas admissíveis ao longo do comprimento do edifício, que podem ser [-8mm;0] ou [0;+8mm].

A solução *globallwall DS* possui uma espessura total de aproximadamente 250 mm com um coeficiente de transmissão térmica de 0,5 W/m²K e uma classificação ao fogo da classe A. O desempenho acústico é descrito pelo valor do índice ponderado de redução sonora, R_w , de 43 dB e o coeficiente de absorção sonora, α , também se encontra especificado e apresenta o valor 0,85 [37].

4.7. CUIDADOS ESSENCIAIS NA FASE DE UTILIZAÇÃO

Durante a fase de utilização, os sistemas de revestimento de fachadas encontram-se sujeitos a várias e prolongadas ações derivadas de vários fatores com origem nos ambientes internos e externos dos espaços onde esses sistemas se encontram. Essas ações implicam que, na fase de utilização, seja necessário recorrer à aplicação de cuidados para a manutenção das características dos sistemas estudados neste trabalho no que se refere à sua limpeza/higiene, durabilidade e aparência. Neste subcapítulo são analisados os cuidados essenciais comuns a todas as marcas analisadas.

4.7.1. LIMPEZA/HIGIENE

Parte dos cuidados de limpeza e higiene necessários podem ser aplicados através de medidas preventivas de manutenção, tais como:

- Limpeza de caleiras e tubos de queda: remoção de poeiras e detritos de modo a evitar a retenção de água e posteriores problemas de humidade e corrosão;
- Remoção de vegetação, fungos e outros organismos: remoção com água e produtos de limpeza, evitando o desgaste do acabamento.

Os produtos de limpeza utilizados devem ser livres de lixívia e cloro tais como detergentes (líquidos ou em pó) e sabão líquido, sendo preferível o uso de produtos comerciais domésticos já que tendem a possuir inibidores de corrosão. Para a desinfecção de chapas de aço, a concentração dos produtos aplicados deve ser 10 a 100 vezes menor do que a concentração aplicada sobre outros materiais. Produtos ácidos e solventes devem igualmente ser evitados. Qualquer produto de limpeza aplicado deve ser posteriormente retirado com água e o uso de escovas ou esponjas deve ser sempre feito no sentido da aplicação do acabamento.

Em áreas do revestimento da fachada onde ocorra acumulação de poeiras e que não estão sujeitas à auto limpeza através da água da chuva, é necessário efectuar uma limpeza com água e uma escova (ou esponja). Nos casos de maior sujidade pode-se recorrer a produtos de limpeza. A limpeza não regular destas áreas pode levar à ocorrência de danos no acabamento e, nos casos em que os sistemas de revestimento possuam uma acumulação de agentes agressivos tal como a fuligem e resinas, estes devem ser limpos com recurso a um detergente não abrasivo e uma escova. Para uma limpeza eficaz

pode ser necessário efectuar um desgorduramento prévio. Para tal, a limpeza deve ser feita com água quente sobre pressão com detergente não abrasivo. É igualmente necessário ter em atenção que certas técnicas de limpeza de chapas metálicas podem levar à rápida degradação das juntas e vedantes.

4.7.2. DURABILIDADE

A durabilidade dos sistemas de revestimentos de fachadas em aço é dependente dos seguintes factores: do acabamento aplicado, da substituição de componentes e integração de componentes com ciclo de vida (duração) similares entre si e também da relação dos componentes com os agentes ambientais.

a) Acabamento aplicado

Para que os diferentes tipos de acabamentos sejam capazes de proteger adequadamente as chapas metálicas é necessário que os períodos de repintura sejam respeitados. Esta necessidade de repintura pode dizer respeito à necessidade de renovar a capacidade do acabamento em proteger a camada de zinco mas também à necessidade de renovar a capacidade de retenção da cor. Estas duas necessidades implicam períodos de repintura distintos já que, tal como já referido no ponto 2.4.3, a durabilidade dos acabamentos relativamente à retenção da cor é menor do que a durabilidade relativamente à proteção anti-corrosiva do aço. Como tal, é necessário o cuidado em respeitar os diferentes períodos de repintura (Quadro 4.28), bem como o cuidado em garantir que a solução de acabamento e a espessura aplicada é compatível com a original e de acordo com o especificado pelo fabricante.

Quadro 4.28 – Durabilidade dos diferentes tipos de acabamentos.

Tipo de acabamento	Durabilidade	
	Proteção da camada de zinco	Retenção à cor
PVC/ Plastisol	30 +	10 - 20
PMMA	30 +	20
PVDF	40 +	15 – 30
Poliéster Silicone	30 +	5 - 15

É igualmente necessário ter em conta os efeitos dos danos causados por impactos ou abrasão, sendo necessário efectuar uma inspeção regular (as marcas analisadas referem inspeções de ano a ano ou a cada dois anos, consoante o nível de agressividade do ambiente) para a identificação dos danos e da sua gravidade. Nestes casos, a repintura ocorre fora dos períodos mencionados no quadro 4.28 e em áreas mais localizadas, ou seja, a repintura ocorre numa área menos abrangente do que nos casos anteriores.

b) Substituição de componentes e integração de componentes com ciclo de vida similares entre si

A substituição de componentes deve ser efectuada em casos de corrosão ou desgaste acentuado ou danos graves causados por impactos que provoquem a diminuição da capacidade do componente em responder às exigências de desempenho.

Quando as chapas metálicas apresentem danos irreparáveis, quer no seu acabamento, quer na sua forma e estabilidade, a substituição deve ser realizada.

A substituição de fixações afetadas pela corrosão ou com degradação das aduelas e anilhas é uma operação que permite evitar a ocorrência de eventuais infiltrações para o interior. O aperto das

fixações deve ser o adequado para garantir a vedação com a penetração da água mas não ser demasiado forte e assim não provocar compressões nas chapas metálicas pelo que, para tal, esta operação deve ser efetuada com aparafusadoras.

A reposição de juntas, vedantes e isolamentos aplicados em obra, devem ser operações de carácter preventivo e não curativo, devendo ser realizadas durante o tempo seco.

Qualquer substituição de componentes deve ser efetuada respeitando a escolha original das soluções.

O cuidado na integração de componentes com ciclo de vida similares entre si é um aspecto a considerar, principalmente quando se trate de sistemas abertos, já que é recomendável a adopção de componentes que possuam uma duração o mais similar possível de modo a diminuir o número de eventuais operações de substituição e o tempo necessário para as realizar, e conseqüentemente, reduzir os custos de manutenção. Esta compatibilidade da duração dos diferentes componentes permite igualmente reduzir o incómodo causado aos utilizadores pelas operações de manutenção.

c) Relação dos componentes com os agentes ambientais

O estado dos componentes é modificado ao longo do tempo dependendo do envelhecimento natural e do desgaste causado pelo impacto de fatores ambientais tais como a radiação ultravioleta, vento e chuva. Estes fatores provocam danos e desgaste sobretudo no acabamento das chapas de aço, nas fixações e nas juntas, sendo estes componentes que requerem um cuidado especial e maior atenção durante a inspeção, já que são estes componentes os mais expostos aos agentes ambientais.

O cuidado no controlo da humidade e temperatura internas permite o controlo da condensação interna e intersticial. Para minimizar o risco de condensação, é necessário assegurar que a extração de humidade e a renovação do ar gerada pelas actividades e processos dentro do edificio é realizada regularmente e em níveis adequados, de acordo com a solução de revestimento adoptada.

É necessário ter em conta que, nos casos em que o ambiente se torna mais agressivo (como, por exemplo, devido ao aumento do nível de poluição), a durabilidade dos componentes pode ser afectada e portanto a capacidade destes em assegurar um desempenho adequado deve ser reexaminada e, se necessário, os componentes devem assim ser adaptados a estas novas condições ambientais. Este cuidado torna-se especialmente importante para as chapas metálicas exteriores como meio de aumentar a sua durabilidade.

4.7.3. APARÊNCIA

Tal como já referido, os efeitos da radiação ultravioleta, do vento e da chuva alteram o aspecto do acabamento aplicado, pelo que se torna necessário existir uma inspeção regular e rigorosa do seu estado, principalmente em fachadas orientadas a Sul, já que são as fachadas mais expostas à radiação solar.

A limpeza regular e adequada é a melhor operação para assegurar que a aparência dos sistemas se mantém ao longo do tempo, já que a acumulação de poeiras, bem como a ferrugem devido à corrosão, provocam a diminuição da qualidade estética.

A repintura em casos de danos originados por impactos e abrasões deve ser na área mais pequena possível de modo a diminuir as diferenças de tonalidade, utilizando para isso um pincel de pequenas dimensões. A substituição de uma chapa metálica bem como a sua limpeza parcial pode levar a variações na tonalidade na cor em comparação com as restantes chapas, prejudicando o seu aspecto,

devendo portanto existir o cuidado em efectuar uma limpeza completa em todas as chapas e assegurar que a substituição de uma chapa por uma nova não prejudica o aspecto geral.

A substituição das fixações, incluindo as aduelas e anilhas, caso apresentem desgaste ou corrosão permite evitar a ocorrência de escorrimentos de ferrugem para a chapa metálica exterior.

5

ESTUDO DE CASO

5.1. OBJETO

Neste capítulo é efetuado o estudo de um caso teórico de um armazém. Numa primeira fase é efetuada uma abordagem aos pressupostos a cumprir para a execução do armazém, mais concretamente, os regulamentos aplicáveis e as exigências específicas a cumprir num armazém com estas características. Numa segunda fase é efetuada uma conceção estrutural, com o dimensionamento e descrição do sistema de revestimento adotado bem como o dimensionamento e descrição da estrutura secundária não integrada, em respeito com a implementação estrutural e, ao mesmo tempo, em respeito com outras exigências que se apresentem como relevantes ou influentes.

Por fim, é apresentada a pormenorização construtiva em concordância com a solução adotada e as características estruturais e arquitetónicas do armazém em estudo.

No que se refere aos regulamentos e documentos aplicáveis, a conceção e segurança estrutural baseia-se no eurocódigo 1 para a quantificação das ações atuantes sobre a estrutura e o sistema de revestimento. Como a ação que mais condiciona em armazéns industriais o dimensionamento do sistema de revestimento é o vento, é aplicada a parte 4 do eurocódigo 1. A verificação da estabilidade e resistência da estrutura secundária (madres) é efetuada com base no eurocódigo 3, parte 1.

O regulamento térmico existente em Portugal, RCCTE, é aplicável somente a edifícios de habitação e portanto o armazém em estudo é isento de tal verificação. No entanto, os valores do coeficiente de transmissão térmica máximos e de referência dispostos neste regulamento podem ser usados como indicadores da capacidade do sistema de revestimento escolhido ser capaz de providenciar um nível de conforto minimamente adequado para o espaço em questão. Como tal, a escolha da solução poderá ter em conta os valores do coeficiente de transmissão térmica máximos e de referência, (U_{\max} e U_{\min} , respetivamente) para a envolvente vertical exterior, correntemente usadas em edifícios de habitação.

Em termos acústicos, o RRAE define valores do índice ponderado de redução sonora, R_w , a cumprir por parte dos fabricantes dos sistemas de revestimento. A segurança contra incêndios deve ser verificada de acordo com o estabelecido no RGSCIE.

A solução adotada deverá garantir que o armazenamento dos produtos alimentares neste espaço esteja de acordo com o especificado nas regras de segurança e higiene alimentares, mais concretamente, as diretivas do conselho europeu referentes a produtos alimentares. Como tal, essa solução deverá assegurar que existe, entre o ambiente exterior e o ambiente interior a proteger, uma barreira térmica e também uma barreira estanque ao vapor e ao ar, bem como ser capaz de resistir ao desenvolvimento de microrganismos. A solução deve igualmente ser capaz de evitar a ocorrência de condensação na superfície e entre camadas.

O acabamento deve ser não tóxico e sem libertação de substâncias tóxicas ou microrganismos. A aplicação deste acabamento deve garantir que a limpeza dos painéis seja fácil, rápida e sem recursos a

produtos de limpeza potencialmente nocivos. Para o acabamento interior deve-se ainda garantir a escolha de uma solução quimicamente inerte que garanta segurança durante o contacto contínuo com produtos alimentares.

O isolamento a aplicar deve ser homogéneo, com permeabilidade reduzida sem libertação de substâncias tóxicas (fibras, CFC's, entre outras) e também deve ser aplicado de modo a não ocorrer pontes térmicas.

As juntas entre componentes devem ser executadas de modo a assegurar uma adequada estanquidade e resistência a eventuais movimentos dos componentes de origem estrutural, termo-higrométrica ou outras.

5.2. BREVE DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

O caso teórico apresentado diz respeito a um armazém para logística com o objetivo de armazenar mercadorias não perecíveis e perecíveis. As figuras seguintes apresentam a vista em planta do armazém bem como os respetivos alçados (Figuras 5.1 a 5.5).

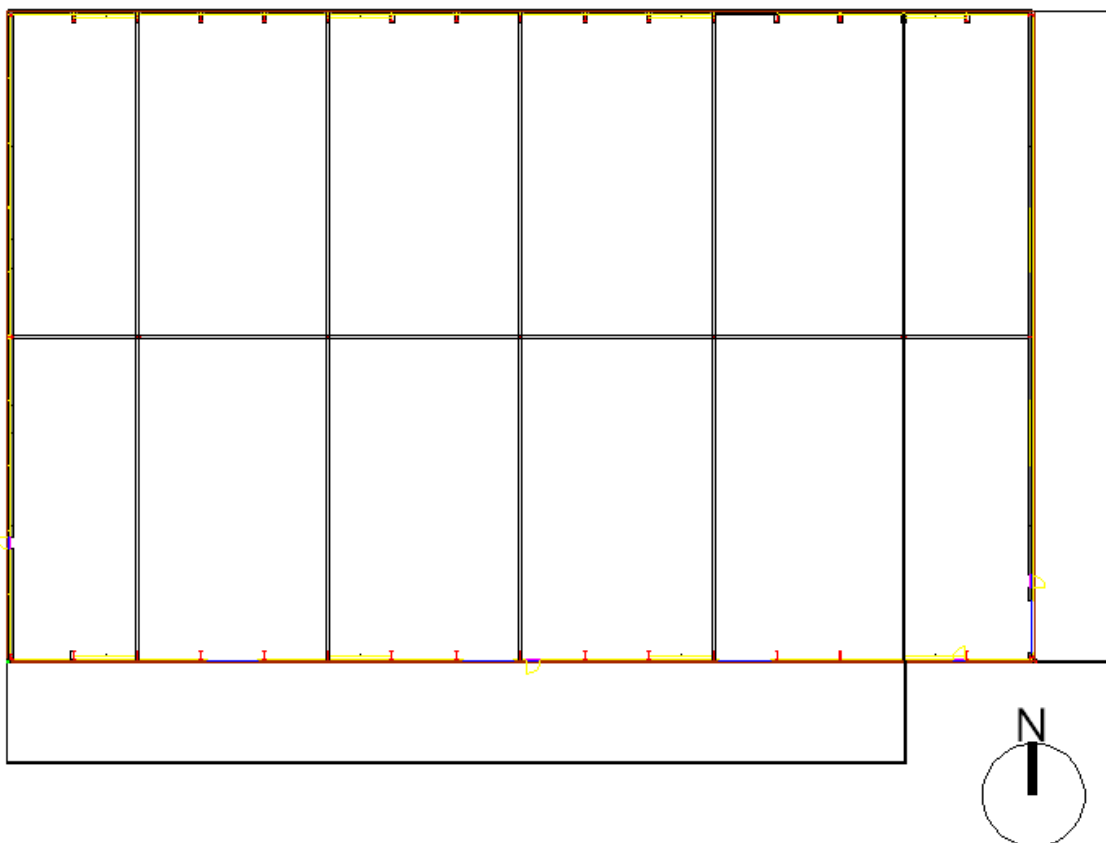


Fig. 5.1 – Planta do armazém.

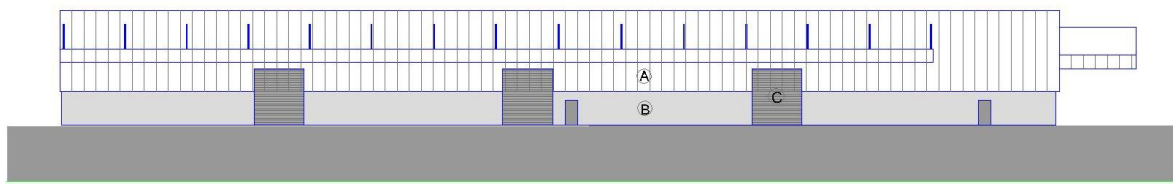


Fig. 5.2 – Alçado Sul do armazém: a) Chapa metálica, b) Portão em chapa metálica, c) Murete em betão.

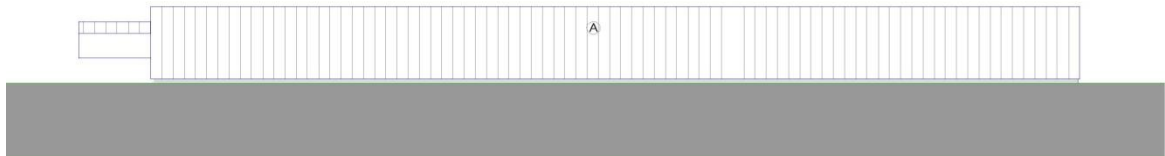


Fig. 5.3 – Alçado Norte do armazém.

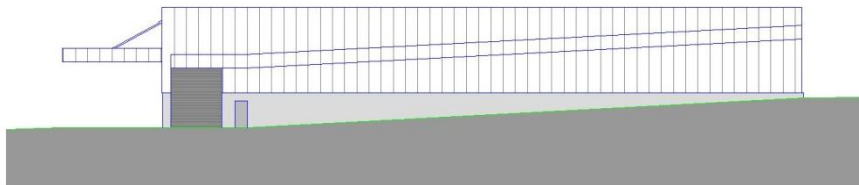


Fig. 5.4 – Alçado Nascente do armazém.

