

GUIÃO PARA MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE COBERTURAS METÁLICAS DE NAVES DE PISCINAS

DIOGO FILIPE BARBOSA CARNEIRO

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

Orientador: Professor Doutor Vítor Carlos Trindade Abrantes Almeida

JUNHO 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 - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo 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 eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus pais, família e amigos

“Success is the ability to go from one failure to another with no loss of enthusiasm”

Sir Winston Churchill

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação é o culminar de muitos anos de aprendizagem, tendo sido várias as pessoas que me moldaram e permitiram chegar ao final desta importante etapa da minha vida. Deste modo, gostava de demonstrar o meu mais sincero agradecimento, nomeadamente:

- Ao Professor Doutor Vítor Abrantes Almeida por todos os conhecimentos, orientações, disponibilidade, e por me ter permitido desenvolver um tema tão fascinante e interessante como o deste trabalho.
- À Professora Ana Sofia Guimarães Teixeira por todo o esforço e consideração, disponibilidade e conhecimentos transmitidos em alturas fundamentais para o desenvolvimento desta tese.
- Aos meus pais, Amadeu e Ângela, por serem os principais pilares em toda a minha vida. Por todo o apoio e dedicação quer na minha carreira desportiva quer no meu percurso académico. Não há palavras que descrevam o quão impressionantes foram, e são, como amigos e pais.
- À minha família, avós, tios e primos, por me transmitirem valores de união e irmandade e por estarem presentes em todos os bons e maus momentos.
- Aos treinadores que me ajudaram em todas as gratificantes horas dentro de água, Fernando Couto, Pedro Faia e Bruno Pereira. Todas as palavras, ensinamentos e sermões foram essenciais para o meu crescimento como pessoa e atleta.
- Aos meus amigos por todas as horas de estudo, pela camaradagem em alturas longe da família e pela satisfação que foi crescer juntamente com eles.
- À Cláudia por estar sempre presente, pela paciência e conselhos tanto na minha vida pessoal como académica.

RESUMO

As coberturas metálicas em naves de piscinas são um tema ainda pouco desenvolvido no mundo da Engenharia Civil, apesar da grande utilidade que possam ter nos dias de hoje. Estes elementos estão constantemente sujeitos à ocorrência de anomalias que, por falta de apoio bibliográfico, são de difícil resolução e resultam normalmente do desconhecimento que ainda existe acerca das técnicas e requisitos construtivos a que estas coberturas devem obedecer. Este trabalho procura reunir alguma da informação de interesse até agora dispersa pela bibliografia existente e ainda propor algumas inovações que possam contribuir para o desenvolvimento crescente desta área.

Inicialmente reúnem-se as principais características dos elementos construtivos que podem constituir uma cobertura metálica, desde a estrutura de suporte ao revestimento exterior, seguindo-se o direcionamento para as coberturas de naves de piscinas, para as quais são apresentados os principais parâmetros ambientais e em elementos construtivos que devem ser ponderados aquando do dimensionamento deste tipo de coberturas. São ainda enunciados os diferentes métodos de análise de ocorrência de condensações, internas e/ou superficiais, bem como, possíveis configurações para coberturas metálicas nestes edifícios.

No que diz respeito às anomalias em naves de piscinas, são descritas as mais correntes e as principais causas conhecidas de cada uma, juntamente com a apresentação dos métodos de manutenção e reabilitação, bem como alguns casos práticos destas atividades.

Finalmente é analisada a probabilidade de ocorrência de condensações na cobertura da nave de piscinas, o que constitui a inovação apresentada por este trabalho. No caso das condensações superficiais foi definido um procedimento de cálculo que permitiu perceber quais os valores de temperatura interior e exterior a partir dos quais há probabilidade de ocorrência de condensações e qual a necessidade de ventilação do espaço da cobertura para que se evitem a ocorrência das mesmas. Para a determinação das condensações internas recorreu-se ao programa de cálculo CONDENSE 13788, sendo que estes estudos permitiram reunir um conjunto de requisitos e técnicas a obedecer caso se pretenda uma cobertura metálica numa nave de piscinas.

PALAVRAS-CHAVE: Piscina, propriedades higrotémicas, cobertura metálica, anomalias, manutenção, reabilitação.

ABSTRACT

Metallic coverages in indoor swimming pool buildings are an undeveloped theme in the world of Civil Engineering, despite the utility of their application. These elements are constantly liable to the occurrence of anomalies that, for lack of literature support, have difficult resolution. Those situations result from the typical unknowledge that still exists about the technical and construction requirements that these coverages must obey. This work have the goal of gather some dispersed information of the existent literature and also propose some innovations that can contribute to the development of this area.

Initially are gathered some main characteristics of construction elements that can be part of the coverage configuration, like the support structure and exterior coating, followed by some more specialized parameters of swimming pool buildings, as environment or construction elements, which should be considered when the coverage is designed. Methods of analysis are presented to study the occurrence of internal or superficial condensations, followed by possible configurations of metallic coverages.

Related to the occurrence of anomalies in swimming pool buildings, are described the most corrent and the main causes of their appearance, followed by maintenance and rehabilitation methods presentation, as well as some practical cases of this activities.

Finally is analyzed the probability of condensation occurrence in the coverage of the swimming pool building, which is the innovation presented by this work. In the case of superficial condensations it was defined a procedure that allows to understand which values of inside and outside temperature and air renovation are needed to avoid the occurrence of condensations. To determinate the internal condensations it was used CONDENSE 13788. These studies allowed bringing together some requirements and techniques recommended when a metallic coverage in a swimming pool building is designed.

KEYWORDS: Swimming-pool, hygrothermal properties, metallic coverage, anomalies, maintenance, rehabilitation.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE QUADROS	XVI
1 INTRODUÇÃO	19
1.1 ENQUADRAMENTO.....	19
1.2 OBJETIVOS	21
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2 SOLUÇÕES DE COBERTURAS METÁLICAS.....	23
2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE COBERTURAS	23
2.1.1 COBERTURAS PLANAS	23
2.1.2 COBERTURAS INCLINADAS.....	25
2.1.3 AÇÕES E EXIGÊNCIAS DAS COBERTURAS	27
2.1.3.1 Exigências relativas à segurança.....	27
2.1.3.2 Exigências relativas à aptidão ao uso	28
2.1.3.3 Exigências relativas à conservação das características.....	28
2.1.3.4 Exigências relativas à manutenção.....	29
2.2 ESTRUTURAS METÁLICAS DE SUPORTE.....	29
2.2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	29
2.2.2 PRINCIPAIS ESTRUTURAS DE SUPORTE.....	31
2.2.2.1 Sistemas estruturais primários	31
2.2.2.2 Vigas de cobertura	31
2.2.2.3 Trelças espaciais	33
2.2.3 LIGAÇÕES METÁLICAS.....	34
2.3 ISOLAMENTO TÉRMICO.....	35
2.3.1 LOCALIZAÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO	36
2.3.1.1 Coberturas Planas.....	36
2.3.1.2 Coberturas Inclínadas	37
2.3.1.3 Materiais de isolamento térmico.....	37
2.4 BARREIRA PÁRA-VAPOR	38

2.4.1	MATERIAIS “BARREIRA PÁRA-VAPOR”	38
2.4.2	SELEÇÃO DE BARREIRAS PÁRA-VAPOR.....	40
2.5	SISTEMAS DE REVESTIMENTOS METÁLICOS	40
2.5.1	CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES	40
2.5.2	FIXAÇÃO DOS REVESTIMENTOS METÁLICOS	42
2.5.3	MATERIAIS DE REVESTIMENTOS SIMPLES.....	43
2.5.3.1	Aço	43
2.5.3.2	Alumínio.....	44
2.5.3.3	Zinco	45
2.5.3.4	Cobre.....	45
2.5.4	REVESTIMENTOS ALTERNATIVOS.....	46
2.5.4.1	Sistema “Deck”	46
2.5.4.2	Painel “Sandwich”	47
3	CARACTERIZAÇÃO HIGROTÉRMICA DE NAVES DE PISCINAS	49
3.1	NOÇÕES DE PSICOMETRIA	49
3.1.1	HUMIDADE ABSOLUTA DO AR	49
3.1.2	HUMIDADE RELATIVA DO AR	49
3.1.3	PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA	50
3.1.4	DIAGRAMA PSICOMÉTRICO	51
3.2	VAPOR DE ÁGUA	51
3.2.1	VAPOR DE ÁGUA NO INTERIOR DOS EDIFÍCIOS	51
3.2.2	VAPOR DE ÁGUA NOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	53
3.2.2.1	Parâmetros de análise	53
3.2.2.2	Transferência de vapor de água [17]	54
3.2.2.3	Principais fatores que afetam a permeabilidade dos materiais	55
3.2.2.4	Influência do posicionamento das camadas	55
3.3	VENTILAÇÃO	55
3.3.1	VENTILAÇÃO NATURAL.....	57
3.3.2	VENTILAÇÃO MECÂNICA.....	58
3.4	ANÁLISE DE CONDENSAÇÕES.....	59
3.4.1	MÉTODO DE GLASER [17]	60
3.4.2	NORMA EN ISO 13788 [30].....	62

3.4.2.1	Humidades críticas superficiais	63
3.4.2.2	Condensações Internas	64
3.4.3	LEI DE FOURIER	65
3.5	CONSTITUIÇÃO DE COBERTURAS METÁLICAS EM NAVES DE PISCINAS	66
4	ANOMALIAS CORRENTES	71
4.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	71
4.2	ANÁLISE DAS PRINCIPAIS CAUSAS DAS ANOMALIAS	71
4.2.1	INTERVENIENTES NA CONSTRUÇÃO DO EDIFÍCIO [33]	72
4.2.1.1	Dono-de-obra	72
4.2.1.2	Projetistas	72
4.2.1.3	Intervenientes na contratação	73
4.2.1.4	Construtores e vendedores	73
4.2.1.5	Ganância e Incompetência	73
4.2.2	CORROSÃO	74
4.2.2.1	Tipos de corrosão e anomalias	75
4.2.2.2	Erros no projeto [34] [35]	77
4.2.2.3	Erros na instalação	77
4.2.2.4	Incompatibilidade metal/ambiente exterior [34]	78
4.2.2.5	Incompatibilidade metal/ambiente interior [36] [37]	78
4.2.3	HUMIDADE	80
4.2.3.1	Higrometria do local [31]	80
4.2.3.2	Infiltrações [32]	80
4.3	QUADRO-SÍNTESE DE ANOMALIAS EM CASOS REAIS	81
5	MÉTODOS DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO	91
5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	91
5.1.1	MANUTENÇÃO	91
5.1.2	REABILITAÇÃO	92
5.1.3	INFLUÊNCIA DAS ETAPAS CONSTRUTIVAS [45] [46]	92

5.1.3.1	Projeto	93
5.1.3.2	Materiais e Componentes	93
5.1.3.3	Execução/Construção	94
5.1.3.4	Utilização e Manutenção	94
5.1.4	CUSTOS ASSOCIADOS	94
5.1.4.1	Reabilitação [47].....	94
5.1.4.2	Manutenção.....	95
5.2	METODOLOGIA DE REABILITAÇÃO	95
5.2.1	PRINCÍPIOS BÁSICOS [44] [49]	96
5.2.2	ESTRUTURA DO PROCEDIMENTO	96
5.2.2.1	Levantamento de dados.....	97
5.2.2.2	Diagnóstico.....	98
5.2.2.3	Definição da conduta.....	98
5.2.2.4	Execução e registo	98
5.3	MEDIDAS DE PREVENÇÃO	99
5.3.1	ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO [45]	99
5.3.1.1	Manutenção Preventiva.....	99
5.3.1.2	Manutenção Corretiva	100
5.3.1.3	Manutenção Integrada	100
5.3.2	PROTEÇÃO DOS COMPONENTES METÁLICOS [13]	100
5.3.2.1	Galvanização.....	101
5.3.2.2	Metalização	101
5.3.2.3	Folheamento.....	101
5.3.2.4	Aplicação de tintas	101
5.3.3	PREVENÇÃO DA CORROSÃO.....	102
5.3.4	PREVENÇÃO DE CONDENSAÇÕES [20]	102
5.3.4.1	Flocage	103
5.3.4.2	Espuma expansiva de poliuretano projetado (SPF).....	103
5.4	TÉCNICAS DE INTERVENÇÃO	105
5.4.1	INSPEÇÃO.....	105
5.4.2	LIMPEZA DO REVESTIMENTO	106

5.4.2.1	Limpeza por escovagem manual	106
5.4.2.2	Limpeza por jato de água	107
5.4.2.3	Limpeza por jato de água com abrasivo	108
5.4.2.4	Limpeza por jato de ar comprimido	108
5.4.2.5	Limpeza mista	108
5.4.2.6	Aplicação específica das técnicas de limpeza	108
5.4.3	MANUTENÇÃO/REABILITAÇÃO DOS ELEMENTOS DA COBERTURA	109
5.4.3.1	Estrutura de suporte	110
5.4.3.2	Isolamento térmico	110
5.4.3.3	Barreira pára-vapor	111
5.4.3.4	Revestimento metálico	111
5.4.3.5	Fixações no revestimento	112
5.4.3.6	Elementos de estanquidade	112
5.4.4	CASOS PRÁTICOS DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO.....	113
5.4.4.1	Caso 1	113
5.4.4.2	Caso 2	114
5.4.4.3	Caso 3	115
5.4.4.4	Caso 4	116
5.4.4.5	Caso 5	118
5.4.4.6	Caso 6	119
6	ANÁLISE DE SOLUÇÕES – CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS	121
6.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	121
6.2	PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO.....	123
6.2.1	CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO REVESTIMENTO COM DESVÃO NÃO VENTILADO	124
6.2.2	CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO REVESTIMENTO COM DESVÃO VENTILADO	125
6.2.3	CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO TETO INTERIOR DA NAVE.....	127
6.2.4	CONDENSAÇÕES INTERNAS NO TETO INTERIOR DA NAVE	127
6.3	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	127
6.3.1	ANÁLISE DO REVESTIMENTO COM DESVÃO NÃO VENTILADO	128

6.3.1.1	Chapa simples de alumínio	128
6.3.1.2	Painel sandwich.....	133
6.3.2	ANÁLISE DO REVESTIMENTO COM DESVÃO VENTILADO.....	138
6.3.2.1	Chapa de alumínio e teto interior em teto falso e isolamento térmico	138
6.3.2.2	Chapa de alumínio e teto interior em teto falso, barreira pára-vapor e isolamento térmico	141
6.3.2.3	Chapa de alumínio e teto interior em teto falso	142
6.3.2.4	Painel sandwich e teto interior em teto falso e isolamento térmico	143
6.3.2.5	Painel sandwich e teto interior em teto falso, barreira pára-vapor e isolamento térmico ...	144
6.3.2.6	Painel sandwich e teto interior em teto falso.....	144
6.3.3	ANÁLISE DO ELEMENTO CONSTRUTIVO ABAIXO DO DESVÃO.....	145
6.3.3.1	Condensações superficiais no teto em gesso cartonado e isolamento térmico	145
6.3.3.2	Condensações superficiais no teto em gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico	145
6.3.3.3	Condensações superficiais no teto em gesso cartonado.....	146
6.3.3.4	Condensações internas.....	148
6.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS/MELHORES SOLUÇÕES	155
6.4.1	SÍNTESE DOS RESULTADOS	155
6.4.2	SOLUÇÃO RECOMENDADA PARA A COBERTURA	158
7	CONCLUSÕES	159
7.1	PRINCIPAIS CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	159
7.2	PROPOSTAS PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	160
	BIBLIOGRAFIA	161

ANEXO A1 – ANÁLISE DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO REVESTIMENTO DA COBERTURA COM DESVÃO NÃO VENTILADO

ANEXO A2 – ANÁLISE DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO REVESTIMENTO DA COBERTURA COM DESVÃO VENTILADO

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1.1 – Complexo de piscinas em Debrecen, Hungria (European Swimming Championships)	19
Fig 2.1 - Cobertura Metálica Plana [1].	23
Fig 2.2 - Cobertura Inclinada [6].	25
Fig 2.3 - Peso Próprio discriminado de uma cobertura metálica [8].	27
Fig 2.4 – Perfil “L” laminado com e sem linha horizontal [2]	32
Fig 2.5 - Soluções de perfis metálicos em I, H e U, respetivamente [10]	32
Fig 2.6 – Viga treliçada como suporte da cobertura de uma fábrica [8]	33
Fig 2.7 - Soluções de perfis que constituem coberturas em treliça [11]	33
Fig 2.8 – Treliça espacial da Piscina Olímpica da Póvoa de Varzim	34
Fig 2.9 - Ligação aparafusada e soldada, respetivamente [14]	35
Fig 2.10 - Cobertura Plana Tradicional [16]	36
Fig 2.11 - Cobertura fria com espaço de ar ventilado [16]	37
Fig 2.12 – Pormenor de uma junta soldada em chapa de aço inoxidável [8]	42
Fig 2.13 – (a) Pormenor de uma junta agrafada. (b) Pormenor de uma junta encaixada (direita) [20].	43
Fig 2.14 – Chapa canelada de alumínio [23]	45
Fig 2.15 – Instalação negativa[8] Fig 2.16 – Instalação positiva[8]	46
Fig 2.17 – Painéis “sandwich” com chapa superior plana e com relevo [24].	47
Fig 3.1 – Diagrama Psicométrico [25].	51
Fig 3.2 – Sistema de ventilação mecânica de uma cobertura [29].	58
Fig 3.3 – Detalhe da diferença da ocorrência de condensações superficiais e internas num elemento construtivo	59
Fig 3.4 – Representação gráfica da 1ª fase do Método de GLAZER [17]	60
Fig 3.5 - Representação gráfica da 2ª fase do Método de GLAZER [17]	61
Fig 3.6 - Representação gráfica da 3ª fase do Método de GLAZER [17]	61
Fig 3.7 - Representação gráfica da 4ª fase do Método de GLAZER [17]	62
Fig 3.8 – Determinação da zona onde ocorrem as condensações [17].	62
Fig 3.9 – Evaporação numa interface do elemento construtivo [30].	65
Fig 3.10 - Cobertura plana em sistema “Deck”	67
Fig 3.11 - Cobertura plana com vigas de suporte e isolamento sobre o desvão.	67
Fig 3.12 - Cobertura inclinada com painel sandwich no interior e chapa simples no exterior.	67
Fig 3.13 - Cobertura inclinada com vigas de suporte e painel sandwich.	68
Fig 3.14 - Cobertura inclinada com vigas de suporte e chapa metálica simples.	68
Fig 3.15 - Cobertura inclinada em treliça metálica e chapa simples.	68
Fig 3.16 - Cobertura inclinada em treliça metálica e painel sandwich.	69
Fig 4.1 – Fatores gerais que influenciam a corrosão [34]	74
Fig 5.1 – Lei de Sitter (Custos de intervenção) [45]	95
Fig 5.2 – Fluxograma do procedimento de atuação perante problemas patológicos	97

Fig 5.3 – Projeção de <i>flocage</i> na cobertura [20]	97
Fig 5.4 – <i>Flocage</i> aplicado na cobertura de uma nave de piscinas [20].....	103
Fig 5.5 – Configuração construtiva de uma aplicação de SPF [20]	104
Fig 5.6 – Aspeto final de uma aplicação de SPF pelo interior do revestimento [20]	105
Fig 5.7 – Escovagem manual de um revestimento metálico [50]	107
Fig 5.8 – Aplicação da técnica de limpeza a jato de água num revestimento [51]	107
Fig 5.9 – (a) Chapa metálica perfilada [52]. (b) Localização adequada do selante (mástique) na junta sobreposta [39].....	114
Fig 5.10 – (a) Destacamento e desagregação do revestimento interior. (b) Corrosão das chapas de zinco do revestimento exterior [32]	115
Fig 5.11 – (a) Preparação da superfície antes da aplicação da proteção. (b) Aspeto da superfície do revestimento após a aplicação da proteção [53].....	117
Fig 5.12 – (a) Detalhe da forma de penetração da água na fixação. (b) Configuração correta da fixação para garantir a sua estanquidade [39]	118
Fig 5.13 – Manchas de humidade no teto da nave da piscina [31].....	119
Fig 5.14 – Presença de água no estado líquido no tardo do sistema de revestimento devido ao fenómeno de condensação [31]	120
Fig 6.1 – Cobertura com revestimento em chapa simples de alumínio	121
Fig 6.2 - Cobertura com revestimento em chapa painel sandwich	122
Fig 6.3 – Determinação da temperatura de ponto de orvalho para uma temperatura exterior de 10 °C e revestimento em chapa simples de alumínio.	130
Fig 6.4 - Determinação da temperatura de ponto de orvalho para uma temperatura exterior de 10 °C e revestimento em painel sandwich.	134
Fig 6.5 – Determinação da temperatura de ponto de orvalho e humidade relativa pelo diagrama psicrométrico.	140
Fig 6.6 – Condições exteriores de análise [54].....	149
Fig 6.7 – Condições interiores de análise [54]	149
Fig 6.8 – Esquema construtivo do teto interior composto por gesso cartonado e isolamento térmico da hipótese a) [54].....	150
Fig 6.9 – Características dos elementos que constituem o teto interior na hipótese a) [54]	150
Fig 6.10 – Resultados da análise de condensações internas da hipótese a) [54].....	150
Fig 6.11 – Resultados gráficos da análise de condensações internas da hipótese a) [54]	151
Fig 6.12 - Esquema construtivo do teto interior composto por gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico da hipótese b) [54]	152
Fig 6.13 - Características dos elementos que constituem o teto interior na hipótese b) [54].....	152
Fig 6.14 - Resultados da análise de condensações internas da hipótese b) [54]	152
Fig 6.15 - Resultados gráficos da análise de condensações internas da hipótese b) [54].....	152
Fig 6.16 - Esquema construtivo do teto interior composto por gesso cartonado e isolamento térmico da hipótese c) [54].....	153
Fig 6.17 - Características dos elementos que constituem o teto interior na hipótese c) [54]	153

Fig 6.18 - Resultados da análise de condensações internas da hipótese c) [54].....	153
Fig 6.19 - Resultados gráficos da análise de condensações internas da hipótese c) [54]	154
Fig 6.20 - Esquema construtivo do teto interior composto por gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico da hipótese d) [54]	154
Fig 6.21 - Características dos elementos que constituem o teto interior na hipótese d) [54].....	154
Fig 6.22 - Resultados da análise de condensações internas da hipótese d) [54]	155
Fig 6.23 - Resultados gráficos da análise de condensações internas da hipótese d) [54].....	155

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Relação entre graus e percentagem na inclinação da cobertura [2]	25
Quadro 2.2 - Classificação de coberturas inclinadas quanto ao tipo de vertente	26
Quadro 2.3 - Valores característicos do peso-próprio de materiais metálicos [8]	30
Quadro 2.4 - Sistemas estruturais primários em aço [8]	31
Quadro 2.5 - Propriedades de isolamentos térmicos correntes (valores médios) [15] [17]	38
Quadro 2.6 - Propriedades de alguns materiais “barreira pára-vapor” [17]	39
Quadro 2.7 - Classificação de barreiras pára-vapor em função da permeância ao vapor de água[19]	39
Quadro 2.8 – Coeficientes de emissão de alguns materiais comuns em edifícios [8]	41
Quadro 2.9 – Dimensões habituais de chapas metálicas perfiladas em aço galvanizado [8]	44
Quadro 2.10 - Dimensões habituais de chapas metálicas perfiladas em alumínio [8]	44
Quadro 3.1 – Classificação dos edifícios em função da sua higrometria [17]	52
Quadro 3.2 – Exigências para os três diferentes graus de ventilação dos espaços, segundo [27] [15]	56
Quadro 4.1 – Tipos de anomalias e seus sintomas devido à corrosão [34]	76
Quadro 4.2 – Tipos de corrosão associados aos principais metais utilizados em coberturas [35]	77
Quadro 4.3 - Casos reais de anomalias em coberturas metálicas	82
Quadro 5.1 – Técnicas de limpeza de componentes metálicos [20]	109
Quadro 5.2 – Casos de manutenção e reabilitação em coberturas com problemas patológicos	113
Quadro 6.1 – Características dos materiais que constituem as soluções a estudar [15] [17]	122
Quadro 6.2 – Parâmetros variáveis na análise de condensações com desvão ventilado	126
Quadro 6.3 – Probabilidade de ocorrência de condensações na chapa de alumínio com desvão não ventilado	132
Quadro 6.4 – Probabilidade de ocorrência de condensações no painel sandwich com desvão não ventilado	137
Quadro 6.5 – Probabilidade de ocorrência de condensações na chapa de alumínio com teto interior em gesso cartonado e isolamento térmico	141
Quadro 6.6 – Probabilidade de ocorrência de condensações na chapa de alumínio com teto interior em gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico	142
Quadro 6.7 – Probabilidade de ocorrência de condensações na chapa de alumínio com teto interior em gesso cartonado	142
Quadro 6.8 – Probabilidade de ocorrência de condensações no painel sandwich com teto interior em gesso cartonado e isolamento térmico	143
Quadro 6.9 – Probabilidade de ocorrência de condensações no painel sandwich com teto interior em gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico	144
Quadro 6.10 – Probabilidade de ocorrência de condensações no painel sandwich com teto interior em gesso cartonado	144

Quadro 6.11 – Características do desvão com revestimento em chapa de alumínio em que podem ocorrer condensações superficiais no teto interior em placas de gesso cartonado	147
Quadro 6.12 - Características do desvão com revestimento em painel sandwich em que podem ocorrer condensações superficiais no teto interior em placas de gesso cartonado	147
Quadro 6.13 – Características da ambiência no desvão e dos elementos construtivos na análise de condensações internas	148
Quadro 6.14 – Resultados do estudo das condensações superficiais no revestimento com desvão ventilado	156
Quadro 6.15 – Características para que se evite a ocorrência de condensações com revestimento em chapa de alumínio e teto interior em gesso cartonado	158

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

A cobertura de um edifício é um dos elementos de maior vulnerabilidade, estando sujeita a variações extremas da temperatura, radiação solar, carregamentos da chuva, da neve e à ação do vento.

As coberturas metálicas são um grupo específico destes elementos construtivos e caracterizam-se pela sua simplicidade, resistência das ligações e capacidade de impermeabilização, podendo ter diversas configurações construtivas consoante as características do edifício onde está inserida.



Fig 1.1 – Complexo de piscinas em Debrecen, Hungria (European Swimming Championships)

Em naves de piscinas, os elementos que podem constituir a cobertura metálica são:

- Revestimento interior (teto da nave), habitualmente em gesso cartonado ou em chapa metálica simples;
- Estrutura de suporte, podendo ser em sistemas maciços (vigas ou grelhas) ou em sistemas treliçados (treliça simplesmente apoiada ou espacial);
- Isolamento térmico que é um elemento com várias hipóteses de localização, sendo uma solução recomendável a sua colocação abaixo do desvão;
- Barreira pára-vapor que devido à sua elevada resistência à difusão do vapor de água limita a transmissão do mesmo para outros elementos, estando normalmente colocada entre o revestimento interior e o isolamento térmico;

- Revestimento exterior, elemento que pode variar consoante a natureza, forma e dimensões, sendo os metais mais utilizados na sua constituição o aço, o alumínio, o zinco e o cobre. O revestimento pode ser em chapa metálica simples ou num sistema tipo “Deck” ou tipo “Sandwich”.

Considerando o tipo de atividade que se desenvolve nestes edifícios, uma das características mais relevantes é a elevada produção de vapor de água no seu interior, que resulta num espaço de muito forte higrometria. A transferência de vapor de água nos materiais, por difusão ou convecção, constitui um dos principais responsáveis pelo aparecimento de anomalias, devendo ser alvo de medidas preventivas como a adequada configuração dos elementos construtivos e a circulação do ar.

A renovação do ar por parte dos sistemas de ventilação tem como principal objetivo diminuir a higrometria do local, reduzir os níveis de humidade no ambiente e nos elementos construtivos, garantindo a manutenção da saúde e segurança dos utentes. O adequado dimensionamento do sistema de ventilação aliado a uma favorável configuração construtiva dos elementos é fundamental para evitar a ocorrência de condensações. Estas resultam principalmente do facto de as temperaturas interiores na superfície serem inferiores à temperatura de ponto de orvalho e também à elevada humidade relativa interior aliada a reduzidas resistências térmicas do elemento e temperaturas exteriores muito baixas.

Juntamente com a ocorrência de condensações, a peculiaridade do ambiente de uma nave de piscinas pode resultar noutras anomalias quando não é devidamente controlado. Deste modo, a corrosão do sistema de revestimento e dos elementos metálicos interiores, a perda de estanquidade dos elementos de proteção e a degradação dos revestimentos são resultado da forte higrometria do local aliada a falhas na construção como erros de projeto e/ou de execução.

Toda esta suscetibilidade a patologias inerente a um edifício desta natureza obriga a uma prevenção mais cautelosa comparativamente aos empreendimentos habituais. Estas características obrigam, ou deveriam obrigar, a um plano de manutenção adequado e indispensável ao funcionamento do edifício e dos seus elementos. Este plano engloba uma estratégia que se coaduna com as características e necessidades do edifício e é crucial para que a intervenção perante as anomalias ocorra numa fase de reduzido desenvolvimento e de menores custos de reparação.

Apesar da forte ligação à atividade de manutenção, o processo de reabilitação diferencia-se por, na sua atividade, incorporar a melhoria da qualidade do elemento construtivo e o aumento do seu nível de exigência, que acompanha o desempenho da atualidade, mantendo os valores estéticos, históricos e arquitetónicos do edifício.

Infelizmente, em Portugal estas duas atividades não são vistas com o real valor e vantagens que apresentam. A justificação de que não é economicamente viável e de que implica um grande investimento, a falta de políticas que potenciem o setor e a reduzida capacidade de mão-de-obra especializada são atitudes que descredibilizam a verdadeira necessidade de se tomarem medidas que previnam o aparecimento de anomalias e a possibilidade de se recuperar o parque habitacional no nosso país ao invés de se construírem novas edificações.

1.2 OBJETIVOS

A ocorrência de anomalias em coberturas metálicas de naves de piscinas é um processo frequente, o que traduz a insuficiência do conhecimento no dimensionamento e coordenação de todos os requisitos construtivos a que devem obedecer. Deste modo, este trabalho tem como principais objetivos:

- Compilar a informação relativa aos elementos que podem constituir uma cobertura metálica de naves de piscinas;
- Definir os principais parâmetros envolvidos na peculiar ambiência de naves de piscinas;
- Apresentar métodos de análise de ocorrência de condensações internas e superficiais nos elementos de construção;
- Sintetizar possíveis configurações construtivas para coberturas metálicas em naves de piscinas;
- Perceber quais as causas e principais anomalias nas coberturas metálicas destes edifícios;
- Analisar a ocorrência de condensações para diferentes configurações da cobertura e as diferentes necessidades de ventilação;
- Sintetizar requisitos e técnicas construtivas para diminuir a ocorrência de patologias nos elementos construtivos de naves de piscinas;
- Compilar métodos de manutenção e propostas de reabilitação para eliminar as causas das anomalias (técnicas de intervenção).

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Tendo em conta os objetivos propostos, o presente trabalho encontra-se estruturado em sete capítulos.

No primeiro capítulo é realizada uma introdução ao tema proposto para este trabalho, fazendo-se um breve enquadramento e a definição dos principais objetivos do estudo.

No segundo capítulo são detalhados os elementos que podem fazer parte da configuração construtiva de uma cobertura metálica e as exigências de desempenho que estas devem assegurar. São apresentadas várias soluções para estruturas metálicas de suporte, hipóteses de isolamento térmico, barreiras pára-vapor e revestimentos exteriores.

No terceiro capítulo é realizada a caracterização higrotérmica de naves de piscinas. São descritos os principais parâmetros que tornam o ambiente deste tipo de edifícios tão peculiar, como por exemplo a humidade e o vapor de água nos elementos de construção. São ainda consideradas as necessidades de ventilação do espaço e dos seus sistemas de circulação do ar interior, bem como os diferentes métodos de análise de ocorrência de condensações internas e superficiais (Método GLASER, Norma EN ISO 13788 e Lei de Fourier). Por último são apresentadas algumas soluções, que se pensam vantajosas, de coberturas metálicas para naves de piscinas.