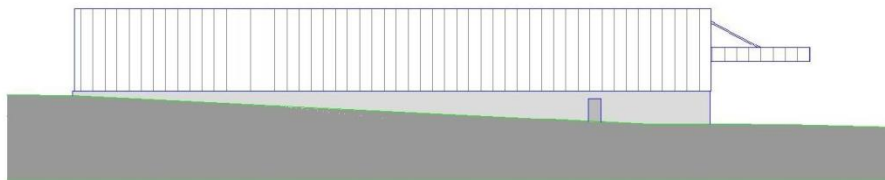


Fig. 5.5 – Alçado Poente do armazém.

A figura seguinte (Figura 5.6) apresenta a estrutura resistente principal em pórtico com um murete em betão armado.

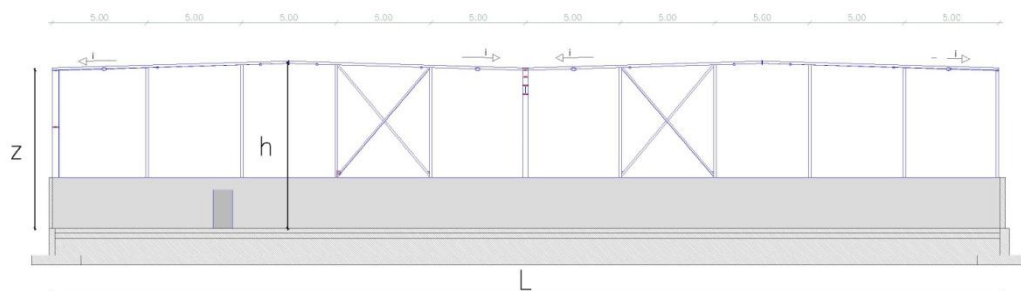


Fig. 5.6 - Estrutura resistente principal.

As características do armazém estão descritas no seguinte quadro (Quadro 5.1).

Quadro 5.1 – Características do edifício em estudo.

Localização	Viana do Castelo, 50 m altitude
Zona de inserção	Zona industrial
Comprimento, C	80 m
Largura, L	50 m
Área em planta, A	4000 m ²
Altura livre, z	8,2 m
Altura máxima, h	8,6 m
Inclinação das vertentes, i	5%
Distância entre pórticos	4,91 m
Distância entre pilares nas fachadas Poente e Nascente	5 m

5.3. DEFINIÇÃO DA SOLUÇÃO

5.3.1. QUANTIFICAÇÃO DAS AÇÕES

a) Ação provocada pelo vento

Como já referido, a ação mais condicionante para a escolha do revestimento é a ação provocada pelo vento. Como tal é necessário recorrer ao eurocódigo 1 parte 1-4 [60]. Como já mencionado no capítulo 3, ponto 3.5, a quantificação da ação do vento sobre o armazém implica o cálculo de vários valores preliminares.

- Valor de referência da velocidade do vento, v_b :

Este valor é dado pela seguinte expressão:

$$v_b = c_{dir}c_{season}v_{b,0} \quad (5.1)$$

Sendo:

c_{dir} – coeficiente de direção, cujo valor é 1;

c_{season} – coeficiente de estação do ano, cujo valor também é 1;

$v_{b,0}$ – valor característico (básico) da velocidade média, referido no anexo nacional, de acordo com a zona onde o armazém se encontra. Como o armazém se situa em Viana do Castelo encontra-se na zona B e portanto toma o valor de 30 m/s.

Portanto, $v_b = 1 \times 1 \times 30 = 30$ m/s

- Coeficiente de rugosidade do terreno, $c_r(z)$:

Este valor é dado pela seguinte expressão:

$$c_r(z) = k_r \ln(z/z_0), \text{ para } z_{\min} < z \leq 200\text{m} \quad (5.2)$$

Sendo:

z - altura acima do solo, cujo valor é 8,6 m;

z_0 – comprimento de rugosidade de acordo com a categoria do terreno;

z_{\min} – valor mínimo de acordo com a categoria do terreno;

k_r – coeficiente de terreno, dado pela seguinte expressão:

$$k_r = 0,19 \times (z_0/z_{0,II})^{0,07} \quad (5.3)$$

A determinação da categoria do terreno é dada de acordo com o anexo nacional. Tratando-se de um armazém situado numa área suburbana, enquadra-se na categoria III e portanto $z_0=0,3\text{m}$ e $z_{\min}=8\text{m}$, então obtém-se:

$$k_r = 0,19 \times (0,3/0,05)^{0,07} = 0,215$$

$$c_r(z) = 0,215 \times \ln(8,6/0,3) = 0,722$$

- Orografia e construções vizinhas, $c_o(z)$;

Para este parâmetro, o efeito da orografia e das construções vizinhas é desprezável. Estando o edifício inserido numa zona industrial em que os restantes edifícios se encontram com espaçamentos moderados e alturas idênticas, estes fatores não alteram a velocidade do vento. Portanto, o coeficiente de orografia é igual a 1.

- Velocidade média do vento a uma altura z acima do solo, $v_m(z)$;

Este valor é obtido através da seguinte fórmula:

$$v_m(z) = c_r(z)c_o(z)v_b \quad (5.4)$$

Então

$$v_m(z) = 0,722 \times 1 \times 30 = 21,66 \text{ m/s}$$

- Turbulência longitudinal do vento;

A intensidade de turbulência à altura z é obtida através de:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} \quad (5.5)$$

Sendo σ_v o desvio padrão das flutuações de velocidade do vento, dado pela seguinte expressão:

$$\sigma_v = k_1 k_r v_b \quad (5.6)$$

Sendo:

k_1 – coeficiente de turbulência; toma o valor de 1 tal como indicado no anexo nacional.

Então, obtêm-se os seguintes valores:

$$\sigma_v = 1 \times 0,215 \times 30 = 6,45 \text{ e}$$

$$I_v(z) = \frac{6,45}{21,66} = 0,299$$

- Pressão dinâmica de pico, $q_p(z)$;

Este valor é dado pela seguinte expressão:

$$q_p(z) = [1 + 7 I_v(z)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z) \quad (5.7)$$

Sendo ρ a massa volúmica do ar que toma o valor de 1,25 kg/m³, então:

$$q_p(z) = [1 + 7 \times 0,299] \times \frac{1}{2} \times 1,25 \times 21,66^2 = 907 \text{ N/m}^2$$

Para o cálculo da pressão exercida pelo vento nas superfícies exteriores e interiores, recorre-se às seguintes expressões:

$$\text{Superfícies exteriores: } w_e = q_p(z_e) c_{pe} \quad (5.8)$$

$$\text{Superfícies interiores: } w_i = q_p(z_i) c_{pi} \quad (5.9)$$

Sendo c_{pe} e c_{pi} os coeficientes de pressão exterior e interior, respetivamente.

z_e e z_i são alturas de referência.

b) Coeficientes de pressão exterior, c_{pe}

Os coeficientes de pressão exterior estão relacionados com a área carregada. Para o dimensionamento do elemento de revestimento recorre-se aos coeficientes locais $c_{pe,1}$. Como a altura do armazém é menor que a sua largura ($h < d$), recorre-se ao seguinte perfil de pressão dinâmica (Figuras 5.7 e 5.8).

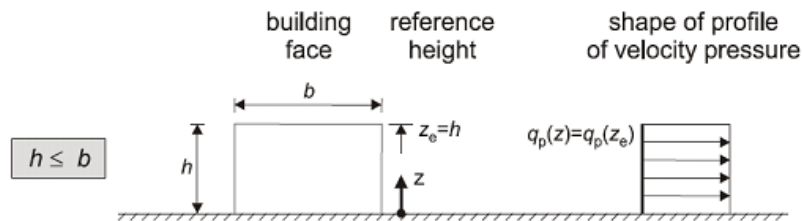


Fig. 5.7 – Altura de referência e forma do perfil de pressão dinâmica no edifício [60].

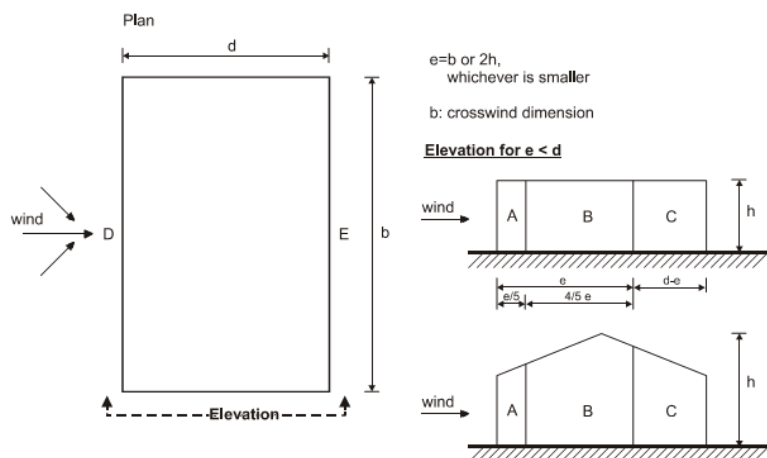


Fig. 5.8 – Zonas em paredes verticais com o vento a ser aplicado nas fachadas laterais [60].

Para o revestimento de fachadas, os coeficientes de pressão exterior são definidos para as zonas A,B,C,D e E. No caso de o vento estar a ser aplicado transversalmente (segundo a direção perpendicular à maior dimensão do edifício), obtêm-se as seguintes dimensões (Quadro 5.2) usando a notação do eurocódigo 1:

Quadro 5.2 – Dimensões do pavilhão com o vento a incidir transversalmente.

Dimensões	Valor (m)
d	50
b	80
h	8,6
e	17,2

Sendo $e = \min(b; 2h) = \min(80; 17,2) = 17,2$ m.

Através do quadro 7.11 do eurocódigo, e, com recurso à interpolação, obtêm-se os seguintes coeficientes de pressão exterior (Quadro 5.3, $h/d=0,172 < 0,25$), indicadas no Quadro 5.3.

Quadro 5.3 – Coeficientes de pressão exteriores segundo uma aplicação transversal.

Zona	$C_{pe,1}$
A	-1,4
B	-1,1
C	-0,5
D	+1,0
E	-0,3

No caso de o vento estar a ser aplicado longitudinalmente (numa direção paralela à parede de maior dimensão), obtêm-se as dimensões indicadas no Quadro 5.4.

Quadro 5.4 - Dimensões do pavilhão segundo uma aplicação longitudinal.

Dimensões	Valor (m)
d	80
b	50
h	8,6
e	17,2

Sendo $e = \min(b; 2h) = \min(50; 17,2) = 17,2$ m.

Recorrendo ao método aplicado anteriormente, são obtidos os respetivos coeficientes de pressão exterior (Quadro 5.5, $h/d=0,11 < 0,25$):

Quadro 5.5 – Coeficientes de pressão exteriores segundo uma aplicação longitudinal.

Zona	$C_{pe,1}$
A	-1,4
B	-1,1
C	-0,5
D	+1,0
E	-0,3

c) Coeficientes de pressão interior, c_{pi}

Os coeficientes de pressão interior estão relacionados com a disposição de aberturas na envolvente, bem como com a relação entre a área das fachadas e a área das aberturas. No entanto, devido ao facto de, neste espaço, não ser possível estimar a permeabilidade e a razão de aberturas, os valores de c_{pi} devem ser o mais desfavorável possível entre +0,2 e -0,3.

d) Forças exercidas pelo vento

As forças exercidas pelo vento são determinadas pela soma das forças exteriores, interiores e de atrito.

As forças exteriores, $F_{w,e}$, são dadas pela seguinte equação:

$$F_{w,e} = c_s c_d \sum \text{superfícies} w_e A_{ref} \quad (5.10)$$

Sendo:

$c_s c_d$ – coeficiente estrutural

A_{ref} – área de referência da superfície individual

O coeficiente estrutural tem em conta o efeito de redução da não-simultaneidade de ocorrência das pressões de pico, juntamente com o efeito de majoração da turbulência. Este coeficiente toma o valor de 1 pois trata-se de um armazém com altura inferior a 15 metros.

As forças interiores, $F_{w,i}$, são dadas pela seguinte equação:

$$F_{w,i} = \sum \text{superfícies} w_i A_{ref} \quad (5.11)$$

O cálculo das forças de atrito, F_{fr} , é efetuado através da equação:

$$F_{fr} = c_{fr} q_p(z_e) A_{fr} \quad (5.12)$$

Em que:

c_{fr} - é o coeficiente de atrito

A_{fr} – área de superfície paralela ao vento

Esta força pode ser desprezada quando a área total das superfícies paralelas em relação à direção do vento for menor ou igual à área das paredes perpendiculares multiplicada por quatro (Equação 5.13).

$$A_{ref,paralela} \leq 4 \times A_{ref,perpendicular} \quad (5.13)$$

No caso de o vento estar numa direção transversal:

$$A_{ref,paralela} = 8,2 \times 50 \times 2 = 820 \text{ m}^2$$

$$4 \times A_{ref,perpendicular} = 4 \times 80 \times 8,2 \times 2 = 5280 \text{ m}^2$$

Do mesmo modo, para o caso de a direção ser longitudinal:

$$A_{ref,paralela} = 8,2 \times 80 \times 2 = 1312 \text{ m}^2$$

$$4 \times A_{ref,perpendicular} = 4 \times 50 \times 8,2 \times 2 = 3280 \text{ m}^2$$

Então, verifica-se que é possível desprezar as forças de atrito.

5.3.2. DIMENSIONAMENTO DO REVESTIMENTO

Como já referido, a ação mais condicionante para a escolha do revestimento de uma fachada é a ação provocada pelo vento. Como tal, o valor da carga distribuída máxima a considerar sobre as fachadas é então dado pela expressão 5.14:

$$W_{\text{total}} = q_p(z) \times (c_{pe} + c_{pi}) \quad (5.14)$$

Para a ação do vento é considerado o maior dos coeficientes de pressão exterior calculados, agravado pelo coeficiente de pressão interior.

a) Revestimento das fachadas Norte e Sul

Para as fachadas laterais, no caso de o vento estar a ser aplicado transversalmente, o coeficiente de pressão exterior, aplicado é o maior valor obtido nas zonas D e E do quadro 5.3, ou seja, o valor +1,0 agravado por um coeficiente de pressão interior de -0,3 (Figura 5.9).

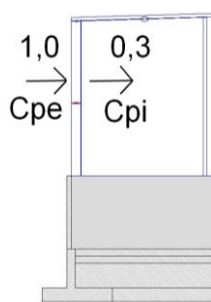


Fig. 5.9 – Representação dos coeficientes de pressão exterior e interior das fachadas laterais.

Então, através da equação 5.14, obtém-se o seguinte valor da carga distribuída:

$$W_{\text{total}} = 907 \times (1,0 + 0,3) = 1180 \text{ N/m}^2 = 1,18 \text{ kN/m}^2 \text{ (pressão)}$$

O valor da carga majorada (multiplicada por 1,5) é:

$$W_{\text{total}} = 1,18 \times 1,5 = 1,77 \text{ kN/m}^2 \text{ (pressão)}$$

O sistema de revestimento adotado é do tipo painel composto do tipo sandwich da marca Kingspan. A solução escolhida trata-se do modelo KS1150TC [84], solução exaustivamente descrita no capítulo 4.3.

Quadro 5.6 – Carga uniformemente distribuída admissível para o modelo KS1150TC (2 vãos) [84].

		DOUBLE SPAN													
40	Pressure	2.20	1.45	1.01	0.74	0.57	0.45	0.36	0.30	0.25	0.21	0.19	0.16	0.14	
	Suction	2.13	1.50	1.04	0.77	0.59	0.46	0.38	0.31	0.26	0.22	0.19	0.17	0.15	
	a; b _{min} (mm)	64	51	40											
50	Pressure	2.81	1.83	1.27	0.93	0.71	0.56	0.46	0.38	0.32	0.27	0.23	0.20	0.18	
	Suction	2.72	1.89	1.31	0.96	0.74	0.58	0.47	0.39	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18	
	a; b _{min} (mm)	81	63	50	40										
60	Pressure	3.43	2.20	1.53	1.12	0.86	0.68	0.55	0.45	0.38	0.33	0.28	0.24	0.21	
	Suction	3.33	2.28	1.58	1.16	0.89	0.70	0.57	0.47	0.40	0.34	0.29	0.25	0.22	
	a; b _{min} (mm)	97	75	59	48	40									
70	Pressure	4.02	2.57	1.79	1.31	1.01	0.79	0.64	0.53	0.45	0.38	0.33	0.29	0.25	
	Suction	3.95	2.66	1.85	1.36	1.04	0.82	0.67	0.55	0.46	0.39	0.34	0.30	0.26	
	a; b _{min} (mm)	112	86	69	55	45	40								
80	Pressure	4.60	2.95	2.05	1.50	1.15	0.91	0.74	0.61	0.51	0.44	0.38	0.33	0.29	
	Suction	4.59	3.05	2.12	1.56	1.19	0.94	0.76	0.63	0.53	0.45	0.39	0.34	0.30	
	a; b _{min} (mm)	126	98	78	63	51	42	40							
100	Pressure	5.77	3.69	2.57	1.89	1.44	1.14	0.92	0.76	0.64	0.55	0.47	0.41	0.36	
	Suction	5.88	3.82	2.66	1.95	1.49	1.18	0.96	0.79	0.66	0.57	0.49	0.42	0.37	
	a; b _{min} (mm)	155	120	95	77	63	51	42	40						

Observando o quadro 5.6, e tendo em conta a carga distribuída calculada, a solução adotada é formada por painéis com 40 mm de espessura que, recorrendo a uma distância máxima entre apoios de 2 metros, garantem uma resistência a carregamentos até 2,20 kN/m².

b) Revestimento das fachadas de Poente e Nascente

Para as fachadas de empena, no caso de o vento estar a ser aplicado longitudinalmente, o coeficiente de pressão exterior, aplicado é o maior valor obtido nas zonas A,B e C do quadro 5.5, ou seja, o valor -1,4 agravado por um coeficiente de pressão interior de +0,2 (Figura 5.10).

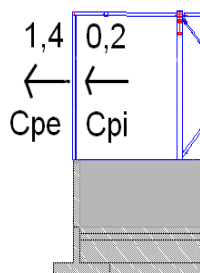


Fig. 5.10 - Representação dos coeficientes de pressão exterior e interior das fachadas de empena.