No capítulo 4 são descritas as principais anomalias, e as suas causas, observadas em coberturas metálicas de naves de piscinas e noutros edifícios, destacando-se entre as principais, a corrosão e a humidade. Para uma melhor interpretação das patologias é apresentado um quadro-síntese que relaciona o tipo e causa da anomalia, bem como o detalhe fotográfico (quando existente).

O capítulo 5 foi reservado para os processos de manutenção e reabilitação, enaltecendo-se a importância de cada um deles. É apresentada uma solução para a estrutura de um processo de reabilitação, são descritas medidas de prevenção e técnicas de intervenção contra as anomalias em

coberturas metálicas e são descritos casos práticos de procedimentos de reabilitação nestes componentes.

No sexto capítulo procurou-se realizar um trabalho que enriquecesse o estudo relativo às condensações em coberturas de naves de piscinas e à sua configuração mais favorável. Deste modo, é realizada uma análise de condensações superficiais no revestimento exterior e de condensações internas e superficiais no teto interior abaixo do desvão. Foram estudadas duas possibilidades de revestimento, em chapa simples de alumínio ou painel sandwich, e três possibilidades de configuração do teto interior. Com isto pretendem-se conhecer as probabilidades de ocorrência de condensações perante variadas temperaturas exteriores e interiores e a correspondente necessidade de ventilação do ar para que estas não ocorram.

No capítulo 7, o último deste trabalho, são apresentadas as principais conclusões, considerações finais e propostas para desenvolvimentos futuros.

Esta dissertação apresenta ainda um anexo dividido em dois capítulos. O primeiro descreve os procedimentos de cálculo da análise de ocorrência de condensações superficiais no revestimento quando o desvão da cobertura não é ventilado. O segundo apresenta as folhas de cálculo do programa Excel para a determinação da probabilidade de ocorrência de condensações no revestimento quando o desvão é ventilado.

2 SOLUÇÕES DE COBERTURAS METÁLICAS

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE COBERTURAS

2.1.1 COBERTURAS PLANAS

As coberturas planas começaram a ser utilizadas nos continentes Americano e Asiático, bem como nos países mediterrâneos, alguns anos mais cedo do seu efetivo aparecimento na Europa, que começou nos países centrais no século XX.



Fig 2.1 - Cobertura Metálica Plana [1].

São diversos os limites estipulados na bibliografia associada a este tipo de coberturas, no entanto, na generalidade dos casos, a delimitação que as separa das coberturas inclinadas é uma inclinação máxima de 8% [2]. De referir que para inclinações inferiores a 2 %, a deformação da cobertura toma contornos particularmente importantes principalmente no que diz respeito a retenção de água em locais indesejados.

Como referência internacional e tendo em consideração que a pendente associada a este tipo de coberturas está intimamente ligada à sua constituição e acessibilidade, a norma francesa [3] estabelece a seguinte inclinação para as coberturas planas:

- Elementos portantes em chapa de aço nervurado têm inclinações compreendidas entre 1 e 7%;
- Elementos em alvenaria ou à base de madeira têm inclinações compreendidas entre 1 e 15%.

Dentro das coberturas planas, existem fatores classificativos que diferenciam os diferentes tipos de coberturas dentro deste mesmo gênero. Segundo o ITE 34 [4], estas dividem-se da seguinte forma:

- Quanto à acessibilidade;
- Quanto à camada de proteção;
- Quanto ao tipo de impermeabilização;
- Quanto à localização do isolamento térmico;
- Quanto à sua pendente;
- Quanto à sua estrutura resistente.

Em relação à sua acessibilidade, as coberturas podem-se dividir em quatro categorias. A primeira como cobertura não acessível, em que o seu acesso está limitado a trabalhos de manutenção e reparação. A segunda como cobertura acessível apenas a pessoas. A terceira como a acessível a veículos, podendo haver a circulação de pessoas, veículos ligeiros e em alguns casos, veículos pesados. Por último, podem ser coberturas especiais em que é permitido o acesso de pessoas, veículos ligeiros e pesados, podendo albergar jardins ou equipamentos industriais.

No que diz respeito à camada de proteção, a cobertura pode não ter proteção, ter proteção leve ou então proteção pesada.

A localização do isolamento térmico é de extrema importância. Geralmente consideram-se apenas duas localizações para este elemento:

- Sob o sistema de impermeabilização (cobertura plana tradicional);
- Sobre o sistema de impermeabilização (cobertura plana invertida).

No entanto, pode ser considerada ainda outra solução que consiste na colocação da camada de isolamento térmico pela face interior da estrutura resistente. Este assunto será abordado mais à frente, especificando-se melhor cada solução no subcapítulo 2.3.

Quanto à classificação segundo a pendente, foi feita no início deste subcapítulo uma referência aos valores normalmente utilizados quer nacional quer internacionalmente. No entanto, podem-se ainda referir as quatro classes de cobertura estipuladas nas diretivas UEAtc [5] :

- Classe I: A pendente da cobertura pode originar a estagnação da água e permite a aplicação de uma proteção pesada;
- Classe II: A pendente da cobertura permite o escoamento da água e a aplicação de uma proteção pesada;
- Classe III: A pendente da cobertura possibilita o escoamento da água mas não a aplicação de uma proteção pesada;
- Classe IV: A pendente obriga a serem tomados cuidados especiais na aplicação das camadas de cobertura.

Por último, a estrutura resistente de uma cobertura diferencia-se como sendo rígida ou flexível. As estruturas resistentes rígidas podem ser contínuas (pré-lajes ou lajes maciças) ou descontínuas (pranchas vazadas ou perfis especiais). As estruturas resistentes flexíveis têm como soluções correntes as chapas metálicas nervuradas ou pranchas de madeira.

2.1.2 COBERTURAS INCLINADAS

Este tipo de coberturas surgiu em resposta à precariedade dos materiais em relação à estanquidade, pois grande parte das anomalias que surgiam resultavam da penetração da água pela cobertura. Assim, e seguindo o exemplo das montanhas que conduzem a água por ação gravítica, começaram a ser construídas coberturas com inclinação suficiente para não permitir a estagnação da água e assim impedir as infiltrações.



Fig 2.2 - Cobertura Inclínada [6].

Estas coberturas distinguem-se das coberturas planas, naturalmente, pela inclinação que lhes é aplicada. Deste modo, e apesar dos diversos valores publicados, está-se perante uma cobertura inclinada quanto a sua pendente é superior a 8%. Esta inclinação também pode ser expressa em graus, sendo 4,5° o correspondente a 8% [2].

Quadro 2.1 - Relação entre graus e percentagem na inclinação da cobertura [2]

Graus	Percentagem
45	100
40	84
35	70
30	58
25	47
20	36
15	27
10	18

Tal como foi referido no subcapítulo anterior e, tendo em consideração a acessibilidade e constituição da cobertura como variáveis fundamentais na escolha da inclinação, a norma francesa [3] estabelece a seguinte inclinação para coberturas inclinadas:

- Elementos portantes em chapa de aço nervurado têm inclinações superiores a 7%;
- Elementos portantes em alvenaria ou à base de madeira têm inclinações superiores a 15%.

No entanto, não só apenas estes fatores devem ser tidos em consideração para saber qual a melhor inclinação a dar a uma cobertura. Juntamente a estes, variáveis como a tradição, exposição ao vento e regime de pluviosidade devem ser incluídos na tomada de decisão.

Tal como as coberturas planas se diferenciam devido à variação de alguns fatores, também o mesmo acontece com as coberturas inclinadas. Este tipo de cobertura pode ter diferentes configurações estruturais, nomeadamente no que se refere ao tipo de vertente [7], como se encontra apresentado no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Classificação de coberturas inclinadas quanto ao tipo de vertente

Tipo de vertente	Característica
Vertente simples ou a uma água	Têm uma pendente que cobre todo o edifício e encaminha a água para um dos lados do edifício
Vertente a duas águas	Cobertura mais comum. Cada vertente tem inclinação independente unindo-se na cumeeira central, que pode ser um ponto de ventilação ou iluminação dependendo das exigências do edifício
Vertente a três águas	Utilizado apenas em edifícios com uma única empena. Esta solução pode ser problemática em termos estruturais visto os pórticos terem de estar em uniformidade com a cumeeira.
Vertente a quatro águas	Este gênero está normalmente ligado a edifícios com a forma de um quadrilátero.
Vertente com configurações especiais	Encontram-se em edifícios com exigências específicas de ventilação, iluminação ou drenagem para grandes vãos.

Escolhido o tipo de vertente a utilizar mediante as características do edifício, a inclinação a dar às águas de um telhado é de extrema importância, sendo, uma inclinação demasiado elevada ou reduzida, a razão de muitos problemas.

Um telhado com águas muito inclinadas tem como inconvenientes [2]:

- A inestética adoção de telhados nórdicos em zonas setentrionais;
- Maior gasto de volume de estrutura e material de revestimento;
- Obrigatoriedade do uso de peças metálicas para fixação uma vez que o desprendimento do material de revestimento ocorre com maior facilidade;
- Aumento dos efeitos de pressão negativa do vento sobre a cobertura.

Ao invés, um telhado com águas pouco inclinadas tem como inconvenientes [2]:

- Dificuldade de escoamento da água;
- Redução da facilidade de escoamento da neve;
- Maior sobreposição entre telhas devido a uma maior probabilidade de entrada de água da chuva por ação do vento, levando a um maior gasto de telhas;
- Maior probabilidade de formação de colónias de musgos.

2.1.3 AÇÕES E EXIGÊNCIAS DAS COBERTURAS

As coberturas, como limite superior dos edifícios, estão sujeitas a inúmeras ações exteriores e interiores e têm uma série de exigências a cumprir no desempenho do seu papel funcional.

Todos os elementos, desde o revestimento ao isolamento térmico, passando pela estrutura de suporte e sistema de impermeabilização, têm o seu próprio papel no que respeita ao funcionamento adequado da cobertura em geral. O que se pretende neste item é fazer uma síntese global das principais exigências funcionais a que uma cobertura tem de obedecer, fazendo também referência às principais ações a que está sujeita.

Ao longo deste capítulo, será pormenorizado o comportamento que cada elemento individual tem de obedecer, aquando da especificação de cada um deles.

Posto isto, as principais exigências a ter em consideração numa cobertura são [7]:

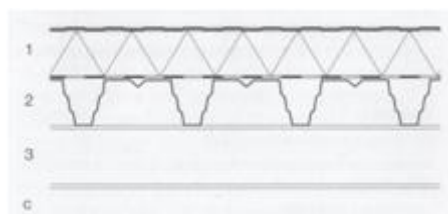
- Exigências relativas à segurança;
- Exigências relativas à aptidão ao uso;
- Exigências relativas à conservação das características;
- Exigências relativas à manutenção;

2.1.3.1 Exigências relativas à segurança

As exigências relativas à segurança incidem fundamentalmente em três vertentes. Segurança relativamente à ação do vento, à ação do peso próprio e, à ação da neve.

A ação do vento nas coberturas varia consoante a presença de alguns fatores e pode ser contralada com a adoção de algumas medidas. Esta ação pode tomar contornos mais ou menos relevantes dependendo não só da sua velocidade e direção, mas também da localização e geometria da cobertura. As propriedades e permeabilidade dos componentes que se encontram à superfície, bem como as características dos elementos de fixação, são também fatores relevantes para combater esta importante e relevante ação. As forças que o vento aplica na estrutura podem ser de fricção, pressão e sucção, podendo ser combatidas com medidas como a rigidificação da estrutura, com a alteração da geometria da cobertura ou ainda, com o aumento do amortecimento.

A ação do peso próprio da cobertura é a soma de todos os elementos que a constituem (revestimento, isolamento térmico, camadas de proteção etc.). Esta é uma ação permanente e as cargas de cada elemento devem ser consideradas com bastante cuidado no seu dimensionamento. Na Fig 2.3 é apresentado um exemplo de uma cobertura metálica com a discriminação do peso próprio de cada constituinte.



Vigas metálicas com chapa de perfil trapezoidal

1 – Impermeabilização, isolamento térmico, etc.	0.35 kN/m ²
2 – Chapa de perfil trapezoidal	0.20 kN/m ²
3 – Viga, p.e. HEA afastadas de 3.00 m	0.15 kN/m ²
Total	0.70 kN/m²

Fig 2.3 - Peso Próprio discriminado de uma cobertura metálica [8].

Relativamente à ação da neve, apesar de ter alguma relevância em algumas zonas do país, na maioria dos casos não é muito tida em consideração na fase de projeto. No entanto, é importante a reflexão sobre a sua ação, nomeadamente quando se considera o tempo de deposição e a contribuição de outros

fatores. A título de exemplo, a neve quando está fresca tem um peso volúmico aparente de aproximadamente 1 KN/m^3 , com algumas horas/dias de consolidação o peso passa a ser de 2 KN/m^3 e, quando há ocorrência de precipitação sob a forma de chuva sobre a neve depositada, o peso volúmico toma o valor de 4 KN/m^3 , ou seja, tem um aumento bem significativo [9]. A forma da cobertura, as propriedades térmicas da mesma e a rugosidade da sua superfície, contribuem bastante para a distribuição da neve e assim para a influência que ela tem no peso a suportar pela cobertura.

Ainda pode ser considerada a ação imposta pela circulação de pessoas, o tipo de utilização do edifício ou equipamentos. Contudo, os tipos de coberturas abordadas neste estudo incorporam apenas o acesso de pessoas para trabalhos de manutenção e reparação, não sendo por isso de grande relevância o desenvolvimento mais pormenorizado desta ação.

2.1.3.2 Exigências relativas à aptidão ao uso

A presença desta aptidão pela cobertura é necessária para o adequado uso do edifício que esta alberga, e são inúmeras as exigências a que se tem de obedecer. A estanquidade à água, a suscetibilidade de condensações, a conservação da resistência mecânica e o isolamento térmico e acústico [7] são as que se consideraram mais relevantes e cruciais para cumprir as exigências mínimas aceitáveis.

No que diz respeito à estanquidade à água, o elemento de proteção da cobertura, o sistema de ventilação e o tamanho das aberturas dos dispositivos de iluminação e ventilação têm um papel fundamental, impedindo a entrada de água para o interior do edifício. Um adequado recobrimento dos elementos descontínuos e uma inclinação suficiente da cobertura são medidas que reduzem muito a possibilidade de ocorrência deste perigoso risco.

A suscetibilidade às condensações é um dos mais sérios riscos existente em todo o tipo de edifícios. As condições interiores e exteriores, bem como a qualidade e características dos elementos são fundamentais para a ocorrência ou não deste fenómeno. Devido à elevada problemática que este assunto acarreta e à natureza do estudo que se está a desenvolver neste trabalho, a temática das condensações será abordada mais pormenorizadamente nos próximos capítulos.

Em relação à conservação da resistência mecânica do sistema estrutural da cobertura, esta deve ser ponderada para que durante a sua vida útil assegure as características e funções a que foi destinada. Esta é fundamental para a aptidão ao uso mas, antes de mais, é uma exigência relativa à segurança uma vez que a permanência da qualidade dos materiais é crucial para a segurança quer da estrutura quer dos ocupantes do edifício.

O isolamento térmico e o isolamento acústico têm papéis diferentes mas com a mesma finalidade, proporcionar conforto aos ocupantes. O conforto térmico é de extrema importância quer para o bem-estar dentro do edifício quer para a necessidade de conservação de energia. A aplicação da camada de isolamento acústico serve para impedir a entrada de sons exteriores indesejáveis e para proporcionar uma boa qualidade auditiva no espaço. Este aspeto torna-se ainda mais crucial em espaços fechados de lazer pois têm sempre um ruído acima do habitual.

2.1.3.3 Exigências relativas à conservação das características

O efeito dos agentes do meio ambiente, a compatibilidade de materiais, as ações biológicas ou animais e os efeitos de movimento de suporte, são itens a ter em consideração quando se trata das exigências na conservação das características da cobertura.

Os agentes do meio ambiente, como o vento, temperatura, radiação solar, a água sob várias formas e os agentes químicos, formam um grupo de intempéries extremamente prejudiciais para qualquer

envolvente de um edifício. As fortes rajadas do vento, as alternâncias bruscas da temperatura, a radiação UV ou infravermelha, a chuva, neve ou água estagnada, são tudo agressividades que degradam a cobertura e os materiais que a constituem. Assim, são necessárias medidas preventivas sérias para evitar que a ação destes agentes atmosféricos provoque danos incontornáveis na estrutura.

A compatibilidade de materiais deve ser bem analisada visto ser um dos fatores mais responsáveis pelo aparecimento de anomalias em coberturas. Por esta razão, este assunto será abordado com mais pormenor no capítulo 4. No entanto não é de mais ressaltar que todos os materiais, de revestimento, de proteção ou de suporte, entre outros, devem apresentar características que, em conjunto, não provoquem fenómenos que degradem os elementos.

As ações de desenvolvimento de organismos vegetais, acumulação de vegetação ou a presença de animais, são fenómenos incontornáveis nas coberturas. Assim, a única medida para eliminar a presença destes agentes, é a manutenção periódica para limpeza e inspeção.

A estrutura de suporte da cobertura transmite à mesma as deformações que sofre, proporcionando movimentos cíclicos de alongamento-encurvamento à cobertura que, se não for constituída por elementos que apresentem um bom comportamento a estes efeitos pode apresentar roturas sérias para a segurança global do edifício. Assim, todos os elementos devem ser escolhidos com vista a responder da melhor forma a estas solicitações.

2.1.3.4 Exigências relativas à manutenção

Os trabalhos de manutenção são cada vez mais importantes para aumentar a vida útil dos elementos e para prevenir as anomalias. Sendo um dos principais assuntos deste trabalho, a manutenção das coberturas terá o seu próprio capítulo (5) onde será abordada com todo o detalhe obrigatório a esta temática.

2.2 ESTRUTURAS METÁLICAS DE SUPORTE

2.2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Como foi dito na introdução, as coberturas estão expostas a um largo conjunto de ações, quer durante a sua construção quer durante a sua vida útil. O real propósito de uma estrutura de suporte é resistir a essas ações e garantir a estabilidade e capacidade de serviço da construção. Um projeto adequado de todos os elementos que constituem a estrutura de suporte previne valores elevados de deformação e vibração que, no pior dos casos, pode conduzir ao colapso total da estrutura.

A magnitude das várias ações está sujeita a variações em termos de tempo e posição. Como as propriedades dos materiais que constituem o edifício estão sujeitas ao natural desgaste e os seus componentes são produzidos com certas tolerâncias, a resistência dos elementos de suporte não pode ser prevista totalmente [8].

Após todas as variantes e incertezas ligadas às ações e exigências relacionadas com uma cobertura, está claro que numa estrutura de suporte de carga apenas se pode atingir um nível razoavelmente elevado de segurança e nunca uma certeza absoluta aquando do seu dimensionamento. Deste modo, para ser possível manter um nível uniforme de segurança a Comunidade Europeia adotou em 1975 um programa para conciliar todos os códigos técnicos de projetos de estruturas. No que diz respeito a este trabalho, para o projeto de estruturas de aço foi elaborado o “EN 1992 (Eurocode 3): Design of steel structures”.

No lado da resistência, os valores característicos são estabelecidos a partir de ensaios de carga que fornecem os valores de rigidez e resistência dos materiais mais comuns em edifícios. Assim, para se calcular uma estrutura de aço, utiliza-se um fator de segurança de 1,1. No Quadro 2.3 são apresentados os valores característicos de peso-próprio dos metais mais utilizados nas estruturas.

Quadro 2.3 - Valores característicos do peso-próprio de materiais metálicos [8]

Metal	PP (KN/m³)
Alumínio	27
Chumbo	114
Cobre	89
Bronze	85
Aço	78,5
Zinco	72

As estruturas de suporte das coberturas dividem-se em estruturas contínuas e descontínuas. As contínuas incluem apenas as lajes de betão e são vantajosas quando se pretende tirar utilidade do desvão. No caso das estruturas descontínuas, estas já permitem serem elaboradas numa maior variedade de materiais onde se inclui o aço.

Nos subcapítulos seguintes será feita referência aos vários tipos de estruturas de suporte que normalmente são elaboradas a partir de materiais metálicos. Contudo, importa referir que a forma a dar à estrutura, e outras variantes, são de extrema importância, sobretudo para combater o seu principal inimigo atmosférico, o vento. Como principais soluções destacam-se [2]:

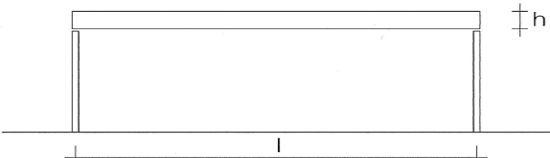
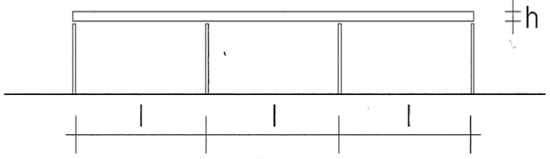
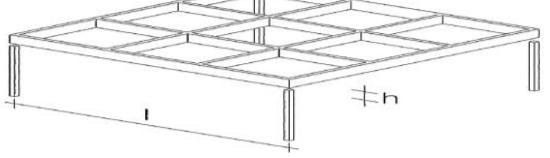
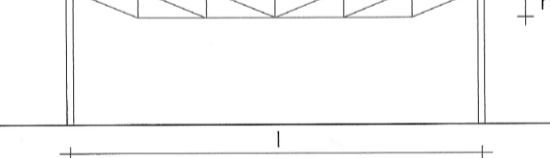
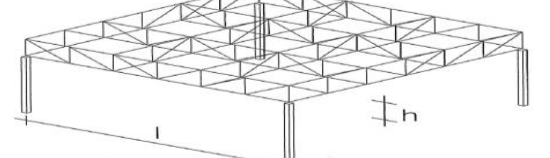
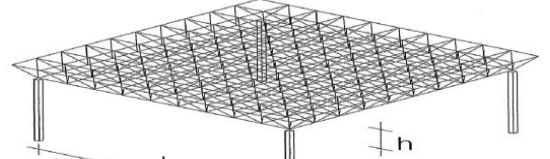
- Projetar uma volumetria que apresente uma menor resistência ao vento;
- Utilizar uma estrutura de suporte constituída por materiais pesados, como aço em perfis laminados de grande dimensão;
- Utilizar materiais que apresentam alguma flexibilidade;
- No dimensionamento da estrutura ter em consideração que, devido às forças de sucção que o vento provoca, os tramos à tração (de seção mais reduzida) poderão começar a funcionar à compressão;
- As ligações devem ser suficientemente resistentes para que não haja a possibilidade de levantamento da estrutura;
- Fazer o contraventamento da estrutura.

2.2.2 PRINCIPAIS ESTRUTURAS DE SUPORTE

2.2.2.1 Sistemas estruturais primários

As estruturas primárias constituem o sistema de suporte que irá carregar a cobertura. Assim, no Quadro 2.4 encontra-se uma visão geral de alguns sistemas primários em aço normalmente utilizados, bem como algumas informações relacionadas com valores da altura em relação ao vão.

Quadro 2.4 - Sistemas estruturais primários em aço [8]

Sistema Maciço	Viga simplesmente apoiada		$h = \frac{l}{20}$
	Viga contínua em três vãos		$h = \frac{l}{25}$
	Grelha		$h = \frac{l}{25} - \frac{l}{35}$
Sistema Trelaçado	Treliça simplesmente apoiada		$h = \frac{l}{10} - \frac{l}{15}$
	Grelha trelaçada		$h = \frac{l}{15} - \frac{l}{20}$
	Treliça espacial		$h = \frac{l}{15} - \frac{l}{30}$

2.2.2.2 Vigas de cobertura

No geral, podem-se considerar três tipos de vigas:

- Vigas vazadas;
- Vigas em alma cheia;
- Vigas trelaçadas.

Vigas vazadas e em alma cheia

As vigas vazadas e em alma cheia são executadas a partir de perfis em aço, geralmente laminados a quente ou quinados a frio. Estes permitem uma ágil construção de estruturas para coberturas pois as ligações são simples e resistentes. Segundo *Mascarenhas* [2], podemos encontrar os perfis laminados em várias formas: Perfil “L” laminado com ou sem linha horizontal, perfil laminado retangular e, perfil laminado segundo o contorno da cobertura ou constituindo um plano (Quadro 2.4 – Grelha). Na Fig 2.4 estão apresentados dois exemplos de asnas de tramos de igual seção, constituídas por perfis laminados.

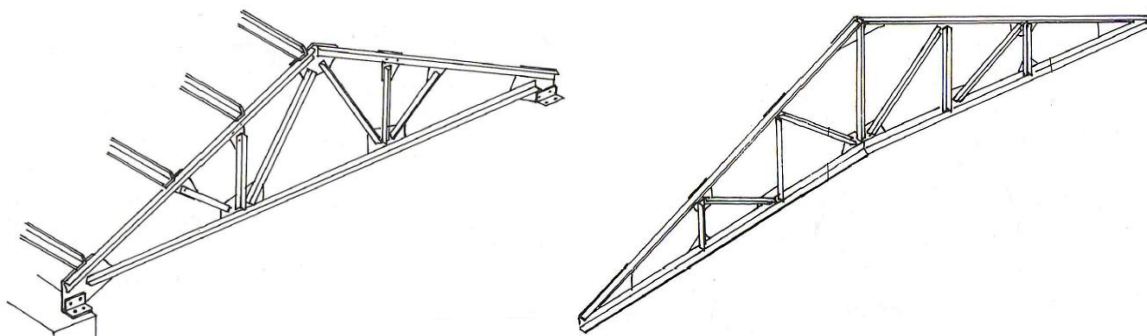


Fig 2.4 – Perfil “L” laminado com e sem linha horizontal [2]

As vigas vazadas permitem aumentar significativamente a altura do perfil, podendo-se assim vencer vãos bem superiores ao normal. Nas vigas em alma cheia, a principal dificuldade reside na ligação quer de duas vigas quer da viga com o pilar.

Na construção, são diversas as formas existentes de perfis metálicos, adaptando-se às características estruturais de cada edifício. Normalmente, são utilizados:

- Perfis em I ou duplo I;
- Perfis em H;
- Perfis U.

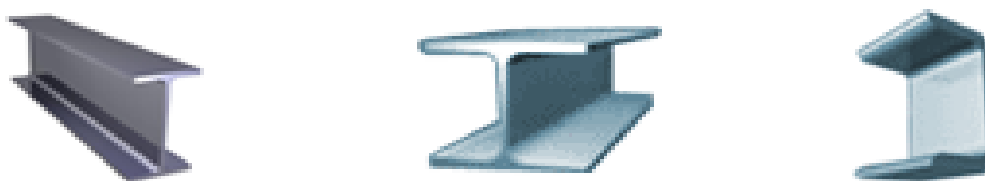


Fig 2.5 - Soluções de perfis metálicos em I, H e U, respetivamente [10]

Vigas treliçadas

Quer se pretenda uma cobertura plana, inclinada ou até mesmo curva, uma solução cada vez mais utilizada em coberturas metálicas são as vigas treliçadas. Edifícios industriais e desportivos estão muitas vezes munidos com este tipo de suporte visto que torna possível a utilização de grandes vãos.



Fig 2.6 – Viga treliçada como suporte da cobertura de uma fábrica [8]

Tal como nas vigas vazadas, também neste tipo de vigas se encontra um elevado conjunto de formas dos perfis que a constituem. A Fig 2.7 apresenta algumas dessas soluções.

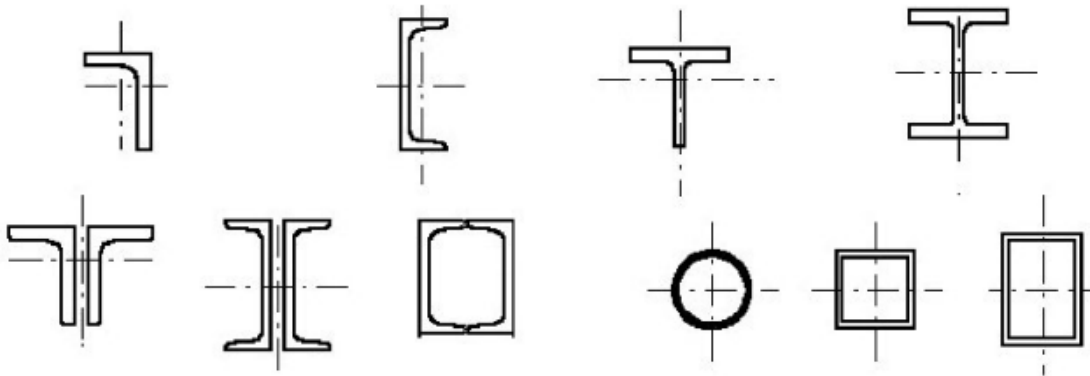


Fig 2.7 - Soluções de perfis que constituem coberturas em treliça [11]

2.2.2.3 Treliças espaciais

As treliças espaciais são, como o nome indica, estruturas espaciais que englobam as estruturas reticuladas tridimensionais. Estas são formadas por barras, não complanares e ligadas por nós que, ao contrário das estruturas metálicas habituais, assimilam os esforços aplicados independentemente. Esta diferença de distribuir amplamente os esforços entre os elementos e apresentar uma maior capacidade de responder a uma ação localizada, são apenas duas das várias vantagens que advêm deste sistema. Juntamente com estas, as treliças espaciais apresentam [12]:

- Boa relação entre o peso próprio e vão;
- Possibilidade de grandes vãos livres;
- Beleza arquitetónica;
- Facilidade no transporte e montagem devido ao peso próprio reduzido do elemento;
- A elevada repetição dos elementos e nós permite uma redução de custos quando os vãos são relativamente grandes;
- A ampliação e desmontagem da estrutura é relativamente fácil quando as estruturas não são permanentes.



Fig 2.8 – Treliza espacial da Piscina Olímpica da Póvoa de Varzim

Nestas estruturas, que podem ser elaboradas em alumínio e aço, não se pode definir qual a geometria mais habitual. Isto porque, devido à natureza dos elementos que a constituem, ser possível combinar uma grande quantidade de arranjos geométricos, dependendo do que se pretende em cada edifício.

Contudo, apesar de todas as vantagens apresentadas na adoção deste tipo de estrutura de suporte, o seu sucesso depende da escolha correta de alguns parâmetros que influenciam a sua constituição. Assim, definem-se como parâmetros essenciais ao comportamento da estrutura e também ao seu custo final [12]:

- Relação altura/vão (como referido no Quadro 2.4 é normalmente $h = l/15 - l/30$);
- Comprimento dos módulos;
- Tipos de apoios;
- Localização e distribuição dos apoios.

Todos estes parâmetros devem ser estudados e criteriosamente definidos na fase de projeto, para que a estrutura apresente todas as vantagens esperadas com a sua aplicação.

2.2.3 LIGAÇÕES METÁLICAS

As estruturas de coberturas metálicas caracterizam-se pela simplicidade e resistência das suas ligações, no entanto, a solução mais eficaz deve ser bem ponderada tendo em consideração algumas propriedades dos metais. Posto isto, quando é necessário unir peças metálicas entre si recorrem-se a processos em que as ligações são soldadas, rebitadas ou aparafusadas.

As principais vantagens relacionadas com a utilização de parafusos são a sua alta resistência e o facto de não necessitar de mão-de-obra qualificada na sua execução. A sua ligação forma juntas entre as peças que funcionam por atrito.

Em relação a ligações por soldadura, estas acarretam elevados riscos na sua execução pois são zonas preferenciais para o início da ruína da estrutura. Estas ligações unem de forma rígida os elementos para que eles funcionem como um só, não permitindo assim movimentações entre as peças. Dentro deste processo de ligação dos elementos metálicos pode-se encontrar [13]:

- Soldadura por fusão;
- Soldadura por eléctrodo revestido;
- Soldadura por arco submerso;
- Soldadura por fios fluxados;
- Soldadura por eletroescória.