Novamente, através da equação 5.14 obtém-se o valor da carga distribuída:

$$W_{\text{total}} = 907 \times (1,4 + 0,2) = 1450 \text{ N/m}^2 = 1,45 \text{ kN/m}^2 \text{ (sucção)}$$

O valor da carga majorada (multiplicada por 1,5) é:

$$W_{\text{total}} = 1,45 \times 1,5 = 2,18 \text{ kN/m}^2 \text{ (pressão)}$$

Observando o quadro 5.6 a solução adotada é composta por painéis com 50 mm de espessura que, recorrendo a uma distância máxima entre apoios de 2 metros garantem uma resistência a carregamentos até 2,72 kN/m². Atendendo à pequena diferença entre a capacidade resistente e atuante, julgamos ser suficiente recorrer aos painéis com 40 mm de espessura para resolver o problema (2,13 comparado com 2,18).

5.3.3. DIMENSIONAMENTO DE MADRES DE FACHADA

a) Escolha do perfil

Tal como já referido no capítulo 2, existem vários tipos de perfis. Para o caso em estudo opta-se por um perfil em C (Figura 5.11) da marca SADEF [92].

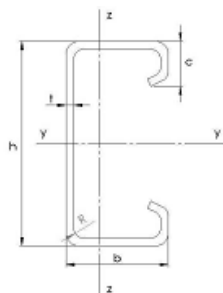


Fig. 5.11 – Perfil modelo CEE plus [92].

Estando os pórticos afastados de 4,91 metros, é definido um esquema estático correspondente a uma viga contínua, simplesmente apoiada, de dois tramos, tendo cada tramo 4,91 metros. A determinação do momento de cálculo, M_{sd} , é efetuada considerando assim madres com um comprimento de 9,82 metros. O esquema estático e o diagrama de momentos resultante estão representados na seguinte figura (Figura 5.12).

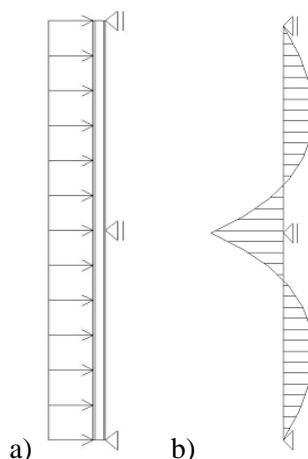


Fig. 5.12 – Madres da fachada: a) Esquema estático, b) Diagrama de momentos.

O espaçamento máximo permitido entre apoios para a solução escolhida é o espaçamento entre madres, d_m , ou seja, um espaçamento de 2 metros.

b) Dimensionamento para as fachadas Norte e Sul

Para o dimensionamento das madres é necessário uma análise da ação do vento, mais propriamente no que se refere à distribuição dos coeficientes de pressão exterior, bem como a consideração das ações permanentes, que consistem unicamente no peso próprio dos painéis.

A situação mais exigente para esta análise corresponde à ocorrência da ação do vento paralelamente às fachadas de maior dimensão em que os painéis se encontram em sucção. A disposição dos coeficientes de pressão exterior está representada na seguinte figura (Figura 5.13).

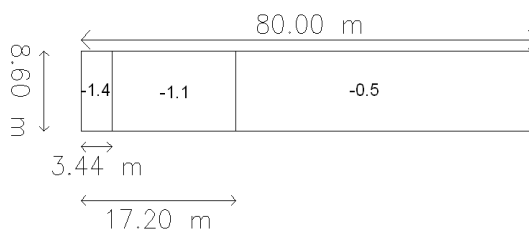


Fig. 5.13 – Disposição dos coeficientes de pressão exterior para as fachadas Norte e Sul.

Sendo o afastamento entre pórticos 4,91 metros, a redistribuição dos coeficientes de pressão exterior resulta na seguinte figura (Figura 5.14).

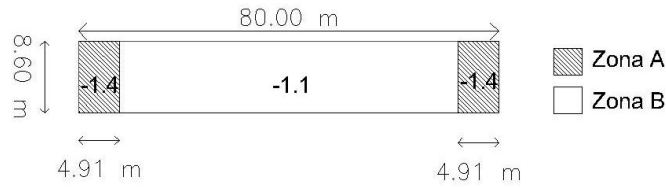


Fig. 5.14 – Repartição dos coeficientes de pressão exterior para as fachadas Norte e Sul.

No que se refere ao coeficiente de pressão exterior, c_{pi} , a situação mais desfavorável ocorre com um c_{pi} igual a +0,2 (Figura 5.15), verificando-se então a situação representada na figura 6.15.



Fig. 5.15 – Coeficientes de pressão totais para as fachadas Norte e Sul.

Com os coeficientes de pressão totais é possível determinar os valores característicos da ação, Q_k , para as zonas A e B, de acordo com a equação 5.14.

Zona A: $Q_{k,A} = 0,907 \times 1,6 = 1,45 \text{ kN/m}^2$

Zona B: $Q_{k,B} = 0,907 \times 1,3 = 1,17 \text{ kN/m}^2$

Os modelos de perfis utilizados para as zonas A e B são, prospectivamente, o perfil C+300x5 e o C+300x4. As características de cada perfil estão descritas no seguinte quadro (Quadro 5.7).

Quadro 5.7 – Características dos perfis C+300x5 e C+300x4

Zona	A	B
Tipo de perfil	C+300x5	C+300x4
h (mm)	300	300
t (mm)	5	4
c (mm)	30	25
b (mm)	90	80
G (kg/m)	20,38	15,59
A (cm ²)	25,75	19,66
I _y (cm ⁴)	3314	2490
W _y (cm ³)	224,7	168,3
I _z (cm ⁴)	271,0	159,0
W _z (cm ³)	44,4	28,4

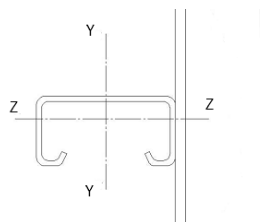


Fig. 5.16 – Disposição das madres ao longo da fachada.

Com base nas características dos perfis, nos valores característicos das ações e tendo em conta que as ações permanentes decorrem segundo a direção Y e as variáveis segundo a direção Z (Figura 5.16), é possível obter os seguintes valores:

- Ações permanentes:

$$G_{paine1,y} = G_{paine1} \times dm = \frac{10,64 \times 9,81}{1000} \times 2 = 0,209 \text{ kN/m}$$

$$G_{madre_{A,y}} = G_{madre_A} = \frac{20,38 \times 9,81}{1000} = 0,200 \text{ kN/m}$$

$$G_{madre_{B,y}} = G_{madre_B} = \frac{15,59 \times 9,81}{1000} = 0,153 \text{ kN/m}$$

- Ações variáveis:

$$Q_{vento_{A,z}} = Q_{k,A} \times dm = 1,45 \times 2 = 2,90 \text{ kN/m}$$

$$Q_{vento_{B,z}} = Q_{k,B} \times dm = 1,17 \times 2 = 2,34 \text{ kN/m}$$

Para a combinação das ações, a verificação efetua-se através das combinações permanentes (peso próprio) com as variáveis (vento) para cada zona. Para a ação de base vento, utilizam-se os seguintes fatores de majoração:

- fator de majoração para as ações permanentes: $\gamma_G = 1,35$;
- fator de majoração para as ações variáveis: $\gamma_Q = 1,5$;

A combinação é então efectuada segundo as seguintes fórmulas:

$$Sd_{zona,y} = \gamma_G(G_{paine1,y} + G_{madre_{A,y}}) \quad (5.15)$$

$$Sd_{zona,z} = \gamma_Q Q_{vento,z} \quad (5.16)$$

Então:

$$Sd_{A,y} = 1,35 \times (0,209 + 0,200) = 0,55 \text{ kN/m}$$

$$Sd_{A,z} = 1,5 \times 2,90 = 4,40 \text{ kN/m}$$

$$Sd_{B,y} = 1,35 \times (0,209 + 0,153) = 0,49 \text{ kN/m}$$

$$Sd_{B,z} = 1,5 \times 2,34 = 3,60 \text{ kN/m}$$

Para a verificação para o estado limite último, o esquema estático para a zona A corresponde a uma viga de um tramo com um comprimento de 4,91 metros, simplesmente apoiada, enquanto para a zona B o esquema estático corresponde à viga em dois tramos anteriormente descrita. Obtém-se assim os valores dos momentos máximos segundo Y e Z.

Para a zona A:

$$M_{A,y} = \frac{qL^2}{8} = \frac{-4,40 \times 4,91^2}{8} = -13,38 \text{ kN.m}$$

$$M_{A,z} = \frac{qL^2}{8} = \frac{0,55 \times 4,91^2}{8} = 1,66 \text{ kN.m}$$

Para a zona B:

$$M_{B,y} = \frac{qL^2}{8} = \frac{-3,63 \times 4,91^2}{8} = -10,94 \text{ kN.m}$$

$$M_{B,z} = \frac{qL^2}{8} = \frac{0,49 \times 4,91^2}{8} = 1,48 \text{ kN.m}$$

Os valores de σ_1 e σ_2 são calculados segundo a seguinte fórmula (Equação 5.17).

$$\sigma = \frac{My}{Wy} + \frac{Mz}{Wz} \quad (5.17)$$

Os valores de σ_1 e σ_2 calculados para a alma da madre são:

$$\sigma_{1,A} = \frac{13,38}{0,225} + \frac{1,66}{0,0444} = 96,89 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{2,A} = \frac{-13,38}{0,225} + \frac{1,66}{0,0444} = -22,10 \text{ Mpa}$$

$$\text{Com } \psi_A = \frac{-22,10}{96,89} = -0,23$$

$$\sigma_{1,B} = \frac{10,94}{0,168} + \frac{1,48}{0,0284} = 117,23 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{2,B} = \frac{-10,94}{0,168} + \frac{1,48}{0,0284} = -13,00 \text{ Mpa}$$

$$\text{Com } \psi_B = \frac{-13,00}{117,23} = -0,11$$

Para a alma da madre o coeficiente de encurvadura é dado pela seguinte equação (Equação 5.18).

$$K_\sigma = \frac{16}{[1 + \psi^2 + 0,112(1 - \psi^2)]^{0,5} + (1 + \psi)} \quad (5.18)$$

Aplicando a equação 5.18 para as zonas A e B:

$$K_{\sigma,A} = \frac{16}{[1 - 0,23^2 + 0,112(1 + 0,23^2)]^{0,5} + (1 - 0,23)} = 9,74$$

$$K_{\sigma,B} = \frac{16}{[1 - 0,11^2 + 0,112(1 + 0,11^2)]^{0,5} + (1 - 0,11)} = 8,62$$

Com estes valores é calculado o fator de redução, ρ :

$$\rho = 1, \text{ se } \lambda_p \leq 0,773 \quad (5.19)$$

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0,22}{\lambda_p^2}, \text{ se } \lambda_p > 0,673 \quad (5.20)$$

Sendo $\lambda_p = \frac{b}{28,4\epsilon} \frac{t}{K\sigma}$ (b= altura h do perfil) (5.21) e $\epsilon = \frac{235}{390} = 0,78$ (utilizado aço S390)

Então, segundo a equação 5.21, obtém-se:

$$\lambda_{p,A} = \frac{\frac{300}{5}}{28,4 \times 0,78 \times \frac{9,74}{9,74}} = 0,87 > 0,673 \rightarrow \rho_A = \frac{0,87 - 0,22}{0,87^2} = 0,86$$

$$\lambda_{p,B} = \frac{\frac{300}{4}}{28,4 \times 0,78 \times \frac{8,62}{8,62}} = 1,15 > 0,673 \rightarrow \rho_B = \frac{1,15 - 0,22}{1,15^2} = 0,70$$

Com base nestes valores é possível calcular b_{eff} :

$$b_{\text{eff}} = \frac{\rho \times b}{1 - \psi} \quad (5.22)$$

$$b_{\text{eff},A} = \frac{0,86 \times 300}{1 + 0,23} = 210 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff},B} = \frac{0,70 \times 300}{1+0,11} = 189 \text{ mm}$$

Para o banzo o processo é idêntico. Como tal os valores de σ_1 e σ_2 para as zonas A e B são os seguintes:

$$\sigma_{1,A} = 96,89 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{2,A} = 22,10 \text{ Mpa}$$

$$\text{Com } \psi_A = 0,23$$

e

$$\sigma_{1,B} = 117,23 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{2,B} = 13,00 \text{ Mpa}$$

$$\text{Com } \psi_B = 0,11$$

O coeficiente de encurvadura, K_σ para o banzo é dado pela equação (Equação 5.23).

$$K_\sigma = 0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2 \quad (5.23)$$

$$K_{\sigma,A} = 0,52$$

$$K_{\sigma,B} = 0,55$$

Para o fator de redução o processo é idêntico (b = comprimento da madre):

$$\lambda_{p,A} = \frac{\frac{90}{5}}{28,4 \times 0,78 \times \frac{0,52}{0,52}} = 1,13 > 0,673 \rightarrow \rho_A = \frac{1,13 - 0,22}{1,13^2} = 0,71$$

$$\lambda_{p,B} = \frac{\frac{80}{4}}{28,4 \times 0,78 \times \frac{0,55}{0,55}} = 1,22 > 0,673 \rightarrow \rho_B = \frac{1,22 - 0,22}{1,22^2} = 0,67$$

Assim, obtém-se o valor da secção reduzida, b_{eff} :

$$b_{\text{eff},A} = \frac{0,71 \times 90}{1 - 0,23} = 83 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff},B} = \frac{0,67 \times 80}{1 - 0,11} = 60 \text{ mm}$$

Para o cálculo dos módulos de resistência à flexão efetiva, é necessário calcular os novos valores de I_y e I_z das madres. Tal implica o cálculo da nova posição do eixo neutro y_G , o eixo z_G não se altera (Figura 5.17).

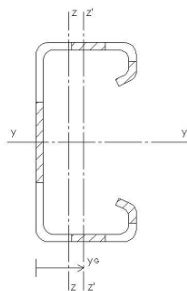


Fig. 5.17 – Deslocamento do eixo neutro segundo a direção y.

$$\text{Eixo neutro } y_G = \frac{\frac{t}{2} \times beff,alma \times t + \frac{b}{2} \times beff,banzo \times t \times 2}{beff,alma \times t + beff,banzo \times t \times 2} \quad (5.24)$$

$$y_{G,A} = \frac{\frac{5}{2} \times 210 \times 5 + \frac{90}{2} \times 83 \times 5 \times 2}{210 \times 5 + 83 \times 5 \times 2} = 21,3 \text{ mm}$$

e

$$y_{G,B} = \frac{\frac{4}{2} \times 189 \times 4 + \frac{80}{2} \times 60 \times 4 \times 2}{189 \times 4 + 60 \times 4 \times 2} = 16,8 \text{ mm}$$

Os novos momentos de inércia resultantes são:

$$I_{effA,y} = \frac{5 \times 210^3}{12} + 2 \times \frac{83 \times 5^3}{12} + 5 \times 83 \times \frac{300}{2} - \frac{5}{2}^2 = 2,19E7 \text{ mm}^4$$

$$I_{effA,z} = \frac{210 \times 5^3}{12} + 210 \times 5 \times (21,3 - \frac{5}{2})^2 + 2 \times \frac{5 \times 83^3}{12} + 5 \times 83 \times 45 - 21,3^2 = 1,32E6 \text{ mm}^4$$

$$I_{effB,y} = \frac{4 \times 189^3}{12} + 2 \times \frac{60 \times 4^3}{12} + 4 \times 60 \times \frac{300}{2} - \frac{4}{2}^2 = 1,28E7 \text{ mm}^4$$

$$I_{effB,z} = \frac{189 \times 4^3}{12} + 189 \times 4 \times (16,8 - \frac{4}{2})^2 + 2 \times \frac{4 \times 60^3}{12} + 4 \times 60 \times 40 - 16,8^2 = 5,72E5 \text{ mm}^4$$

Calculando os módulos de resistência à flexão efetivos, $W_{eff,y}$ e $W_{eff,z}$, obtêm-se:

$$W_{eff,y} = \frac{I_{eff,y}}{z} \quad (5.25)$$

$$W_{eff,z} = \frac{I_{eff,z}}{y} \quad (5.26)$$

$$W_{effA,y} = \frac{2,19E7}{\frac{300}{2}} = 146000 \text{ mm}^3$$

$$W_{effA,z} = \frac{1,32E6}{90 - 21,3} = 19205 \text{ mm}^3$$

e

$$W_{effB,y} = \frac{1,28E7}{\frac{300}{2}} = 85333 \text{ mm}^3$$

$$W_{effB,z} = \frac{5,72E5}{80 - 16,8} = 9042 \text{ mm}^3$$

Por fim, para a verificação ao estado limite, a segurança dos perfis é verificada respeitando o seguinte critério (Equação 5.27)

$$\frac{My,sd}{W_{eff,y} \times F_{yd}} + \frac{Mz,sd}{W_{eff,z} \times F_{yd}} \leq 1 \quad (5.27)$$

Sendo

$$F_{yd} = \frac{F_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{390}{1,1} = 354,55 \text{ Mpa}$$

Para a zona A:

$$\frac{13,38}{0,000146 \times 354,55 \times 1000} + \frac{1,66}{0,000019 \times 354,65 \times 1000} = 0,51 \leq 1$$

Para a zona B:

$$\frac{10,94}{0,000085 \times 354,55 \times 1000} + \frac{1,48}{0,000009 \times 354,65 \times 1000} = 0,82 \leq 1$$

Portanto, o critério de segurança para o ELU das fachadas laterais está verificado.

Para o estado limite de utilização (ELS), estabelece-se um deslocamento máximo, $\bar{\delta}_{\max}$, então:

$$\bar{\delta}_{\max} = \frac{L}{200} \quad (5.28)$$

Sendo L o comprimento do vão, temos:

$$\bar{\delta}_{\max} = \frac{4910}{200} = 24,55 \text{ mm}$$

Para a zona A e B os deslocamentos são dados pelas seguintes equações:

$$\bar{\delta}_A = \frac{5qL^4}{384EI} \quad (5.29) \quad \text{e} \quad \bar{\delta}_B = \frac{qL^4}{185EI} \quad (5.30)$$

As cargas, q, necessárias para a verificação da segurança à utilização, são calculadas adotando como coeficientes parciais o valor 1. Como tal obtém-se os seguintes valores das ações e respetivos deslocamentos:

$$Sd_{A,y} = 1 \times (0,209 + 0,2) = 0,41 \text{ kN/m} \rightarrow \bar{\delta}_{A,z} = -6,37 \text{ mm}$$

$$Sd_{A,z} = 1 \times 2,96 = 2,96 \text{ kN/m} \rightarrow \bar{\delta}_{A,y} = 14,22 \text{ mm}$$

$$Sd_{B,y} = 1 \times (0,209 + 0,153) = 0,36 \text{ kN/m} \rightarrow \bar{\delta}_{B,z} = -7,76 \text{ mm}$$

$$Sd_{B,z} = 1 \times 2,42 = 2,42 \text{ kN/m} \rightarrow \bar{\delta}_{A,z} = -22,69 \text{ mm}$$

Portanto, a a segurança ao ELS está verificada.

c) Dimensionamento para as fachadas Poente e Nascente

De modo idêntico ao verificado para as fachadas Norte e Sul, a situação mais desfavorável acontece quando o vento ocorre paralelamente a estas fachadas (vento a ocorrer transversalmente). Como tal a disposição dos coeficientes de pressão exterior está representada na seguinte figura (Figura 5.18):

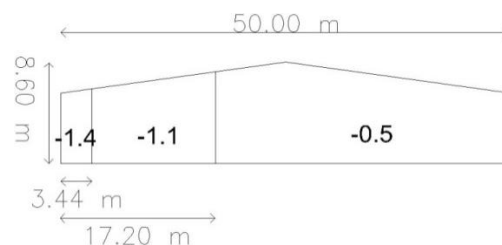


Fig. 5.18 – Disposição dos coeficientes de pressão exterior para as fachadas Poente e Nascente.

A redistribuição dos coeficientes é efetuada através do ajustamento à distância entre os pilares da estrutura principal nestas fachadas. Essa redistribuição, agravada do coeficiente de pressão interior de +0,2, resulta na seguinte redistribuição (Figura 5.19):

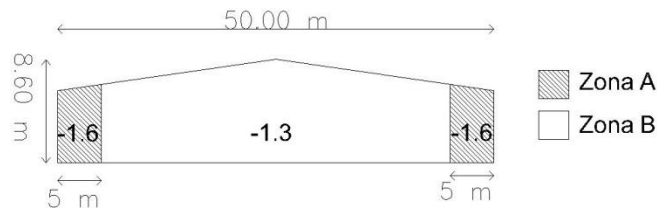


Fig. 5.19 – Coeficientes de pressão totais para as fachadas Poente e Nascente.

Sendo estes valores dos coeficientes de pressão totais idênticos aos verificados para as fachadas Norte e Sul, então os valores característicos das ações são idênticos aos calculados anteriormente, ou seja:

$$Q_{k,A} = 1,45 \text{ kN/m}^2 \text{ e } Q_{k,B} = 1,17 \text{ kN/m}^2$$

Utilizando o mesmo tipo de perfis aplicados nas fachadas Norte e Sul, obtém-se a seguinte combinação de ações:

$$S_{d,A,y} = 1,35 \times (0,209 + 0,200) = 0,55 \text{ kN/m}$$

$$S_{d,A,z} = 1,5 \times 2,90 = (-) 4,40 \text{ kN/m}$$

$$S_{d,B,y} = 1,35 \times (0,209 + 0,153) = 0,49 \text{ kN/m}$$

$$S_{d,B,z} = 1,5 \times 2,34 = (-) 3,60 \text{ kN/m}$$

Para a verificação para o estado limite último, o procedimento é idêntico para as madres das fachadas Norte e Sul, com a diferença de que os tramos possuem um comprimento de 5 metros. Obtém-se assim os seguintes valores dos momentos máximos segundo Y e Z.

Para a zona A:

$$M_{A,y} = \frac{qL^2}{8} = \frac{-4,40 \times 5^2}{8} = -13,75 \text{ kN.m}$$

$$M_{A,z} = \frac{qL^2}{8} = \frac{0,55 \times 5^2}{8} = 1,71 \text{ kN.m}$$

Para a zona B:

$$M_{B,y} = \frac{qL^2}{8} = \frac{-3,63 \times 5^2}{8} = -11,34 \text{ kN.m}$$

$$M_{B,z} = \frac{qL^2}{8} = \frac{0,49 \times 5^2}{8} = 1,53 \text{ kN.m}$$

Para o cálculo dos valores da secção reduzida da alma das madres, os valores calculados são:

$$\sigma_{1,A} = \frac{13,38}{0,225} + \frac{1,66}{0,0444} = 96,89 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{2,A} = \frac{-13,38}{0,225} + \frac{1,66}{0,0444} = -22,10 \text{ Mpa}$$

$$\text{Com } \psi_A = \frac{-22,10}{96,89} = -0,23$$

e

$$\sigma_{1,B} = \frac{10,94}{0,168} + \frac{1,48}{0,0284} = 117,23 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{2,B} = \frac{-10,94}{0,168} + \frac{1,48}{0,0284} = -13,00 \text{ Mpa}$$

$$\text{Com } \psi_B = \frac{-13,00}{117,23} = -0,11$$

Como os valores de ψ_A e ψ_B são idênticos aos obtidos para as madres das fachadas Norte e Sul, os valores do coeficiente de encurvadura $K\sigma$, o fator de redução ρ , e os valores de b_{eff} das almas da madres são também idênticos, ou seja:

$$K_{\sigma,A} = 9,74$$

$$K_{\sigma,B} = 8,62$$

$$\lambda_{p,A} = 0,87 > 0,673 \rightarrow \rho_A = 0,86$$

$$\lambda_{p,B} = 1,15 > 0,673 \rightarrow \rho_B = 0,70$$

$$b_{\text{eff},A} = 210 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff},B} = 189 \text{ mm}$$

Similarmente, os valores de $K\sigma$, ρ e b_{eff} para os banzos são similares aos valores obtidos para os banzos das madres das fachadas Norte e Sul:

$$K_{\sigma,A} = 0,52$$

$$K_{\sigma,B} = 0,55$$

$$\lambda_{p,A} = 1,13 > 0,673 \rightarrow \rho_A = 0,71$$

$$\lambda_{p,B} = 1,22 > 0,673 \rightarrow \rho_B = 0,67$$

$$b_{\text{eff},A} = 83 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff},B} = 60 \text{ mm}$$

Sendo os valores da secção reduzida idênticos, o novo eixo neutro, y_G , para as zonas A e B é também idêntico e conseqüentemente, os momentos de inercia e módulos de resistência à flexão efetivos também. Como tal, os valores anteriormente calculados para a verificação dos critérios de segurança para o estado limite último são os mesmos e portanto a verificação ao ELU é cumprida.

$$I_{\text{eff},A,y} = 2,19E7 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{eff},A,z} = 1,32E6 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{eff},B,y} = 1,28E7 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{eff},A,z} = 5,7E5 \text{ mm}^4$$

$$W_{\text{eff},A,y} = 146000 \text{ mm}^3$$

$$W_{\text{eff},A,z} = 19205 \text{ mm}^3$$

$$W_{\text{eff},B,y} = 85333 \text{ mm}^3$$

$$W_{\text{effB},z} = 9042 \text{ mm}^3$$

Para a zona A:

$$\frac{M_{y, sd}}{W_{\text{eff}, y} \times F_{yd}} + \frac{M_{z, sd}}{W_{\text{eff}, z} \times F_{yd}} = 0,51 \leq 1$$

Para a zona B:

$$\frac{M_{y, sd}}{W_{\text{eff}, y} \times F_{yd}} + \frac{M_{z, sd}}{W_{\text{eff}, z} \times F_{yd}} = 0,82 \leq 1$$

Para a verificação ao estado limite de utilização, os valores do deslocamento segundo y e z para as zona A e B são os mesmos que foram calculados para as outras fachadas.

$$\bar{\delta}_{A,z} = -6,37 \text{ mm}$$

$$\bar{\delta}_{A,y} = 14,22 \text{ mm}$$

$$\bar{\delta}_{B,z} = -7,76 \text{ mm}$$

$$\bar{\delta}_{A,z} = -22,69 \text{ mm}$$

O valor do deslocamento máximo é o seguinte: $\bar{\delta}_{\text{max}} = \frac{5000}{200} = 25 \text{ mm}$. Como tal, a segurança ao estado limite de utilização está verificada.

5.4. PORMENORIZAÇÃO COMPLETA DA SOLUÇÃO

5.4.1 MATERIAIS

Quadro 5.8 – Descrição e pormenorização dos materiais.

Material	Características
Chapa exterior	0.60 mm de espessura com acabamento em PVDF de 25 μm
Chapa interior	0.40 mm de espessura com acabamento em polímero de 150 μm
Isolamento	Espuma rígida de poliuretano (PUR)
Painéis das fachadas Norte e Sul	Comprimento de 1150 mm e espessura de 40 mm, peso próprio 10,24 Kg/m^2
Painéis das fachadas Poente e Nascente	Comprimento de 1150 mm e espessura de 50 mm, peso próprio 10,64 Kg/m^2
Fixação primária	Parafusos autoperfurantes SFS Intec, modelo SXC14-16 com anilha vedante de 16 mm e de dimensões 5,5x76 mm (painéis de 40 mm) e 5,5x95 mm (painéis de 50 mm). Disposição das fixações segundo o representado na figura 4.13 do ponto 4.3 do capítulo 4.
Fixação secundária	Parafusos autoperfurantes SFS Intec, modelo TBT-A19 com anilha vedante de 16 mm e de dimensões 6,3x90 mm.
Juntas horizontais	fita vedante auto adesiva do tipo PE 20x5mm
Juntas verticais	Fita anti condensação
Remates	Isolamento do tipo PUR colocado em obra e vedante em silicone

5.4.2. PORMENORES CONSTRUTIVOS

Os cortes representados nas figuras 5.20 e 5.21 permitem observar com detalhe os pormenores construtivos da solução escolhida como revestimento para o espaço industrial em estudo em respeito com a implementação estrutural e arquitetónica. Os pormenores construtivos estão representados no anexo 3.

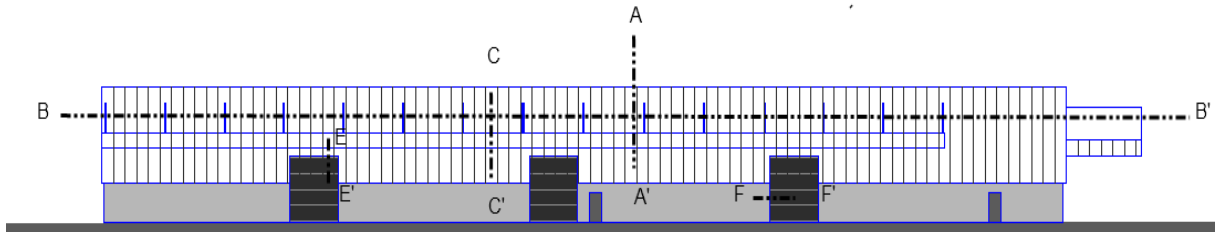


Fig. 5.20 – Representação no alçado Sul dos cortes.

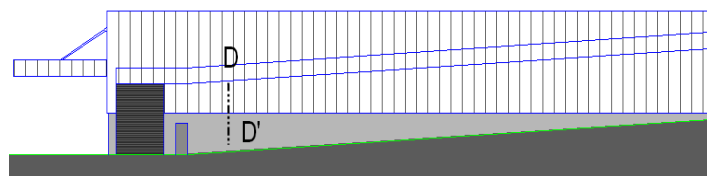


Fig. 5.21 – Representação no alçado Nascente do corte D-D'.

5.5. OUTRAS ESPECIFICAÇÕES DE DESEMPENHO

As restantes especificações de desempenho (coeficientes de transmissão térmica, tolerâncias, índice ponderado de redução sonora e resistência ao fogo) da solução de revestimento estudada estão descritas no ponto 4.3.4.

6

CONCLUSÃO

6.1. PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS. CONCLUSÕES

Nesta dissertação faz-se uma revisão bibliográfica e uma descrição relativamente exaustiva dos sistemas de revestimento de fachadas em aço usados sobretudo em construções do tipo armazém. O trabalho segue uma linha eminentemente de cariz tecnológico. O estudo baseou-se na consulta de documentos de carácter normativo e regulamentar, em informação bibliográfica sobre sistemas de construção prefabricados e em diversa informação técnica disponibilizada pelos fabricantes. Pretendeu-se produzir um documento de síntese que possa ser usado por arquitectos, engenheiros e construtores como base de prescrição e pormenorização deste tipo de soluções muito relevantes para a construção de armazéns para a indústria, comércio ou serviços.

Considera-se que o objectivo proposto foi atingido. Numa era onde as questões energéticas e de sustentabilidade aparecem com cada vez maior importância, é fundamental especificar e executar soluções de revestimento que baixem os custos energéticos e de limpeza e manutenção e se revelem como investimentos de retorno seguro em termos de custo global.

Também pareceu importante produzir um documento que pudesse inspirar os fabricantes nacionais a melhorar a sua oferta, seguindo as melhores práticas de fabricantes de outros países europeus mais desenvolvidos. Este trabalho pretende assim ser também uma ajuda à indústria nacional do sector. Por esse motivo, desenvolveu-se também um caso de estudo que foi objecto de pormenorização exaustiva com desenhos realizados pelo autor. Julga-se que esta prática é fundamental e deverá ser cada vez mais seguida pelas empresas do sector. Espera-se poder ter contribuído para espicaçar o interesse no desenvolvimento de novos produtos e de conteúdos técnicos que possam vir a ser usados pelos agentes técnicos do sector da construção.

6.2 DESEMPENHO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA REVESTIMENTO DE FACHADAS – SÍNTESE DE ASPETOS MAIS RELEVANTES

Em termos de comentários principais sobre o interesse deste tipo de sistemas, apresentam-se em seguida uma série de ideias de carácter geral que pretendem sintetizar as características fundamentais deste tipo de sistemas ao nível do desempenho, com destaque para as questões de térmica, acústica e durabilidade.

Com base no trabalho realizado é possível concluir que os sistemas de revestimento estudados apresentam-se como uma solução de fachada capaz de atingir e assegurar elevados níveis de qualidade. Os sistemas estudados satisfazem, apesar das suas diferentes características de instalação,

fixação, suporte e integração com outros sistemas construtivos, as exigências de desempenho conforme definidas no capítulo 2.

O elemento de maior importância para os sistemas serem capazes de garantir a sua aptidão, face às condições e exigências de desempenho impostas e à durabilidade, revela-se ser o acabamento superficial aplicado. Como tal, a correta especificação, aplicação e manutenção da solução de acabamento é essencial. O acabamento a aplicar deve ter em conta diversos fatores tais como: as diferentes durações das soluções (quer em termos de proteção do aço, quer no que se refere à retenção da cor), as diferentes condições climáticas e de exposição, as condições de ambiente interior e também a capacidade de proteção da chapa metálica na ocorrência de danos (punçoamento, riscos, abrasão). Como tal, a escolha adequada do acabamento revela-se de elevada importância para a manutenção das condições de durabilidade e de desempenho.

Os sistemas prefabricados apresentam-se como uma opção mais vantajosa do que os sistemas artesanais totais graças ao seu grau de prefabricação, em que a sua constituição através de componentes prefabricados permite que estes sistemas apresentem um elevado rigor dimensional, permitindo assim obter soluções de uma qualidade e rigor superiores e, conseqüentemente, com melhor desempenho, bem como reduzir de um modo significativo a duração e o custo das operações de transporte e montagem *in situ*.

Relativamente ao desempenho térmico, os sistemas estudados (com a exceção dos sistemas em chapa perfilada simples que devido à sua constituição elementar não apresentam um desempenho relevante) apresentam valores reduzidos do coeficiente de transmissão térmica, sendo assim sistemas com um adequado conforto térmico.

Em termos acústicos, o desempenho dos sistemas varia consideravelmente no que se refere ao índice de redução sonora. A solução de isolamento adotada influencia grandemente o desempenho relativamente a esta exigência (a lã mineral apresenta um melhor desempenho que as restantes soluções).

Para o conforto higrotérmico, os sistemas, quando adequadamente executados ao nível de remates, fixações e juntas, atingem bons níveis de estanquidade à água e um controlo adequado da condensação interna e intersticial.

Comparativamente aos sistemas tradicionais de revestimento de fachadas, os sistemas prefabricados baseados em chapas de aço são mais eficientes relativamente ao tempo de construção, nível de especialização da mão-de-obra requerida (maior facilidade das operações de transporte e montagem), controlo e redução de desperdícios e resíduos em obra, sendo também substancialmente mais leves que os revestimentos tradicionais.

Uma desvantagem relativamente aos sistemas tradicionais é a limitação em termos estéticos e arquitetónicos da aplicabilidade das soluções, bem como a sua mais limitada capacidade resistente (resistência mecânica e estabilidade, deformação e resistência ao impacto). Em termos estéticos, estes sistemas podem aparentar uma menor robustez do que as soluções tradicionais podendo oferecer uma perceção de maior fragilidade e insegurança ao utilizador pelo que, para obviar a tal inconveniente, é muito importante garantir uma adequada sobreposição e fixação dos componentes.

A durabilidade dos sistemas de revestimento depende, inicialmente, do modo como estes sistemas são transportados, manuseados, colocados e fixados. Estas operações, quando mal efetuadas levam à redução da durabilidade dos componentes e conseqüentemente, à redução do respectivo ciclo de vida e à ocorrência de vários problemas durante a fase de utilização (por exemplo, em sistemas em chapa perfilada simples, a distorção causada pelo inadequado manuseamento ou o excessivo aperto aplicado

às fixações durante a instalação pode levar à ocorrência de problemas de corrosão). Portanto, torna-se importante referir que grande parte dos problemas de redução da durabilidade e de deficiente desempenho bem como a necessidade de maiores operações de manutenção, que ocorrem durante a fase de utilização, resultam de deficiências nas fases de transporte e montagem.

Os sistemas estudados possuem uma durabilidade adequada quando sujeitos a operações regulares de manutenção. Para garantir uma adequada durabilidade, a inspeção regular dos sistemas revela-se como um cuidado muito relevante evitando assim a maior parte das operações de manutenção de carácter curativo, efetuando unicamente operações de carácter preventivo.