Fig 2.9 - Ligação aparafusada e soldada, respetivamente [14]

As estruturas metálicas têm algumas propriedades que obrigam à ponderação de alguns fatores aquando da escolha do tipo de ligação a utilizar. Por isso, entre outros fatores, deve-se ter em consideração o seguinte [2]:

- A estrutura está sujeita a tensões secundárias provenientes das variações de temperatura. Para tal deve-se proteger a estrutura colocando-a pelo interior do isolamento térmico.
- Deve ser prevista uma pequena elevação ou rebaixamento da linha na parte central pois as estruturas apresentam sempre uma ligeira flexão quando têm uma linha horizontal;
- Em incêndios, as estruturas metálicas são mais vulneráveis ao colapso do que as estruturas em madeira ou betão pois a dilatação devido ao calor provoca maiores deformabilidades.

2.3 ISOLAMENTO TÉRMICO

O isolamento térmico é um elemento de extrema importância para garantir um clima interior adequado, protegendo o edifício contra a humidade e reduzindo os níveis de consumo de energia. Em relação a este último, a aplicação deste isolamento é crucial para a poupança de energia nos processos de arrefecimento e aquecimento dos espaços interiores do edifício tornando-o mais eficiente em termos energéticos.

A caracterização dos materiais que podem ser isolantes térmicos insere-se no estudo de dois parâmetros: a condutibilidade térmica e a resistência térmica. Segundo o ITE 50 [15], os materiais e produtos podem ser considerados como aptos para isolamento térmico de espaços quando a sua condutibilidade térmica é menor do que $0,065 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$ e a sua resistência térmica é maior do que $0,030 \text{ (m}^2\text{.}^\circ\text{C)/W}$. No entanto, na generalidade da bibliografia sobre o assunto e para estudos que envolvam isolamentos térmicos, os valores analisados são os da condutibilidade térmica (λ) e do fator de resistência ao vapor de água (μ), que estão relacionados com a permeabilidade do isolamento.

2.3.1 LOCALIZAÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO

A posição deste elemento numa cobertura é de extrema importância pois interferirá diretamente com o tipo e valor das ações térmicas, mecânicas e outras, nas diferentes camadas que constituem a cobertura.

2.3.1.1 Coberturas Planas

Em coberturas com esta pendente, a posição do isolamento térmico resume-se a três diferentes sítios, formando com esta variação os seguintes tipos de coberturas:

- Cobertura tradicional (também conhecida como warm roof);
- Cobertura invertida;
- Cobertura fria.

A solução em cobertura tradicional caracteriza-se por um isolamento térmico situado como camada intermédia, ou seja, como suporte da camada de impermeabilização. A utilização deste tipo de cobertura está sujeito a alguns inconvenientes nomeadamente à elevada exposição da impermeabilização e ao elevado risco de condensação entre a camada de isolamento térmico e da impermeabilização.

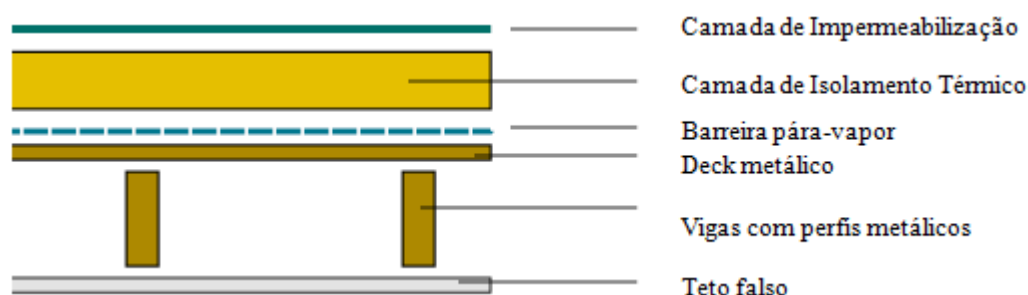


Fig 2.10 - Cobertura Plana Tradicional [16]

No seguimento da solução anterior e com o intuito de prevenir os problemas que originava, surgiu a cobertura plana invertida. Esta, como o próprio nome indica, é diferente da anterior devido ao isolamento térmico se situar sobre a camada de impermeabilização. De realçar que esta solução só se tornou possível devido ao desenvolvimento tecnológico na matéria de materiais isolantes, nomeadamente na sua baixa sensibilidade em relação à água. As principais vantagens da alteração da posição do isolamento térmico são a proteção da camada de impermeabilização das várias ações e a não necessidade de colocação de uma barreira pára-vapor devido ao facto da tela impermeabilizante funcionar como inibidor de condensações.

A terceira solução de aplicação do isolamento habitual é uma forma de cobertura não muito utilizada em situações habituais, só sendo utilizada em edifícios em que as condições internas assim o exigem, como é o caso de piscinas e industriais em que a sua higrometria interior é muito elevada. Este tipo de cobertura individualiza-se pelo facto de o isolamento térmico se encontrar abaixo da estrutura resistente, normalmente sobre tetos falsos ou fixado mecanicamente à estrutura de suporte.

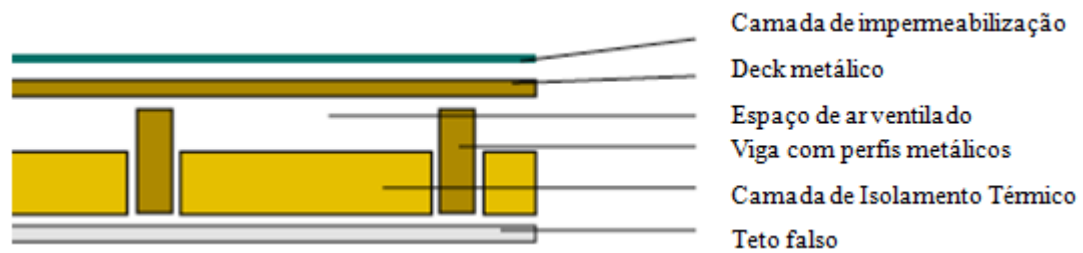


Fig 2.11 - Cobertura fria com espaço de ar ventilado [16]

2.3.1.2 Coberturas Inclinadas

Nestas coberturas com pendente superior, diferenciam-se apenas duas soluções na localização do isolamento. A hipótese em que o isolamento térmico se encontra nas vertentes da cobertura e, a hipótese em que se encontra sobre a esteira horizontal [15].

No intuito desta tese será dado mais ênfase à situação em que o isolamento térmico se encontra sobre a esteira horizontal pois quando o mesmo se encontra nas vertentes da cobertura inclinada o desvão é habitável, sendo necessário climatizar o ambiente do mesmo consoante as condições desejadas.

Assim, na solução do isolamento sobre a esteira horizontal (como foi apresentado também no caso das coberturas planas), este pode ser contínuo ou descontínuo. Um isolamento térmico descontínuo encontra-se interrompido pelos elementos da estrutura de suporte (Fig 2.11), o que ao provocar estas discontinuidades gera um aumento do coeficiente de transmissão térmica da cobertura. Quando se pretende um isolamento térmico contínuo este é fixado à estrutura de suporte e localiza-se entre esta e o revestimento inferior do desvão. Um exemplo de uma solução com isolamento térmico contínuo será demonstrado no capítulo seguinte aquando da caracterização higrotérmica de uma cobertura da nave de uma piscina. Importa ressaltar que o desvão existente na cobertura deve ser ventilado devido ao elevado risco de condensações internas.

2.3.1.3 Materiais de isolamento térmico

A forma mais habitual dos isolamentos térmicos são em placas, esta tipologia ajuda não só no transporte do material mas também na sua colocação em obra. As dimensões das placas variam de material para material mas normalmente são fabricadas entre (1 x 0,5) e (1 x 1) metros. Os isolantes térmicos mais habituais são as lãs minerais e os poliestirenos, mas também se podem encontrar fibras de madeira e vidro celular. No Quadro 2.5, apresentam-se alguns destes materiais bem como valores dos principais parâmetros que os caracterizam.

Quadro 2.5 - Propriedades de isolamentos térmicos correntes (valores médios) [15] [17]

Material		Massa volúmica aparente seca: ρ [kg/m ³]	Condutibilidade térmica, valor de cálculo: λ [W/(m.°C)]	Fator de resistência à difusão do vapor de água: μ [-]
Lã Mineral (MW)	Lã de rocha	35-100	0,040	1,1 a 1,3
	Lã de vidro	15 - 100	0,040	1,1 a 1,5
Poliestireno	Expandido extrudido (XPS)	25 - 40	0,037	80 a 300
	Expandido moldado (EPS)	13 - 15	0,042	36 a 59
Outros	Painéis de fibras de madeira	400	0,10	5
	Vidro celular	125	0,050	∞

2.4 BARREIRA PÁRA-VAPOR

Uma barreira pára-vapor é um material ou conjunto de materiais que possui uma elevada resistência à difusão do vapor e que por isso limita a transmissão de vapor de água [17]. Limitar é a palavra adequada para este tipo de materiais pois, ao contrário do que o nome possa levar a pensar, eles não impedem completamente a passagem do vapor de água apesar de limitarem, e muito, a sua passagem.

2.4.1 MATERIAIS “BARREIRA PÁRA-VAPOR”

Segundo *Pinto* [18], as barreiras pára-vapor dividem-se em dois grupos principais: membranas e películas de revestimento. As primeiras são elementos laminares pré-fabricados de pequena espessura e os segundos compostos semi-líquidos que ganham resistência à difusão do vapor após o seu endurecimento. No Quadro 2.6 são explanados alguns exemplos de materiais que podem constituir uma barreira pára-vapor.

Quadro 2.6 - Propriedades de alguns materiais “barreira pára-vapor” [17]

Tipologia	Material	Espessura: e [mm]	Espessura de Camada de Ar de Difusão Equivalente: S _d [m]	Permeância ao Vapor de Água: Pe [Kg/(m ² .s.Pa)x10 ⁻²]	
Membranas	Rígidas	Folha de acrílico reforçado com fibra de vidro	1,4	27	6,9
		Chapa metálica em alumínio	0,7 – 1,2	∞	0
	Flexíveis	Feltro betuminoso	3	10	18
		Folha de alumínio	(15 – 100) x 10 ⁻³	> 5,9 - ∞	<31 - 0
		Folha de Polietileno	(50 – 250) x 10 ⁻³	19 - 110	9,1 – 1,7
		Folha de PVC	(50 – 800) x 10 ⁻³	2,3 – 8,1	39 – 23
		Papel betuminoso	300 x 10 ⁻³	0,90	205
Películas de Revestimento	Revestimento betuminoso com polímeros modificados (1 camada)	4	8	25	
	Resina de poliéster reforçada com fibra de vidro	1,5	75	2,5	

Na caracterização destes elementos, o parâmetro de maior interesse é a sua permeância ao vapor de água. Deste modo, apresentados no Quadro 2.6 os valores de permeância de alguns materiais que podem constituir barreiras pára-vapor, segue-se a especificação dos valores utilizados pelo CSTC para a classificação destas barreiras em quatro classes.

Quadro 2.7 - Classificação de barreiras pára-vapor em função da permeância ao vapor de água[19]

Classe	S_d [m]	Pe [Kg/m ² .s.Pa]
E1	$2 < S_d \leq 5$	$39 \times 10^{-12} \leq Pe < 98 \times 10^{-12}$
E2	$5 < S_d \leq 25$	$7,8 \times 10^{-12} \leq Pe < 39 \times 10^{-12}$
E3	$25 < S_d \leq 200$	$0,98 \times 10^{-12} \leq Pe < 7,8 \times 10^{-12}$
E4	$S_d > 200$	$Pe < 0,98 \times 10^{-12}$

2.4.2 SELEÇÃO DE BARREIRAS PÁRA-VAPOR

Na escolha de uma barreira pára-vapor para combater ambientes interiores agressivos no interior de alguns edifícios, o principal valor a ser analisado é claramente o da permeabilidade ao vapor. No entanto, existem também outras propriedades que poderão influenciar o comportamento destes elementos, dependendo do tipo de aplicação desejada, sendo elas [18]:

- Resistência mecânica;
- Elasticidade;
- Estabilidade dimensional e higrotérmica;
- Resistência a agentes de deterioração;
- Facilidade de fabrico e sua aplicação;
- Comportamento ao fogo;
- Aderência.

Numa cobertura, a aplicação de uma barreira membrana, tem normalmente como critérios exigidos (além da sua permeabilidade requerida consoante as condições higrotérmicas) a alta resistência à abrasão, a média resistência ao corte e a baixa resistência ao punçoamento [18].

Apresentadas algumas propriedades variáveis dos materiais que podem constituir estas barreiras, existem também alguns fatores exteriores que podem afetar o desempenho esperado, como por exemplo:

- A existência de orifícios originados por perfurações, durante o manuseamento e aplicação do material, aumentando a sua permeabilidade;
- Temperaturas envolventes demasiado elevadas ou demasiado baixas, com substâncias passíveis de degradar o material;
- Má selagem das juntas ou pontos de atravessamento de tubagens, fazendo com que a continuidade da barreira não se verifique, sendo esta uma condição indispensável em todas as classes.

Deste modo, na seleção de uma barreira pára-vapor, todas as solicitações e variantes possíveis devem ser cuidadosamente analisadas, justificando-se muitas vezes a realização de ensaios que permitam simular o comportamento de todo o elemento após submetido a determinadas condições.

Por último, resta ainda realçar que as barreiras do tipo películas de revestimento asseguram a continuidade do elemento enquanto as membranas necessitam de materiais acessórios para a selagem das juntas.

2.5 SISTEMAS DE REVESTIMENTOS METÁLICOS

2.5.1 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES

O revestimento de uma cobertura é das componentes mais importantes de um edifício pois é das primeiras barreiras de proteção contra os agentes exteriores. Estes elementos podem ser de diferente natureza, forma, dimensão e estrutura de suporte o que, aliados às características pretendidas para cada edifício dão origem a um grande conjunto de possibilidades de escolha para utilização.

Devido à sua exposição, o revestimento está muito sujeito aos agentes climáticos, principalmente à radiação solar, numa maior extensão do que todos os outros componentes do edifício. Isto pode levar a

que as altas temperaturas da superfície gerem anomalias no revestimento. Os valores de temperatura atingidos por estas superfícies estão intimamente ligados ao tipo de material que as constitui, sendo que um revestimento em folhas metálicas absorve mais a radiação, principalmente se for de cor escura.

Quadro 2.8 – Coeficientes de emissão de alguns materiais comuns em edifícios [8]

Material	Coeficiente de emissão
Alumínio polido	0,04 – 0,06
Alumínio rugoso	0,07 – 0,09
Aço polido	0,14 – 0,32
Aço oxidado	0,80 – 0,90
Ferro polido	0,20 – 0,30
Ferro oxidado	0,60 – 0,90
Betão	0,92 – 0,94
Madeira	0,80 – 0,90

Relativamente aos revestimentos metálicos, a sua aplicação incide principalmente em pavilhões industriais, complexos gimnodesportivos e edifícios de grandes dimensões, ou seja, locais que necessitem de grandes vãos para corresponder às exigências a que se destinam.

Os materiais metálicos são constituídos por elementos metálicos extraídos de minérios naturais dando origem a uma grande quantidade de produtos, desde os que são constituídos por elementos puros até aos que são conseguidos por combinação de diversos elementos, as ligas metálicas.

A principal divisão que existe neste grupo de materiais é a de metais ferrosos e não-ferrosos [13]. Em relação aos metais ferrosos eles incluem os aços (ligados e não ligados) e os ferros fundidos (cinzentos e brancos). Nos metais não-ferrosos encontram-se os não ferrosos de alta densidade, nomeadamente o cobre, níquel, zinco, chumbo, entre outros, e nos não ferrosos de baixa densidade o alumínio, a prata, o titânio, etc.

A utilização de revestimentos com constituição metálica engloba um conjunto de fatores que tornam benéfica a sua utilização, mas também outros que colocam problemas na sua utilização. Posto isto, a escolha do metal como revestimento de uma cobertura apresenta as seguintes vantagens:

- Possibilitam a construção de elementos de grande dimensão e consequentemente diminuem o número de juntas em relação a elementos de dimensões mais reduzidas;
- Apresentam grande versatilidade e uma infinidade de cores;
- Em coberturas de pendente mais reduzida garantem um bom escoamento das águas pluviais devido à sua impermeabilidade e reduzida rugosidade, sendo vantajoso também para a não fixação da neve;
- Possibilidade de serem recicladas (hoje em dia cada vez mais chapas metálicas são constituídas por materiais reciclados);
- Permitem a realização de coberturas com diferentes formas como coberturas curvas;
- Rapidez na execução da estrutura;
- Redução do peso e volume da estrutura e consequentemente alívio das fundações;
- Fácil colocação com mão-de-obra não especializada.

Por outro lado, a sua utilização também engloba as seguintes desvantagens;

- A necessidade de se utilizarem fixações aumenta o risco de infiltrações se estas não forem bem projetadas e executadas;
- Apresenta um fraco isolamento térmico e acústico;
- Tem uma elevada capacidade de absorção solar (como acima for referido);
- Elemento com elevada suscetibilidade à ocorrência de condensações;
- Difícil deslocação para manutenção;
- Possibilidade de corrosão em pontos onde a proteção não esteja abrangida;
- Necessita de cuidados na composição dos materiais devido às agressões químicas.

2.5.2 FIXAÇÃO DOS REVESTIMENTOS METÁLICOS

As chapas metálicas são consideradas elementos leves em comparação com as grandes dimensões que podem apresentar. Este fator, aliado à forte ação do vento que lhe está imposta, torna fundamental a sua adequada fixação à estrutura portante para satisfazer as exigências que lhe são destinadas. Quanto menor for a inclinação da cobertura, maior a sua probabilidade de levantamento em zonas de ventos fortes.

Existem diferentes métodos de fixação para estes revestimentos, como aparafusados, agrafados, encaixados, rebitados ou soldados. Todos dão para revestimentos em aço, alumínio, zinco e cobre à exceção do método por encaixe que não deve ser aplicado em elementos em cobre.

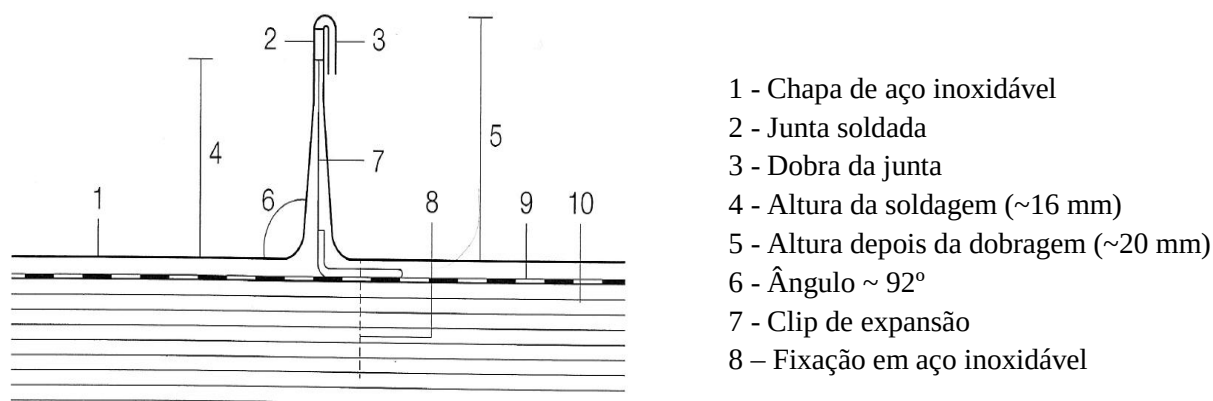


Fig 2.12 – Pormenor de uma junta soldada em chapa de aço inoxidável [8]

Quando estamos perante uma fixação aparafusada ou de rebites, os fatores que vão influenciar no número de fixações a utilizar e no espaçamento a dar entre eles são as dimensões do elemento e as condições exteriores a que está sujeito. Como se constata facilmente, uma cobertura que esteja sujeita a fatores climáticos e ações externas muito agressivas, terá de ter um espaçamento menor entre fixações para aumentar o seu nível de segurança.

O método de mais rápida aplicação é encaixando as chapas pois as juntas laterais encaixam-se facilmente entre si. No processo de agrafamento, a perfilagem da chapa é feita no local com a sobreposição lateral em chapas homogêneas através de uma bobine que agrafa a junta [20].

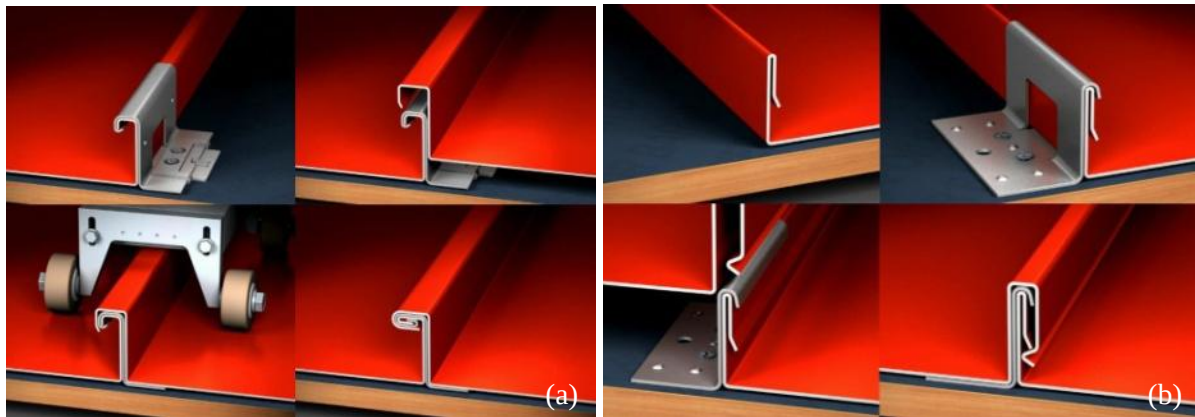


Fig 2.13 – (a) Pormenor de uma junta agrafada. (b) Pormenor de uma junta encaixada (direita) [20].

De realçar que, o fixadores utilizados devem ser compostos por materiais compatíveis com o material do revestimento metálico pois, como se verá mais à frente, é uma das causas de ocorrência de corrosão nas coberturas.

2.5.3 MATERIAIS DE REVESTIMENTOS SIMPLES

A solução mais básica de revestimento de uma cobertura são os perfis metálicos simples. Estes são obtidos através de um processo de perfilagem a frio das chapas metálicas, moldando a sua geometria e dimensão consoante o desejado. Os materiais que habitualmente os compõem são o aço, alumínio, zinco e o cobre. Os subcapítulos a seguir abordam mais especificamente cada um desses materiais.

2.5.3.1 Aço

O aço é um material produzido a partir de minérios onde o elemento químico “ferro” se encontra combinado especialmente com oxigénio. Este composto de ferro e carvão pode ser classificado quanto à composição química, ao teor em carbono, ao grau de desoxidação, à constituição estrutural e ao modo de produção [13]. É um material que tem possibilitado aos vários intervenientes na construção de executar soluções eficientes e de alta qualidade, pois tem características que permitem uma redução do tempo de construção, a racionalização no uso de materiais e uma menor incorporação de mão-de-obra, aumentando assim a produtividade.

Nas coberturas, este metal existe na forma de chapas, telhas ou soletos. Estas podem ser constituídas por diversas variantes do aço, ou seja, podem ser em aço galvanizado, inoxidável, lacado, com película plástica ou refletante. Deste modo, a escolha do tipo de aço é feita em função da localização da estrutura, nomeadamente da proximidade à costa marítima ou a ambientes industriais, da manutenção que será possível realizar ao longo do tempo e também, da previsão do comportamento estrutural [21].

São várias as ações externas que prejudicam o comportamento do aço, nas quais se destaca a corrosão. Como tal, houve a necessidade de serem criados mecanismos de proteção para proteger este metal e assim continuar com a sua crescente utilização na construção. Esta proteção pode ser de dois tipos [22]: proteção catódica onde se recorre a um metal mais reativo que o aço que se consome lentamente e protege a chapa, ou proteção por barreira mecânica em que o revestimento aplicado no aço evita o contacto deste com o meio, aumentando assim a sua longevidade.

Relativamente aos diferentes tipos de aço acima referidos, eles diferenciam-se pelo tipo de proteção que é aplicada na sua superfície (no capítulo 5 serão especificadas as diferentes formas de proteção). O aço galvanizado é vantajoso devido ao seu preço mais reduzido e ao bom comportamento que

apresenta face à corrosão, sendo que este pode levar um revestimento orgânico e assim formar o aço lacado. Relativamente às dimensões habituais das chapas metálicas em aço galvanizado, elas podem tomar diferentes valores como demonstra o Quadro 2.9 – Dimensões habituais de chapas metálicas perfiladas em aço galvanizado [8]Quadro 2.9.

Quadro 2.9 – Dimensões habituais de chapas metálicas perfiladas em aço galvanizado [8]

	Altura do Perfil [mm]	Largura do Perfil [mm]	Espessura [mm]	Peso [kg/m ²]
Aço galvanizado	35;65	250;305;333;400;500;600	0,63 – 1,0	6,7

O aço inoxidável, ao contrário das variantes de aço já referidas, é um material com maior durabilidade, apresentando um bom comportamento em diversos ambientes como os marítimos e industriais. Pode apresentar uma vasta gama de ligas que, pela adição de metais em diferentes percentagens, se adaptam a ambientes com vários níveis de corrosividade.

As chapas constituídas por este metal têm normalmente uma largura entre 350 e 670 mm e uma espessura que pode variar entre os 0.4 e 0.5 mm. Estas, quando são soldadas, apresentam um custo ligeiramente mais elevado mas a sua durabilidade e ecologia apresentam vantagens a longo prazo.

A forma mais habitual de encontrar este material é no interior das naves de piscinas, apresentando um excelente comportamento perante estes ambientes extremamente agressivos, principalmente perante o fenómeno de corrosão.

2.5.3.2 Alumínio

O alumínio é um elemento bem mais leve do que o aço, aproximadamente 1/3 do peso, não possui limite de fadiga, tem baixa dureza, baixo módulo de elasticidade e altos valores de poder refletor, calor específico e condutibilidade térmica. Apresenta ainda uma atraente coloração prateada e é bastante resistente à água das chuvas e à corrosão atmosférica.

Tal como o aço, este material pode ser utilizado em chapas, telhas e soletos, mas a sua aplicação nestes dois últimos é muito rara no nosso país. Em relação às chapas, estas são disponibilizadas normalmente nas dimensões dispostas no Quadro 2.10.

Quadro 2.10 - Dimensões habituais de chapas metálicas perfiladas em alumínio [8]

	Altura do Perfil [mm]	Largura do Perfil [mm]	Espessura [mm]	Peso [kg/m ²]
Alumínio	50;65	250;305;333;400;434;500;600	0,70 – 1,2	3,1 – 5,2

Um material de construção que reúne vantagens especiais e que, ao contrário de qualquer outro material reúne as três qualidades fundamentais num revestimento é a chapa canelada de alumínio. Este material apresenta grande duração, resistência e leveza [13]. Mantém uma boa conservação em locais onde outros metais foram rapidamente destruídos, não é quebradiça e não se danifica rapidamente em operações de montagem e ainda apresenta um peso equivalente a menos de metade do peso de uma chapa de aço galvanizada de alta resistência, sendo por isso a chapa cada vez mais utilizada em todo o mundo.

As chapas caneladas são normalmente uma liga de alumínio e manganésio que apresenta uma alta resistência ao ataque atmosférico e que se usa sem pintura. Estes aspetos fazem com que os serviços e gastos de manutenção sejam bastante reduzidos, o que constitui uma enorme vantagem.

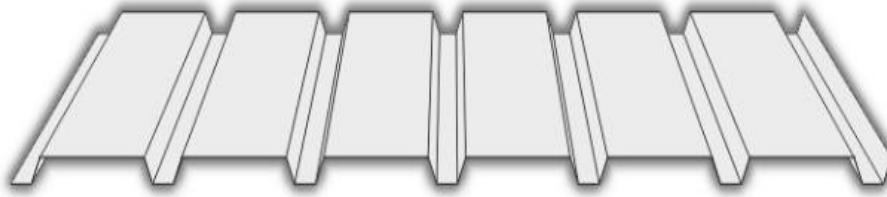


Fig 2.14 – Chapa canelada de alumínio [23]

É importante realçar que o contacto do alumínio com outros metais pode provocar alguns danos, pois este é eletronegativo em relação à maioria dos seus similares com exceção do magnésio, zinco e cádmio. Em relação ao aço, quando este não é protegido, a sua oxidação provoca ferrugem que ataca o alumínio, devendo-se proteger o aço por zincagem ou pintura. Quando se trata de aço inoxidável e este não é magnético, não tem qualquer influência negativa no alumínio. Com o cobre, o alumínio é extremamente afetado pela corrosão, facto que leva a que a sua utilização conjunta ser intensamente desaconselhável.

2.5.3.3 Zinco

O zinco é um metal brilhante de cor branca/cinzenta azulada, muito maleável e com boa tenacidade. Possui uma densidade próxima da do aço e uma ductilidade muito boa. A sua estrutura é fibrosa quando contém ferro ou granulada quando se junta com cobre, alumínio ou cádmio.

Em termos de oxidação, quando em contacto com o ar seco ou água pura o zinco não oxida mas se for atacado pela água das chuvas e águas que contenham CO_2 forma-se uma fina película protetora de óxido de zinco que o protege dos agentes atmosféricos.

O zinco laminado tem uma larga aplicação em aços galvanizados onde forma uma camada de proteção contra a corrosão e pode ser envernizado, esmaltado, cromado, niquelado e cobreado. Esta forma laminada é a forma mais habitual de encontrar o zinco na construção que, para além de ter grande aplicação como cobertura, pode ser encontrado em tubagens e revestimento de paredes.

2.5.3.4 Cobre

O cobre é a seguir ao ferro o metal mais utilizado na indústria, tanto no estado metálico como em ligas. Este é um material muito dútil, maleável e tenaz, apresentando um ótimo comportamento em ambientes marítimos, industriais e poluídos.

Este metal pode ser forjado, laminado, prensado a frio e a quente, podendo encontrar-se sob a forma de chapas, telhas, rolo, soletos e em folheado. A sua grande gama de cores atraentes e a sua resistência à corrosão, juntamente com outros fatores já referidos, faz com que o cobre tenha uma ampla utilidade na construção desde há longos anos.

Constituindo o revestimento metálico mais leve em coberturas devido à sua reduzida espessura, seria de esperar que tivesse uma utilização muito maior, mas o seu elevado preço faz com que seja preterido, por exemplo, ao zinco que tem um preço incomparavelmente mais barato.

2.5.4 REVESTIMENTOS ALTERNATIVOS

Como foi dito anteriormente, os perfis metálicos simples são a forma mais básica de revestimento de uma cobertura. No entanto, as problemáticas características internas, características de alguns edifícios, e as agressivas condições exteriores contribuíram para a procura e desenvolvimento de novas soluções, para que certas patologias decorrentes de alguns défices construtivos deixassem de ocorrer. Assim, surgiram soluções como o sistema “Deck” e o painel “Sandwich”, os quais serão detalhados a seguir.

2.5.4.1 Sistema “Deck”

O sistema “Deck” consiste numa estrutura planar da cobertura que é suportada pelas estruturas primárias, sendo fixado às mesmas mecanicamente. Este sistema, para além de desempenhar a sua função primária de suporte de cargas, também pode providenciar impermeabilidade à água, isolamento térmico e acústico e ainda proteção ao fogo, dependendo da forma construtiva adotada. Tem ainda de ter a habilidade de absorver as cargas aplicadas de forma segura e permanente, respeitando os limites de deformação.

As chapas metálicas que constituem este sistema são normalmente constituídas pelos mesmos materiais dos perfis metálicos simples, ou seja, o aço, o alumínio e o zinco. A sua forma era inicialmente ondulada, mas desde a segunda metade do século XX que têm maioritariamente um perfil trapezoidal, permitindo assim vencer vãos bastante superiores. A colocação destes elementos pode ser de duas formas [8]:

- Instalação positiva: o banzo superior da chapa é o banzo de maiores dimensões;
- Instalação negativa: o banzo superior da chapa é o banzo de menores dimensões.