A substituição de componentes é também uma operação com importância que deve ser efetuada com cuidado, quer durante a própria operação de substituição, quer na correta escolha dos novos componentes, de modo a respeitar a especificação original, evitando comprometer as exigências de desempenho inicialmente estabelecidas.

6.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS E RECOMENDAÇÕES

A aplicação desta tecnologia a outros sistemas construtivos e a sua correspondente integração apresenta-se como um aspeto a desenvolver por parte dos fabricantes, procurando desenvolver soluções que sejam capazes de se integrar com outros sistemas sem diminuir o desempenho do próprio sistema nem o desempenho do sistema ao qual está integrado. Os principais aspetos a ter em conta para uma correta integração devem-se referir ao diferente desempenho térmico dos sistemas (diferentes perdas de calor entre sistemas através das pontes térmicas e da permeabilidade do ar através das juntas entre sistemas), acústico (diferentes níveis de absorção, reverberação sonora e índices de redução sonora, o diferente comportamento ao fogo (diferente capacidade de reação e resistência ao fogo) e a diferente capacidade de estanquidade à água (diferentes tipos de juntas).

Vê-se assim com bastante interesse a realização de estudos de soluções inovadoras para fachadas leves numa perspectiva integrada (caixilharia – janelas envidraçadas, zonas opacas, portões, muros de base, fundações, sistemas de águas pluviais, rufos e caleiras) incluindo a pormenorização detalhada de todos os problemas de interface.

Para a pesquisa dos exemplos de soluções no capítulo 4, foi consultada documentação produzida por vários fabricantes e soluções tanto do mercado nacional como internacional, embora sobretudo de origem europeia. Com base nessa pesquisa, constatou-se que os fabricantes nacionais apresentam soluções que se restringem somente a sistemas de painéis compostos e a sistemas em chapa perfilada simples, verificando-se que os sistemas em pele dupla de origem nacional são inexistentes. Para além disso, a vasta maioria das soluções de origem nacional não estão homologadas. Outro problema por parte da indústria nacional relativamente a sistemas de fachadas tem a ver com a escassez de documentação e informação técnica disponibilizada (notas de informação técnica, documentos de homologação, entre outros). Verifica-se ainda que a informação existente é pouco clara e muitas vezes incompleta (falta de informação sobre acabamentos, tipos de remates disponíveis, fixações, coeficientes de transmissão térmica, pormenores construtivos em CAD, entre outros). Uma crítica comum aos fabricantes nacionais e internacionais tem a ver com a muito escassa informação disponibilizada acerca de cuidados na fase de utilização, sendo relevante e útil que os fabricantes preparem e disponibilizem uma lista de operações de verificação e manutenção a efetuar na inspeção anual dos seus produtos, bem como menções acerca dos cuidados a ter com os diversos componentes dos sistemas que lhes garantam uma maior durabilidade

Esta incapacidade, por parte dos fabricantes nacionais em oferecer soluções homologadas e de transmitir ao projetista, de um modo rigoroso, completo e objetivo, toda a informação técnica acerca dos seus produtos serve como um sério entrave à expansão destes tipos de sistemas na indústria da construção em Portugal, deixando estes sistemas de revestimento para segundo plano face às soluções mais correntes e tradicionais em Portugal, bem como permitindo que os projetistas optem por soluções de fabricantes estrangeiros (onde a utilização destes sistemas na indústria da construção está mais consolidada), que se apresentam mais versáteis e capazes de oferecer ao projetista o que ele pretende (com muito mais variadas opções de acabamentos, perfis de chapas, remates, entre outros).

Como meio de fomentar a utilização destes sistemas em Portugal, a parceria entre a indústria e o meio académico revela-se como um fator fundamental para a melhoria do mercado nacional de sistemas de revestimento de fachadas em aço. Esta parceria permitiria a melhoria dos produtos existentes (desenvolvimento de painéis de várias espessuras e de perfis de remate, melhoria da capacidade de estanquidade das juntas, otimização do desempenho higratérmico e acústico e ao fogo, melhoria da estrutura secundária de fixação dos componentes de revestimento ao suporte resistente, aumento da capacidade de resistência a carregamentos, entre outros). Para além disso esta parceria permitiria o desenvolvimento, por parte dos fabricantes nacionais, de soluções em sistemas de pele dupla, actualmente inexistentes na oferta de origem nacional. Esta parceria permitiria também, para além de providenciar uma maior oferta de soluções mais adaptadas às especificidades do clima nacional e com um desempenho mais elevado, um aumento da transparência e eficiência do processo construtivo tendo como base a prefabricação e a modulação, permitindo aos fabricantes nacionais oferecer sistemas capazes de competir com os sistemas estrangeiros, criando deste modo condições para a uma maior implementação destes sistemas no mercado Português.

6.....	135
6.1. Principais Resultados obtidos. Conclusões.....	135
6.2 Desempenho de sistemas construtivos para revestimento de fachadas – síntese de aspetos mais relevantes.....	135
6.3. Desenvolvimentos futuros e recomendações.....	137

Bibliografia

- [1] <http://www.mcrma.co.uk/papers.htm>. Fevereiro de 2012.
- [2] Recueil des Eléments utiles à l’Etablissement et l’exécution des projets et marchés de batiments em France. *Reef4- Edition 167 Mars*. CSTB, 2012
- [3] Amorim Faria, José. *Divisórias leves prefabricadas – Conceção e avaliação da viabilidade de um sistema realizado com base em madeira e derivados*. Dissertação de Doutoramento, FEUP, 1996
- [4] International Organization for Standardization (ISO). *ISO 6241:1984- performance standards in building –Principles for their preparation and factors to be considered*. ISO, Genebra, 1984.
- [5] Amorim Faria, José. *Prefabricação leve em edifícios*. Comunicações das 2.^{as} Jornadas de Construções Civas, 11 de Maio de 1993, FEUP, páginas 51-66, Secção de Construções Civas da FEUP, Porto.
- [6] Union Européenne pour l’agrément technique dans la construction (UEAtc). *Diretivas comuns UEAtc para a homologação de fachadas leves*. LNEC, Lisboa, 1984
- [7] Association Francaise de normalisation (AFNOR). *NF P 28-001: Façade légère-définitions-classification-terminologie*. AFNOR, Paris, 1990
- [8] Oliveira, Luciana. *Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachadas leves*. Dissertação de Doutoramento, USP, 2009
- [9] Knaack, Ulrich. Et al. *Façades - Principles of Construction*. Birkhauser, Berlim, 2007.
- [10] The Steel construction Institute (SCI). *Single-Storey Steel Buildings Part 8: Building Envelope*. 2008. http://www.arcelormittal.com/sections/fileadmin/redaction/pdf/Research_reports/Best_practice/Steel_buildings_in_Europe/SSB08_Building_envelope_2010-03-16.pdf. Março 2012.
- [11] Larson Composite Panel. *Architectural Façade solutions- technical notebook*. 2011. http://www.alucoil.com/pdf/eng/DETALLES_DE_SISTEMAS.pdf. Março 2012.
- [12] ArcelorMittal Construção Portugal. *Perfis de fachada*. Dezembro 2011. <http://www.arcelormittal.com/distributionsolutions/construction/portal/downloads/brochures/language/PT>. Março 2012.
- [13] ArcelorMittal Construcción España. *Soluciones de fachadas*. Outubro 2009. <http://www.arcelormittal.com/distributionsolutions/construction/portal/downloads/brochures/language/ES>. Março 2012.
- [14] Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association (MCRMA). *MCRMA Technical Paper Number 5–Metal Wall Systems Design Guide*. Outubro 2004. <http://www.mcrma.co.uk/technical/t04.aspx>. Março 2012.
- [15] <http://www.steelroofsheets.co.uk/steelsheets.php> . Março 2012.
- [16] http://www.hilti.pt/holpt/page/module/product/prca_catnavigation.jsf?lang=pt&nodeId=-107652, Março 2012.
- [17] Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association (MCRMA). *MCRMA Technical Paper Number 12 – Fasteners for Metal Roof and Wall Cladding: Design, detailing and installation guide*. Maio 2000. <http://www.mcrma.co.uk/technical/t12.aspx>. Março 2012.
- [18] Barry, Robin. *The Construction of Buildings Volume 3- Single Storey Frames, Shells and Lightweight Coverings*. Blackwell Science, Oxford, 1993.

- [19] Mascarenhas, Jorge. *Sistemas de Construção Volume II – Paredes: paredes exteriores 1ª parte*. Livros Horizonte, Lisboa, 2010.
- [20] Pina dos Santos, Carlos. Matias, Luis. *ITE 50 – Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. LNEC, Lisboa, 2008.
- [21] Isopan. *General catalogue – Great Britain*. 2011.
http://www.isopan.com/public/download_upl.asp?dtl=0&id=377&dt_fl=cat_isopan_gb_7_2011.pdf
Março 2012.
- [22] Barry, Robin. *The Construction of Buildings Volume 4- Multy-Storey Buildings, Foundations, Steel Frames, Concrete Frames, Floors, and Wall Cladding*. Blackwell Science, Oxford, 1996.
- [23] Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association (MCRMA). *MCRMA Technical Paper Number 9 - Composite Roof and Wall Cladding Panel Design Guide*. Junho 1995,
<http://www.mcrma.co.uk/technical/t09.aspx>, Março 2012.
- [24] Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association (MCRMA). *MCRMA Technical Paper Number 8 – Acoustics Design Guide for Metal Roof and Wall Cladding*. Outubro 1994.
<http://www.mcrma.co.uk/technical/t08.aspx>. Abril 2012.
- [25] <http://www.kingspan.info/Acoustics-1337.html>, Abril 2012.
- [26] EN 10326:2004 - *Continuously hot-dip coated strip and sheet of structural steels. Technical delivery conditions*. Comité Europeu de Normalização. 2004.
- [27] EN 10169:2010 - *Continuously organic coated (coil coated) steel flat products. Technical delivery conditions*. Comité Europeu de Normalização. 2010.
- [28] EN 10143:2006 - *Continuously hot-dip coated steel sheet and strip. Tolerances on dimensions and shape*. Comité Europeu de Normalização. 2006.
- [29] Association Francaise de normalisation (AFNOR). *NF P 34-301: Tôles et bandes en acier prélaquées ou revêtues d'un film organique contrecollé ou colaminé destinées au bâtiment - Conditions techniques de livraison*. AFNOR, Paris, 2002.
- [30] Perfilor. Ficha pré-pintura / PLUS 35/15 2005. www.perfilor.com.br/catalogos/Ficha_Plus_35-15.pdf. Abril 2012
- [31] EN ISO 3506-1:2009 - *Mechanical properties of corrosion-resistant stainless steel fasteners - Part 1: Bolts, screws and studs*. Comité Europeu de Normalização. 2009.
- [32] EN ISO 15973:2000 - *Closed end blind rivets with break pull mandrel and protruding head*. Comité Europeu de Normalização. 2000.
- [33] EN 13162:2008 - *Thermal insulation products for buildings - Factory made mineral wool (MW) products – Specification*. Comité Europeu de Normalização. 2008.
- [34] EN 13163:2008 - *Thermal insulation products for buildings - Factory made products of expanded polystyrene (EPS) – Specification*. Comité Europeu de Normalização. 2008.
- [35] EN 13164:2008 - *Thermal insulation products for buildings - Factory made products of extruded polystyrene foam (XPS) – Specification*. Comité Europeu de Normalização. 2008.
- [36] EN 13165:2008 - *Thermal insulation products for buildings - Factory made rigid polyurethane foam (PUR) products – Specification*. Comité Europeu de Normalização. 2008.

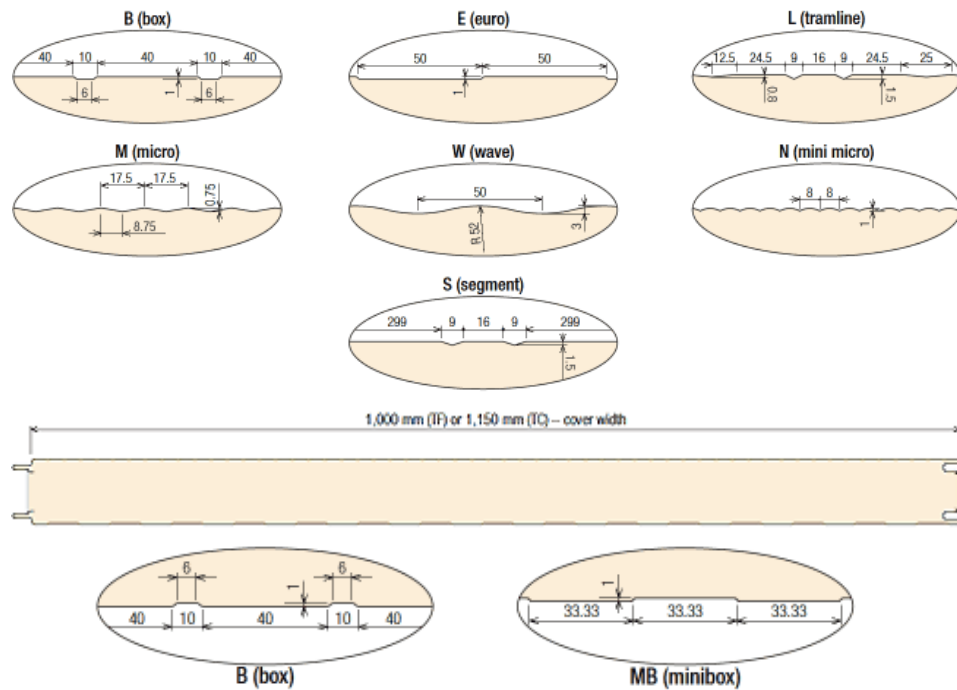
- [37] EN 13166:2008 - *Thermal insulation products for buildings - Factory made products of phenolic foam (PF) – Specification*. Comité Européen de Normalização. 2008.
- [38] EN ISO 11600:2003 - *Building construction - Jointing products - Classification and requirements for sealants*. Comité Européen de Normalização. 2003
- [39] EN 14782:2006 - *Self-supporting metal sheet for roofing, external cladding and internal lining - Product specification and requirements*. Comité Européen de Normalização. 2006.
- [40] EN 14509:2006 - *Self-supporting double skin metal faced insulating panels - Factory made products – Specifications*. Comité Européen de Normalização. 2006.
- [41] EN ISO 13788:2002 - *Hygrothermal performance of building components and building elements. Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation. Calculation methods*. Comité Européen de Normalização. 2002.
- [42] EN 12152:2002 – *Curtain walling – Air Permeability –Performance Requirements and Classification*. Comité Européen de Normalização. 2002.
- [43] EN 12153:2000 - *Curtain walling - Air permeability - Test method*. Comité Européen de Normalização. 2000.
- [44] EN 12154:1999 - *Curtain walling - Watertightness - Performance requirements and classification*. Comité Européen de Normalização. 1999.
- [45] EN 12155:2000 - *Curtain walling - Watertightness - Laboratory test under static pressure*. Comité Européen de Normalização. 2000.
- [46] EN 13051:2001 - *Curtain Walling - Watertightness - Site test*. Comité Européen de Normalização. 2001.
- [47] Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB). *Cahier de Prescriptions Techniques 3501: Panneaux sandwichs isolants à parements métalliques - Conditions générales de conception et fabrication*. E-cahiers du CSTB. 2004.
- [48] Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB). *Cahier de Prescriptions Techniques 3194: Ossature métallique et isolation thermique des bardages rapportés faisnat l’objet d’un Avis Technique ou d’un constat de traditionalité – Conditions générales de Conception et de mise en oeuvre*. E-cahiers du CSTB. 2000.
- [49] Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB). *Cahier de Prescriptions Techniques 3120: ritères de traditionalité des façades rideaux, semi-rideaux et panneaux à ossature en acier – Note d’information 3*. E-cahiers du CSTB. 1999.
- [50] European Organization for Technical Approvals (EOTA). *ETAG 016 – Part 3: Guideline for European Technical Approval of Self-supporting Composite Lightweight Panels – Specifics Aspects Relating to Self-supporting Composite Lightweight Panels for Use in External Walls and Claddings*. EOTA, Brussels, 2005.
- [51] European Organization for Technical Approvals (EOTA). *ETAG 018 – Part 2: Guideline for European Technical Approval of Fire Protective Products – Reactive Coatings for Fire Protection of Steel Elements*. EOTA, Brussels, 2011.
- [52] European Organization for Technical Approvals (EOTA). *ETAG 021 – Part 2: Guideline for European Technical Approval of Cold Storage Premisses Kits – Cold Storage Building Envelope and Building Kits*. EOTA, Brussels, 2005.

- [53] European Organization for Technical Approvals (EOTA). *ETAG 023: Guideline for European Technical Approval of Prefabricated Buildings Units*. EOTA, Brussels, 2006.
- [54] European Organization for Technical Approvals (EOTA). *ETA 07/0244: KALWALL Translucent Self Supporting System*. EOTA, Brussels, 2008
- [55]. European Organization for Technical Approvals (EOTA). *ETA 11/0420: Ippon Panels*. EOTA, Brussels, 2012
- [56] European Organization for Technical Approvals (EOTA). *ETA 10/0324: SAPI SOL*. EOTA, Brussels, 2010
- [57] EN 1991:2002- *Eurocódigo 1: Ações em estruturas*. Comité Europeu de Normalização. 2002.
- [58] EN 1990 - *Eurocódigo: Bases para projeto de estruturas*. Comité Europeu de Normalização. 2009.
- [59] EN 1991-1-1:2002 - *Eurocódigo 1: Ações em estruturas – Parte 1-1: Ações gerais – Pesos volúnicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios*. Comité Europeu de Normalização. 2002.
- [60] EN 1991-1-4:2002 - *Eurocódigo 1 – Ações em estruturas – Parte 1-4: Ações gerais – Ações do vento*. Comité Europeu de Normalização. 2002.
- [61] EN 13116:2001 - *Curtain walling - Resistance to wind load - Performance requirements*. Comité Europeu de Normalização. 2001.
- [62] EN 12179:2000 - *Curtain walling - Resistance to wind load - Test method*. Comité Europeu de Normalização. 2000.
- [63] EN 1993-1-3:2006 - *Eurocódigo 3: Projeto de estruturas em aço – Parte 1-3: Regras gerais – Regras adicionais para elementos enformados a frio*. Comité Europeu de Normalização. 2006.
- [64] EN 14019:2004 - *Curtain Walling - Impact resistance - Performance requirements*. Comité Europeu de Normalização. 2004.
- [65] Decreto-Lei n.º220/2008, de 12 de Novembro. *Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndios em Edifícios*. Imprensa Nacional, Lisboa, 2008.
- [66] EN13501-1:2010 - *Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests* . Comité Europeu de Normalização. 2010.
- [67] EN 13501-2:2010 - *Fire classification of construction products and building elements – Part 2: Classification using Data from fire resistance tests, excluding ventilation services*. Comité Europeu de Normalização. 2010.
- [68] EN 1363-1:1999 - *Fire resistance tests - Part 1: General requirements*. Comité Europeu de Normalização. 1999.
- [69] EN 1364-1:1999 - *Fire resistance tests for non-loadbearing elements - Part 1: Walls*. Comité Europeu de Normalização. 1999.
- [70] EN 1364-4:1999 - *Fire resistance tests for non-loadbearing elements - Part 4: Curtain walling - Part configuration*. Comité Europeu de Normalização. 1999.
- [71] EN 15254-5:2009 - *Extended application of results from fire resistance tests - Non-loadbearing walls - Part 5: Metal sandwich panel construction*. Comité Europeu de Normalização. 2009.

- [72] EN ISO 140-5:1998- *Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades*. Comité Europeu de Normalização. 2003.
- [73] EN ISO 717-1:1996 - *Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation*. Comité Europeu de Normalização. 1996.
- [74] EN ISO 354:2003 - *Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room*. Comité Europeu de Normalização. 2003.
- [75] EN ISO 11654:1997 - *Acoustics - Sound absorbers for use in buildings - Rating of sound absorption*. Comité Europeu de Normalização. 1997.
- [76] Decreto-Lei n.º 96/2008, de 9 de Junho. *Regulamento dos requisitos Acústicos dos Edifícios*. Imprensa Nacional, Lisboa, 2008.
- [77] X. Loncour et al. *Ventilated double facades – evaluation of the existing standard/requirements applying on buildings equipped with ventilated double facades*. Belgian Building Research Institute. Setembro de 2003.
- [78] Decreto-Lei n.º80/2006, de 4 de Abril. *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Imprensa Nacional, Lisboa, 2006.
- [79] Decreto-Lei n.º79/2006, de 4 de Abril. *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios*. Imprensa Nacional, Lisboa, 2006.
- [80] Decreto-Lei n.º9/2007, de 17 de Janeiro. *Regulamento Geral do Ruído*. Imprensa Nacional, Lisboa, 2007.
- [81] http://www.erfi.pt/ChapaPerfiladaTEC_Fachada.pdf, Abril 2012.
- [82] <http://www.erfi.pt/ChapaPerfilada.pdf>, Abril 2012.
- [83] <http://www.erfi.pt/Acessorios.pdf>, Abril 2012.
- [84] <http://www.kingspan.info/KS1150-TF-KS1150-TC-1220.html>, Abril 2012.
- [85] <http://www.kingspan.info/Fasteners-1369.html>, Abril 2012.
- [86] http://www.kingspan.info/admin/functions/literature_download.php?id=152, Abril 2012.
- [87] <http://www.alucoil.com/section.cfm?menuid=9&langid=2>, Abril 2012.
- [88] Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc). *Documento de Idoneidad Técnica – sistema de revestimento de fachadas ventiladas mediante bandejas procedentes de paneles LARSON PE, FR y Metals FR*. Novembro 2008, <http://www.alucoil.com/pdf/esp/certificaciones/construccion/DIT.pdf>, Abril 2012.
- [89] Steadmans. *Twin Skin Systems – AS Series Roof & Wall Profiles*. Outubro 2011. <http://www.steadmans.co.uk/support/downloads.htm#twinskin>, Abril 2012.
- [90] Steadmans. *Twin Skin Systems: Design Details – Walls*. Janeiro 2008, <http://www.steadmans.co.uk/product/twinskin/downloads/TSDesDetWalls.pdf>, Abril 2012.
- [91] http://www.arcelormittal.com/distributionsolutions/construction/arval_iberia/systems_and_solutions/11785/globalwall_ds/language/ES, Abril 2012.
- [92] <http://www.sadef.be/eng/asp/BPDsteelprofiles/ceeplus.asp?expandable=0>, Maio 2012.

ANEXO 1

**Caracterização dos painéis
Kingspan KS 1150 TC**



Profilation MB (minibox) is not available for KS1150 TC panels.

Panel type	TF						TC			
Panel thickness (mm)	40	50	60	70	80	100	120	150	170	200
Weight (kg/m ²) sheet 0.6/0.4 mm	10.24	10.64	11.04	11.44	11.84	12.64	13.44	14.64	15.44	16.64

Product Tolerances

Panel length		
For panel length under 6 m		+-4 mm
Panel length is equal or over 6 m and under 12 m		+-6 mm
Panel length is equal or over 12 m		+-8 mm
Panel width		+-3 mm
Thickness		
Panel thickness $d \leq 50$ mm		+-2 mm
Panel thickness $50 \text{ mm} < d < 100$ mm	+3 mm	-2 mm
Panel thickness $d \geq 100$ mm	+3 mm	-3 mm
Squariness of the cut end $\leq 0.5\%$ of the panel width		
Panel bow $(\Delta 1 + \Delta 2) / 2 \leq 10$ mm		

Available Lengths

The standard panel length is between 2 and 14.5 meters. It is possible to deliver panels shorter than 2 m and longer than 14.5 m, but this should be discussed with Kingspan first.

Galvanic protection options

1. ● Hot-dip zinc coated steel with a total of 275g/m² of zinc, according to EN 10147:2000. This can be finished with a number of coating - polyester, PVDF, Plastisol and Foodsafe finishes.
2. ● Galvatite coated steel in accordance with EN 10147, for Celestia finishes.
3. ● Galvalloy (hot-dip coated with eutectic alloy of approx. 95% Zn, 5% Al and other elements) in accordance with EN 10214 for coated steel HPS200.

Substrate thicknesses

- Standard external sheet thickness 0.60 mm.
- Standard internal sheet thickness 0.40 mm.
- Other thicknesses are available by arrangement with Kingspan.

External Coating Options

1. Standard Polyester – PES

Polyester is a universal, economic coating system suitable for exterior and interior applications. The nominal coating thickness is 25 µm.

2. PVDF

PVDF offers unequalled colour and gloss retention and good corrosion resistance. The nominal coating thickness is 25 µm. It can be used in climates with extremely high UV radiation combined with extreme temperatures and relative humidity. The standard colour range includes metallic silver.

4. Plastisol 200 µm

Plastisol is a high performance coating system with a grain finish and a nominal thickness of 200 µm. Typical properties of Plastisol are excellent abrasion, high corrosion resistance, excellent flexibility and therefore very good scratch resistance.

5. Celestia (by Corus)

Celestia is a metallic-finish cladding steel with a 120 µm (nominal thickness) high performance Plastisol coating. The standard product has a high performance polyester coating on the reverse side. The metallic finish captures light and movement, giving depth and life to the cladding surfaces.

Internal Coating Options

1. Polyester

Polyester coating with a nominal thickness of 15 µm. The standard colour is grey white, (similar RAL 9002).

2. Lining enamel

Lining enamel with a nominal thickness of 22 µm with a white finish.

3. Foodsafe

The surface of this 150 µm thick polymer coating is non-toxic and resistant to mould, durable and easy to clean. It is chemically inert and safe for continuous contact with unpacked food. The standard colour is white. Consult Kingspan about the availability of other colours.

Other coating systems are available by discussion with Kingspan.

INSULATION CORE

Rigid polyurethane closed-cell foam is the standard insulating core used. It is made to a non-deleterious specification and is CFC/HCFC free.

MATERIALS - ALUMINIUM

Plain and coloured aluminium is available on a project specific basis. Contact Kingspan Technical Services.

Thermal Insulation

Panel Thickness	U value (W/m ² K)
(mm)	HCFC Free = 0.022
40	0.50
50	0.41
60	0.35
70	0.30
80	0.26
100	0.21
120	0.18
150	0.14
170	0.13
200	0.11

Biological

Kingspan insulated sandwich panels are immune to attack from mould, fungi, mildew and vermin. No urea formaldehyde is used in the construction, and the panels are non-deleterious.

Fire

KS1150 TF insulated sandwich panels have been tested and approved and comply with National Building Regulations and standards.

Panel Thickness (mm)	Fire rating
40	
50	For detailed information
60	please contact
70	the local Technical Department.
80	
100	
120	
150	
170	
200	

Acoustics

All KS1150 TF panels have a single figure weighted sound reduction $R_w = 25$ dB.



Panel thickness (mm)		Span (m)												
		2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
△		SINGLE SPAN												
40	Pressure	2.82	1.91	1.23	0.80	0.54	0.32	0.18	0.09	0.04	–	–	–	–
	Suction	1.96	1.26	0.87	0.64	0.49	0.39	0.31	0.22	0.15	0.10	0.06	0.03	0.02
50	Pressure	3.54	2.45	1.70	1.25	0.90	0.64	0.46	0.31	0.20	0.12	0.07	0.03	0.01
	Suction	2.47	1.58	1.10	0.81	0.62	0.49	0.39	0.33	0.27	0.23	0.17	0.12	0.09
60	Pressure	3.71	2.95	2.05	1.51	1.15	0.91	0.70	0.53	0.40	0.29	0.20	0.13	0.09
	Suction	2.97	1.90	1.32	0.97	0.74	0.59	0.48	0.39	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18
70	Pressure	3.87	3.10	2.40	1.76	1.35	1.07	0.86	0.71	0.57	0.45	0.35	0.27	0.20
	Suction	3.48	2.23	1.55	1.14	0.87	0.69	0.56	0.46	0.39	0.33	0.28	0.25	0.22
80	Pressure	4.04	3.24	2.70	2.02	1.54	1.22	0.99	0.82	0.69	0.59	0.49	0.39	0.32
	Suction	3.98	2.55	1.77	1.30	1.00	0.79	0.64	0.53	0.44	0.38	0.33	0.28	0.25
100	Pressure	4.38	3.51	2.92	2.50	1.94	1.53	1.24	1.02	0.86	0.73	0.63	0.55	0.49
	Suction	5.00	3.20	2.22	1.63	1.25	0.99	0.80	0.66	0.56	0.47	0.41	0.36	0.31
a _{min} (mm)		40												
△ △ △		DOUBLE SPAN												
40	Pressure	2.20	1.45	1.01	0.74	0.57	0.45	0.36	0.30	0.25	0.21	0.19	0.16	0.14
	Suction	2.13	1.50	1.04	0.77	0.59	0.46	0.38	0.31	0.26	0.22	0.19	0.17	0.15
	a; b _{min} (mm)	64	51	40										
50	Pressure	2.81	1.83	1.27	0.93	0.71	0.56	0.46	0.38	0.32	0.27	0.23	0.20	0.18
	Suction	2.72	1.89	1.31	0.96	0.74	0.58	0.47	0.39	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18
	a; b _{min} (mm)	81	63	50	40									
60	Pressure	3.43	2.20	1.53	1.12	0.86	0.68	0.55	0.45	0.38	0.33	0.28	0.24	0.21
	Suction	3.33	2.28	1.58	1.16	0.89	0.70	0.57	0.47	0.40	0.34	0.29	0.25	0.22
	a; b _{min} (mm)	97	75	59	48	40								
70	Pressure	4.02	2.57	1.79	1.31	1.01	0.79	0.64	0.53	0.45	0.38	0.33	0.29	0.25
	Suction	3.95	2.66	1.85	1.36	1.04	0.82	0.67	0.55	0.46	0.39	0.34	0.30	0.26
	a; b _{min} (mm)	112	86	69	55	45	40							
80	Pressure	4.60	2.95	2.05	1.50	1.15	0.91	0.74	0.61	0.51	0.44	0.38	0.33	0.29
	Suction	4.59	3.05	2.12	1.56	1.19	0.94	0.76	0.63	0.53	0.45	0.39	0.34	0.30
	a; b _{min} (mm)	126	98	78	63	51	42	40						
100	Pressure	5.77	3.69	2.57	1.89	1.44	1.14	0.92	0.76	0.64	0.55	0.47	0.41	0.36
	Suction	5.88	3.82	2.66	1.95	1.49	1.18	0.96	0.79	0.66	0.57	0.49	0.42	0.37
	a; b _{min} (mm)	155	120	95	77	63	51	42	40					
△ △ △ △		TRIPLE SPAN												
40	Pressure	2.27	1.45	1.01	0.74	0.57	0.45	0.36	0.30	0.25	0.21	0.19	0.16	0.14
	Suction	2.35	1.50	1.04	0.77	0.59	0.46	0.38	0.31	0.26	0.22	0.19	0.17	0.15
	a; b _{min} (mm)	57	42	40										
50	Pressure	2.87	1.83	1.27	0.93	0.71	0.56	0.46	0.38	0.32	0.27	0.23	0.20	0.18
	Suction	2.95	1.89	1.31	0.96	0.74	0.58	0.47	0.39	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18
	a; b _{min} (mm)	71	52	40										
60	Pressure	3.44	2.20	1.53	1.12	0.86	0.68	0.55	0.45	0.38	0.33	0.28	0.24	0.21
	Suction	3.56	2.28	1.58	1.16	0.89	0.70	0.57	0.47	0.40	0.34	0.29	0.25	0.22
	a; b _{min} (mm)	85	63	48	40									
70	Pressure	4.02	2.57	1.79	1.31	1.01	0.79	0.64	0.53	0.45	0.38	0.33	0.29	0.25
	Suction	4.16	2.66	1.85	1.36	1.04	0.82	0.67	0.55	0.46	0.39	0.34	0.30	0.26
	a; b _{min} (mm)	99	73	56	43	40								
80	Pressure	4.60	2.95	2.05	1.50	1.15	0.91	0.74	0.61	0.51	0.44	0.38	0.33	0.29
	Suction	4.77	3.05	2.12	1.56	1.19	0.94	0.76	0.63	0.53	0.45	0.39	0.34	0.30
	a; b _{min} (mm)	113	84	64	49	40								
100	Pressure	5.77	3.69	2.57	1.89	1.44	1.14	0.92	0.76	0.64	0.55	0.47	0.41	0.36
	Suction	5.98	3.82	2.66	1.95	1.49	1.18	0.96	0.79	0.66	0.57	0.49	0.42	0.37
	a; b _{min} (mm)	140	104	79	62	48	40							

FASTENER SELECTOR GUIDE

Fastener Selection – SFS intec

Product: STEEL – KS1150 TF/KS 1150 TC Wall System, Fixing position:
VALLEY (16 mm diameter sealing washer)

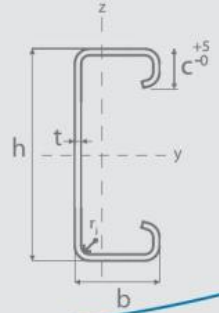


Support Steel Thickness (mm)	Insulation Core Thickness (mm)	Building Classification			
		Carbon Steel Case Hardened	Austenitic Stainless Steel, Grade 304	Carbon Steel Case Hardened	Austenitic Stainless Steel, Grade 304
		Self-Drilling Fasteners to Steel Structure		Self-Tapping Fasteners to Steel Structure	
		SFS intec Code Number			
Cold Rolled min. 1.5 max. 5.0  TDA max. 3.0	40	SDT5-A16-5.5×67	SXC5-S16-5.5×77	TDA-T-T16-6.5×64	TDA-S-S16-6.5×64
	50	SDT5-A16-5.5×77	SXC5-S16-5.5×87	TDA-T-T16-6.5×76	TDA-S-S16-6.5×76
	60	SDT5-A16-5.5×97	SXC5-S16-5.5×107	TDA-T-T16-6.5×76	TDA-S-S16-6.5×76
	70	SDT5-A16-5.5×97	SXC5-S16-5.5×107	TDA-T-T16-6.5×90	TDA-S-S16-6.5×90
	80	SDT5-S16-5.5×112	SXC5-S16-5.5×107	TDA-T-T16-6.5×100	TDA-S-S16-6.5×100
	100	SDT5-S16-5.5×137	SXC5-S16-5.5×130	TDA-T-T16-6.5×127	TDA-S-S16-6.5×127
	120	SDT5-S16-5.5×162	SXC5-S16-5.5×154	TDA-T-T16-6.5×152	TDA-S-S16-6.5×152
	150	SDT5-S16-5.5×182	-	TDA-T-T16-6.5×178	TDA-S-S16-6.5×178
	170	SDT5-S16-5.5×226	-	TDA-T-T16-6.5×200	TDA-S-S16-6.5×200
	200	SDT5-S16-5.5×276	-	TDA-T-T16-6.5×215	TDA-S-S16-6.5×215
Hot Rolled min. 3.0 max. 14.0 	40	SDT14-A16-5.5×76	SXC14-S16-5.5×76	TDB-T-T16-6.3×64	TDB-S-S16-6.3×64
	50	SDT14-A16-5.5×93	SXC14-S16-5.5×95	TDB-T-T16-6.3×76	TDB-S-S16-6.3×76
	60	SDT14-A16-5.5×113	SXC14-S16-5.5×95	TDB-T-T16-6.3×76	TDB-S-S16-6.3×76
	70	SDT14-A16-5.5×113	SXC14-S16-5.5×114	TDB-T-T16-6.3×90	TDB-S-S16-6.3×90
	80	SDT14-A16-5.5×113	SXC14-S16-5.5×134	TDB-T-T16-6.3×100	TDB-S-S16-6.3×100
	100	SDT14-A16-5.5×132	SXC14-S16-5.5×134	TDB-T-T16-6.3×127	TDB-S-S16-6.3×127
	120	SDT14-A16-5.5×160	SXC14-S16-5.5×165	TDB-T-T16-6.3×152	TDB-S-S16-6.3×152
	150	SDT14-A16-5.5×196	-	TDB-T-T16-6.3×178	TDB-S-S16-6.3×178
	170	SDT14-A16-5.5×230	-	TDB-T-T16-6.3×200	TDB-S-S16-6.3×200
	200	SDT14-A16-5.5×280	-	TDB-T-T16-6.3×215	TDB-S-S16-6.3×215

ANEXO 2

**Caracterização das madres de
revestimento, SADEF CEE-Plus,
Catálogo**

CEE-plus



This standard profile range helps the designer to choose the optimal profile. As a result, we are able to maintain short delivery times on the scale of each building project.