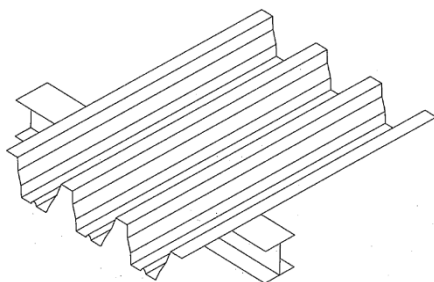


Fig 2.15 – Instalação negativa[8]

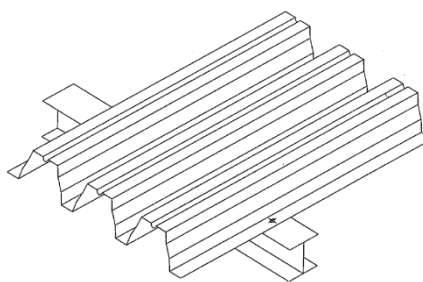


Fig 2.16 – Instalação positiva[8]

Este sistema tem a enorme vantagem de ser um elemento contínuo, sem juntas, que para além de ser perfeitamente estanque também anula as pontes térmicas e melhora as condições acústicas da ambiência interior. Aliado a estes benefícios, os serviços de manutenção que requerem são reduzidos e a sua durabilidade é bastante elevada.

A sua constituição é normalmente a seguinte:

- a) Chapa metálica;
- b) Barreira pára-vapor (opcional);
- c) Isolamento térmico;
- d) Elemento de impermeabilização;
- e) Camada de proteção.

A principal aplicação deste sistema é em edifícios com grandes superfícies, como centros comerciais, pavilhões industriais ou espaços gimnodesportivos.

2.5.4.2 Paineis “Sandwich”

Tendo em consideração apenas o aspeto, este tipo de revestimento misto não é mais do que uma camada de isolamento térmico no meio de duas chapas metálicas. No entanto, este sistema é muito mais do que isso, podendo desempenhar três funções essenciais: elemento portante, elemento impermeabilizante e isolamento térmico.

Tanto a superfície da chapa interior como a da chapa exterior pode ser plana ou com relevo, sendo que normalmente a inferior é mais plana por condicionantes estéticas e a superior tem relevo para assegurar que as juntas que unem as placas não fiquem em zonas de drenagem de águas pluviais. A figura apresenta dois exemplos de painéis “sandwich” relativamente à forma das chapas.

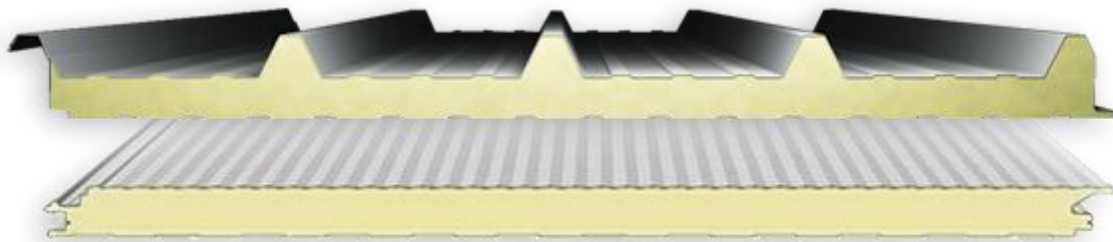


Fig 2.17 – Painéis “sandwich” com chapa superior plana e com relevo [24]

Este sistema, elaborado para ajudar a cumprir os requisitos interiores de alguns edifícios, tem normalmente um núcleo em espuma rígida de poliuretano, podendo no entanto incluir um isolamento térmico à base de poliestireno ou lã mineral. A acompanhar, esta camada pode conter uma barreira pára-vapor se as condições interiores e exteriores que o elemento separa assim o exigirem.

Nestes elementos são necessárias precauções relativamente à humidade proveniente do interior dos edifícios que podem ser, de alguma forma, um pouco contraditórias. Se por um lado não devem existir quaisquer aberturas no elemento, para evitar que haja a entrada de ar para a interface entre as duas chapas metálicas, por outro lado, para que seja possível eliminar humidade proveniente de eventuais condensações, é necessário haver pequenos espaços para que esta possa ser eliminada. Sendo este um sistema caracterizado pela sua estanquidade ao ar e água, estas aberturas devem ser, dentro do possível, reduzidas ao máximo [18].

As naves de piscinas têm, cada vez mais, na sua constituição painéis “sandwich” devido ao excelente comportamento que apresentam perante gradientes térmicos muito elevados. O seu reduzido peso, facilidade de montagem, preço aceitável para as características que apresenta e o facto de não ser prejudicial ao ambiente são tudo razões que abonam à sua exopente implementação na construção.

3 CARACTERIZAÇÃO HIGROTÉRMICA DE NAVES DE PISCINAS

3.1 NOÇÕES DE PSICOMETRIA

3.1.1 HUMIDADE ABSOLUTA DO AR

A humidade absoluta do ar define-se como a quantidade de vapor de água que está presente na atmosfera, ou seja, o teor de humidade do ar. Deste modo, a humidade absoluta do ar, habitualmente expressa em g/m^3 ou g/kg , obtém-se da seguinte forma:

$$U = \frac{\text{massa de vapor de água}}{\text{Volume de "ar húmido"}} \quad (3.1)$$

Define-se “ar húmido” como uma mistura de ar seco e vapor de água. No entanto, a quantidade de vapor de água que pode existir numa unidade de ar tem um determinado limite, o que resulta numa condensação das partículas que o ar já não tem capacidade de absorver. O facto de o ar conseguir absorver ou não o vapor de água deriva de a pressão exercida por este ser parcial ou de saturação (máxima), estabelecendo-se com a última o limite de saturação (W_s).

Normalmente o valor da humidade absoluta não atinge este limite de saturação, estando-se por isso perante um ar não saturado.

3.1.2 HUMIDADE RELATIVA DO AR

Como vimos atrás, é difícil perceber o significado do valor que obtemos da humidade absoluta. Deste modo, surgiu a necessidade de se estabelecer a relação entre a quantidade de vapor de água que existe numa unidade de ar e a quantidade que pode conter até atingir o limite de saturação, resultando numa melhor percepção do quão perto de saturar está o ar. Definiu-se então a humidade relativa do ar (Hr) que é dada pela seguinte razão:

$$Hr = \frac{U}{W_s} \times 100 \quad (3.2)$$

Ao valor da humidade relativa está intimamente ligado o valor da temperatura ambiente, devido ao aumento ou diminuição da temperatura limite de saturação. Posto isto, quando a temperatura diminui o limite de saturação também o faz aumentando a humidade relativa. Ao invés, com o aumento da temperatura o limite de saturação também aumenta, diminuindo a humidade relativa.

Pelo que foi enunciado, percebe-se que uma nave com piscina terá uma humidade relativa inferior ao exterior pois exige-se uma temperatura ambiental alta devido ao tipo de utilização que proporciona.

Tanto o valor da temperatura como da humidade relativa sofrerão algumas variações relacionadas com o número de utentes e a intensidade de atividade que se está a desenvolver. Deste modo, estipula-se como condições habituais de uma nave de piscina:

- Temperatura interior: 28 a 30°C;
- Humidade relativa interior: 55 a 75 %.

Os valores acima descritos como habituais para a ambiência de uma nave com piscinas foram obtidos a partir da consulta de relatórios da especialidade e do inquérito a técnicos de regulação do ambiente em piscinas municipais.

Estes serão parâmetros abordados por várias ocasiões ao longo deste trabalho visto serem variáveis muito importantes na caracterização higrotérmica deste tipo de edifícios.

3.1.3 PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA

A pressão que o vapor de água exerce, tal como referido anteriormente, pode ser uma pressão parcial ou de saturação.

A pressão parcial relaciona-se com a quantidade de vapor de água presente na atmosfera através do facto de ser tanto maior quanto maior a presença de vapor de água. A pressão de saturação, P_s , é a pressão parcial máxima que o vapor de água pode atingir em certas condições, sendo uma das mais importantes propriedades do “ar húmido”. São diversas as expressões que a relacionam quer com a temperatura quer com a pressão atmosférica [25]. A relação da pressão de saturação com a temperatura aparece na equação de H. Kunzel (1995), sendo:

$$P_s = 611 \cdot e^{\frac{a \cdot T}{T' + T}} \quad (3.3)$$

Em que:

- P_s – Pressão de saturação em Pa
- e – Aproximadamente 2,718 (Número de Nepper)
- T – Temperatura em °C
- Para $T < 0^\circ\text{C}$: $a = 22,44$ e $T' = 272,44^\circ\text{C}$
- Para $T > 0^\circ\text{C}$: $a = 17,08$ e $T' = 234,18^\circ\text{C}$

De realçar também uma expressão que relaciona a pressão parcial do vapor de água com a humidade absoluta do ar:

$$W = \left(\frac{1}{R_v}\right) \times \left(\frac{P}{T}\right) = 2,167 \times 10^{-3} \times \left(\frac{P}{T}\right) \quad (3.4)$$

Em que:

- W – Humidade absoluta do ar em kg/m^3
- P – Pressão parcial de vapor de água em Pa
- T – Temperatura em K
- R_v – Constante universal dos gases relativa ao vapor de água

3.1.4 DIAGRAMA PSICOMÉTRICO

Apresentadas as propriedades mais importantes na caracterização da ambiência interior de uma nave de piscina, resta fazer referência à ferramenta que permite relacionar todos os valores, o diagrama psicométrico. Este diagrama conta assim com a temperatura no eixo das abcissas, a pressão parcial do vapor de água em ordenadas e um conjunto de curvas que define a humidade relativa, sendo também possível obter a humidade absoluta como mostra a Fig 3.1.

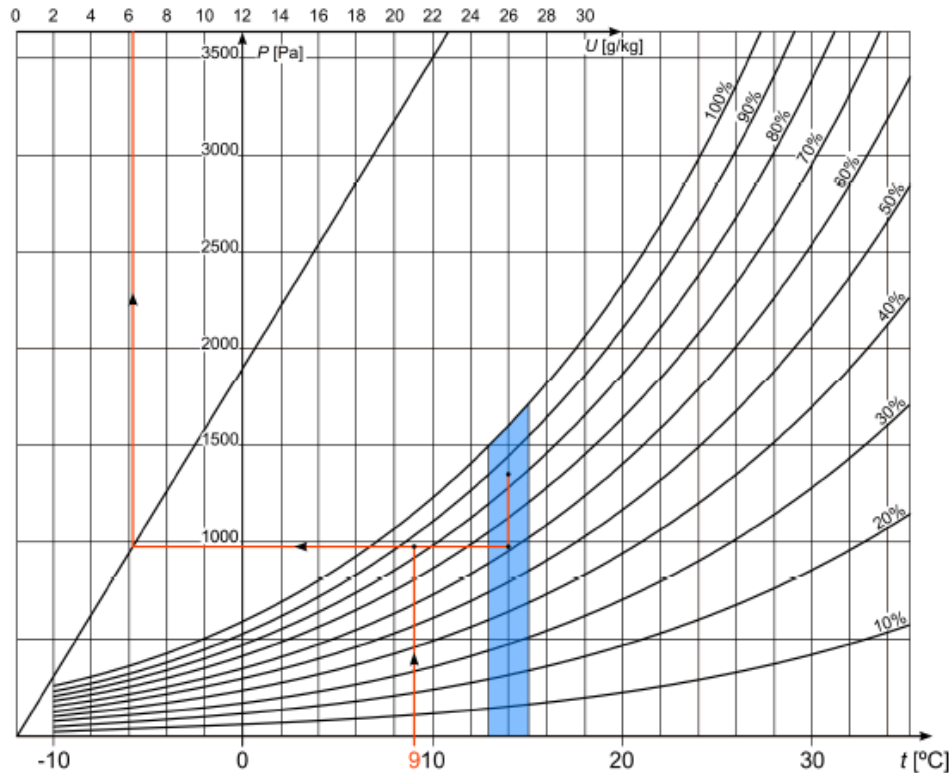


Fig 3.1 – Diagrama Psicométrico [25].

Para uma adequada perceção do modo de utilização desta ferramenta, será apresentado um exemplo de aplicação de uma ambiência que apresenta uma temperatura de 14°C e uma humidade relativa de 60%. Com estes dois parâmetros obtém-se o seu ponto de interseção que, traçando-se uma reta na horizontal, permite obter uma pressão parcial do vapor de água de 950 Pa e uma humidade do ar de 6,3 g/kg. Ao arrefecer esse ar sem fazer variar o seu teor de humidade, a humidade relativa vai aumentando, sendo que quando esta atinge os 100% (saturação do ar) a temperatura correspondente é a temperatura de ponto de orvalho com um valor de $6,9^{\circ}\text{C}$.

3.2 VAPOR DE ÁGUA

3.2.1 VAPOR DE ÁGUA NO INTERIOR DOS EDIFÍCIOS

Em todo o tipo de edifícios, qualquer que seja atividade que esteja a ser desenvolvida, há a produção de vapor de água. No entanto, a quantidade de vapor de água que se produz no seu interior depende de um conjunto de fatores, sendo sempre difícil estimar os valores da sua produção.

Resumidamente, a produção de vapor nos edifícios advém das seguintes fontes: dos ocupantes que usufruem das instalações, variando com o seu número, idade, atividade que estão a realizar e a duração

da mesma; do tipo de atividade que se realiza no seu interior; da humidade absoluta resultante do exterior; das trocas de vapor que os elementos construtivos interiores apresentam e dos níveis de ventilação [26].

Apesar de poder haver uma diversa conjugação de fatores, existe alguma bibliografia que refere valores para a produção de vapor de água dentro dos edifícios. No entanto, os seus valores não se aplicam ao intuito deste trabalho visto ser um caso muito particular relativamente à produção de vapor de água. Percebe-se facilmente que devido à atividade desempenhada em edifícios que contêm uma piscina, principalmente municipais, as produções de vapor de água chegam a valores muito altos e durante largos períodos de tempo, sendo um dos principais fatores que contribui para a ocorrência de condensações.

Para poderem ser tomadas medidas que ajudem a controlar esta produção de vapor de água e a adotar uma configuração construtiva adequada dos edifícios, foi definido um parâmetro que divide os edifícios em várias classes (Quadro 3.1), a sua higrometria.

Define-se higrometria de um local como o equilíbrio entre a produção de vapor de água no interior e o caudal de ventilação que está presente no mesmo, permitindo assim obter o gradiente de pressão de vapor na envolvente do espaço estudado e calculando-se da seguinte forma [17]:

$$Higrometria = \frac{W}{R_{ph} \times V} \quad (3.5)$$

Quadro 3.1 – Classificação dos edifícios em função da sua higrometria [17]

CLASSE	HIGROMETRIA	TIPO DE EDIFÍCIOS
I – Fraca higrometria	$\frac{W}{R_{ph} \times V} \leq 2,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	Escritórios, Escolas, Ginásios.
II – Média higrometria	$2,5 \times 10^{-3} < \frac{W}{R_{ph} \times V} \leq 5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	Edifícios de habitação não sobreocupados e corretamente ventilados.
III – Forte higrometria	$5 \times 10^{-3} < \frac{W}{R_{ph} \times V} \leq 7,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	Edifícios de habitação com ventilação deficiente, Indústrias.
IV – Muito Forte higrometria	$\frac{W}{R_{ph} \times V} > 7,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	Piscinas, certos locais industriais com grande produção de vapor.

Como está descrito no Quadro 3.1, os edifícios que dizem respeito a este estudo encontram-se na mais severa classe de higrometria, constituindo um dos ambientes interiores mais agressivos devido às elevadas diferenças de temperatura com o exterior. Assim, para os edifícios da classe de higrometria IV o estudo detalhado sobre a possibilidade de ocorrência de condensações não pode ser desprezado, sendo necessário recorrer a modelos de simulação como será realizado mais à frente neste trabalho.

O teor de humidade do ar de um local interior ventilado pode ser relacionado com a sua higrometria e com a temperatura exterior através da seguinte expressão:

$$U_i = U_e + \frac{w}{Rph \times V} \times \frac{R_v \times T_i}{P_t} \times \left(U_e + \frac{R_a}{R_v} \right)$$

Em que:

U_i – Teor de humidade do ar interior em kg/kg

U_e – Teor de humidade do ar exterior em kg/kg

W – Produção de vapor no interior em kg/h

Rph – Taxa de renovação de ar em h^{-1}

V – Volume interior em m^3

T_i – Temperatura interior em K

P_t – Pressão atmosférica em Pa

R_a – Constante universal dos gases relativa ao ar seco: 287.1 J/Kg.K

R_v – Constante universal dos gases relativa ao vapor de água: 461.5 J/Kg.K

3.2.2 VAPOR DE ÁGUA NOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

O vapor de água nos materiais de construção constitui uma das principais anomalias em processos de reabilitação e, em muitos casos, substituição de elementos construtivos. Daí, a necessidade de se definirem certas regras para conceção dos elementos construtivos envolventes de edifícios com forte e muito forte higrometria é cada vez mais importante. Por isso, será enunciado neste subcapítulo os principais parâmetros dos materiais face a este problema, as diferentes formas de transferência de vapor de água, os principais fatores que influenciam a permeabilidade ao vapor de água dos materiais de construção e a influência do posicionamento das camadas do elemento.

3.2.2.1 Parâmetros de análise

As características de permeabilidade dos materiais que integram os elementos construtivos são essenciais para determinar a quantidade de vapor de água que se pode formar, contribuindo para saber quais as exigências construtivas que se têm de garantir para que o mesmo não seja em excesso e possa afetar a integridade da envolvente. Os parâmetros que nos dão indicação da permeabilidade de cada material variam consoante o elemento construtivo seja homogéneo ou heterogéneo, apresentando-se de seguida o normalmente referido na bibliografia da especialidade [17].

Quando estamos perante um materiais homogéneos a permeabilidade é caracterizada pelos valores dos seguintes parâmetros:

- Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água, π , que quando sujeito a uma diferença de pressão de vapor unitária entre as suas faces, representa a quantidade de vapor de água que por unidade de tempo e espessura atravessa por difusão um provete desse material. Pode ser expresso em kg/(m.s.Pa) ou g/(m.h.mmHg);
- Fator de resistência à difusão de vapor de água, μ , que é obtido pela relação adimensional entre a permeabilidade ao vapor de água do ar e do próprio material:

$$\mu = \frac{\pi_{ar}}{\pi} \quad (3.6)$$

Num elemento construtivo heterogéneo, os parâmetros envolvidos variam um pouco, sendo eles:

- Permeância, P_e , que é dada pela relação do coeficiente de permeabilidade ao vapor de água com a espessura do elemento:

$$P_e = \frac{\pi}{e} \quad (3.7)$$

- Espessura da camada de ar de difusão equivalente, S_d , definida como sendo a espessura da camada de ar em repouso com igual resistência à difusão de vapor de água que o elemento com espessura “e”:

$$S_d = \mu \cdot e \quad (3.8)$$

3.2.2.2 Transferência de vapor de água [17]

A transferência de vapor de água integra um complexo conjunto de mecanismos de transferência de humidade nos materiais de construção. A transferência de humidade pode ocorrer em fase líquida, fase vapor ou simultaneamente nas duas fases.

Relativamente à transferência da humidade em fase vapor ela pode ocorrer por difusão ou por movimentos convectivos. Dividindo-se nas seguintes formas de transferência:

- Difusão de vapor através de uma camada de ar;
- Difusão de vapor através de materiais porosos;
- Convecção.

Já quando entra em contacto com a envolvente do edifício o vapor de água pode-se transferir entre a ambiência interior e a face interior do elemento fronteira, através dos diversos elementos construtivos ou ainda, entre o ambiente exterior e a face exterior do elemento fronteira.

A transferência de humidade por difusão de vapor através dos elementos construtivos ocorre devido às diferenças de pressão que existem nas superfícies que o elemento separa. Existem alguns modelos que determinam o fluxo de difusão de vapor de água que atravessa o elemento, no entanto, realça-se o modelo de Difusão de FICK. Assim, considerando que o elemento construtivo é composto por materiais homogéneos e não higroscópicos, de camadas planas e paralelas, determina-se o fluxo de vapor de água que atravessa o elemento a partir da seguinte expressão:

$$g = \sum_j \frac{\pi_j}{e_j} x (P_i - P_e) \quad (3.9)$$

Em que:

- g – Fluxo de difusão de vapor de água por unidade de superfície em $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$
- π_j – Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água da camada j em $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$
- e_j – Espessura da camada j em metros
- P_i – Pressão parcial de vapor de água no interior em Pa
- P_e – Pressão parcial de vapor de água no exterior em Pa

3.2.2.3 Principais fatores que afetam a permeabilidade dos materiais

A permeabilidade característica de cada material é normalmente um parâmetro bem definido, quando se está perante um ambiente com valores de humidade e temperatura habituais. No entanto, o corrente estudo sobre este assunto tem mostrado que a permeabilidade ao vapor de alguns materiais varia consideravelmente quando o teor de humidade do espaço aumenta, principalmente o valor da humidade relativa. Assim, pode-se afirmar que os principais fatores que afetam a permeabilidade dos materiais são a humidade relativa e a temperatura, tendo este último uma menor relevância.

O facto de que os materiais apresentam diferentes comportamentos de permeabilidade para diferentes valores de humidade relativa não apresenta qualquer dúvida. Contudo, há uma característica dos elementos que determina a intensidade perante este parâmetro, a higroscopicidade. Assim, os materiais higroscópicos vêm a sua permeabilidade ao vapor de água aumentar consideravelmente com o aumento da humidade relativa e, os materiais com valores de higroscopicidade reduzidos pouco influenciados são pela humidade relativa em relação à permeabilidade.

Como foi dito anteriormente, a temperatura também constitui um parâmetro que influencia a permeabilidade dos materiais, apesar do seu menor peso nesta ação. No entanto, importa realçar alguns fatores que influenciam a temperatura da ambiência num espaço e, consequentemente, a permeabilidade. Esta depende principalmente dos seguintes fatores:

- Atividade desenvolvida dentro do edifício;
- Número de renovações horárias garantida pela ventilação;
- Comportamento térmico da envolvente;
- Condições ambientais exteriores;
- Produção de calor pelos sistemas de aquecimento.

3.2.2.4 Influência do posicionamento das camadas

O posicionamento das camadas de um elemento construtivo que envolve um espaço com acentuada produção de vapor de água é de extrema importância. Deste modo, admitindo que o fluxo de vapor se dá do interior para o exterior, a resistência à difusão das camadas do elemento deve diminuir do interior para o exterior. Por esta razão, a barreira pára-vapor deve ser colocada sob a camada de isolamento térmico, ou seja, no lado quente do elemento construtivo, como se verá na análise de condensações no Capítulo 6.

3.3 VENTILAÇÃO

É extremamente importante dimensionar adequados sistemas de ventilação, principalmente numa nave onde existam piscinas visto ser um dos principais métodos de redução da higrometria de um determinado ambiente.

A ocorrência de condensações em edifícios com níveis de humidade relativa e produção de água acima do habitual faz com que a ventilação seja indispensável. Assim, e dependendo das características de cada edifício, a ventilação pretende principalmente [7]:

- Diminuir as concentrações de gases e vapores que podem afetar a segurança e saúde dos utentes;
- Contrariar qualquer que seja a atividade do edifício e manter as condições da ambiência nos espaços com os valores desejados;

- Garantir um equilíbrio do ambiente com o exterior, ou seja, refrigerar o ambiente no verão e aquecer no inverno;

Em suma, a ventilação deve garantir a manutenção da saúde e segurança dos utentes, controlar termicamente o espaço para promover o conforto necessário e, diminuir a higrometria dos locais para que juntamente com determinadas medidas construtivas se possam reduzir os níveis de humidade no ambiente e nos elementos construtivos.

O RCCTE divide os locais em três classes de ventilação, estabelecendo para cada uma a existência ou não de aberturas e a taxa média de renovações que deve ter por hora. Também o ITE 50 estabelece essas três categorias para as coberturas e elementos inclinados, mas a partir do quociente entre a área total de orifícios de ventilação (S), em mm^2 , e a área do elemento em estudo (A), em m^2 . Deste modo, o Quadro 3.2 reúne as várias exigências que cada espaço de ar em coberturas tem de cumprir em função do grau de ventilação pretendido.

Quadro 3.2 – Exigências para os três diferentes graus de ventilação dos espaços, segundo [27] [15]

Grau de Ventilação	Existência de Aberturas	Relação S/A [mm^2/m^2]	Taxa Média de Renovações/Hora
Espaço Não Ventilado	- ⁽¹⁾	$S/A \leq 500$	Inferior a 0.5
Espaço Fracamente Ventilado	Sim	$500 < S/A \leq 1500$	0.5 a 6
Espaço Fortemente Ventilado	Sim	$S/A > 1500$ ⁽²⁾	Superior a 6

(1) Um espaço de ar não ventilado pode ou não ter aberturas permanentes para o ambiente exterior. Caso o espaço tenha pequenas aberturas, ele só pode ser considerado não ventilado se:

- Não existir uma camada de isolamento térmico entre ele e o exterior;
- As aberturas existentes não permitam a circulação de ar no interior do espaço de ar;
- A relação S/A seja igual ou inferior a $500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$.

(2) Quando se está perante um espaço fortemente ventilado a resistência térmica do ar deve ser considerada nula.

A cobertura de uma nave de piscina naturalmente terá de se inserir nos espaços fortemente ventilados visto as suas características higrotérmicas fazerem com que seja um espaço com um elevadíssimo risco de ocorrência de condensações, como se verá mais à frente. Deverá então garantir-se a proporção entre a área de aberturas para ventilação em comparação com a área em planta da cobertura, sendo que as entradas de ar deverão estar situadas ao nível da base do desvão e as saídas nos pontos de cota mais elevada.

Conhecida a humidade interior, uma das formas de estimar o número de renovações horárias de um espaço poderá ser através da utilização da seguinte expressão:

$$Rph \geq \frac{W}{V \times (U_i - U_e)} \quad (3.10)$$

Em que:

W – Produção de vapor em g/kg

V – Volume em m³

U_i – Humidade absoluta do ar interior em g/kg

U_e – Humidade absoluta do ar exterior em g/kg

Referidas algumas exigências que os edifícios têm de ter perante as suas condições interiores, é importante também fazer uma breve referência aos diferentes sistemas de ventilação que podem ser adotados, nomeadamente os de ventilação natural e mecânica. De realçar que também existem sistemas de ventilação mistos.

3.3.1 VENTILAÇÃO NATURAL

Este sistema de ventilação caracteriza-se por depender da ação do vento, das diferentes pressões que existem no interior e no exterior e do tipo de conceção do edifício, sendo que as duas primeiras estão diretamente ligadas com a última na otimização do processo de ventilação natural.

Quando o vento é forte faz a renovação do ar interior naturalmente, ficando esta sempre dependente da continuidade da sua ação e das suas mudanças de direção. No entanto, quando a intensidade do vento não chega para renovar o ar interior, a ventilação processa-se pelo efeito de convecção natural. Este simples processo natural caracteriza-se pelo ar externo ser admitido quando a temperatura interior for mais elevada, saindo o ar quente interior, e vice-versa quando a temperatura interna for mais baixa. A otimização destes dois processos, que podem acontecer em simultâneo num edifício, é feita com o adequado dimensionamento das entradas e saídas de ar. Nas coberturas, como se referiu atrás, as entradas de ar devem estar localizadas ao nível da base do desvão em diferentes alçados, e as saídas de ar em pontos de cota mais elevada.

Estes sistemas de ventilação exclusivamente naturais praticamente não são utilizados pois normalmente recorre-se à instalação de exaustores que, devido ao seu funcionamento intermitente, podem criar perturbações no processo de ventilação.

A adoção de um sistema de ventilação natural apresenta as seguintes vantagens [28]:

- Menor custo;
- Menor ruído;
- Maior aceitação.

Ao invés, este sistema apresenta também as seguintes desvantagens [28]:

- A qualidade do ar interior não está sempre assegurada;
- A renovação do ar não pode ser controlada;
- Elevada exigência em projeto.

3.3.2 VENTILAÇÃO MECÂNICA

Uma das formas de contrariar as dificuldades que a ventilação natural apresentava na renovação do ar interior foi recorrendo a equipamentos mecânicos. Assim, para se conseguir um controlo de todo o caudal de circulação começaram-se a instalar equipamentos de ventilação, de ar condicionado e aquecimento, que transmitem ou absorvem energia do ambiente proporcionando as condições desejadas de ambiência interior.



Fig 3.2 – Sistema de ventilação mecânica de uma cobertura [29].

Em relação ao sistema de ventilação natural, o recurso a equipamentos mecânicos apresenta as seguintes vantagens [28]:

- Maior estabilidade;
- Maior controlo do caudal;
- Permite a filtragem do ar que entra no edifício;

No entanto, este sistema também tem as suas desvantagens que se caracterizam por:

- Maior consumo de energia e consequente maior custo durante a vida útil;
- Necessita de tratamento do ruído produzido;
- Manutenção periódica.

Cada um dos sistemas de ventilação tem as suas vantagens e desvantagens, sendo sempre difícil saber qual o melhor a utilizar. Em grande parte dos casos, o mais vantajoso seria a utilização de um sistema otimizado de ventilação natural e mecânica, aliando as vantagens de ambos.

Refira-se que é preciso ter sempre presente que o sistema de ventilação tem extrema influência no comportamento higrotérmico de cada edifício, na qualidade do seu ar interior e no consumo de energia durante a vida útil do mesmo.

3.4 ANÁLISE DE CONDENSAÇÕES

É de conhecimento geral que a ocorrência de condensações constitui uma das principais causas da maioria das anomalias nos elementos construtivos, sendo cada vez maior o estudo sobre a melhor forma de as combater.

As condensações do vapor de água podem ser internas e/ou superficiais. Como estas duas denominações serão correntes ao longo deste documento, será apresentada a definição e a exemplificação (Fig 3.3) de cada uma para se evitarem erros de interpretação. Posto isto, entenda-se:

- Condensações superficiais, como a condensação que ocorre na superfície do elemento construtivo em contacto com o ar;
- Condensações internas, como a condensação que ocorre dentro de determinado elemento construtivo e em qualquer interface que une os elementos construtivos.

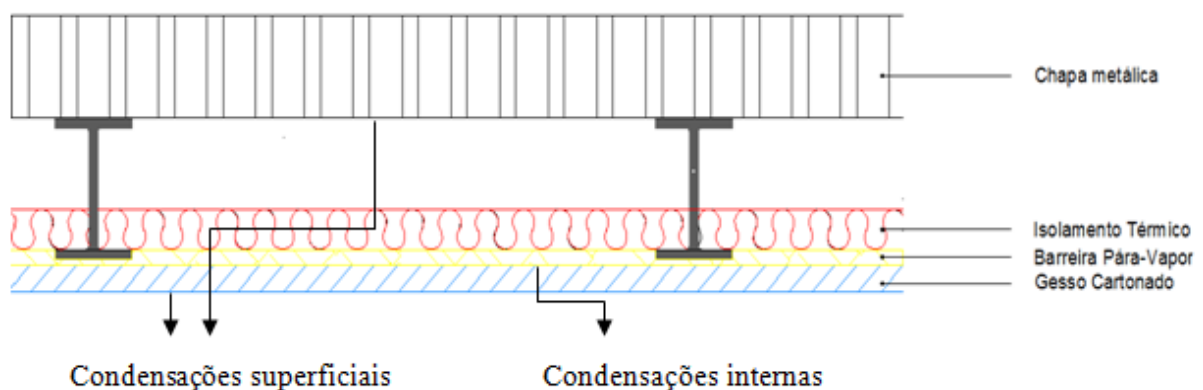


Fig 3.3 – Detalhe da diferença da ocorrência de condensações superficiais e internas num elemento construtivo

Um dos principais objetivos deste estudo é o de verificar a probabilidade de ocorrência de condensações superficiais do elemento da cobertura que faz a fronteira entre o interior e o exterior. Estas acontecem devido às temperaturas interiores dessa mesma superfície serem inferiores à temperatura de ponto de orvalho e, à elevada humidade relativa interior aliada a reduzidas resistências térmicas do elemento e temperaturas exteriores muito baixas. Contudo, toda a envolvente também está sujeita à ocorrência de condensações internas, devendo a probabilidade de as mesmas ocorrerem ser analisada.

Neste capítulo, não se pretende fazer referência às principais patologias e técnicas de reparação decorrentes deste fenómeno mas sim apresentar alguns dos métodos mais utilizados na quantificação dessas mesmas condensações.

Importa ainda referir que apesar de todos os efeitos negativos que as condensações provocam, admite-se que em algumas ocasiões estas possam ocorrer. Esses casos são válidos quando a durabilidade e o desempenho adequado dos materiais do elemento construtivo não são postos em causa e se prevê que haja secagem das condensações nos meses de verão.