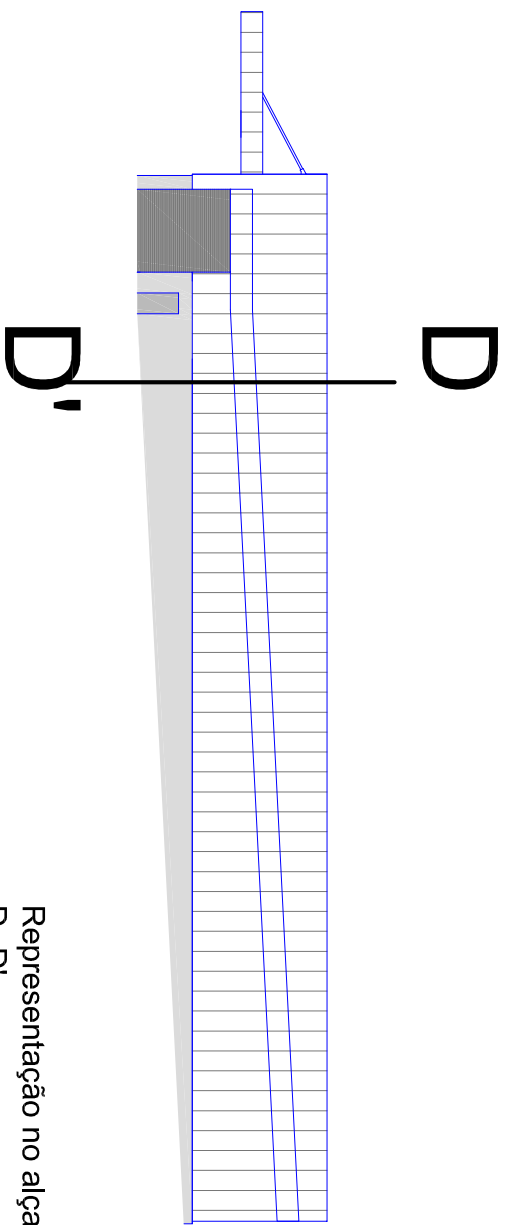
Section									Section properties				
Section type	Section name	h (mm)	b (mm)	c (mm)	t (mm)	r _i	G (kg/m)	Steel grade*	A (cm ²)	I _y (cm ⁴)	W _y (cm ³)	I _z (cm ⁴)	W _z (cm ³)
C+ 450	C+ 450x5	450	120	35	5	4	29,08	S350	36,75	10563	474,8	662,2	77,19
	C+ 450x4				4	4	23,52	S390 or S250	29,66	8604	385,8	550,7	63,95
	C+ 450x3				3	4	17,82		22,44	6571	294,0	429,6	49,71
	C+ 450x2,5				2,5	4	14,93		18,75	5516	246,5	364,4	42,09
	C+ 450x2				2	4	12,00		15,01	4435	198,0	295,8	34,10
C+ 400	C+ 400x4	400	110	35	4	4	21,32	S390 or S250	26,89	6187	312,5	431,3	55,67
	C+ 400x3,5				3,5	4	18,76		23,65	5471	276,0	385,6	49,69
	C+ 400x3				3	4	16,17		20,37	4734	238,5	337,2	43,38
	C+ 400x2,5				2,5	4	13,55		17,03	3978	200,1	286,4	36,76
	C+ 400x2				2	4	10,90		13,64	3201	160,9	232,8	29,81
C+ 350	C+ 350x5	350	100	30	5	4	23,13	S350	29,22	5104	295,9	368,1	52,77
	C+ 350x4				4	4	18,77	S390 or S250	23,67	4181	241,7	309,1	44,12
	C+ 350x3,5				3,5	4	16,53		20,85	3705	213,8	277,3	39,52
	C+ 350x3				3	4	14,27		17,97	3212	185,1	243,3	34,61
	C+ 350x2,5				2,5	4	11,97		15,04	2703	155,6	207,3	29,43
	C+ 350x2				2	4	9,64		12,06	2179	125,2	169,0	23,94
C+ 300	C+ 300x5	300	90	25	5	4	20,38	S350	25,75	3314	224,7	271,0	44,40
	C+ 300x4				4	4	15,59	S390 or S250	19,66	2490	168,3	159,0	28,35
	C+ 300x3,5				3,5	4	13,76		17,35	2214	149,4	143,6	25,56
	C+ 300x3				3	4	11,89		14,98	1926	129,7	126,8	22,52
	C+ 300x2,5				2,5	4	9,99		12,56	1626	109,3	108,8	19,27
	C+ 300x2				2	4	8,06		10,09	1315	88,2	89,2	15,76
C+ 250	C+ 250x5	250	80	25	5	4	17,63	S350	22,28	1992	162,6	191,4	36,62
	C+ 250x4				4	4	14,02	S390 or S250	17,68	1607	130,6	150,2	27,9
	C+ 250x3				3	4	10,71		13,50	1246	100,9	119,8	22,17
	C+ 250x2,5				2,5	4	9,01		11,33	1053	85,1	102,7	18,96
	C+ 250x2				2	4	7,27		9,11	852	68,7	84,2	15,52
C+ 220	C+ 220x5	220	80	25	5	4	16,45	S350	20,79	1464	136,2	183,1	36,16
	C+ 220x4				4	4	13,07	S390 or S250	16,49	1184	109,7	143,9	27,55
	C+ 220x3				3	4	10,01		12,61	920	84,8	114,8	21,89
	C+ 220x2,5				2,5	4	8,42		10,59	778	71,6	98,4	18,73
	C+ 220x2				2	4	6,80		8,52	631	57,9	80,7	15,33
C+ 200	C+ 200x5	200	100	43	5	4	18,43	S350	23,29	1400	143,6	352,3	61,40
	C+ 200x4				4	4	14,98	S390 or S250	18,89	1151	117,4	293,6	50,85
	C+ 200x3				3	4	11,40		14,37	887	90,1	229,6	39,55
	C+ 200x2,5				2,5	4	9,57		12,04	748	75,7	194,9	33,48
	C+ 200x2				2	4	7,71		9,66	604	61,0	158,4	27,12
	C+ 200x1,5				1,5	4	5,82		7,23	455	45,8	119,8	20,42
C+ 150	C+ 150x4	150	90	43	4	4	12,78	S390 or S250	16,12	538	73,7	203,9	42,48
	C+ 150x3				3	4	9,76		12,30	417	56,8	160,2	33,15
	C+ 150x2,5				2,5	4	8,20		10,32	353	47,9	136,3	28,10
	C+ 150x2				2	4	6,61		8,29	286	38,6	111,0	22,80

* Typical base material: S250, S350 or S390 GD + pregalvanised Z275 (Following EN 10326)
Alternative grades or coatings available on request

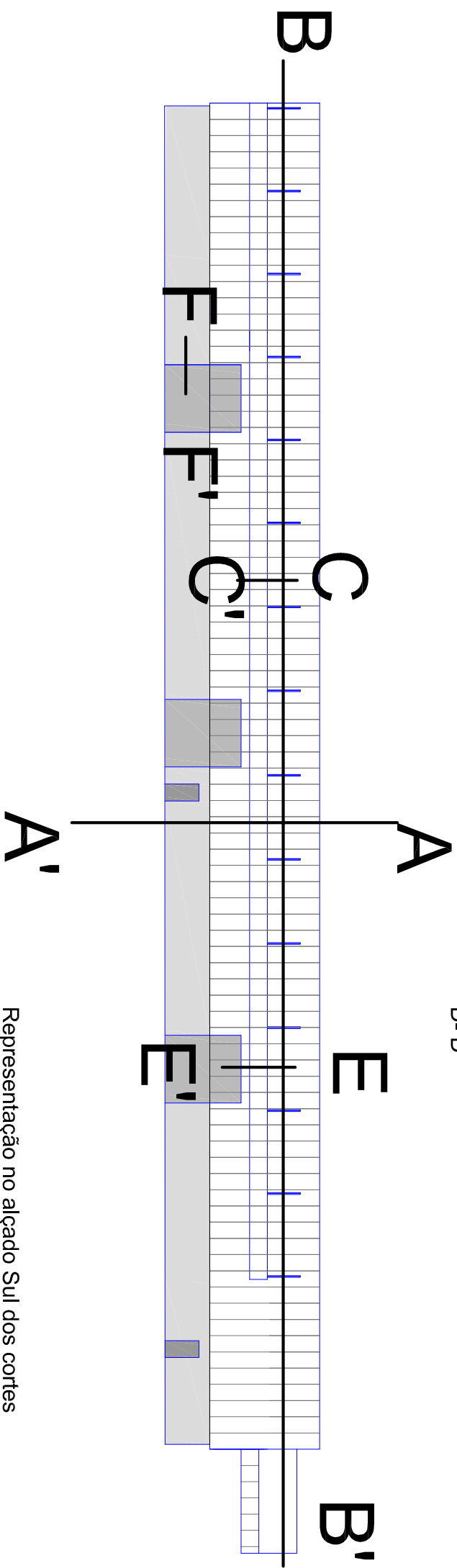
For effective cross section properties, prepiercing possibilities or integrated connections, contact Sadef.

ANEXO 3

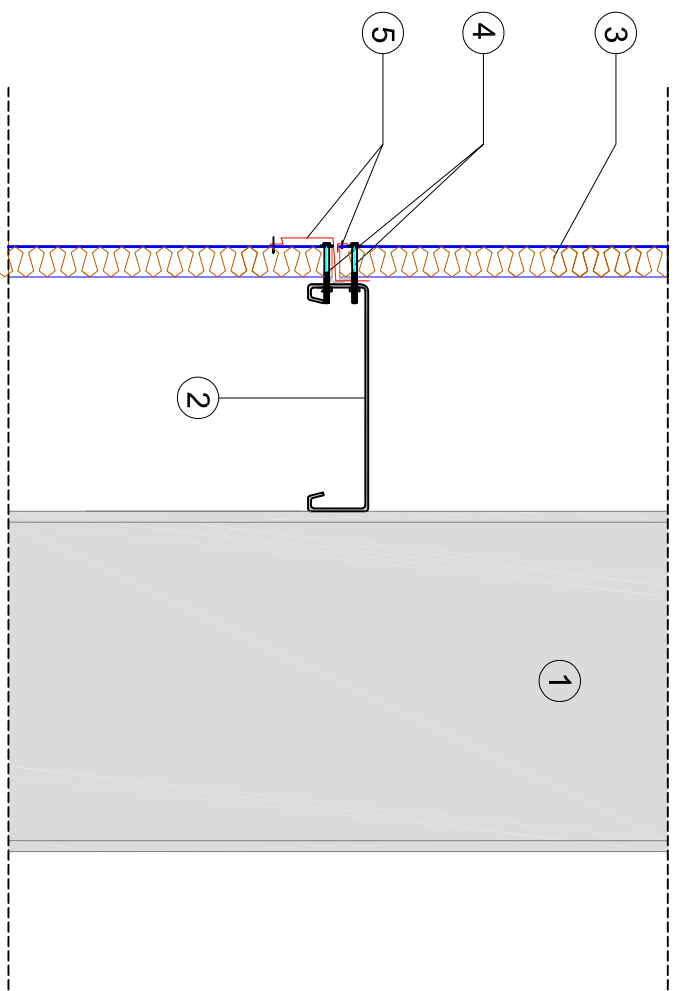
**Pormenores construtivos dos
painéis KS 1150 TC para o caso de
estudo**



Representação no alçado Nascente do corte
D-D'



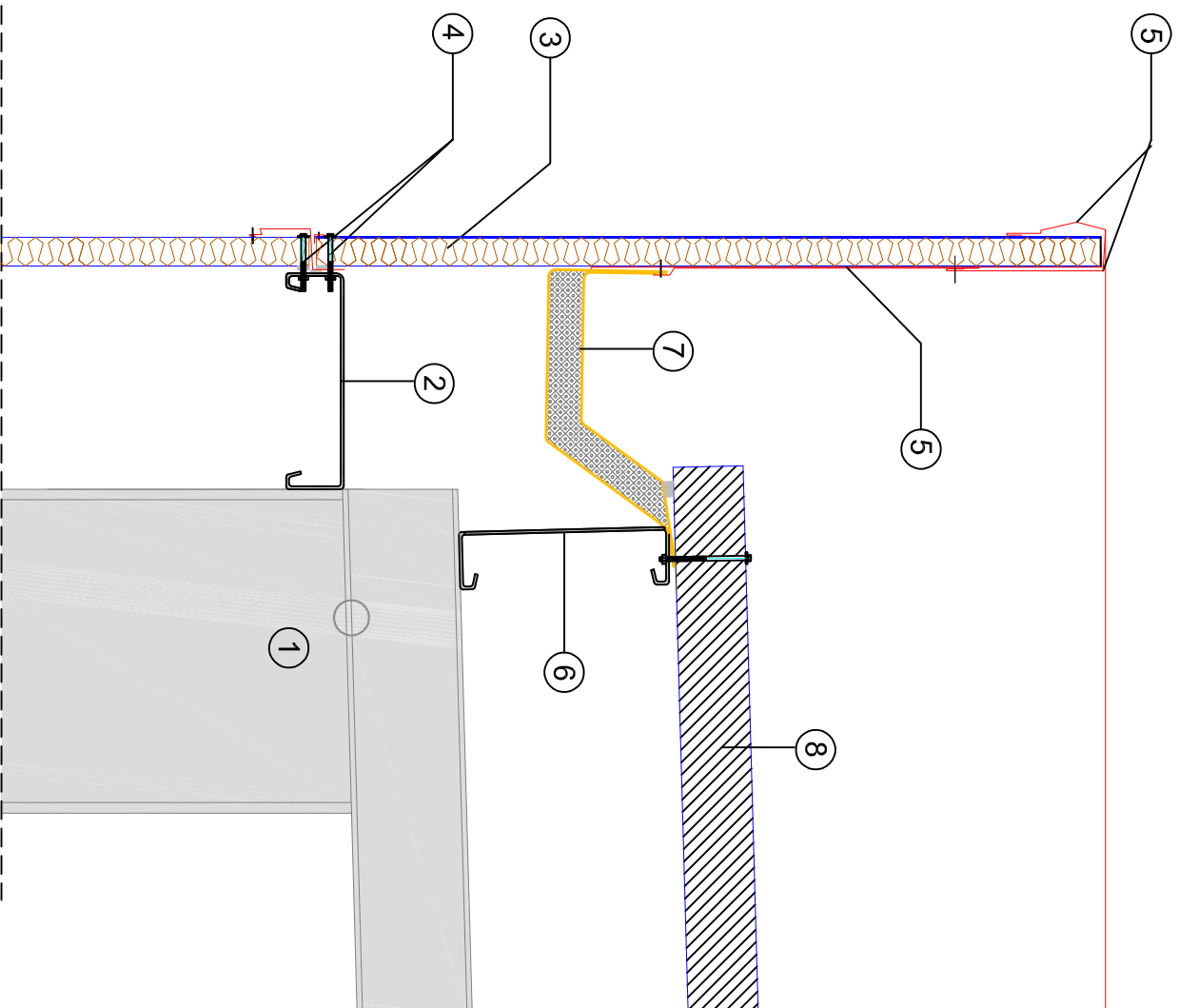
Representação no alçado Sul dos cortes



LEGENDA:

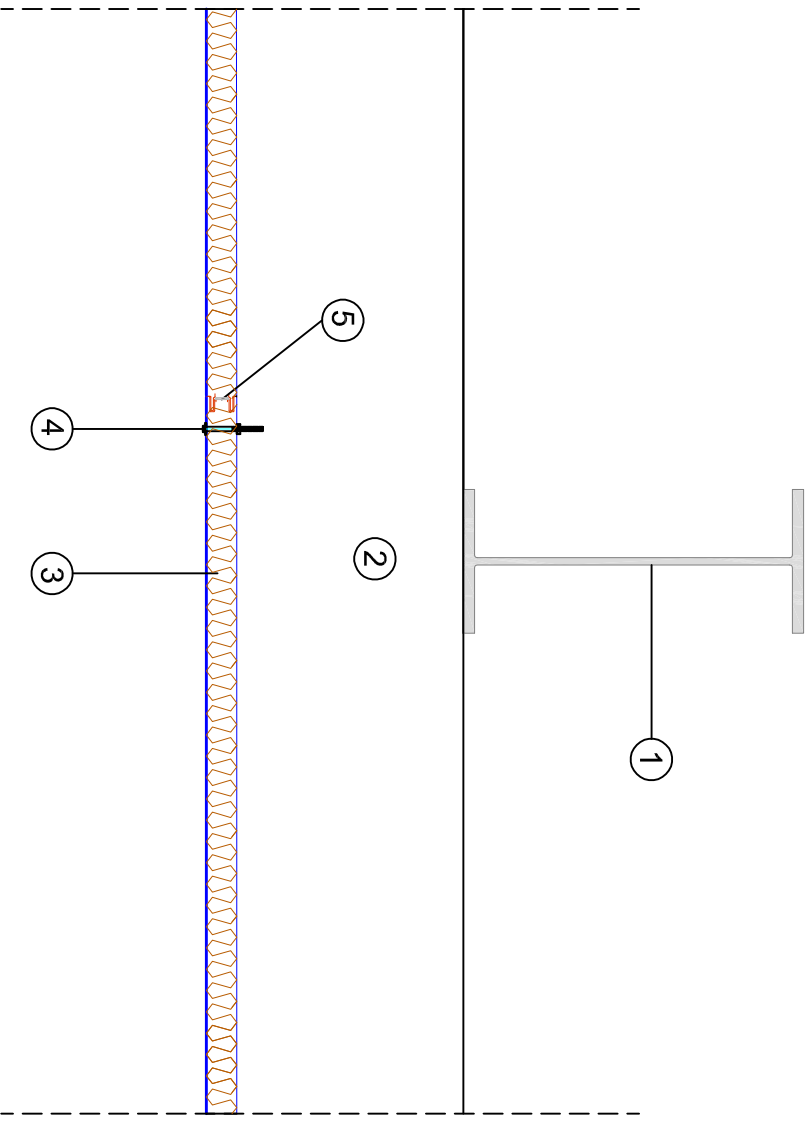
- 1 - Estrutura principal - IPE 450;
- 2 - Estrutura secundária - Madre C300x4;
- 3 - Painel Sandwich - KS1150 TC 40 mm;
- 4 - Parafusos da fixação primária - SXC14-16 5,5x76 mm;
- 5 - Perfis de remate - Catálogo

Corte Vertical A-A'
Junta Horizontal
Escala: 1/10



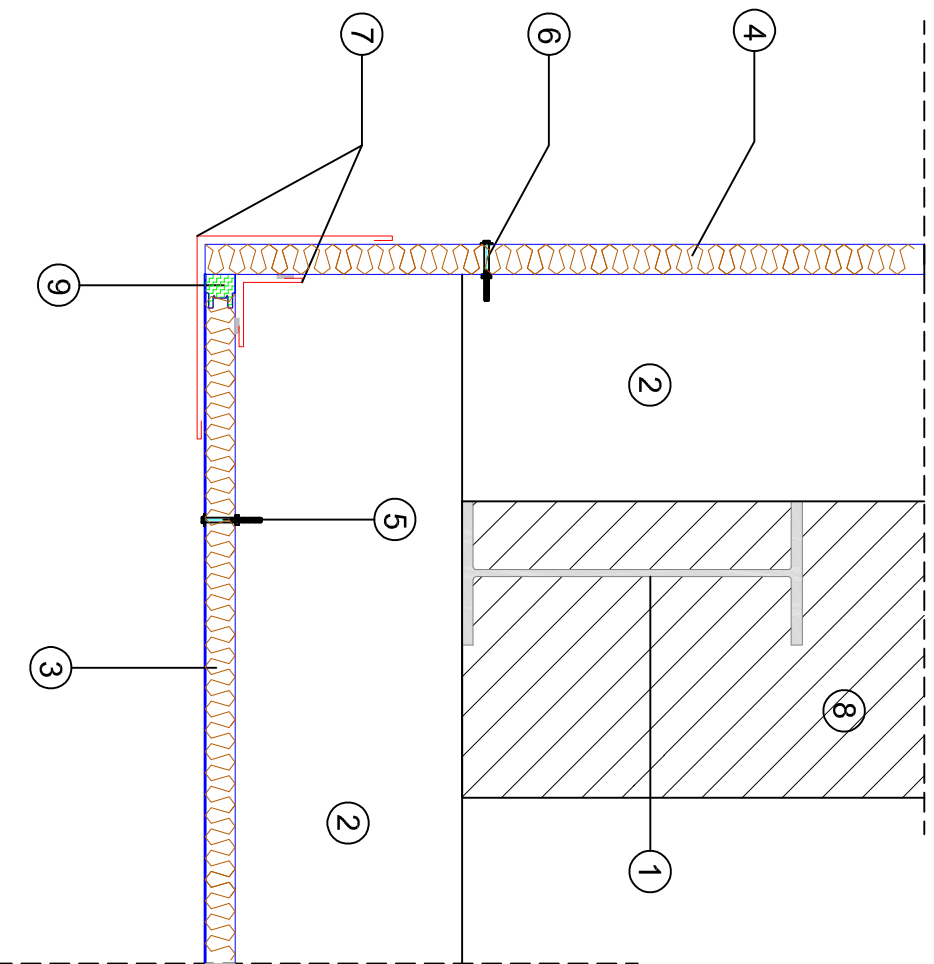
- LEGENDA:**
- 1 - Estrutura principal - IPE 450;
 - 2 - Estrutura secundária - Madre C300x4;
 - 3 - Painel Sandwich - KS1150 TC 40 mm;
 - 4 - Parafusos da fixação primária - SXC14-16 5,5x76 mm;
 - 5 - Perfis de remate - Catálogo;
 - 6 - Estrutura secundária da cobertura;
 - 7 - Perfil de careira - Catálogo;
 - 8 - Painel de cobertura

Corte Vertical A-A'
 Ligação com a Cobertura
 Escala: 1/10



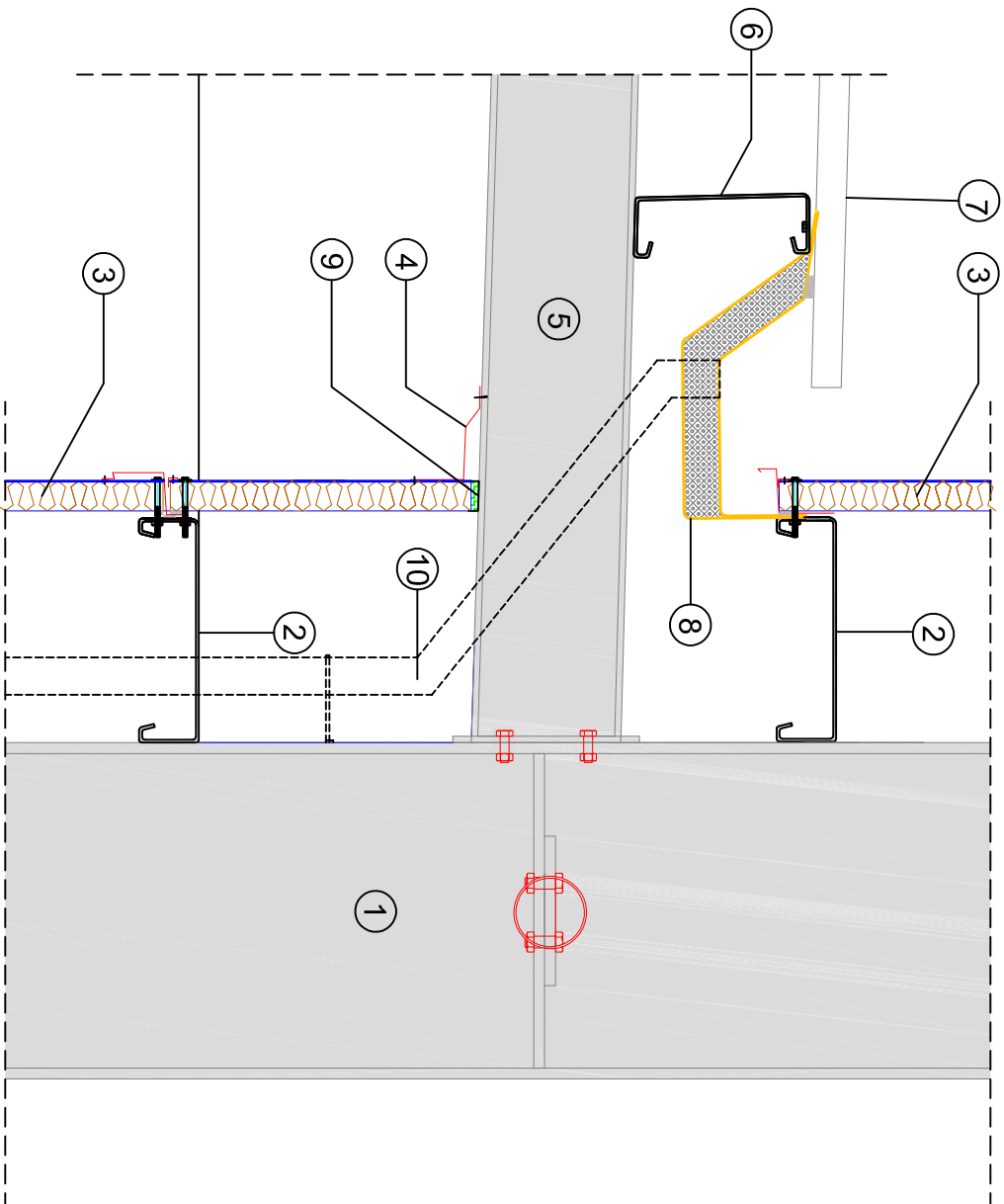
- LEGENDA:**
- 1 - Estrutura principal - IPE 450;
 - 2 - Estrutura secundária - Madre C300x4;
 - 3 - Painel Sandwich - KS1150 TC 40 mm;
 - 4 - Parafusos da fixação primária - SXC14-16 5,5x76 mm;
 - 5 - Fita anti condensação

Corte Horizontal B-B'
 Junta Vertical
 Escala: 1/10



- LEGENDA:**
- 1 - Estrutura principal - IPE 450;
 - 2 - Estrutura secundária - Madre C300x5;
 - 3 - Painel Sandwich - KS1150 TC 40 mm;
 - 4 - Painel Sandwich - KS1150 TC 40 mm;
 - 5 - Parafusos da fixação primária - SXC14-16 5,5x76 mm;
 - 6 - Parafusos da fixação primária - SXC14-16 5,5x95 mm;
 - 7 - Perfis de remate - catálogo;
 - 8 - Murete em betão;
 - 9 - Espuma rígida de isolamento térmico/vedação - PUR;

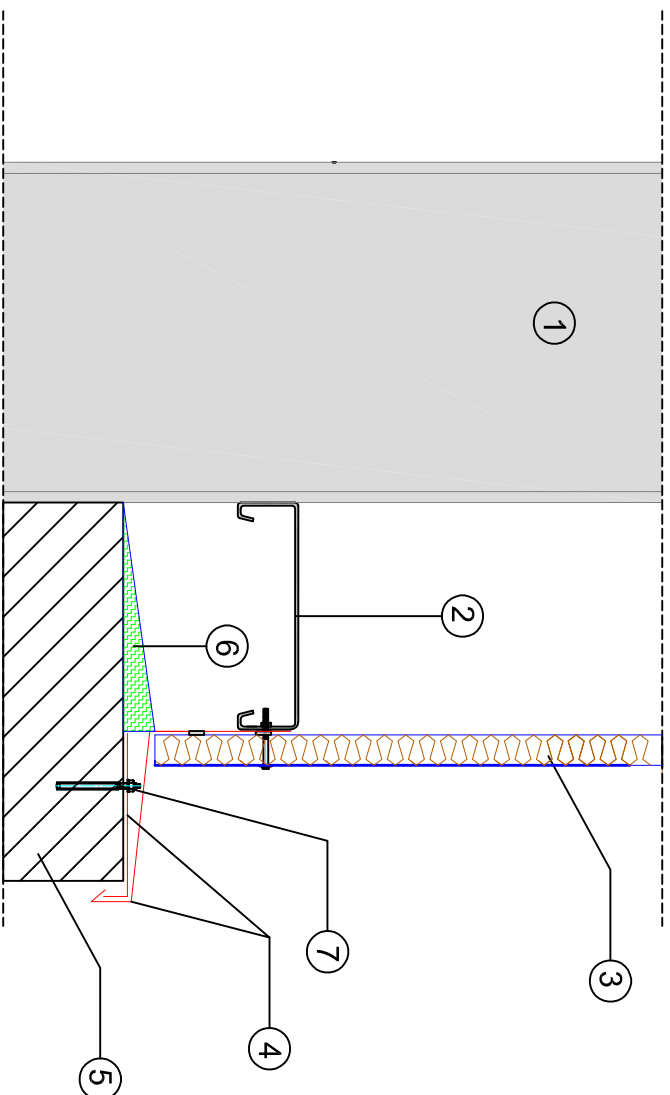
Corte Horizontal B-B'
 Esquina Vertical
 Escala: 1/10



LEGENDA:

- 1 - Estrutura principal - IPE 450;
- 2 - Estrutura secundária - Madre C300x5;
- 3 - Painel Sandwich - KS1150 TC 40 mm;
- 4 - Perfil de remate inferior - Catálogo;
- 5 - Estrutura da pala - IPE 200;
- 6 - Estrutura secundária da pala - Madre;
- 7 - Revestimento da pala - Chapa simples;
- 8 - Perfil de calceira - Catálogo;
- 9 - Espuma rígida de isolamento térmico/vedação -PUR;
- 10 - Tubo de queda;

Corte Vertical C-C'
 Ligação à pala (fachadas Sul e Poente)
 Escala: 1/10



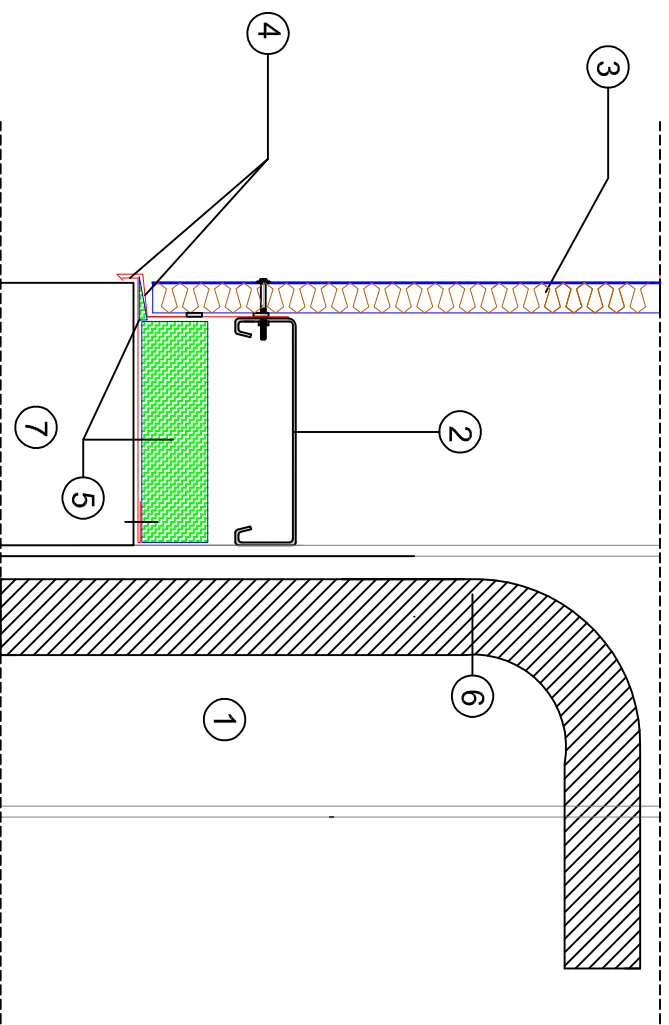
LEGENDA:

- 1 - Estrutura principal - IPE 450;
- 2 - Estrutura secundária - Madre C300x5;
- 3 - Painel Sandwich - KS1 150 TC 50 mm;
- 4 - Perfis de remate da base da Fachada - Catálogo;
- 5 - Murete de betão;
- 6 - Espuma rígida de isolamento térmico/ vedação - PUR
- 7 - Parafuso e bucha de fixação;

Corte Vertical D-D'

Ligação à base da fachada

Escala: 1/10



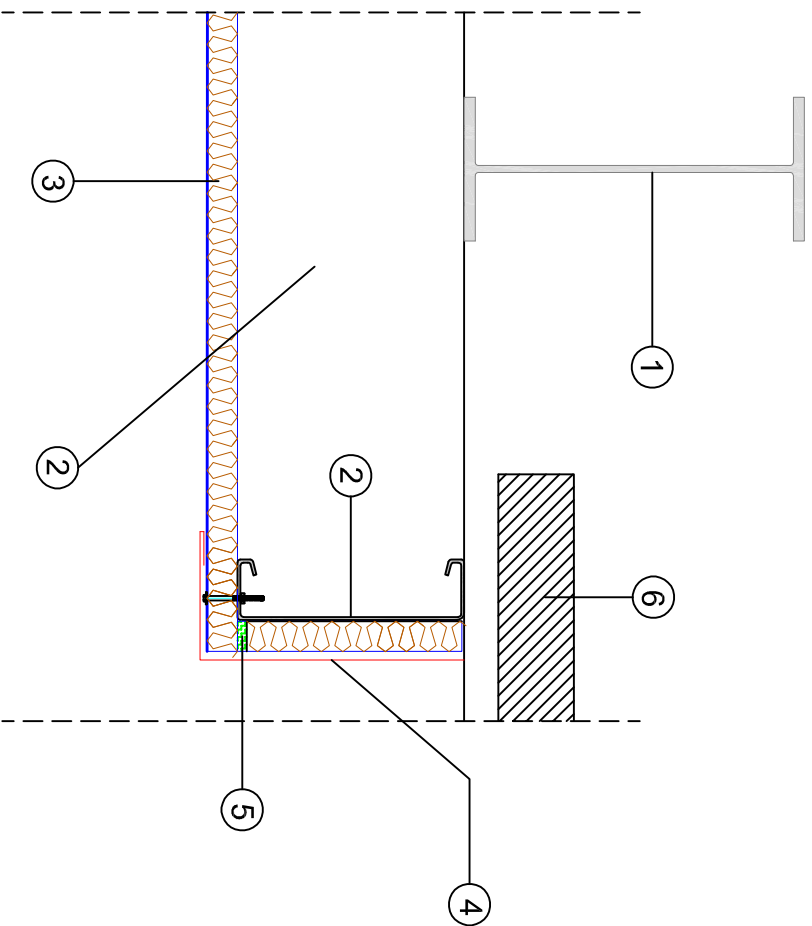
LEGENDA:

- 1 - Estrutura principal - IPE 450;
- 2 - Estrutura secundária - Madre C300x5;
- 3 - Painel Sandwich - KS1150 TC 40 mm;
- 4 - Perfis de remate da Padielra - Catálogo;
- 5 - Espuma rígida de isolamento térmico/vedação - PUR
- 6 - Portão;
- 7 - Ombreira;

Corte Vertical E-E'

Ligação ao portão - Padielra

Escala: 1/10



LEGENDA:

- 1 - Estrutura principal - IPE 450;
- 2 - Estrutura secundária - Madre C300x5;
- 3 - Painel Sandwich - KS1150 TC 40 mm;
- 4 - Perfis de remate da Ombreira - Catálogo;
- 5 - Espuma rígida de isolamento térmico/vedação - PUR
- 6 - Portão;

Corte Horizontal F-F'

Ligação ao portão - Ombreira

Escala: 1/10