3.4.1 MÉTODO DE GLASER [17]

Este é um método de larga aplicação na análise das condensações internas e uma grande ajuda na contínua procura de estipular regras e condições de qualidade que os elementos construtivos devem satisfazer para evitar ao máximo a ocorrência das mesmas.

O princípio pelo qual este método se rege é o de que se qualquer elemento construtivo estiver sujeito a um gradiente de pressões e temperaturas, a pressão de saturação poderá variar de ponto para ponto, não ocorrendo condensações internas se a curva de pressões instaladas não intersetar a curva de pressões de saturação. Caso estas duas curvas se intersetem prevê-se a ocorrência de condensações.

O único senão deste método é que impõe a consideração de algumas hipóteses que o tornam, em certa parte, limitado, começando por fazer com que os fluxos condensados sejam calculados por excesso. As hipóteses simplificativas consistem no seguinte:

- A humidade desloca-se apenas por transferência de vapor de água;
- A transferência de vapor de água deve-se apenas ao fenómeno de difusão e obedece à lei de FICK;
- O transporte de calor acontece apenas por condução;
- O regime é permanente;
- Os elementos de construção não são estanques ao ar, tendo faces planas e paralelas;
- Os materiais não são higroscópicos;
- A condutibilidade térmica e os coeficientes de permeabilidade são sempre constantes;
- O vapor de água condensado não se redistribui.

A aplicação deste método permite analisar a ocorrência de condensações internas através de uma análise gráfica com recurso a cálculos analíticos baseados nas leis de FICK e FOURIER. A sua forma de apresentação dos resultados é bastante elucidativa, mostrando claramente a zona ou zonas onde as condensações ocorrem. Assim, estas calculando-se em quatro fases e da seguinte forma:

- 1ª Fase: Representa-se o elemento construtivo num sistema de eixos ($R_d; P$): $R_{dj} = \sum_j \frac{e_j}{\pi_j}$ é a resistência à difusão acumulada no ponto j (do exterior para o interior) e P_j é a pressão parcial de vapor de água instalada nesse ponto;

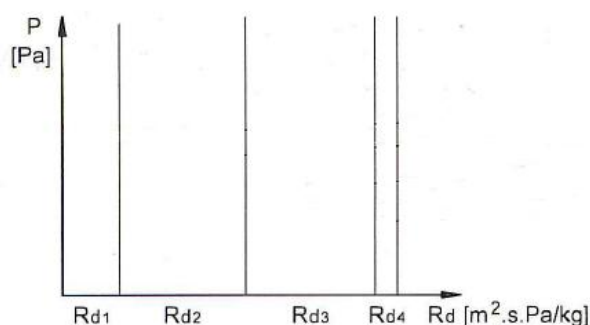


Fig 3.4 – Representação gráfica da 1ª fase do Método de GLASER [17]

2ª Fase: Calcula-se a curva das temperaturas instaladas no elemento construtivo e a partir do diagrama psicométrico obtém-se a curva das pressões de saturação. A curva das temperaturas instaladas nos diferentes pontos do elemento construtivo é conseguida através da lei de FICK, tal como foi enunciada no subcapítulo 3.2.2.2.

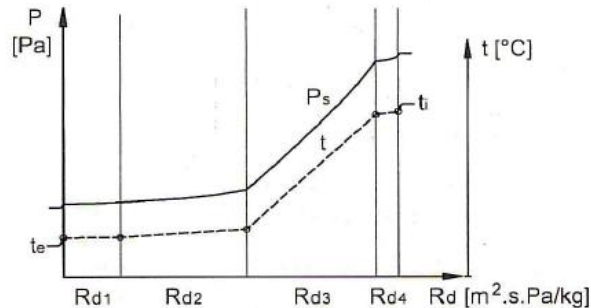


Fig 3.5 - Representação gráfica da 2ª fase do Método de GLAZER [17]

3ª Fase: Compara-se a curva das pressões de saturação com a curva das pressões instaladas, gerada pelas condições nas suas faces. Se as condições não se intersectarem, então não há condensações. A curva das pressões instaladas calcula-se segundo a lei de FOURIER que determina o fluxo de calor através da seguinte expressão:

$$q = \sum_j \frac{\lambda_j}{e_j} x (T_i - T_e) \quad (3.11)$$

Em que:

q – Fluxo de calor por unidade de superfície em W/m^2

λ_j – Coeficiente de condutibilidade térmica da camada j em $W/(m^\circ C)$

T_i – Temperatura interior em $^\circ C$

T_e – Temperatura exterior em $^\circ C$

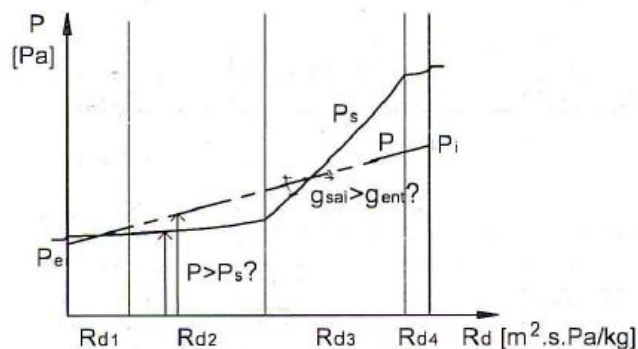


Fig 3.6 - Representação gráfica da 3ª fase do Método de GLAZER [17]

4ª Fase: Caso a curva das pressões de saturação e a curva das pressões instaladas se intersectarem, traçam-se as tangentes da curva das pressões de saturação a partir dos pontos que definem as pressões instaladas nas suas faces delimitando-se a zona onde ocorrem condensações.

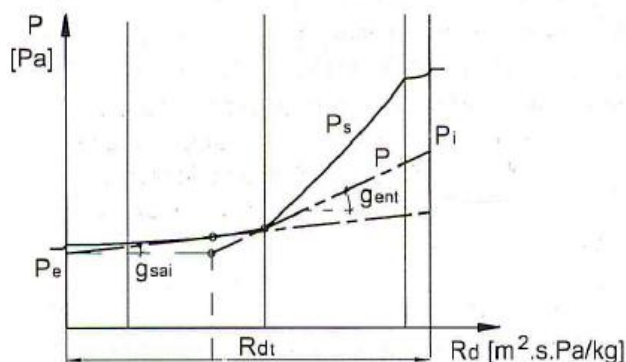


Fig 3.7 - Representação gráfica da 4ª fase do Método de GLAZER [17]

Assim, é possível aplicar o método de GLASER conhecendo as condições climáticas interiores (P_i e T_i) e exteriores (P_e e T_e), e alguns parâmetros dos materiais que constituem o elemento construtivo como as suas propriedades, espessuras (λ_j , π_j e e_j) e resistências térmicas superficiais ($\frac{1}{h_i}$, $\frac{1}{h_e}$).

Pode-se determinar a quantidade de humidade depositada no interior do elemento de construção aplicando a lei de FICK e considerando que o fluxo condensado é igual à diferença entre os fluxos de entrada e saída nas superfícies que limitam a zona de condensações (x_1 e x_2). A equação 3.12 e a Fig 3.8 apoiam uma melhor compreensão do que foi referido.

$$\mathcal{G}_{condensado} = \left(\frac{P_i - P_x}{R_{d_{total}} - R_{d_x}} \right)_{x=x_2} - \left(\frac{P_x - P_e}{R_{d_x}} \right)_{x=x_1} \quad (3.12)$$

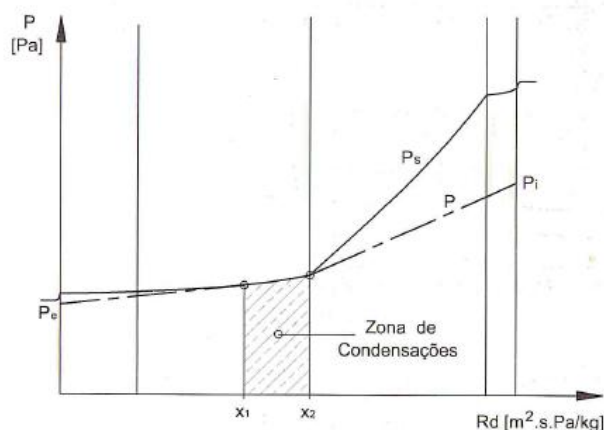


Fig 3.8 – Determinação da zona onde ocorrem as condensações [17]

3.4.2 NORMA EN ISO 13788 [30]

A EN ISO 13788:2001 foi aprovada em 2000 pelo CEN e tem como título adaptado a português: Performances higrótérmicas dos elementos e componentes dos edifícios – Temperaturas superficiais interiores para evitar humidades críticas superficiais e condensações internas – Métodos de cálculo.

A norma começa por referir que a transferência de humidade é um processo muito complexo, e os conhecimentos dos mecanismos de transferência de humidade, propriedades dos materiais, condições iniciais e de limite são muitas vezes insuficientes e inadequados. Posto isto, a norma assenta em

métodos de cálculo simples, baseados na experiência e conhecimentos adquiridos, pretendendo lidar com humidades críticas superficiais e condensações internas, não albergando outros aspetos relacionados com a humidade como a precipitação ou águas subterrâneas.

3.4.2.1 Humidades críticas superficiais

A norma especifica um método para o projeto da envolvente do edifício e assim prevenir os efeitos adversos das húmidas críticas na superfície, como crescimento de fungos.

Como nota introdutória refere que as condensações superficiais podem danificar os elementos desprotegidos do edifício que são sensíveis à humidade, no entanto, são aceitáveis condensações temporárias e em pequenas quantidades. O crescimento de fungos nas superfícies acresce de risco quando a humidade relativa é acima de 0,8 por vários dias.

Os parâmetros principais que influenciam as condensações superficiais e o crescimento de fungos são: a temperatura e humidade exterior; a qualidade térmica (f_{Rsi}) de cada elemento da envolvente do edifício representada pela resistência térmica, pontes térmicas, geometria e resistência interna superficial; a quantidade de vapor de água; e por último, a temperatura interior e o sistema de aquecimento que vai influenciar o movimento do ar e a distribuição de temperaturas.

Ditados os parâmetros, o procedimento indicado incide no seguinte:

- Definir a temperatura e humidade do ar exterior;
- Definir a temperatura interna de acordo com as práticas nacionais;
- Calcular a humidade relativa ou adotar um valor constante da humidade relativa para determinado ambiente;
- Com o valor máximo de humidade relativa aceitável, $\phi_{si} = 0,8$, calcular o mínimo aceitável de humidade de saturação por volume (V_{sat}) ou pressão de vapor (P_{sat}):

$$V_{sat}(\theta_i) = \frac{V_i}{0,8} \quad (3.13) \quad \text{ou} \quad P_{sat}(\theta_i) = \frac{P_i}{0,8} \quad (3.14)$$

O critério $\phi_{si} \leq 0,8$ foi selecionado para preservar o risco de crescimento de fungos. Outro critério poderia ser $\phi_{si} \leq 0,8$ como prevenção da ocorrência de corrosão.

- Determinar o mínimo aceitável para temperatura superficial, $\theta_{si,min}$, a partir do valor mínimo aceitável de humidade de saturação (expressão que relaciona θ com P_{sat} encontra-se no Anexo E da norma, bem como uma tabela que relaciona estes dois parâmetros);
- A partir de $\theta_{si,min}$, assumir a temperatura interior e exterior (θ_i e θ_e) e calcular o fator mínimo de temperatura através da equação:

$$f_{Rsi,min} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (3.15)$$

Concluindo, o mês crítico é aquele com maior valor de $f_{Rsi,min}$, sendo o fator de temperatura para este mês $f_{Rsi,MAX}$. O elemento do edifício deverá ser projetado para que o valor de $f_{Rsi,MAX}$ seja sempre excedido, tal que: $f_{Rsi} > f_{Rsi,MAX}$.

3.4.2.2 Condensações Internas

Este documento fornece um método que estabelece o balanço de humidade anual e permite calcular a quantidade máxima de humidade acumulada devido a condensações internas, assumindo que qualquer humidade de condensação no elemento construtivo tem hipótese de evaporar.

Este método deve ser utilizado como uma ferramenta auxiliar e não como uma previsão real e exata de probabilidade de ocorrência de condensações nos elementos construtivos. Principalmente, ele é adequado para comparar diferentes soluções de construção e de ambiência, nunca devendo ser a única fonte de estudo de condensações.

A realização desta análise tem como princípio calcular a quantidade de fluxo que irá condensar ou evaporar em cada um dos doze meses do ano, a partir das condições médias externas e internas previstas em cada um desses meses. Assim, o total de fluxo condensado no final dos meses é comparado ao total de fluxo evaporado durante o resto do ano, mostrando se à possibilidade de evaporação de todo o fluxo condensado ou não. Na simulação a partir deste método não são considerados movimentos do ar através ou dentro do elemento construtivo.

As simplificações adotadas por este método de cálculo são as seguintes:

- A condutibilidade térmica depende da quantidade de humidade no elemento e o calor é libertado e absorvido por condensação ou evaporação;
- Os valores utilizados para os elementos são constantes;
- Os movimentos do ar através de fendas ou pequenas aberturas podem alterar a distribuição da humidade no elemento construtivo;
- As condições reais em cada mês nunca são constantes, sendo a utilização de uma média uma simplificação que pode alterar a real probabilidade de condensação ou evaporação;
- A maioria dos materiais é higroscópico podendo absorver o vapor de água;
- Os efeitos da radiação solar não são considerados.

Quando existe circulação do ar através ou dentro do elemento construtivo, os resultados apresentados por este método podem apresentar maiores desvios e uma redobrada atenção deve ser considerada na sua interpretação.

Basicamente, a análise de ocorrência de condensações incide no seguinte procedimento: Começa-se com um mês do ano, “*trial month*”, calculando-se a temperatura, pressão de saturação e a sua distribuição através das várias camadas do elemento construtivo, aplicando o método GLASER e determinando-se se qualquer condensação é prevista. Após esta análise, estas duas situações podem ocorrer:

- Se não for previsível a ocorrência de condensações no “*trial month*”, repete-se o cálculo para os próximos meses até que não são previstas condensações em nenhum dos doze meses ou verifica-se essa possibilidade num mês, que passa a ser o novo “*trial month*”. Caso não se verifiquem condensações em nenhum mês o elemento está livre da patologia;
- Se for previsível a ocorrência de condensações no “*trial month*”, repete-se o cálculo para todos os restantes meses até que são previstas condensações em todos os doze meses, calculando-se o valor acumulado de condensações, ou foi encontrado um mês sem condensações, passando o mês seguinte a esse a ser o “*trial month*”.

A expressão que calcula a quantidade de condensação e evaporação numa interface do elemento construtivo é a mesma, sendo que quando o valor é positivo ocorre condensação e quando é negativo ocorre evaporação:

$$g = \delta_0 \left(\frac{P_i - P_c}{S'_{d,Total} - S'_{d,c}} - \frac{P_c - P_e}{S'_{d,c}} \right) \quad (3.16)$$

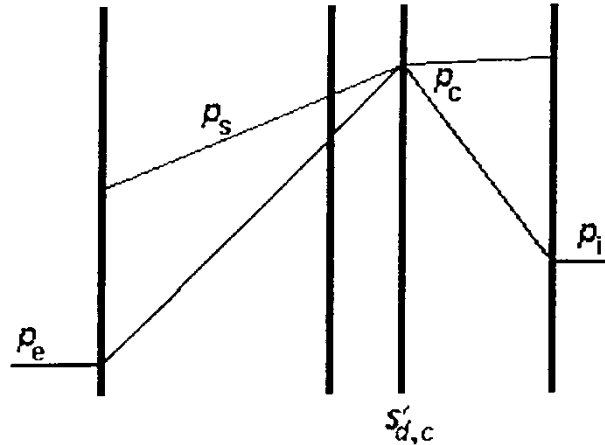


Fig 3.9 – Evaporação numa interface do elemento construtivo [30]

Dado que neste trabalho se estudam coberturas metálicas, o método considera que, uma vez que as chapas metálicas previnem a passagem de qualquer vapor de água e consequentemente têm um μ com valor infinito, o valor de 100000 deve ser adotado nesses materiais. Este facto pode levar à previsão de pequenas quantidades de condensação no elemento, que devem ser descartadas devido a imperfeições do método de cálculo.

3.4.3 LEI DE FOURIER

Uma forma simples e eficaz de determinar as condensações superficiais interiores de qualquer elemento é através da aplicação da Lei de Fourier e do diagrama psicométrico. Assim, considerando que a densidade do fluxo de calor que atravessa as várias camadas é constante (Regime permanente), determina-se a temperatura superficial interior do elemento segundo a seguinte expressão:

$$T_{si} = T_i - U \times R_{si} (T_i - T_e) \quad (3.17)$$

Em que:

- T_{si} – Temperatura superficial interior em °C
- T_i – Temperatura interior em °C
- T_e – Temperatura exterior em °C
- U – Coeficiente de transmissão térmica em $W/(m^2 \text{ °C})$
- R_{si} – Resistência superficial interior em $(m^2 \text{ °C})/W$

Tendo em consideração as características higrotérmicas interiores, temperatura e humidade relativa, determina-se, através do diagrama psicométrico, a temperatura de ponto de orvalho (T_{po}). Sabendo esta temperatura, há ocorrência de condensações superficiais interiores no elemento construtivo se $T_{po} > T_{si}$, ou seja, quando a temperatura de ponto de orvalho é superior à temperatura superficial interior do elemento construtivo.

Através da expressão (3.17) também é possível determinar qual a temperatura exterior que conduz à ocorrência de condensações superficiais interiores. Este cálculo é possível sabendo a temperatura interior, as características construtivas do elemento e admitindo que a temperatura superficial interior é igual à temperatura de ponto de orvalho. Como a única incógnita é a temperatura exterior, sabe-se qual o valor a partir do qual as condensações começam a ocorrer.

Para uma melhor compreensão do que foi referido no último parágrafo, demonstra-se de seguida um exemplo do cálculo da temperatura exterior que conduz à ocorrência de condensações superficiais [31].

Este exemplo é de uma cobertura em que o elemento que separa a ambiência interior da exterior é uma chapa de alumínio com 5 mm, ou seja, com um coeficiente de transmissão térmica de $7,14 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$ e uma resistência superficial interior de $0,10 \text{ (m}^2 \text{ °C)/W}$. As condições higrotérmicas interiores no desvão da cobertura são definidas por uma temperatura de 10 °C e uma humidade relativa de 75%, resultando numa temperatura de ponto de orvalho de $5,5 \text{ °C}$ através do diagrama psicométrico. Posto isto, a temperatura exterior que provoca condensações superficiais no tardo da chapa metálica obtém-se da seguinte forma:

$$5,5 = 10 - 7,14 \times 0,10 (10 - T_e) \leftrightarrow T_e = 5,1 \text{ °C} \quad (3.18)$$

Assim, começa a haver condensação superficial interior na chapa de alumínio quando a temperatura exterior é igual ou inferior a $5,5 \text{ °C}$.

3.5 CONSTITUIÇÃO DE COBERTURAS METÁLICAS EM NAVES DE PISCINAS

As coberturas de naves com piscinas caracterizam-se por ter uma bibliografia associada não muito desenvolvida, tornando-se ainda menos aprofundada quando se especifica a tipologia para apenas coberturas metálicas. No entanto, com o apoio do ITE 50 [15], relatórios da especialidade [31] [32] e a conjugação de alguns elementos que poderão criar uma configuração vantajosa da cobertura, serão apresentados sete exemplos de coberturas metálicas para naves de piscinas.

Os diferentes exemplos variam relativamente à estrutura de suporte, posição do isolamento e tipo de revestimento, sendo que apresentam sempre um desvão ventilado. Deste modo, pretende-se que as coberturas enunciadas de seguida, aliadas a outros fatores como a ventilação do desvão, possam agrupar um conjunto de hipóteses válidas para coberturas metálicas:

- Cobertura plana em sistema “Deck”;
- Cobertura plana com vigas de suporte e isolamento sobre o desvão;
- Cobertura inclinada com painel sandwich no interior e chapa simples no exterior;
- Cobertura inclinada com vigas de suporte e painel sandwich;
- Cobertura inclinada com vigas de suporte e chapa metálica simples;
- Cobertura inclinada em treliça metálica e chapa simples;
- Cobertura inclinada em treliça metálica e painel sandwich.

Apresentadas as diferentes características de cada uma das hipóteses, apresentam-se o desenho de cada uma delas para uma melhor perceção das propriedades que as individualizam. Em todas as coberturas foi colocada uma barreira pára-vapor, não querendo dizer que esta seja essencial para o desempenho da cobertura. Para verificar a sua utilidade teria de ser feito um estudo pormenorizado relativamente à ocorrência de condensações em cada uma das soluções, como será realizado para alguns casos no

capítulo 6. Assim, estipula-se esta camada como opcional, dependendo a sua necessidade dos diferentes elementos que também constituem a cobertura e das características exteriores do local.

De realçar que os exemplos que serão descritos não deverão ser considerados como fiáveis para naves de piscinas, devendo a sua utilização ser previamente testada em relação à ocorrência de condensações.

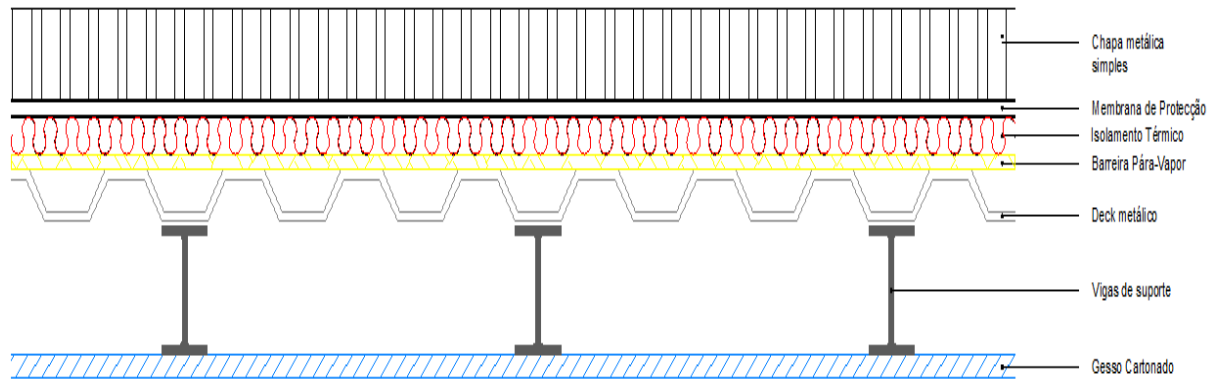


Fig 3.10 - Cobertura plana em sistema "Deck".

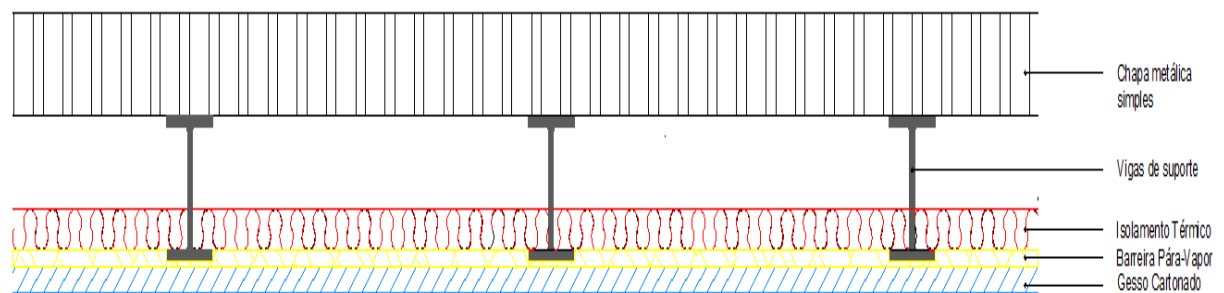


Fig 3.11 - Cobertura plana com vigas de suporte e isolamento sobre o desvão.

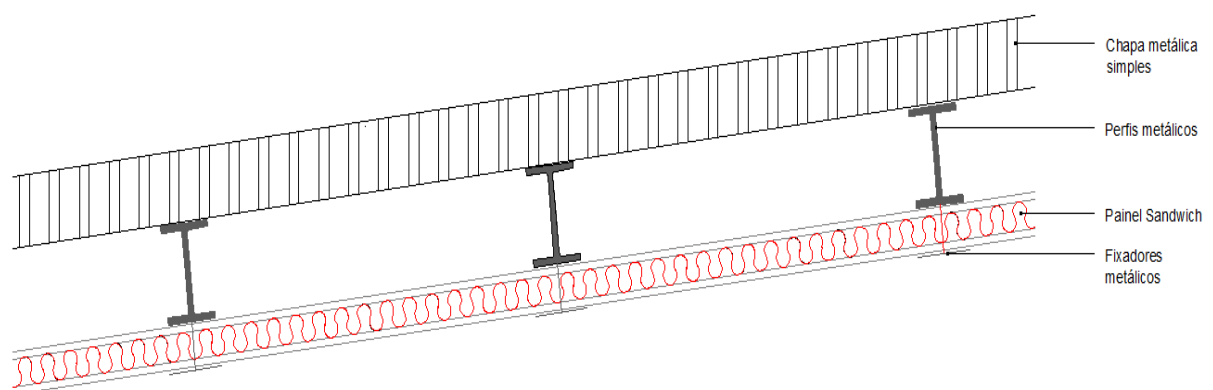


Fig 3.12 - Cobertura inclinada com painel sandwich no interior e chapa simples no exterior.

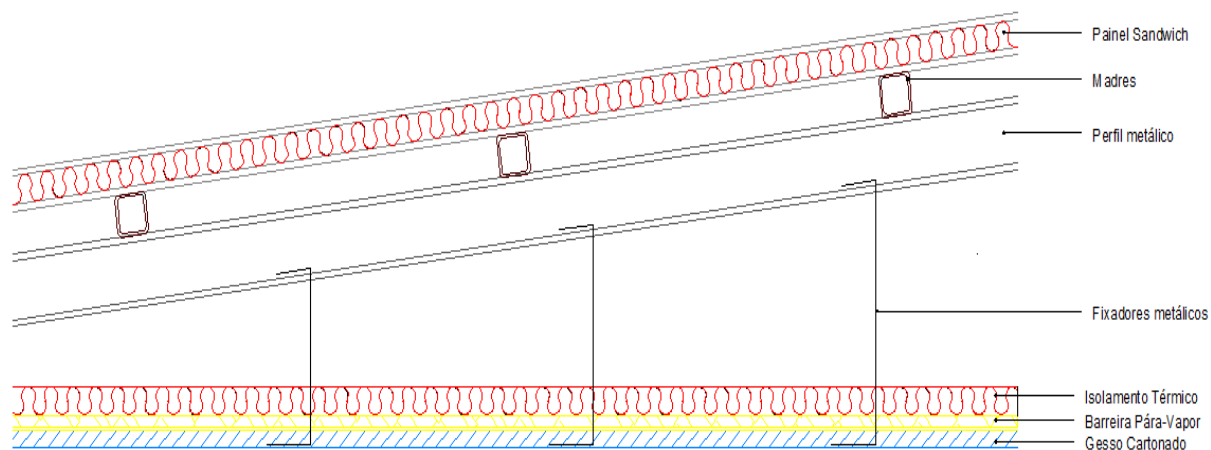


Fig 3.13 - Cobertura inclinada com vigas de suporte e painel sandwich.

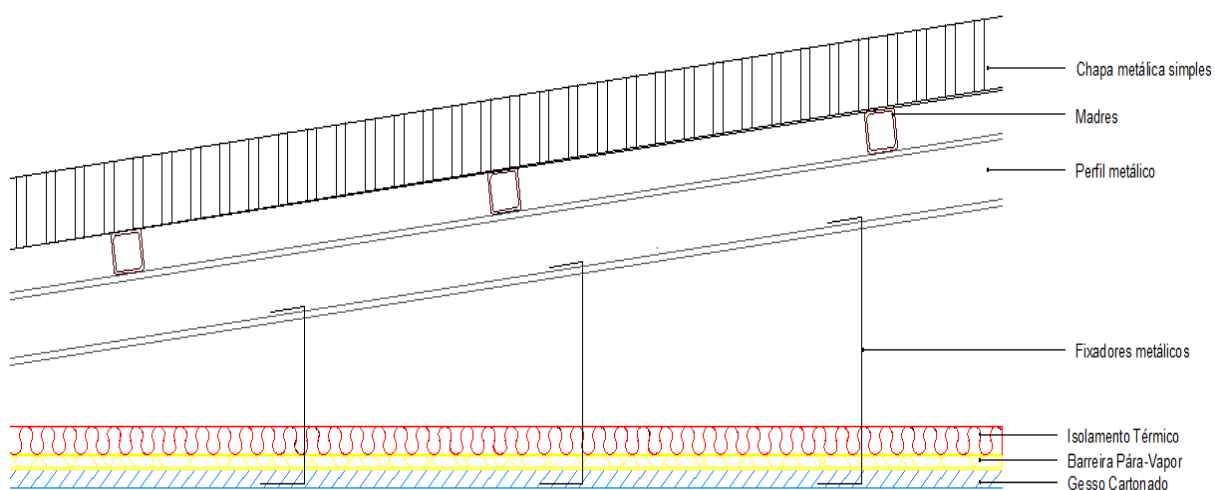


Fig 3.14 - Cobertura inclinada com vigas de suporte e chapa metálica simples.

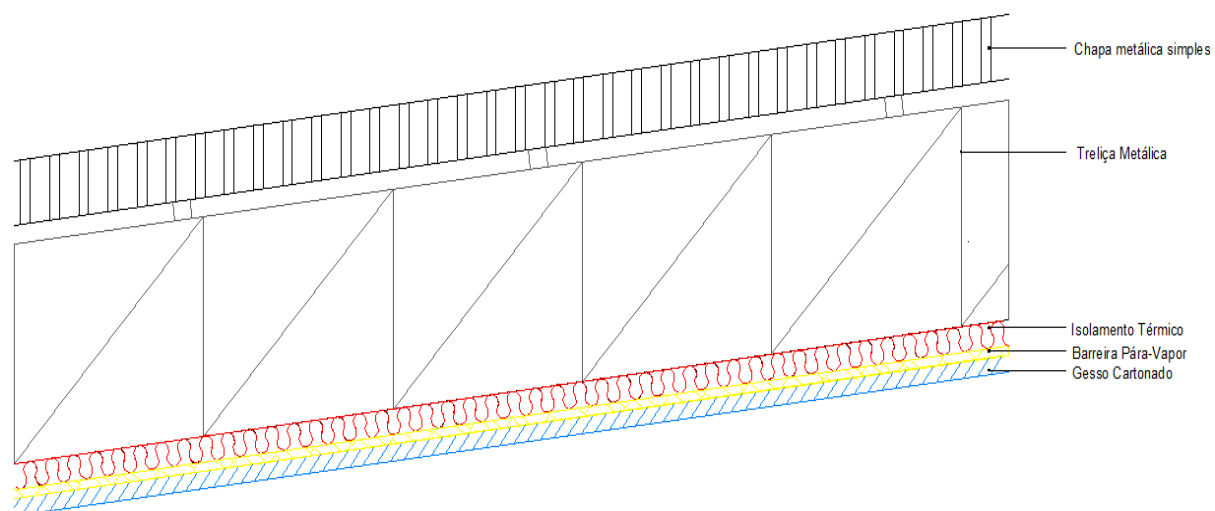


Fig 3.15 - Cobertura inclinada em treliça metálica e chapa simples.

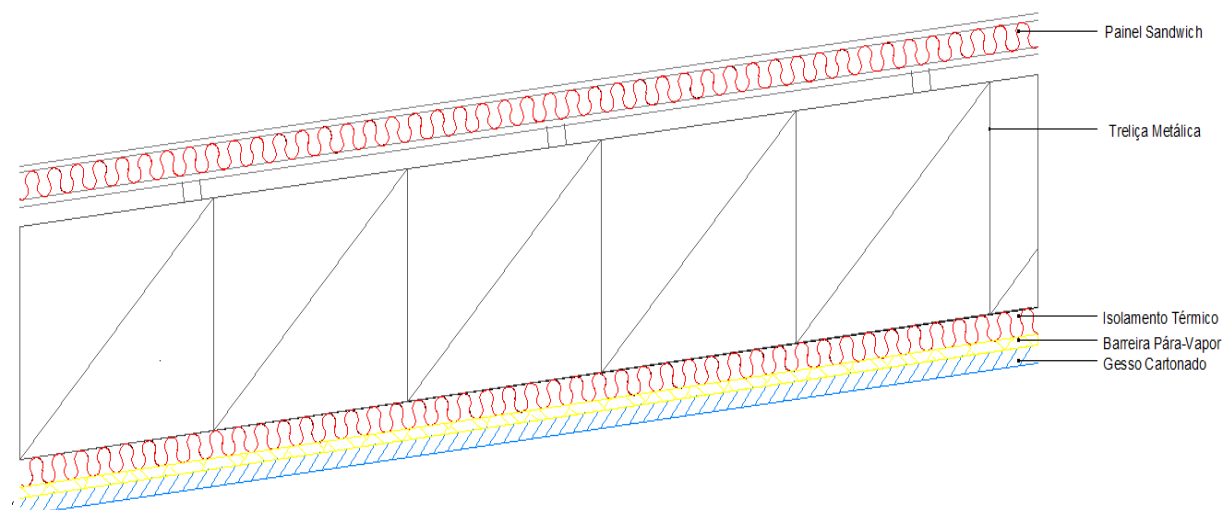


Fig 3.16 - Cobertura inclinada em treliça metálica e painel sandwich.

4 ANOMALIAS CORRENTES

4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Designa-se por “Anomalias correntes”, mas outras palavras como defeito ou patologia poderiam ter sido utilizadas para descrever o assunto que se irá abordar neste capítulo, que são as principais causas e processos que degradam os edifícios e os seus elementos, nomeadamente em coberturas.

Este elemento é das partes de maior vulnerabilidade num edifício devido à grande exposição a que está sujeito. Variações extremas de temperatura, radiação solar, carregamentos da chuva e da neve ou a ação de vento, são tudo parâmetros a ter em consideração aquando o dimensionamento da cobertura, sendo fundamental uma análise cuidada no objetivo de diminuir as possíveis anomalias. De realçar que um defeito de pequena área numa cobertura é normalmente passível de danos muito maiores do que numa parede.

Qualquer anomalia que um edifício possa ter resulta de uma falha que, devido ao número de intervenientes na construção e à origem da mesma, é um assunto de extrema complexidade, existindo várias definições na bibliografia da construção.

Em relação às coberturas, utilizam-se correntemente as seguintes definições de falha[33]:

- A cobertura ultrapassou o ciclo de vida para que foi projetada;
- A cobertura apresentou-se indesejada e inaceitável ou apresentou um comportamento inesperado como fugas, quebras, bolhas, deslizamentos ou supressões demasiado avançadas em que os custos de reparação excedem em 33% o custo de substituição;
- Quando um especialista em coberturas não consegue parar um vazamento num curto período de tempo;
- Quando se toma a decisão de substituir a cobertura existente devido ao seu colapso estar iminente ou as consequências da falha serem insuportáveis.

O AEPIC (Architectural and Engineering Performance Information Center) apresenta ainda a definição de falha como sendo *uma inaceitável diferença entre a performance esperada e observada*.

4.2 ANÁLISE DAS PRINCIPAIS CAUSAS DAS ANOMALIAS

A ambiência gerada no interior de uma nave de piscina, faz com que a possibilidade de ocorrência de anomalias assumam uma probabilidade superior ao normal. Assim, neste subcapítulo serão abordados três “responsáveis” por fazerem com que os elementos constituintes do edifício não permaneçam em condições adequadas de funcionamento: Os intervenientes na construção, a corrosão e, a humidade.

Sendo que os últimos dois resultam muitas vezes de irresponsabilidades por parte dos trabalhadores que operaram direta e indiretamente na construção do edifício.

4.2.1 INTERVENIENTES NA CONSTRUÇÃO DO EDIFÍCIO [33]

A contribuição que os projetistas, construtores, donos-de-obra, fabricantes, utentes e outros, têm na ocorrência de patologias nos elementos dos edifícios não é, na grande maioria dos casos, individual. Sendo a falha da qual resulta a deficiente utilidade do componente é devido à ação conjunta de vários intervenientes do processo construtivo.

Um estudo que analisou 40 casos de falhas da construção com o intuito de perceber qual a causa fundamental que a levou a acontecer chegou à seguinte conclusão:

- Dono-de-obra – 12,5%;
- Projetistas – 50%;
- Intervenientes na contratação – 42,5%;
- Vendedor/Construtor – 52,5%;
- Ganância – 20%;
- Incompetência – 5%.

De seguida serão detalhadas com maior pormenor cada uma destas razões, especificando-se algumas hipóteses que fundamentam o acontecimento da falha a partir da experiência adquirida de alguns profissionais.

4.2.1.1 Dono-de-obra

Os donos de obras contribuem habitualmente para a falha através de:

- Inadequação dos recursos para a realização dos trabalhos;
- Opção por um projetista não remunerado ao invés de investir num projetista profissional;
- Optar pelo construtor que oferece o melhor preço e não pelo que garante uma boa execução da obra a todos os níveis;
- Insistir no uso de sistemas de cobertura demasiado recentes;
- Permitir que trabalhos de manutenção sejam executados por trabalhadores sem qualificação;
- Aprovar materiais alternativos ou diferentes métodos de aplicação sem consultar o projetista do trabalho.

4.2.1.2 Projetistas

Uma das conclusões a que se chegou sobre os erros dos projetistas é que poucas escolas albergam cursos de projeto, então quando arquitetos e engenheiros recém-licenciados estão à frente de um projeto, erros acabam por aparecer. Estes acontecem normalmente devido a:

- Falhas do sistema de drenagem de águas pluviais;
- Providenciar especificações demasiado amplas ou demasiado detalhadas;
- Erros no fornecimento de indicações de manutenção e alteração dos sistemas;
- Falhas no entendimento do processo construtivo.

4.2.1.3 Intervenientes na contratação

Estes intervenientes têm uma percentagem bem imponente como razão do aparecimento de anomalias, como foi referido atrás. As atitudes habituais que levam a atingir esse valor são:

- Assumir o papel da equipa projetista;
- Incidir na produção ao invés da qualidade;
- Melhorar o custo do trabalho usando uma em vez de duas camadas de isolamento, fazendo com que o elemento construtivo não tenha o nível de exigência pretendido;
- Colocar o trabalho numa oferta baixa para depois compensar esse baixo preço com extras;
- Colocação de água na membrana de cobertura e culpar o fabricante do material pelo aparecimento de bolhas.

4.2.1.4 Construtores e vendedores

Muitos dos erros que advêm destes profissionais resultam de uma visão em túnel por parte de alguns vendedores. Esta consiste em se convencerem a si próprios e aos outros de que o produto que têm em mãos terá uma vida útil perfeita em vez de se consciencializarem de que a sua recente utilização pode não ter a garantia que vendem. Assim, tanto os vendedores como os construtores contribuem para a falha da seguinte forma:

- Dar ênfase às garantias de venda em vez de à cobertura em si;
- Falhas de treinamento da forma de construção da cobertura ou inspeção crítica dos trabalhos executados;
- Aprovar qualquer alteração pedida pelo aplicador da cobertura às recomendações do fabricante, sem recorrer à opinião do projetista;
- Aprovar que qualquer construtor execute os trabalhos sem saber da sua real competência;
- Instalar um sistema de cobertura sem saber como ficará o seu aspeto final.

4.2.1.5 Ganância e Incompetência

A ganância ou incompetência são defeitos que se encontram em todos os intervenientes até agora referidos, sendo também visível em advogados e companhias de seguros. Elas estão presentes e verificam-se nos seguintes casos:

- Os projetistas optam muitas vezes por materiais de preço mais reduzido em vez de se preocuparem com o desempenho que o elemento deve ter em obra;
- Os contratantes oferecem muitas vezes inferiores custos de substituição de alguns produtos sugerindo não se aplicarem algumas especificações exigidas, podendo assim o preço ficar ajustado ao que ofereceu;
- Os construtores diminuem as recomendações de aplicação para agradar ao contratante e assim conseguem a adjudicação da obra.

Muitos destes erros podem ser reduzidos se houver uma revisão experiente do projeto, uma monitorização e uma investigação detalhada.

4.2.2 CORROSÃO

O fenómeno de corrosão é a principal forma de degradação dos metais. Este define-se como sendo uma interação físico-química que se dá entre um elemento metálico e o meio envolvente, fazendo com que as suas propriedades e função a que foi destinado sejam significativamente afetadas.

O problema inerente à corrosão é um assunto bastante complexo pois existem várias formas de ela se desenvolver, diversas causas para acontecer e, inúmeras anomalias que pode proporcionar. O facto de uma cobertura estar exposta a uma grande diversidade de agentes faz com que erros no seu projeto e na sua instalação em obra, o contacto com o ambiente interior e exterior e, o contacto com outros materiais, tome contornos acrescidos do que se acontecesse noutro elemento e acelere o processo de corrosão mais rapidamente.

A Fig 4.1 exemplifica de uma forma geral os principais fatores que influenciam a corrosão dos componentes metálicos na construção.

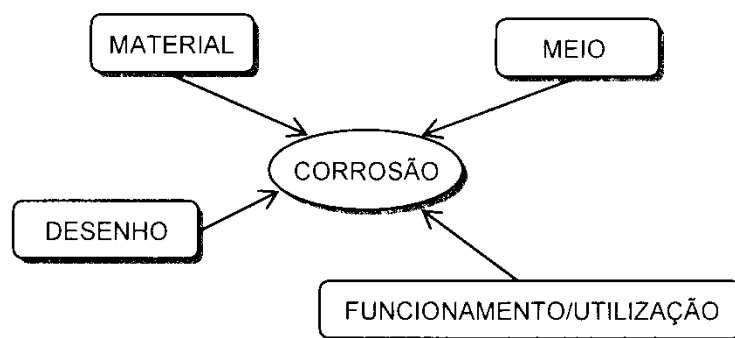


Fig 4.1 – Fatores gerais que influenciam a corrosão [34]

São diversos os prejuízos inerentes à corrosão de um material, que vão desde as perdas materiais, de funcionalidade, de danos, de contaminação do meio ambiente e de perigo à saúde humana, às perdas económicas como custos de reparação, de substituição e de mão-de-obra necessária.

Serão apresentadas assim algumas causas relacionadas com o aparecimento da corrosão nos materiais, bem como as suas formas de ocorrência e problemas relacionados.

Note-se que um simples sistema de manutenção com uma limpeza e reparação periódica dos elementos metálicos, nomeadamente dos revestimentos protetores, aumenta consideravelmente a vida útil dos materiais e elementos construtivos.

4.2.2.1 Tipos de corrosão e anomalias

A forma como se origina e desenvolve o processo corrosivo faz com que possam ser considerados diversos tipos de corrosão. Uma corrosão mais localizada pode constituir um ataque bem mais perigoso do que uma corrosão generalizada pois, para além de ser menos perceptível a sua existência, avança mais rapidamente e em profundidade. Deste modo, a corrosão tem como principais formas de ação [34]:

- Corrosão uniforme do metal em toda a sua superfície exposta, fazendo com que a espessura da mesma vá diminuindo gradualmente. Em alguns casos esta corrosão forma camadas protetoras que inibem a própria corrosão ao longo do tempo;
- Corrosão localizada por picadas em certos pontos da superfície metálica, podendo levar à perfuração completa da camada;
- Corrosão localizada que ocorre em interstícios e onde pequenas quantidades de água podem ficar estagnadas e corroer o interior de fendas ou uniões de peças;
- Corrosão localizada que se forma por erosão das películas protetoras devido ao movimento de qualquer fluido;
- Corrosão desenvolvida nos limites dos grãos cristalinos e que toma uma progressão idêntica à formação de fissuras, originando uma perda das propriedades mecânicas do elemento;
- Corrosão originada pela ação da corrosão e das tensões de tração no elemento metálico. Esta caracteriza-se por se iniciar na superfície e se propagar para o interior do metal na forma de fissuras.

Apresentadas as principais formas de como a corrosão pode ocorrer nos elementos metálicos, é importante referir quais os tipos de anomalias e principais sintomas resultantes das mesmas.

A ocorrência de condensações resulta em anomalias que se podem dividir em dois tipos: superficiais e profundas. As anomalias superficiais caracterizam-se fundamentalmente pela mudança de aspeto do metal devido à sua diferente cor superficial relativamente aos produtos corrosivos. De maior preocupação, as anomalias profundas chegam mesmo a afetar a função estrutural do componente metálico e a qualidade do meio que o envolve. Normalmente o aparecimento deste tipo de anomalia exige a reparação/substituição do elemento afetado ou até mesmo dos que estão em contacto com ele [34].

Para uma melhor compreensão apresenta-se o Quadro 4.1 que resume a os principais sintomas ligados aos diferentes tipos de anomalias.

Quadro 4.1 – Tipos de anomalias e seus sintomas devido à corrosão [34]

Tipo de anomalia	Principais sintomas	Observações
Superficial	Perda de brilho/esbranquiçamento	Os metais mais afetados devido a este fenómeno são os metais não revestidos. No entanto, metais como o aço inoxidável e o alumínio anodizado também podem sofrer alterações deste género.
	Alteração da cor	Este sintoma caracteriza-se por ser uma evolução do anteriormente descrito. Normalmente os aços ficam castanhos (ferrugem), o alumínio e o zinco ficam com uma cor cinzenta clara e o cobre pode ficar castanho ou até mesmo preto em atmosferas poluídas.
Profunda	Picadas/Perfurações	Sintoma muito perigoso pois o seu estado de desenvolvimento não é sempre perceptível devido à possibilidade de a superfície não estar significativamente alterada. A agressividade do ambiente envolvente é crucial para o desenvolvimento desta anomalia.
	Diminuição da espessura	Este sintoma pode reduzir a resistência mecânica do elemento construtivo afetando a sua estabilidade estrutural.
	Fissuras	O desenvolvimento de fissuras nos componentes metálicos está intimamente ligado à ação conjunta da corrosão com as tensões mecânicas a que estão sujeitos.

Como foi dito no capítulo 2, os metais mais utilizados em coberturas são o aço, o alumínio, o zinco e o cobre. Como tal, existem alguns tipos de corrosão associados ao uso de determinado metal.

O Quadro 4.2 faz uma breve síntese dos principais tipos de corrosão que afetam alguns metais utilizados na construção.

Quadro 4.2 – Tipos de corrosão associados aos principais metais utilizados em coberturas [35]

Tipo de Corrosão	Aço	Aço inoxidável	Alumínio	Zinco	Cobre
Uniforme	x			x	x
Picadas	x	x	x	x	x
Intersticial	x	x	x	x	x
Bimetálica¹	x		x	x	
Sob tensão¹		x			

¹⁾ Mais comum em elementos de fixação

4.2.2.2 Erros no projeto [34] [35]

O projeto é uma etapa fundamental para o seu comportamento contra à corrosão, devendo ponderar todos os aspetos específicos que possam agravar a ocorrência da mesma.

O objetivo principal é projetar adequadamente o elemento construtivo para que o aparecimento de anomalias devido à corrosão se reduzam ao mínimo possível. Para tal, a conformidade do material com o meio e o correto desenho do componente são dois parâmetros essenciais à longevidade da cobertura. Alguns erros de projeto mais comuns que levam à corrosão dos materiais são:

- Pendente da cobertura insuficiente;
- Metais diferentes em contacto (corrosão bimetálica);
- Insuficiência de juntas;
- Zonas de estagnação de líquidos;
- Zonas de acumulação de resíduos;
- Ausência de uma barreira pára-vapor em edifícios com elevadas diferenças térmicas no interior e no exterior;
- Dimensionamento de uma ventilação insuficiente para prevenir a ocorrência de condensações.

4.2.2.3 Erros na instalação

Erros quer na instalação quer nos processos que antecedem a mesma são extremamente correntes, sendo este um dos principais responsáveis pelo aparecimento da corrosão nos elementos construtivos.

Antes da montagem, são diversas as atitudes perante os materiais que poderão resultar em anomalias aquando a sua utilização no edifício. Assim, o armazenamento inadequado dos materiais como em locais que contenham humidade ou reduzida ventilação, bem como a sua deficiente preparação para entrar na obra, constituem operações que degradarão prematuramente os elementos construtivos e farão com que a sua vida útil diminua significativamente.

Relativamente à instalação propriamente dita do componente em obra, são ainda maiores as probabilidades de se provocarem danos permanentes nos materiais que mais tarde se manifestarão em corrosão dos mesmos. Posto isto, é fundamental ter extrema precaução no manuseamento do material, utilizar as ferramentas adequadas ao material que se está a colocar, utilizar materiais compatíveis e com qualidade suficiente em todos os elementos, isolar corretamente as juntas exteriores para não permitir a entrada de água para o interior, limpar os componentes metálicos com produtos não muito agressivos, entre outros.

É bastante simples evitar o aparecimento de corrosão nos diferentes elementos provocada por este tipo de erros, pois resultam apenas de erros humanos completamente evitáveis. Infelizmente há um grande descuido e falta de senso por parte de muitos trabalhadores quando manuseiam os materiais, constituindo um entre muitos aspetos a necessitar de evoluir na construção.

4.2.2.4 Incompatibilidade metal/ambiente exterior [34]

A atmosfera possui fatores climáticos que influenciam a corrosividade do material, enumerando-se entre estes a humidade relativa, a temperatura e insolação, a precipitação e a velocidade e direção dos ventos. Normalmente, quanto mais quente e húmido é o ambiente maior é a corrosividade atmosférica.

Aliado aos fatores acima enunciados, há um fator que afeta os materiais mais do que qualquer outro, a poluição atmosférica. As partículas de um ar poluído que se depositam na superfície de revestimento da cobertura fazem com que qualquer zona húmida permaneça por um maior período de tempo, e ao se dissolverem nas películas de água fazem com que a corrosão ocorra mais rapidamente.

A gravidade e a exigência de combate que o elemento afetado apresenta variam consoante o nível de corrosão do mesmo. Por sua vez, o nível de corrosão depende de alguns fatores como o tempo que a película de água permanece na superfície do metal de revestimento, a sua composição química, o modo de exposição do material (as coberturas ao estarem dispostas horizontalmente são elementos extremamente afetados pela corrosão pois a secagem é mais lenta e estão mais sujeitas à deposição e acumulação de materiais e líquidos) e o nível de poluição da ambiência exterior.

Um dos principais processos corrosivos que ocorre devido à incompatibilidade do metal com o meio é a corrosão por arejamento diferencial, que resulta do componente metálico estar ao mesmo tempo em contacto com concentrações desiguais de oxigénio. Este tipo de corrosão atua de forma localizada e processa-se através da oxidação da superfície com menor acesso ao oxigénio, permanecendo inalterada a zona com maior acesso a este elemento.

4.2.2.5 Incompatibilidade metal/ambiente interior [36] [37]

A atmosfera de uma piscina interior é um dos ambientes mais agressivos que se pode encontrar num edifício, pois as elevadas temperaturas da água combinadas com a grande produção de vapor fazem com haja elevados níveis de desinfeção química, sendo normalmente utilizados desinfetantes à base de cloro. Estes desinfetantes ao reagirem com os contaminantes introduzidos pelos banhistas originam a produção de cloroaminas, que por sua vez são consideradas como a principal causa da corrosão em ambientes de piscinas interiores.

Para uma melhor compreensão do quão agressivo é o ambiente interior de uma nave de piscinas e do cuidado que se deve ter aquando da seleção dos materiais que se utilizam nos principais elementos que a constituem, serão apresentados alguns exemplos reais de desastres em edifícios de piscinas resultantes da corrosão de alguns elementos.

Um dos casos mais antigos relatados foi em 1985, em Uster na Suíça, onde o teto de uma piscina colapsou completamente e, de onde resultaram 12 mortes. Em Junho de 2001, foi a vez de uma piscina em Steenwijk na Holanda ter todo o seu teto e equipamentos de ventilação na água e nos bordos da piscina, sendo que felizmente neste caso o desastre ocorreu durante a noite, não resultando em nenhuma vítima fatal. Já em Setembro de 2003, na Finlândia, o teto de uma piscina de um hotel também se desmoronou no chão, sem nenhuma baixa mortal.

Todos estes desastres em piscinas têm uma causa em comum, um fenómeno denominado de “stress corrosion cracking” em determinadas classes de aço inoxidável. Todos os acidentes resultaram de fissuras devido à corrosão de barras em aço inoxidável do tipo AISI 304 e 316. Desde 1985 até aos dias de hoje foram diversos os acidentes com elementos de aço inoxidável desta classe, muitos não reportados em diversos países, sendo que mesmo após todos estes casos muitos construtores, proprietários e autoridades de piscinas, não estão conscientes do risco do uso deste tipo de aço inoxidável.

Na Holanda, devido ao primeiro grande desastre que ocorreu, um grande número de naves de piscinas foram revistas. Após esta análise, chegaram-se aos estonteantes números de 14 tetos de piscinas em risco imediato de colapso, 18 piscinas com necessidade de substituição devido à corrosão dos cabos que seguram o teto e, em praticamente todas elas, os elementos em aço inoxidável do tipo AISI 304 e 316 apresentavam corrosão.

Na Alemanha e na Suíça, o uso destas classes-padrão para a construção de aplicações com cargas de segurança crítica foram proibidas em naves de piscinas.

A razão de todos estes desastres terem acontecido é que o aço inoxidável AISI 304 e 316 contém 2% de molibdénio, apresentando uma boa performance abaixo ou acima do nível da água se regularmente molhados. No entanto, para aplicações em que a segurança é crítica como em coberturas, devem ser utilizados aços inoxidáveis de alta resistência à corrosão, como os que contêm 6% de molibdénio, pois conseguem resistir à corrosão em ambientes agressivos.

Este fenómeno designado por “stress corrosion cracking” é um tipo de corrosão localizada caracterizada por fissuras que se podem propagar extremamente rápido, levando à degradação do componente e da estrutura associada, em muito casos. Largas pesquisas indicam que este processo ocorre devido à combinação específica de três operações:

- O uso de certas classes de aço inoxidável, nomeadamente AISI 304 e 316;
- Tensões devido à estrutura de carga e às operações de montagem e instalação;
- Presença de um ambiente bem específico em termos de agressividade, nomeadamente de cloro contendo componentes desinfetantes que pode criar superfícies extremamente corrosivas.

Aliado às operações acima descritas, há um forte desconhecimento do quão diferente poderá ter de ser a construção de um edifício que contém uma piscina de outro com outro tipo de serviços. Um dos aspetos fundamentais é a temperatura de formação de fissuras devido à corrosão.

A temperatura máxima estimada em cima de um teto numa piscina é de 40°C, bem inferior aos 50/60°C que habitualmente a literatura sobre corrosão estabelece como a temperatura mínima em que as fissuras resultantes da corrosão podem ocorrer. No entanto, poucos especialistas sabem que a atmosfera, contendo todos os agentes nocivos já descritos, pode causar fissuras por corrosão a temperaturas bastante inferiores, entre os 24 e 30 °C.

Como conclusão, a experiência de muitos anos confirma que classes-padrão apropriadas de aço inoxidável são excelentes materiais tanto para remodelação como para novas piscinas, sendo que com os devidos cuidados este metal pode garantir décadas de serviço de confiança nos equipamentos em piscinas.

4.2.3 HUMIDADE

A humidade caracteriza-se por ser a principal causa das patologias em todo o tipo de edifícios. Esta tem várias de se manifestar, desde infiltrações e fugas nas canalizações à humidade ascensional e humidades de condensação.

Este fenómeno pode-se transferir na forma de vapor ou na forma líquida, como foi dito anteriormente. Na fase de vapor ela transfere-se por difusão ou por movimentos convectivos e na fase líquida pode ser por capilaridade, gravidade ou devido a um gradiente de pressões.

Devido à classificação higrométrica deste tipo de edifícios, a identificação das causas que levaram à ocorrência de humidades nos elementos construtivos toma contornos bem mais complexos do que noutros casos de estudo. No entanto, em coberturas das naves de piscinas as principais formas de ocorrência de humidades devem-se normalmente à formação de um gradiente de pressão e posteriores condensações, ou como resultado de infiltrações pela camada de revestimento.

4.2.3.1 Higrometria do local [31]

A formação de um gradiente de pressão entre o interior e o exterior, pelo facto de ser um ambiente de muito forte higrometria, leva a um mecanismo de difusão de vapor no elemento que separa as ambiências, ou seja, a cobertura. Assim, a transferência de humidade ocorre do ambiente com maior pressão (interior) para o de menor pressão (exterior), variando consoante os valores da humidade relativa e da temperatura dos dois ambientes e também dos valores de condutibilidade térmica e permeabilidade ao vapor de água das diferentes camadas que constituem a cobertura.

A forma de como o processo se desenvolve caracteriza-se pelo fluxo de vapor que se dá do interior para o exterior, ao encontrar uma camada de com elevada resistência ao vapor de água, fará com que a mesma atinja a pressão de saturação correspondente à temperatura nesse ponto e ocorra condensação. Assim, ao começar a existir humidade no estado líquido no interior do elemento construtivo e os seus teores tomarem valores cada vez mais elevados, passará a haver um fluxo de humidade em fase líquida contrário ao fluxo de vapor.

A recirculação do ar, que é um método muito comum para reduzir os custos de energia, pode aumentar a humidade, sendo que os contaminantes na atmosfera abonam a favor do mesmo.

O facto de não se prevenirem nem tratarem este tipo de fenómenos, fará com que haja uma contínua progressão das anomalias afetando todos os elementos constituintes da cobertura, desde os revestimentos à estrutura de suporte e elementos de fixação. A situação é agravada pelo facto de os componentes poderem não ser de fácil acesso para operações de limpeza e inspeção.

De realçar que apesar do ambiente extremamente propício à ocorrência de humidades, estas só acontecem devido à associação do mesmo com uma configuração construtiva deficiente da cobertura.

4.2.3.2 Infiltrações [32]

A humidade por infiltração resulta direta e indiretamente de erros construtivos por parte dos responsáveis pela projeção, construção ou manutenção do edifício. Esta pode ser devido a uma precária configuração construtiva do elemento protetor, a erros na montagem e instalação do mesmo, a qualquer tipo de anomalias, entre outros.

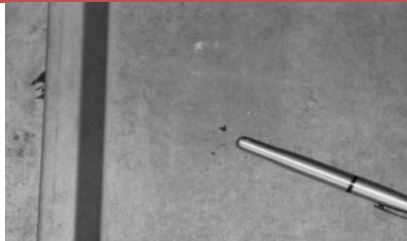
Como tal, os períodos críticos que podem levar a este processo são aqueles em que há a ocorrência de pluviosidade. Algumas anomalias e suas causas resultantes de infiltrações no sistema de revestimento serão apresentadas no subcapítulo seguinte, no entanto, a água das chuvas pode penetrar para o interior do edifício das seguintes formas:

- Falta de estanquidade em juntas de elementos construtivos;
- Reduzida inclinação do revestimento;
- Incompatibilidade de expansão/contração das chapas de revestimento com a sua geometria/juntas;
- Infiltração pelos apoios de equipamentos AVAC;
- Infiltração pelos capeamentos.

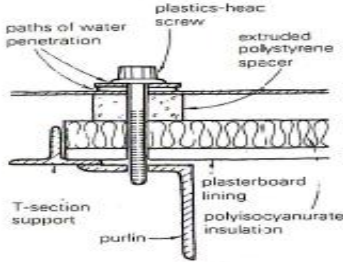
4.3 QUADRO-SÍNTESE DE ANOMALIAS EM CASOS REAIS

Com o intuito de se resumir e compactar toda a informação obtida na bibliografia da especialidade será apresentado um quadro-síntese sobre as principais anomalias que ocorrem em coberturas metálicas e em naves de piscinas com estes elementos na sua constituição. Deste modo, permite-se uma observação mais detalhada dos principais problemas que ocorrem, das suas principais causas e, uma análise fotográfica da grande maioria deles.

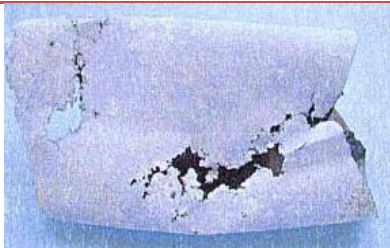
Quadro 4.3 - Casos reais de anomalias em coberturas metálicas

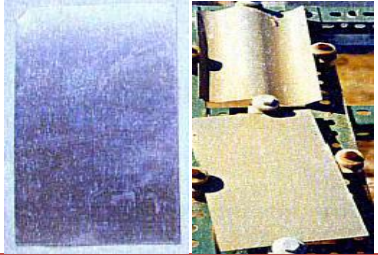
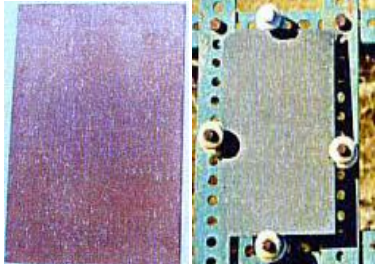
Anomalia	Causa(s)	Detalhe da Anomalia	Ref ^a
Degradação do revestimento em zinco de uma cobertura	Presença de água líquida no interior da cobertura devido à condensação do vapor de água Chapas diretamente em contacto com a camada inferior sem nenhuma ventilação		[38]
Degradação e entrada de água através do revestimento exterior da cobertura	Rigidez insuficiente de alguns elementos de suporte Sistema de fixação inadequado		[38]
Presença de água no estado líquido na face interior do sistema de revestimento em chapa metálica da cobertura de uma nave de piscina	Existência de um gradiente de pressão entre as duas ambiências que separa. A chapa metálica, com elevadíssima resistência à difusão do vapor de água atinge a pressão de saturação e condensa – Humidade no estado líquido na superfície.		[31]
Manchas de humidade e destacamentos no teto falso da nave da piscina	Muito forte higrometria do local associada a uma deficiente configuração construtiva da cobertura, provocou condensações na superfície interior do sistema de revestimento e o consequente gotejamento sobre o teto falso		[31]

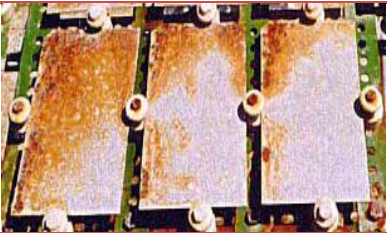
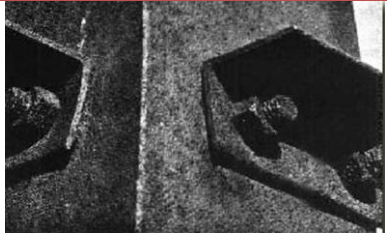
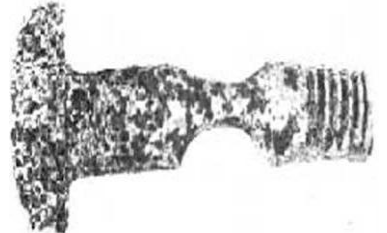
Manchas de humidade com formação de criptoflorescências e desagregação de revestimentos em tetos e paredes numa nave de piscinas	Falta de estanquidade em juntas de elementos construtivos Ambiente interior de muito forte higrometria Inadequada configuração do sistema de revestimento da cobertura face ao tipo de utilização do edifício Pendente reduzida da cobertura		[32]
Degradação de capeamentos e empenamento de chapas de zinco de uma cobertura	Insuficiências de juntas face às variações dimensionais que as chapas sofrem por dilatação térmica		[32]
Humidade no estado líquido no tardo de chapas de zinco da cobertura de uma nave de piscinas	Falta de estanquidade em juntas de elementos construtivos Ambiente interior de muito forte higrometria Incompatibilidade de expansão/contração das chapas de zinco com a sua geometria/juntas		[32]
Humidade no estado líquido no tardo da membrana pitonada da cobertura de uma nave de piscinas	Falta de estanquidade em juntas de elementos construtivos Ambiente interior de muito forte higrometria Incompatibilidade de expansão/contração das chapas de zinco com a sua geometria/juntas		[32]

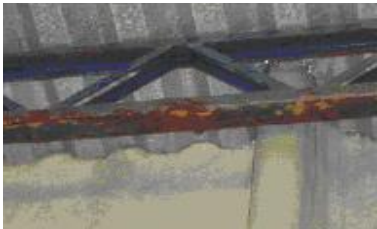
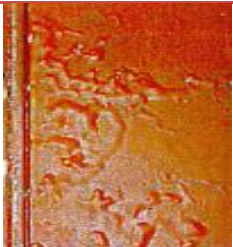
Humidade no estado líquido no tardo do isolamento térmico da cobertura de uma nave de piscinas	Falta de estanquidade em juntas de elementos construtivos Ambiente interior de muito forte higrometria Incompatibilidade de expansão/contração das chapas de zinco com a sua geometria/juntas		[32]
Entrada de água nos pontos de fixação de uma cobertura metálica	Corrosão das fixações Corrosão da folha de metal onde a fixação se encontra Fixações inadequadas Espaçadores inadequados		[39]
Entrada de água através de juntas sobrepostas em coberturas metálicas perfiladas	Sobreposições inadequadas ou mal fechadas (detalhe) Carregamentos não previstos em fase de projeto		[39]
Degradação de placas e corrosão dos elementos metálicos de teto suspenso para ocultação de equipamentos AVAC	Falta de estanquidade em juntas de elementos construtivos Ambiente interior de muito forte higrometria Inadequada configuração do sistema de revestimento da cobertura face ao tipo de utilização do edifício Pendente reduzida da cobertura		[32]

Corrosão de elementos metálicos interiores numa nave de piscinas	Falta de estanquidade em juntas de elementos construtivos		[32]
	Ambiente interior de muito forte higrometria		
	Inadequada configuração do sistema de revestimento da cobertura face ao tipo de utilização do edifício		
	Pendente reduzida da cobertura		
Corrosão do revestimento em chapas de zinco de uma cobertura	Insuficiente pendente da cobertura levou à formação de uma lâmina de água estagnada		[32]
Corrosão das barras em aço inoxidável que seguram as condutas do sistema de ventilação de uma nave de piscinas	Muito forte higrometria do edifício		[36]
	Uso de aço inoxidável de classe AISI 304 e 316		
Corrosão galvânica em telhas de alumínio	Contacto entre o alumínio das telhas e o aço da estrutura		[40]
	Presença de água ou humidade		

Perda de elementos ou de partes do componente metálico da cobertura	Corrosão localizada ou em extensas zonas da sua superfície		[34]
	Corrosão dos elementos de fixação		
	Utilização de um material menos nobre nos elementos de fixação		
Fissuração de um componente metálico em aço inoxidável	Corrosão		[34]
	Presença de tensões residuais no metal resultante de operações de fabrico do componente ou das suas peças		
Chapa de zinco usada como impermeabilização da cobertura de uma piscina com zonas com corrosão generalizada intensa e extensa perfuração	Ausência de uma barreira pára-vapor eficaz permitiu que a água resultante de condensações do vapor de água interior atingisse a superfície da chapa e aí permanecesse durante longos períodos em condições de arejamento deficiente		[35]
Colapso de uma cobertura em folhas de cobre	Fixações inadequadas para o local de exposição, permitindo a entrada de vento.		[39]
	Ataque químico que provocou a deterioração do componente em cobre		

Acumulação de folhas e resíduos em caleiras e tubos de queda de águas pluviais	Pendente da cobertura insuficiente Reduzidas dimensões de abertura das caleiras Falta de limpeza e manutenção de caleiras e tubos de queda		[32]
Colapso completo de teto e equipamentos de ventilação	Muito forte higrometria do edifício Uso de aço inoxidável de classe AISI 304 e 316		[36]
Componente metálico em alumínio ganha cor esbranquiçada após anos de exposição	Alteração da cor por corrosão (anomalia superficial) Não revestimento do componente Ambiente extremamente poluído		[34]
Componente metálico em cobre ganha cor esverdeada após anos de exposição	Alteração da cor por corrosão (anomalia superficial) Não revestimento do componente Ambiente extremamente poluído		[34]

Aparecimento de manchas de ferrugem e manchas brancas em ambientes marítimos	Elevada corrosividade do local de exposição Perda de brilho e alteração da cor		[34]
Corrosão de ligação aparafusada (frestas)	Presença de água Erros na fase de projeto		[41]
Corrosão de ligação aparafusada (parafuso)	Presença de água Gabarito errado Parafuso incompatível com a ligação		[41]
Ruína de ligação aparafusada por dobramento do parafuso	Erros nas dimensões Problemas de localização dos furos		[41]

Oxidação vermelha com destacamento de pintura de estrutura de suporte em aço com tinta epóxi	Estrutura em contacto com área húmida Película protetora ineficiente Preparo inadequado das áreas de solda		[42]
Corrosão da treliça de suporte da cobertura	Falta de concordância no travamento da estrutura nas colunas, emendas e perfis. Solda mal executada possibilitando a permanência de algum fluxo de solda que contém sais		[42]
Levantamento do revestimento em chumbo de uma cobertura	Fadiga causada pela incompatibilidade de expansão do cobre com a geometria da cobertura Sobredimensionamento do número de fixações Chapa demasiado larga para a sua espessura (quanto menos espessa a chapa menores dimensões tem de ter)		[39]
Empolamento e destacamento do revestimento lacado num perfil de alumínio	Pressão exercida pelos produtos de corrosão formados		[34]

Ruína de ligação aparafusada por cisalhamento do fuste do parafuso	O parafuso rompe devido à presença de uma tensão de cisalhamento superior à resistência de cálculo	Sem detalhe	[41]
Ruína de ligação aparafusada por rasgamento da chapa junto ao parafuso	Inadequação no projeto da chapa como dimensões insuficientes para o carregamento solicitado Chapa com furo alargado e consequente aumento da flexibilidade da estrutura Chapa com superfície rasgada na direção da tensão	Sem detalhe	[41]
Ruína de ligação aparafusada por tensionamento axial do fuste do parafuso	Tensão gerada pela tração do parafuso superior à tensão de resistência do fuste	Sem detalhe	[41]
Ruína de ligação aparafusada por rasgamento global da chapa de ligação	Tensão normal superior à tensão de escoamento da chapa	Sem detalhe	[41]

5 Métodos de Manutenção e Reabilitação

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo inicia-se com uma breve referência aos conceitos de reabilitação e manutenção, delimitando-se a fronteira existente entre eles. Seguidamente serão apresentadas algumas vantagens inerentes a cada uma destas atividades, bem como os custos associados às mesmas.

5.1.1 MANUTENÇÃO

São inúmeras as definições encontradas na bibliografia da especialidade que caracterizam esta atividade. No entanto, uma simples frase pode resumir o objetivo que a caracteriza:

- Conjunto de ações e cuidados técnicos que são indispensáveis ao regular e permanente funcionamento do edifício, envolvendo a conservação, adequação, restauração, substituição e prevenção dos componentes que o constituem.

Em Portugal e, de um modo geral nos restantes países, a imposição de medidas de manutenção não é vista como economicamente viável, sendo, na grande maioria dos casos, descartada a sua utilização. A intervenção em relação às anomalias que ocorrem é realizada de uma forma tardia e com um custo superior, quando um simples plano de manutenção ao longo da vida do edifício resolveria o problema com encargos significativamente menores.

O plano de manutenção acima referido provém de uma adequada gestão, indispensável ao funcionamento de qualquer edifício ou equipamento, devendo incluir a estratégia que melhor se coaduna com o tipo e finalidade do mesmo, bem como com os interesses e capacidade financeira dos intervenientes. Este deve responder às seguintes questões para um melhor planeamento e programação das exigências do edifício ou equipamento: “*Como? O quê? Em quanto tempo? Quem? Quando? Quanto?*” [43]

Ao longo deste capítulo, a constatação da crescente necessidade da manutenção dos empreendimentos será mais perceptível, restando por agora apresentar algumas das principais vantagens desta operação e do evitar o aparecimento de anomalias controláveis. Posto isto, garantindo-se uma manutenção evita-se uma grande parte das avarias e patologias não programadas, aumenta-se o período de vida dos equipamentos, instalações e do edifício propriamente dito, majora-se o valor económico deste e garantem-se as adequadas condições de segurança, conforto e higiene dos utentes [44].

5.1.2 REABILITAÇÃO

A principal diferença que distingue manutenção de reabilitação é que este último incorpora na sua atividade a melhoria da qualidade do elemento construtivo e o aumento do nível exigencial de desempenho para a atualidade [45].

A reabilitação de um edifício ou de um só elemento pretende-se que seja uma operação que adapte as suas características para níveis atuais, mas mantenha ao mesmo tempo os valores estéticos, históricos e arquitetónicos previstos aquando da sua construção. Posto isto, reabilitar é uma intervenção de complexidade superior à de uma nova construção, exigindo um planeamento, projeto e execução bem mais minuciosos.

O papel desta atividade no nosso país teve um aumento considerável, apesar de ainda se encontrar relativamente atrasado quando em comparação com outros países europeus. Podem-se enumerar alguns fatores que contribuíram para este atraso, tais como [44]:

- Educação de que a reabilitação é uma atividade que implica um grande investimento financeiro e significa que o edifício tem menor qualidade;
- Reduzida capacidade e mão-de-obra especializada das empresas de construção civil;
- Maior importância dada pelo Estado à aquisição de habitação do que ao arrendamento e reabilitação;
- Falta de políticas que potenciem o sentido estratégico da reabilitação.

Para o setor da reabilitação continuar em crescendo e poder instalar-se definitivamente como uma atividade viável e necessária, devem ser implementadas medidas que cultivem a necessidade de recuperar o parque habitacional existente no país ao invés de se construírem novas edificações.

Tal como a manutenção, a reabilitação também apresenta diversas vantagens, que contrariam o velho dogma de que é melhor substituir do que reabilitar. A reabilitação caracteriza-se por reduzir os custos de demolição, de licenças e de estaleiro, por preservar os valores culturais, por produzir menor quantidade de toxicidades ao ambiente, por reduzir as perturbações de ruído e também, por envolver menos riscos para os intervenientes.

5.1.3 INFLUÊNCIA DAS ETAPAS CONSTRUTIVAS [45] [46]

A elevada taxa de manifestações patológicas nos edifícios, faz com que haja uma crescente necessidade de garantir e controlar a qualidade ao longo de todo o processo construtivo. Estas manifestações são, na grande maioria dos casos, resultado de diversos fatores provenientes das diferentes etapas que fazem parte do processo de construção. Assim, este tem como principais fases:

- Planeamento;
- Projeto;
- Materiais e Componentes;
- Execução/Construção;
- Utilização e Manutenção.

Posto isto, para que as anomalias nos edifícios e nos seus componentes possam ser reduzidas ou eliminadas, um maior controlo da qualidade em todas estas etapas é fundamental. A seguir serão pormenorizadas algumas fases do processo, fazendo-se referência a algumas atitudes a melhorar na procura da minimização das patologias.

5.1.3.1 Projeto

Esta fase preliminar no processo construtivo constitui um dos principais responsáveis para o aparecimento de anomalias nos edifícios. Isto porque é nesta etapa que são tomadas grandes decisões, nomeadamente de custos, velocidade de execução e qualidade dos empreendimentos.

Sendo esta uma fase de decisões de extrema influência em todo o processo, estas devem ter um acrescido sentido de responsabilidade para minimizar ao máximo as repercussões futuras. Assim, podem-se enunciar alguns cuidados a serem tomados:

- Especificação adequada dos materiais e componentes de forma a terem o desempenho e compatibilidade exigida;
- Detalhamento construtivo correto e exequível;
- Acessibilidade mínima a todos elementos construtivos que permita a inspeção e limpeza;
- Consciencialização de que qualquer componente padece da possibilidade de substituição, estando este facto intimamente ligado à acessibilidade do mesmo.

A fase de manutenção ao longo da vida do empreendimento é crucial na escolha da estratégia a seguir. A inteligente e acertada escolha do plano de manutenção, indicando a frequência mínima de inspeção e limpeza dos componentes, permite uma diminuição dos custos globais assegurando a vida útil projetada.

5.1.3.2 Materiais e Componentes

Existem diversas razões relacionadas com os materiais de construção que originam o aparecimento de patologias, no entanto, o grande problema relacionado com este “interveniente” é o seu intrínseco relacionamento com as questões financeiras. Este facto contribui em muito para a ocorrência de anomalias pois na grande maioria dos casos escolhem-se os materiais de menor preço ao invés daqueles que apresentam melhor razão qualidade/preço o que, sem dúvida, irá garantir a utilidade por um maior período de tempo.

Aliado ao fator mencionado no parágrafo anterior, como responsáveis pelos problemas patológicos estão também:

- Falta de qualidade dos materiais e componentes;
- Durabilidade inferior à especificada;
- Aparecimento constante de novos materiais precocemente lançados no mercado;
- Locais para testes e ensaios em número bastante reduzido em Portugal;
- Exigência de certificação aquém do ideal como garantia de qualidade;
- Incompatibilidade entre materiais escolhidos.

Devido a todos estes fatores, a probabilidade de ocorrerem anomalias toma contornos bastantes preocupantes. Com isto, a previsão de um sistema de controlo nas diferentes fases ligadas ao material (seleção, aquisição, receção e aplicação) é de carácter essencial para garantir a qualidade do material a ser utilizado.

5.1.3.3 Execução/Construção

Esta fase, devido ao elevado número de intervenientes que possui, toma riscos acrescidos em relação às falhas que levam às patologias. Apesar de, no nosso país, ter havido um respeitável progresso em estratégias que melhoram a produção, ainda se identificam falhas na execução como:

- Mão-de-obra não qualificada;
- Soluções improvisadas;
- Prazo e custo com maior importância do que a qualidade e, muitas vezes, segurança;
- Política de subcontratação com forte implementação;
- Organização e administração precárias em relação à complexidade da execução de um empreendimento.

5.1.3.4 Utilização e Manutenção

Nesta etapa do processo de construção, as principais falhas que se constatarem estão inteiramente ligadas com a falta de consciencialização em relação à necessidade de um programa de manutenção. No entanto, mesmo que um plano de manutenção seja previsto desde a fase inicial do processo produtivo, os utentes do empreendimento não lhe dão a devida importância e estão, inconscientemente, a reduzir a vida útil do mesmo.

A consciencialização da manutenção como atividade fundamental para a preservação de uma edificação ao longo da vida é um dos pontos-chave de todo este capítulo.

5.1.4 CUSTOS ASSOCIADOS

5.1.4.1 Reabilitação [47]

Uma obra de reabilitação é uma operação de grande unicidade e especificidade. Assim sendo, não é possível generalizar custos de obras de reabilitação pois cada uma delas tem propriedades e características diferentes de todas as outras.

A comparação com os custos de construção de novas edificações também não se torna viável uma vez que as características de cada uma seguem contornos distintos. Isto porque apesar de reabilitar compreender técnicas e materiais idênticos aos de uma nova construção, as suas formas e condições de execução são bem mais complicadas, majorando por vezes o encargo económico dos trabalhos.

A questão dos custos de reabilitação é muito importante, até crucial para perceber se uma obra de reabilitação é economicamente viável em detrimento de uma nova construção.

Em relação aos trabalhos de reabilitação em coberturas, podem-se generalizar alguns aspetos que afetam direta ou indiretamente os seus custos. Aspetos esses que podem ser:

- O reduzido número de empresas e de profissionais verdadeiramente especializados em reabilitação, o que diminuiu a competitividade de mercado e, consequentemente, o aumento do preço;
- A reduzida experiência no estudo de causas e patologias originando um precário diagnóstico;
- A localização de algumas obras que, pela sua longevidade das áreas centrais de capacidade técnica, pode afetar os custos de reabilitação;

- A obrigatoriedade de muitos trabalhos de reabilitação terem de ser realizados em horário pós-laboral para assim ser possível manter o edifício com o funcionamento habitual;
- Os valores médios unitários dos trabalhos variam com a experiência e conhecimento do executante;
- O pouco espaço para a implantação do estaleiro de apoio à obra da maioria dos trabalhos de reabilitação, bem como a necessidade de sofisticados equipamentos de proteção para os trabalhadores.

Como é possível constatar a estimativa dos custos de uma obra de reabilitação é bastante complexa, exigindo rigor e conhecimento avançados. O elevado número de variáveis subjugadas à mesma implica uma análise experiente e especializada, dividindo-se o seu estudo em diversas fases para que o conhecimento das patologias, as suas causas e as suas técnicas de reparação, tenham um conhecimento suficientemente profundo.

5.1.4.2 Manutenção

É de fácil percepção o facto de que, quanto mais tarde se decidirem resolver os problemas patológicos, mais dispendioso será para o proprietário devido ao superior estado de degradação do componente. Esta “regra” é mostrada pela lei de Sitter, que define os custos relativos de intervenção consoante o período de tempo e a fase do processo construtivo em que é realizada [45].

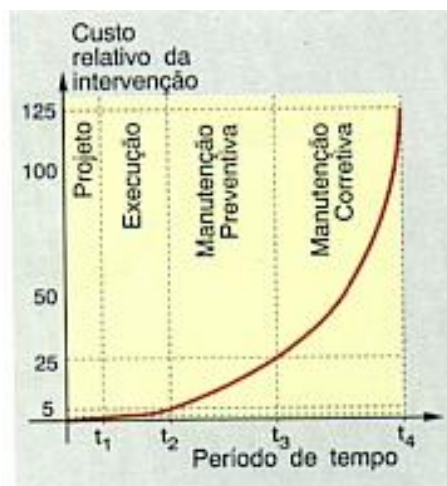


Fig 5.1 – Lei de Sitter (Custos de intervenção) [48]

Tal como vem sendo realçado neste capítulo, é crucial que a manutenção seja prevista e realizada desde o início do processo construtivo, sendo esta imagem um ótimo exemplo disso. A manutenção pode seguir vários tipos de estratégias, se as diferentes características dos vários empreendimentos assim o exigirem. Mais à frente neste capítulo será feita referência a algumas políticas que podem ser incorporadas nos planos de manutenção.

5.2 METODOLOGIA DE REABILITAÇÃO

Quando se pretende realizar um trabalho de reabilitação, seja de um edifício ou apenas de um componente, existem critérios e princípios básicos a ter em consideração para que a estratégia que leva ao resultado final seja a melhor possível. Aliado a estes fatores, existem várias etapas, desde a visualização da patologia até ao encontro da melhor solução de reabilitação. Posto isto, este

subcapítulo pretende apresentar alguns princípios e linhas para que o diagnóstico seja corretamente efetuado, na procura da resolução da anomalia.

5.2.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS [44] [49]

Antes de enunciar os procedimentos para o diagnóstico do problema, é razoável determinar alguns critérios e princípios que a equipa examinadora da patologia deve respeitar. Assim sendo, a equipa de resolução da patologia deve:

- Esgotar as possibilidades de resolução da patologia sem impossibilitar o uso a que o edifício se destina;
- Utilizar ferramentas simples e funcionais, realizando o trabalho o mais rápido possível caso perturbe o normal funcionamento do edifício;
- Aplicar soluções que melhorem o desempenho do empreendimento;
- Cobrir a menor área possível caso tenham de se realizar exames destrutivos de alguns elementos;
- Garantir a compatibilidade das novas soluções com as existentes, nomeadamente em relação à escolha dos materiais;
- Aproveitar ao máximo os elementos e partes do edifício a reabilitar;
- Preservar as características históricas e arquitetónicas do edifício;
- Documentar todas as intervenções e modificações realizados no histórico do edifício.

5.2.2 ESTRUTURA DO PROCEDIMENTO

No ramo da resolução de patologias não existe um procedimento modelo que sirva de base às várias ações que incorpora, sendo que na grande parte dos casos é a intuição pessoal aliada à experiência que prevalece. É verdade que a especificidade de cada caso de reabilitação não permite que haja uma metodologia universal que possa ser aplicada a todos os casos, funcionando a vivência do examinador como complemento fundamental da análise.

Posto isto, e tendo sempre a experiência como uma característica essencial e necessária, será proposto um fluxograma composto pelas várias etapas que se pensam ser essenciais para uma resolução eficaz e permanente do problema patológico, através da consulta e unificação de alguns documentos da especialidade [32] [49] [50].

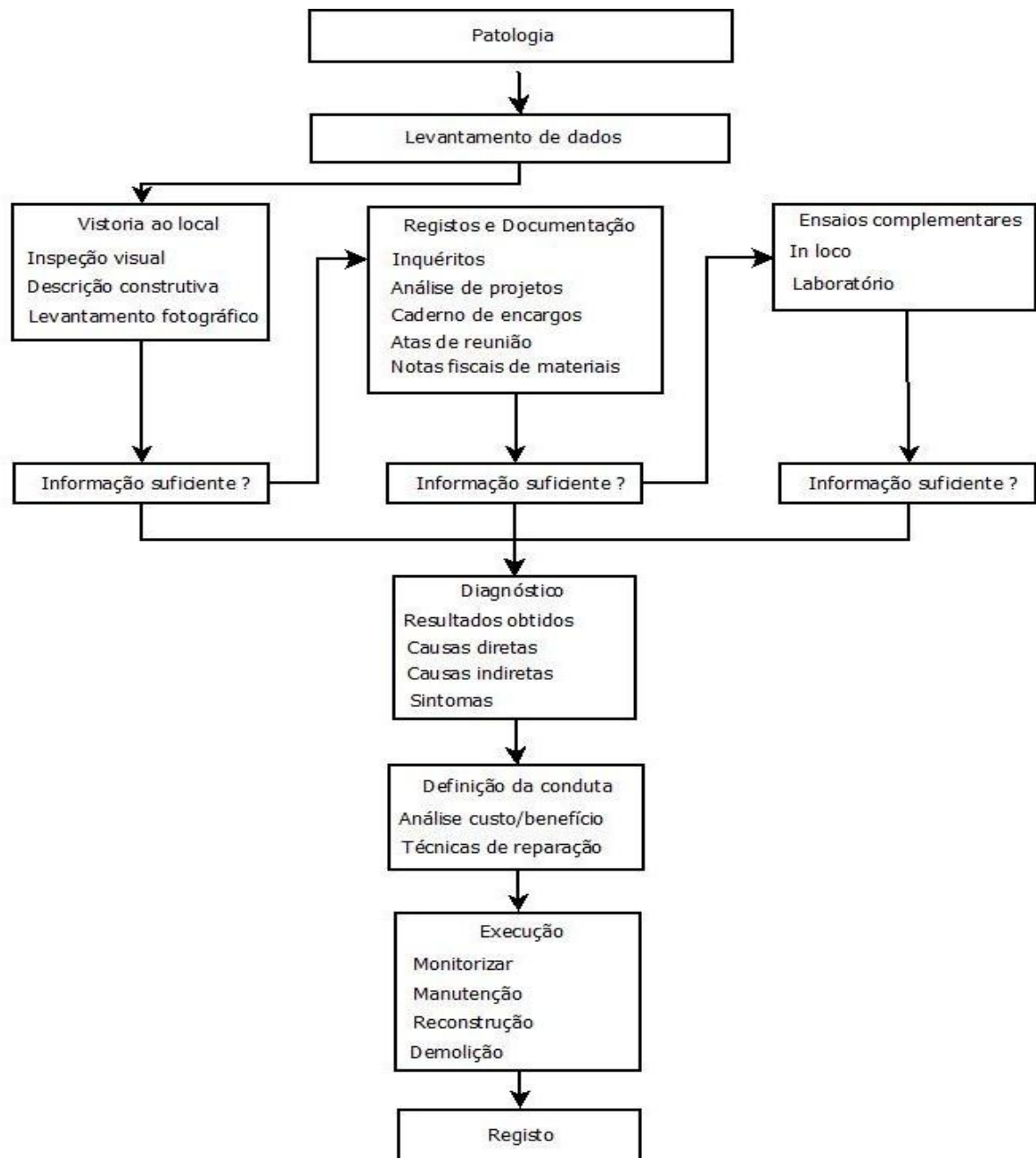


Fig 5.2 – Fluxograma do procedimento de atuação perante problemas patológicos

Como se percebe pelo fluxograma, para se proceder a um diagnóstico completo e eficaz devem ser integradas diversas disciplinas de modo a interligar o estado atual do edifício com o seu histórico. De seguida, detalhar-se-á, com maior pormenor, algumas das etapas mencionadas no fluxograma como apoio à compreensão do procedimento.

5.2.2.1 Levantamento de dados

A constituição desta etapa inicial varia consoante a complexidade do problema em análise. Primeiramente, uma visita ao local para uma interpretação visual deve ser sempre realizada para uma adequada introdução ao problema. Em alguns casos, esta fase pode ficar concluída com este simples procedimento caso a simplicidade da patologia permita reunir informação suficiente para o diagnóstico. No entanto, se a questão for mais complexa, parte-se para uma análise mais aprofundada

realizando-se desde inquéritos a utentes e estudo de documentos relacionados com o edifício a ensaios no local ou em laboratório.

Existem casos em que, nem o conjunto de todas as atitudes especificadas no parágrafo anterior permitem uma clara perceção do problema, seja por falta de documentação histórica ou pela singular complexidade da patologia. Quando assim é recorre-se normalmente a uma pesquisa bibliográfica para uma melhor compreensão do assunto.

5.2.2.2 Diagnóstico

A correta interpretação de toda a informação reunida na fase anterior e dos resultados obtidos, é fundamental para um bom diagnóstico.

Nesta etapa devem ser compreendidas as causas que levaram ao acontecimento da anomalia, percebendo se o elemento responsável é de origem externa ou proveniente de algum erro dos intervenientes na construção.

Todo o estudo envolvido nesta fase deve tornar clara qual a conduta a seguir, podendo em algumas situações ser estabelecida mais do que uma possibilidade de intervenção para o caso da primeira escolha vir a ter uma avaliação negativa aquando da sua implementação.

5.2.2.3 Definição da conduta

Na etapa precedente a esta foi, ou deveria ter sido, estabelecida a diferença entre a situação desejada e a que realmente se verifica, identificando-se o desvio entre as duas situações. Com base nesta informação, aliada a um elaborado processo mental, define-se qual a conduta a seguir para resolver o problema.

Com alguma incerteza associada, a escolha da melhor solução de reabilitação deve recair na ação ou no conjunto de ações que melhor preencham os critérios estabelecidos como mínimos para tratar a patologia. Este desempenho mínimo servirá de base a um conjunto de alternativas de intervenção, que se organizarão de forma hierárquica consoante as suas técnicas de reabilitação se adaptam melhor ou pior ao problema.

Posto isto, a definição da conduta é realizada tendo em consideração três aspetos básicos [50]:

- Relação custo/benefício;
- Grau de incerteza sobre o real efeito da técnica de intervenção;
- Disponibilidade tecnológica para execução dos trabalhos.

5.2.2.4 Execução e registo

Analisados todos os prós e contras, resta partir para a execução das medidas definidas como ideais para resolver a patologia. Estas medidas podem constituir várias formas de ação consoante o desenvolvimento e gravidade da anomalia, indo desde a simples monitorização ou manutenção dos componentes afetados até à reconstrução ou demolição.

Uma etapa fundamental para o sucesso do trabalho executado é a avaliação. Só com uma avaliação final e perceção dos efeitos inerentes ao processo é possível eliminar todas as incertezas que surgiram nas etapas de diagnóstico e definição da conduta. Caso a avaliação não seja positiva, devem ser

analisados os erros cometidos nas etapas de tratamento de informação para se otimizar o desempenho final obtido.

Quando se avalia o desempenho final do trabalho como adequado, este processo de avaliação deixa de fazer parte do processo de resolução da patologia e incorpora outro igualmente importante, o de manutenção do edifício através de inspeções periódicas.

A parte prática encontra-se então concluída, seguindo-se a de formalização por escrito da história do problema e das técnicas adotadas como solução. Este registo de toda a informação torna-se fundamental para se obterem dados estatísticos sobre a incidência das manifestações e dos problemas patológicos, bem como a eficiência das diversas formas de tratamento.

O registo constitui um historial muito importante para a resolução de futuros problemas no edifício e é mais um passo na ampliação do conhecimento sobre patologias para todos os especialistas.

5.3 MEDIDAS DE PREVENÇÃO

A melhor forma de atuar perante todas as patologias existentes nos edifícios é evitar que elas aconteçam, sendo que o sucesso dessa ação está intimamente ligado com uma adequada política de prevenção.

A prevenção começa por adotar uma estratégia de manutenção que evite o aparecimento de qualquer anomalia ou então que permita eliminá-la com técnicas simples e de reduzido custo. Posto isto, existem diversas estratégias de manutenção, desde as que tentam corrigir o problema até às que previne o problema.

Este subcapítulo pretende enunciar políticas que podem ser incorporadas no plano de manutenção, bem como apresentar algumas medidas de prevenção habitualmente utilizadas nos componentes metálicos no combate à sua degradação.

5.3.1 ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO [45]

Como foi dito anteriormente, o plano de manutenção deve englobar uma ou mais do que uma estratégia que melhor se coadune com os objetivos estipulados. Assim sendo, estas podem ser:

- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Corretiva;
- Manutenção Integrada.

5.3.1.1 Manutenção Preventiva

Como o próprio nome indica, a manutenção preventiva caracteriza-se por prevenir a ocorrência de anomalias. A forma de atuação desta estratégia pode entrar já no campo da reabilitação pois caracteriza-se pela substituição do elemento construtivo por um análogo ou pela substituição por um que apresente melhores características, diminuindo assim a probabilidade de uma nova ocorrência.

Esta estratégia pode englobar dois tipos de manutenção, a sistemática ou a preditiva.

A manutenção sistemática exige um cuidado planeamento ainda em fase projeto, estabelecendo-se operações de manutenção consoante a estimativa do período de vida do elemento construtivo. A experiência dos intervenientes na elaboração do planeamento é fundamental, pois apenas com um bom conhecimento das características dos materiais se consegue atuar antes do elemento ser afetado.

Em contrapartida, a manutenção preditiva recorre a um planeamento de inspeções a efetuar para averiguação do estado dos elementos construtivos. Deste modo, analisa-se se o elemento ainda apresenta um bom desempenho ou se alguma técnica de intervenção terá de ser aplicada, quantificando-se quando e como será feita a sua aplicação.

Pela forma de atuação percebe-se que uma manutenção preditiva é economicamente mais favorável que a sistemática, caso nunca se verifiquem patologias demasiadamente avançadas. Quando o custo de intervenção é demasiado elevado, uma manutenção sistemática torna-se a opção mais vantajosa.

5.3.1.2 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva ou reativa é a mais básica estratégia em políticas de manutenção, pois a sua intervenção toma lugar apenas quando o elemento construtivo já se apresenta degradado.

Esta política acarreta menores custos relativamente ao trabalho contínuo de manutenção, no entanto, posteriormente terá encargos económicos superiores, pois pode haver a necessidade de substituição total do elemento construtivo.

Concluindo, para uma manutenção segura e eficaz, esta estratégia não deve ser implementada pois acompanha-se de um grande fator de risco em termos de segurança, bem como a utilização de muitas técnicas inadequadas devido à urgência dos trabalhos de reparação.

5.3.1.3 Manutenção Integrada

Este método constitui o mais avançado sistema de manutenção de todos os enunciados. Surge então para grandes empreendimentos, integrando uma grande quantidade de informação para que a manutenção seja eficaz e capaz de prever qualquer patologia em qualquer elemento construtivo.

A manutenção integrada é conseguida com recurso a sistemas informáticos, tornando-se extremamente eficaz pois consegue interligar as duas estratégias anteriormente apresentadas, a preventiva e a corretiva.

Torna-se então perceptível que a melhor estratégia a adotar é a de uma manutenção integrada. No entanto, devido ao tamanho e complexidade da grande maioria dos empreendimentos, uma manutenção preventiva constitui uma estratégia bastante favorável e adequada na prevenção de anomalias.

5.3.2 PROTEÇÃO DOS COMPONENTES METÁLICOS [13]

Os elementos metálicos, devido às suas características e habitual exposição, são materiais sujeitos a um diverso número de agentes que podem afetar o seu normal desempenho. Por isso, para a sua utilização na construção civil, os metais e em particular os aços, são submetidos a tratamentos que alteram as suas características permitindo um comportamento adequado ao tipo de exposição.

Dentro dos vários tipos de tratamento e tendo em consideração o assunto deste estudo, o mais utilizado é o tratamento superficial. Assim, é possível produzir um revestimento metálico através de um grande número de processos, sendo os mais utilizados:

- Galvanização;
- Metalização;
- Folheamento;
- Aplicação de tintas.

5.3.2.1 Galvanização

Este é um processo de imersão a quente, onde se coloca o aço num banho de zinco obtendo-se na superfície do aço, um revestimento contínuo e aderente de zinco.

O metal escolhido é o zinco devido à sua excelente afinidade química com o aço e características especiais. O vapor de água presente na atmosfera e noutros ambientes faz com que este metal se oxide rapidamente e, ao contrário do aço, esta oxidação é favorável à sua proteção. O produto de oxidação formado é um carbonato que, sendo impermeável e aderente, se fixa na superfície evitando a exposição do aço.

Apesar de todas as vantajosas características que esta junção de metais proporciona, alguns fatores podem fazer com que a proteção não seja suficiente e ocorra a corrosão (branca) do zinco [22]:

- Pendente insuficiente de algumas coberturas favorece o aparecimento da corrosão branca no zinco devido à formação de lâminas estagnadas de água. Quando se projetam coberturas de reduzida inclinação devem ser tomados cuidados especiais como a manutenção através de inspeções periódicas do revestimento;
- Deficiente sobreposição entre as chapas do revestimento que, ao permitir o armazenamento de água entre as mesmas, provoca a sua degradação.

5.3.2.2 Metalização

Este processo recorre a uma pistola que, incorporando dispositivos de pulverização e de fusão, projeta sobre o metal a proteger outro previamente fundido. A grande parte dos metais e ligas pode ser aplicada sobre a superfície a proteger, sendo a projeção normalmente feita para formar uma capa de zinco ou alumínio pois apresentam um bom comportamento à corrosão em meio húmidos.

Para um melhor comportamento do revestimento aplicado, pode ainda ser realizado um tratamento de tintas como complemento à metalização.

5.3.2.3 Folheamento

O metal habitualmente utilizado para realizar o folheamento do aço é o aço inoxidável. O facto de se envolver uma placa de aço com uma folha de aço inoxidável faz com que a chapa obtida tenha as propriedades mecânicas do aço e, ao mesmo tempo, a inoxidabilidade à superfície do produto folheado.

5.3.2.4 Aplicação de tintas

O processo de aplicação de tintas surgiu com a necessidade de melhorar o comportamento das chapas utilizadas como revestimento, ao mesmo tempo que se melhora o aspeto estético dos componentes metálicos.

Dentro desta medida preventiva podem-se utilizar três tipos de processos de pintura [22]:

- Pintura líquida;
- Pintura a pó;
- Pré-pintura.

A pintura líquida não é muito favorável pois, o facto de a tinta ser normalmente aplicada por uma pistola, provoca uma grande perda de material, um revestimento irregular e a formação de bolhas.

O metal pré-pintado tornou-se o processo mais indicado, pois permite um rigoroso controlo da camada de tinta e a sua uniformidade por todo o revestimento. Este facto permitiu o desenvolvimento de projetos industriais mais arrojados em termos arquitetónicos e com maior segurança em relação à degradação dos revestimentos.

5.3.3 PREVENÇÃO DA CORROSÃO

Neste trabalho, nomeadamente no capítulo das anomalias correntes nos elementos metálicos, foi dado grande ênfase à corrosão e à forma como esta afeta os elementos construtivos. No entanto, nunca é de mais ressaltar alguns cuidados que os intervenientes na construção e manutenção do edifício têm de ter, principalmente quando se trata de naves de piscinas.

Assim sendo, e para além dos tratamentos contra a corrosão acima apresentados, algumas medidas preventivas a adotar por parte dos intervenientes no processo construtivo de naves de piscinas são as seguintes [37]:

- Consideração dos elevados riscos associados ao nível de corrosão da ambiência;
- *Design* dos elementos construtivos que evite o aparecimento da corrosão e facilite as operações de inspeção e manutenção;
- Caso seja utilizado aço inoxidável nos elementos interiores da nave, uma adequada seleção da classe de aço deve ser considerada;
- O balanço químico da água da piscina deve ser monitorizado e ter a dosagem adequada;
- Assegurar que a capacidade de banhistas da piscina não foi excedida e que a contaminação orgânica da ambiência é minimizada através de banhos antes de entrar na piscina;
- Manter a ventilação projetada como ideal, assegurando a boa qualidade do ar;
- Limpeza regular para remoção de lixos e componentes contaminantes;
- Inspeção periódica dos elementos metálicos que sustentam ou que fazem parte de componentes com segurança crítica.

5.3.4 PREVENÇÃO DE CONDENSAÇÕES [20]

A melhor forma de se evitar a ocorrência de condensações já foi apresentada no capítulo anterior, não havendo dúvidas de que uma ventilação adequada, aliada a um isolamento suficiente do revestimento, é a forma mais indicada de atuar.

Deste modo segue-se a apresentação de duas técnicas de reparação/prevenção que são favoráveis quando se lida com um problema de condensações superficiais no revestimento metálico.

5.3.4.1 Flocage

Este processo caracteriza-se pela projeção pneumática de fibras têxteis (naturais ou artificiais), na superfície inferior do revestimento da cobertura após a aplicação de um material aderente.

A *flocage* torna-se numa excelente alternativa quando as configurações construtivas das coberturas, aliadas ao ambiente agressivo de uma nave de piscina, obrigam a renovações horárias demasiado altas que põem em causa a eficiência energética do edifício e o seu conforto interior. Esta técnica é uma forma de corrigir esta situação, permitindo obter valores adequados de ventilação e evitando a formação de condensações na superfície inferior do revestimento.

Além de proporcionar uma boa solução relativamente a condensações, também melhora o comportamento ao fogo e as propriedades térmicas e acústicas da cobertura.



Fig 5.3 – Projeção de *flocage* na cobertura [20]



Fig 5.4 – *Flocage* aplicado na cobertura de uma nave de piscinas [20]

5.3.4.2 Espuma expansiva de poliuretano projetado (SPF)

A aplicação de uma espuma expansiva de poliuretano projetado é uma técnica de prevenção que se caracteriza-se por se projetar através de uma pistola um polímero termoendurecido constituído por um endurecedor à base de isocianatos (composto orgânico) e uma resina de polioli. Este material, quando aplicado adequadamente, apresenta uma boa adesão ao suporte e permite aceder a zonas críticas como cantos emergentes ou cantos e beirais.

Este produto pode ser aplicado tanto na face interior como exterior do revestimento metálico, seguindo-se uma apresentação das características de aplicação em cada uma delas.

Superfície exterior do revestimento

Uma boa resistência ao vento é a característica fundamental para que este produto possa ser aplicado no exterior.

Relativamente ao procedimento de aplicação, antes de se iniciar o processo, deve-se limpar a superfície para que esteja sem sujidade e acumulação de detritos, removendo qualquer tipo de corrosão que possa existir, permitindo assim uma adequada adesão ao suporte. Seguidamente aplica-se um primário que varia consoante o material que constitui o revestimento e com as recomendações do fornecedor, reunindo-se assim as condições de aplicação da espuma de poliuretano. A aplicação é

complementada com uma membrana elastómera (acrílica, borracha, butílica, neoprene, silicone, poliuretano elastómero, entre outros), recaindo a opção no produto que se adequa às características físicas e ao desempenho que se pretende da cobertura. O acabamento da solução é realizado com recurso a uma pintura protetora.

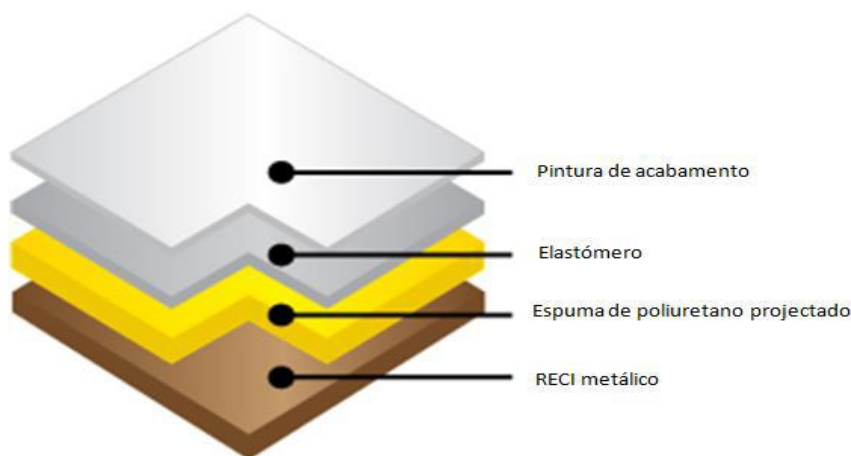


Fig 5.5 – Configuração construtiva de uma aplicação de SPF [20]

Apresentado o modo de aplicação desta técnica de reparação preventiva, enunciam-se seguidamente algumas vantagens inerentes a este processo:

- Aumenta a proteção do revestimento metálico aos raios UV, poluição e chuvas ácidas;
- Diminuiu a probabilidade de fixação de detritos e agentes biológicos na superfície exterior da cobertura;
- Torna o revestimento menos suscetível a diferenciais térmicos, protegendo-o de ocorrerem fissuras devido a fenómenos de expansão/contração do material;
- Aumenta a temperatura do revestimento diminuindo a probabilidade de ocorrerem condensações evitando que a superfície interior do revestimento atinja temperaturas inferiores à temperatura do ponto de orvalho;
- Melhora o isolamento térmico da cobertura permitindo ganhos energéticos e eficiência térmica no edifício (alguns fabricantes divulgam valores de até 50% como redução de custos energéticos).

Resta referir que para se obter uma camada uniforme devem ser projetadas 2 a 3 camadas, sendo a espessura habitual de 40 mm de espuma de poliuretano.

Superfície interior do revestimento

A aplicação do SPF pela face interior do revestimento da cobertura destina-se a situações em que o isolamento térmico se mostra insuficiente ou quando há a necessidade de se cobrir fissuras. Tal como a sua aplicação pelo exterior, quando aplicada pela face interior a espuma de poliuretano ajuda a combater as condensações superficiais no interior do revestimento.

De realçar que a ventilação para eliminar a humidade é de extrema importância pois a espuma de poliuretano quando submetida a longos períodos com humidade sofre uma rápida deterioração.

Relativamente às condições ambientais para a aplicação, recomenda-se uma temperatura entre 5 e 35 °C e uma humidade relativa entre 30 e 100%, ou seja, em condições perfeitamente compatíveis com a aplicação em naves de piscinas.

A preparação do suporte para posterior aplicação da espuma deve englobar a remoção de tintas e partículas, devendo a superfície encontrar-se limpa, seca, homogénea, uniforme e sem agentes contaminantes.

A espessura recomendável é, tal como para a superfície exterior, de 40 mm. No entanto, devido à dificuldade de aplicação de uma espessura tão específica, valores entre 35 e 50 mm são considerados aceitáveis. Nunca deve ser aplicada uma espuma de poliuretano com espessura inferior a 25 mm, pois o comportamento perante a ocorrência de condensações diminuiu consideravelmente.



Fig 5.6 – Aspeto final de uma aplicação de SPF pelo interior do revestimento [20]

5.4 TÉCNICAS DE INTERVENÇÃO

A manutenção e reabilitação estão intimamente ligadas quando o assunto remete para um desempenho adequado e com qualidade. Posto isto, existe um conjunto de procedimentos básicos de manutenção e reabilitação que permitem que o edifício não se degrade facilmente, e se obtenha o aproveitamento máximo dos componentes que o constituem por um maior período de tempo.

Assim, operações de inspeção, limpeza, medidas de correção e substituições têm de ser previstas no combate de patologias que, naturalmente acontecem durante a vida de um empreendimento [45].

Neste subcapítulo pretende-se dar ênfase a estas operações, referenciando-se medidas quer do âmbito da manutenção quer da reabilitação que se podem realizar em coberturas metálicas, sendo também apresentados casos práticos obtidos na bibliografia da especialidade.

5.4.1 INSPEÇÃO

Tendo em conta o que foi dito anteriormente acerca das diferentes políticas de manutenção, verifica-se que a frequência com que as inspeções são realizadas depende do tipo de estratégia adotada e do planeamento definido como ideal pelos intervenientes o que, por sua vez, depende da complexidade e obviamente capacidade económica do empreendimento.

No entanto, sendo a cobertura a parte do edifício mais exposta aos agentes externos, as inspeções neste elemento devem ter uma frequência superior à dos outros elementos, nomeadamente na superfície superior do revestimento. Assim, devem ser previstas inspeções de periodicidade mínima antes e depois de cada inverno para observação de possíveis obstruções de caleiras ou algerozes e das embocaduras dos tubos de queda.

Estas inspeções permitem também verificar o estado de conservação do revestimento, bem como dos seus elementos de fixação que normalmente apresentam uma grande tendência para a corrosão.

Serão as conclusões provenientes destas inspeções que irão alertar para a necessidade de limpeza ou medidas corretivas a executar no revestimento, podendo, em casos mais avançados, haver a necessidade de substituição do elemento.

5.4.2 LIMPEZA DO REVESTIMENTO

A limpeza do revestimento metálico de uma cobertura incorpora um conjunto de técnicas com o intuito de manter e reparar as características e a funcionalidade da mesma.

Neste subcapítulo pretende-se fazer referência a um conjunto de técnicas normalmente utilizadas nas operações de limpeza, bem como as que melhor se coadunam com os diferentes materiais passíveis de constituir um revestimento de uma cobertura.

A técnica a utilizar em cada tipo de revestimento deve ter uma cuidada ponderação pois, apesar de ser uma medida de reparação, também provoca algum desgaste na superfície do elemento. Deve-se tentar sempre utilizar a técnica menos agressiva e com a menor quantidade de produtos nocivos para obter o máximo desempenho da operação de limpeza.

Posto isto, algumas das técnicas mais utilizadas na limpeza de revestimento metálicos são as seguintes [20]:

- Escovagem manual;
- Jato de água;
- Jato de água com abrasivo;
- Jato de ar comprimido;
- Mista.

5.4.2.1 Limpeza por escovagem manual

A utilização da técnica de limpeza por escovagem manual é a mais elementar de todas as mencionadas anteriormente. Ao mesmo tempo é a que apresenta menor probabilidade de danificar de alguma forma o revestimento pois não engloba a utilização de produtos químicos.

A simplicidade da técnica faz com que a sua eficiência também seja reduzida, devendo ser utilizada quando o revestimento apresenta apenas reduzidas quantidades de sujidade e detritos acumulados.



Fig 5.7 – Escovagem manual de um revestimento metálico [51]

5.4.2.2 Limpeza por jato de água

Este é um método com um desempenho bastante superior ao apresentado, englobando assim equipamentos e cuidados mais complexos.

Dentro dos cuidados na aplicação desta técnica enumeram-se os seguintes:

- Atenção ao sentido de aplicação do jato para que não ocorra penetração de água ou sujidade para o interior do edifício;
- Recolher as águas e os lodos originados pelo trabalho;
- Controlar a quantidade de água empregada pois caso haja fixação da mesma no revestimento proporciona o crescimento de vegetação;
- Não executar a limpeza quando a ambiência apresenta temperaturas reduzidas pois pode ocorrer a solidificação de alguma água e provocar danos na cobertura.

Assim, para se obter o máximo desempenho desta técnica deve-se escolher cuidadosamente o tipo de equipamento de ejeção bem como a pressão e quantidades de água a empregar.

Uma das principais vantagens de utilizar este método húmido reside no facto de se utilizar água no processo e de esta funcionar como lubrificante diminuindo a possibilidade de desgaste da superfície do revestimento.



Fig 5.8 – Aplicação da técnica de limpeza a jato de água num revestimento [52]

5.4.2.3 Limpeza por jato de água com abrasivo

Como se percebe pela denominação este método é uma variação do anteriormente referido. Se a execução da limpeza apenas por água já exigia uma significativa experiência por parte do operador, quando incorpora a utilização de um abrasivo a sua aplicação deve ser realizada somente por uma empresa especializada.

Os técnicos qualificados devem então ponderar qual a pressão e abrasivo que melhor se coaduna com o tipo de revestimento a reparar, pois uma escolha precária pode danificar severamente o material.

A aplicação deste método de limpeza deve apenas ser aplicado quando há um desenvolvimento de vegetação e uma colonização biológica muito intensa, bem como quando as restantes técnicas não produzem resultados satisfatórios.

5.4.2.4 Limpeza por jato de ar comprimido

A tecnologia de aplicação associada a este método segue os contornos utilizados na limpeza por jato de água, devendo apenas ser utilizada em detrimento desta quando a sujidade ou os resíduos externos não se encontram demasiadamente agarrados à superfície do revestimento.

5.4.2.5 Limpeza mista

A limpeza mista consiste num equipamento que permite alternar entre um jato de água ou um jato de ar comprimido, tornando-se bastante vantajosa pois permite aliar as vantagens do método húmido e do método seco.

Assim, o técnico que realiza o trabalho escolhe um dos dois modos de aplicação consoante as necessidades de limpeza do revestimento, podendo alternar entre um e outro sempre que desejar.

5.4.2.6 Aplicação específica das técnicas de limpeza

Referidas algumas das técnicas mais habituais de limpeza de coberturas com revestimentos metálicos, será apresentado o Quadro 5.1 com a forma de limpeza mais aconselhável para alguns componentes metálicos.

Quadro 5.1 – Técnicas de limpeza de componentes metálicos [20]

Metal	Processo de limpeza aconselhável
Alumínio anodizado	Em situações de reduzida sujidade o recurso a uma esponja humedecida é suficiente. Em situações de maior aderência aplica-se uma lavagem a jato de água adicionado de detergente e posterior aplicação de uma solução de cloroetileno e lavagem geral.
Alumínio lacado	Lavagem com recurso a água com um detergente neutro e posterior passagem de água para remover os resíduos. Incompatibilidade com lavagens ácidas ou básicas e produtos ou métodos abrasivos.
Aço galvanizado	Utilização de água e um solvente neutro. As eflorescências de cor branca que possam aparecer na superfície não devem ser removidas pois alteram apenas o aspeto visual e o processo pode tornar o material mais vulnerável aos agentes agressivos. Incompatibilidade com lavagens ácidas ou básicas e produtos abrasivos.
Aço galvanizado lacado	Lavagem com recurso a água com um detergente neutro e posterior passagem de água para remover os resíduos. Em sujidades mais intensas utiliza-se um pano embebido em solvente mineral seguido da lavagem com água. Incompatibilidade com lavagens ácidas ou básicas, excesso de solvente e produtos ou métodos abrasivos.
Aço inoxidável	Recurso a uma esponja húmida com um solvente neutro e passagem de água para remoção dos resíduos da limpeza. Incompatibilidade com técnicas abrasivas com abrasivos grosseiros ou halogéneos (utilização de um abrasivo bastante fino)
Outros elementos metálicos	Limpeza com recurso a jato de água podendo-se aplicar um produto químico caso a sujidade e os detritos tenham maior intensidade.

5.4.3 MANUTENÇÃO/REABILITAÇÃO DOS ELEMENTOS DA COBERTURA

O facto de a cobertura de um edifício apresentar um nível de segurança crítico, obriga também a ter acrescidos cuidados de inspeção e perceção do desenvolvimento de patologias que possam pôr em causa o seu desempenho em todos os aspetos.

Perante o estado de desenvolvimento das anomalias, o técnico qualificado que realiza a observação dos elementos construtivos da cobertura deve ter a experiência necessária para concluir se o estado dos mesmos exige apenas operações de manutenção, ou se a complexidade do problema obriga a trabalhos de reparação e reabilitação ou até mesmo substituição.

De realçar que, quanto mais tarde se intervém, mais se coloca em causa a segurança do elemento construtivo e maiores encargos financeiros estão adjacentes. Daí a importância dada por este trabalho aos processos de manutenção como otimização de todos os constituintes de um empreendimento.

Posto isto, serão apresentados alguns elementos que compõem a cobertura e as diferentes operações de reparação a realizar consoante o desenvolvimento das patologias.

5.4.3.1 Estrutura de suporte

A estrutura de suporte de uma cobertura é um dos principais elementos estruturais de um edifício. Por isso, dada a exposição crítica da cobertura a vários agentes e a importante função que desempenha como estrutura, deve ser alvo de sistemáticas análises.

Tendo em consideração a ambiência da nave de piscinas e a constituição da estrutura de suporte, a corrosão é uma anomalia com grande probabilidade de ocorrer. Quando se verifica a presença desta patologia, a primeira operação a realizar é a remoção da corrosão e a aplicação de uma membrana protetora. Quando a proteção não é semelhante à anteriormente colocada, deve-se proceder à decapagem do elemento e posteriormente à limpeza, aplicação de um primário e película protetora. No entanto, a presença de corrosão na estrutura de suporte pode obrigar à sua substituição, devendo ser realizada quando for colocada em causa a resistência estrutural do elemento [42].

Estas estruturas estão sujeitas ao aparecimento de anomalias devido a vários fatores, sendo um deles a ocorrência de erros de projeto. Falhas nestas etapas do processo construtivo fazem com que, por exemplo, seja frequente a flecha da estrutura ter valores acima do aceitável. Neste caso, o elemento construtivo deve ser imediatamente substituído, colocando-se uma estrutura mais resistente ou então utiliza-se um revestimento que proporcione menores carregamentos.

Em muitas situações, tal como em naves de piscinas, as estruturas de suporte metálicas estão sujeitas a variações volumétricas devido às variações térmicas que se sentem na ambiência. Uma medida para prevenir que ocorram danos neste e em qualquer outro elemento da cobertura é a aplicação de uma membrana na estrutura, de forma a conferir uma menor suscetibilidade térmica [20].

5.4.3.2 Isolamento térmico

Como é do conhecimento geral, o isolamento térmico constitui um elemento de extrema importância quer para garantir adequadas condições de conforto e habitabilidade, quer na prevenção de condensações e anomalias provenientes destas. Assim, garantir que não se verificam defeitos nesta camada da cobertura é fundamental para a otimização de todo o edifício.

Tal como em todos os elementos, a solução de problemas no isolamento térmico pode ir desde a sua reparação até ao caso de maior extremo que é a substituição.

Quando o isolamento se encontra num estado de degradação muito avançado, a única solução é a sua substituição, variando os procedimentos a adotar consoante a configuração construtiva da cobertura. Esta operação, podendo exigir o levantamento de outros elementos que compõem a cobertura, requer determinados cuidados como o armazenamento dos materiais em locais protegidos e o seu adequado manuseamento para que não ocorram mais danos provenientes deste procedimento.

Em situações em que a seriedade da anomalia é menor, procede-se então à reparação do isolamento térmico. Deste modo, duas técnicas de reparação que se podem utilizar quando o elemento apresenta fissuras ou anomalias similares são, por exemplo, a aplicação de mástique, quando estas são de pequenas dimensões, ou de espuma expansiva de poliuretano projetado (mencionado anteriormente) para situações mais complexas. Estas duas medidas constituem ótimas soluções para restituir o desempenho da camada de isolamento ao seu valor inicial.

5.4.3.3 Barreira pára-vapor

A utilização de um elemento construtivo como barreira pára-vapor tem um único propósito, diminuir a possibilidade de ocorrerem condensações entre os elementos da cobertura através da sua reduzida ou quase nula permeabilidade ao vapor de água.

Uma particularidade deste elemento é que basta uma pequena fissura para pôr em causa todo o funcionamento da barreira, possibilitando a passagem de vapor de água e consequente formação de condensações. Deste modo, as atitudes que normalmente induzem a um inadequado comportamento de uma barreira pára-vapor podem ser:

- Contacto com materiais que provoquem a sua degradação;
- Presença de temperaturas demasiado altas ou demasiado baixas;
- Inadequada aplicação da barreira;
- Mau manuseamento quando se coloca ou durante intervenções noutros elementos;
- Incongruência na escolha do tipo de barreira pára-vapor;

Quando o defeito na barreira pára-vapor é pequeno e o técnico qualificado constata que a sua substituição não é necessária, esta pode ser reparada através de uma emenda com um material aderente colocada na fissura ou rasgo. A emenda deve ser fixada mecanicamente, selando-se as fixações e juntas da emenda com fita bi-adesiva [20].

Tanto a sua reparação como substituição implica mexer noutros elementos da cobertura. Quando o desvão é não acessível e não ventilado qualquer intervenção na barreira pára-vapor obriga ao levantamento de todos os elementos sobrejacentes a esta, normalmente o isolamento térmico e o revestimento. Quando a cobertura possui um desvão acessível e ventilado as operações englobam menor riscos porque só exige normalmente o levantamento do isolamento térmico.

Qualquer que seja o tipo de intervenção, o manuseamento de todos os materiais deve ser realizado com extremo cuidado para se evitarem defeitos associados às operações de reparação.

5.4.3.4 Revestimento metálico

Anteriormente neste trabalho foi feita referência a um conjunto de técnicas de limpeza com vista à reparação de patologias nos revestimentos metálicos. No entanto, quando já nenhuma das possibilidades de limpeza obter resultados satisfatórios tem de se partir para a situação limite que é a substituição.

A substituição deste importante elemento pode ser parcial ou total. Quando as anomalias se verificam apenas em determinada zona do revestimento pode-se proceder à substituição de apenas algumas chapas evitando-se assim trabalhos demasiadamente complexos e onerosos. Caso a patologia seja verificada ao longo de toda a superfície do revestimento ou o seu desempenho já não permita corresponder às exigências da sua aplicação procede-se então à substituição de todo o elemento.

Causas como a incompatibilidade com o ambiente envolvente e corrosão avançada e generalizada constituem razões para a substituição total do revestimento. Qualquer que seja o tipo de intervenção a realizar ela deve incorporar uma análise das causas que levaram à substituição para que não ocorram novamente no novo elemento.

5.4.3.5 Fixações no revestimento

Quando se verifica a degradação das fixações no revestimento, a substituição das mesmas é inevitável devido à dificuldade de reparação e importância que apresentam.

Quando se utilizam rebites, o seu desempenho vê-se afetado normalmente por uma quantidade insuficiente ou por uma distribuição incorreta dos mesmos. Quando a falta de desempenho dos rebites diminuiu a estanquidade do elemento e ocorre a entrada de água nesses pontos, a solução passa por substituir os rebites por outros de maior diâmetro. No entanto, quando a estanquidade está assegurada, havendo apenas a deformação dos mesmos, devem ser colocados parafusos para redistribuir a força aplicada nas fixações [20].

Quando se utilizam parafusos, quer com anilha quer auto-roscentes, alguns erros remetem ao inadequado dimensionamento do projeto e à incompatibilidade do material que o constitui com o do revestimento ou com a envolvente. Caso se verifique a entrada de água, a substituição do parafuso por outro de maior diâmetro é a melhor opção de reparação. No entanto, quando a fixação apresenta também corrosão bimetalica, a intervenção pode obrigar ao tratamento/substituição da chapa, devendo-se escolher cuidadosamente os materiais de forma a serem compatíveis.

Uma forma de se protegerem as fixações contra a enorme quantidade de agentes agressivos a que estão sujeitos é a colocação de um capuz de plástico. A utilização de anilhas nos parafusos não deve ser esquecida pois é um excelente complemento na estanquidade da fixação [42].

5.4.3.6 Elementos de estanquidade

Como forma de prevenir a entrada de água e outros líquidos para o interior da cobertura e do edifício é essencial que o selante entre as juntas da chapa esteja em boas condições e que as sobreposições estejam bem executadas.

Em muitos casos ocorre a perda de estanquidade dos selantes devido a movimentações do revestimento e consequente desprendimento total ou parcial do mesmo, obrigando a uma nova colocação.

A colocação do selante realiza-se com recurso a uma pistola e deve ser aplicado de forma uniforme, sem bolhas e perfeitamente estanque. Antes da nova aplicação deve-se garantir que a superfície está lisa e sem detritos provenientes da anterior aplicação através de uma escovagem manual e posterior limpeza com um solvente indicado pelo fabricante [20]. Um erro bastante comum é substituir o selante por uma argamassa, o que não deve ser feito pois este último não tem a capacidade de acompanhar as movimentações do revestimento nem as propriedades de estanquidade do primeiro, originando novos problemas num curto espaço de tempo.

Inúmeras razões podem estar na origem de uma inadequada sobreposição das chapas, desde a incorreta execução à ação da chuva e do vento. Quando se verificam estes erros a reparação imediata é fundamental pois podem surgir muitos problemas provenientes da entrada de água por estes pontos.

5.4.4 CASOS PRÁTICOS DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO

Quando foram apresentadas algumas anomalias correntes em coberturas metálicas no capítulo 4, recorreu-se a casos práticos, analisados em documentos da especialidade, para uma melhor interpretação e perceção dos problemas que afetam os elementos construtivos.

Seguidamente, com o apoio de alguns casos práticos estudados, serão apresentadas algumas hipóteses de manutenção e reabilitação em coberturas metálicas com patologias, referindo-se as técnicas de reparação e os métodos de investigação utilizados.

O Quadro 5.2 resume os casos que serão descritos, designando qual/quais a(s) anomalia(s) que o elemento padece e a referência bibliográfica do documento que permitiu o seu conhecimento.

Quadro 5.2 – Casos de manutenção e reabilitação em coberturas com problemas patológicos

Caso	Anomalia(s)	Referência
1	Degradação e quebra de um revestimento em cobre de uma cobertura	[39]
2	Penetração de água para o interior através das juntas sobrepostas de chapas metálicas perfiladas de uma cobertura	[39]
3	Nave de piscinas com revestimento interior e exterior degradado e com elementos metálicos interiores afetados devido ao fenómeno de corrosão	[32]
4	Corrosão e quebra do sistema de revestimento em aço de uma cobertura	[39]
5	Penetração de água para o interior através dos sistemas de fixação de chapas metálicas perfiladas de uma cobertura	[39]
6	Manchas de humidade e destacamentos do teto interior de uma nave de piscinas	[31]

5.4.4.1 Caso 1

Descrição e sintomas da(s) anomalia(s)

Degradação e quebra de um revestimento em cobre de uma cobertura devido ao ambiente agressivo de exposição.

O revestimento em cobre começou a apresentar cada vez mais corrosão na sua superfície e provocou uma diminuição da espessura até ao ponto em que ocorreu a quebra do elemento e a consequente entrada de água das chuvas para o interior.

Levantamento de dados

1. Caracterização construtiva da cobertura e verificação da existência de fixações apropriadas para a exposição do local;
2. Verificação da direção normal do vento na zona do edifício e possibilidade da sua entrada entre juntas de sobreposição;
3. Análise da poluição do ambiente envolvente ao edifício, verificando se descargas ácidas são realizadas nos arredores e se há presença de agentes químicos e biológicos;
4. Verificação da superfície do revestimento e pré-existência de uma membrana protetora.

Diagnóstico

- Danos mecânicos no revestimento devido à utilização de fixações inadequadas à exposição do local, o que permitiu a entrada de vento para a superfície interior do elemento;

- Ataque químico causando a deterioração do cobre;
- Combinação das duas causas descritas.

Técnicas de reparação

Se a investigação permitiu chegar à conclusão de que o vento foi o principal responsável, a seguinte conduta deve ser realizada:

- Todas as chapas danificadas devem ser retiradas e substituídas;
- Colocação de fixações adequadas à exposição do local e com menor espaçamento entre as mesmas para aumentar a segurança contra o vento;
- Fixação de pequenas placas em cobre nas zonas centrais das sobreposições caso as primeiras soluções não mostrem garantia suficiente.

No caso de o revestimento estar num estado de degradação suficientemente elevado que a substituição total é necessária, deve-se ter em consideração a utilização de um revestimento com melhor performance, como em alumínio.

Quando se constata de que ataques químicos também contribuíram para o aparecimento de anomalias, deve-se proceder ao seguinte:

- Eliminação da fonte de contaminação química;
- Substituição do revestimento em cobre por um material de maior resistência, quando a contaminação não pode ser solucionada, é uma das soluções que garante a longevidade da cobertura.

5.4.4.2 Caso 2

Descrição e sintomas da(s) anomalia(s)

Falta de estanquidade de um revestimento em chapas metálicas perfiladas.

As chapas metálicas perfiladas apresentam-se como extremamente vulneráveis à entrada de água pelas juntas de sobreposição ou pontos de fixação. Neste caso, a água das chuvas vazou para o interior do edifício através das juntas de sobreposição.

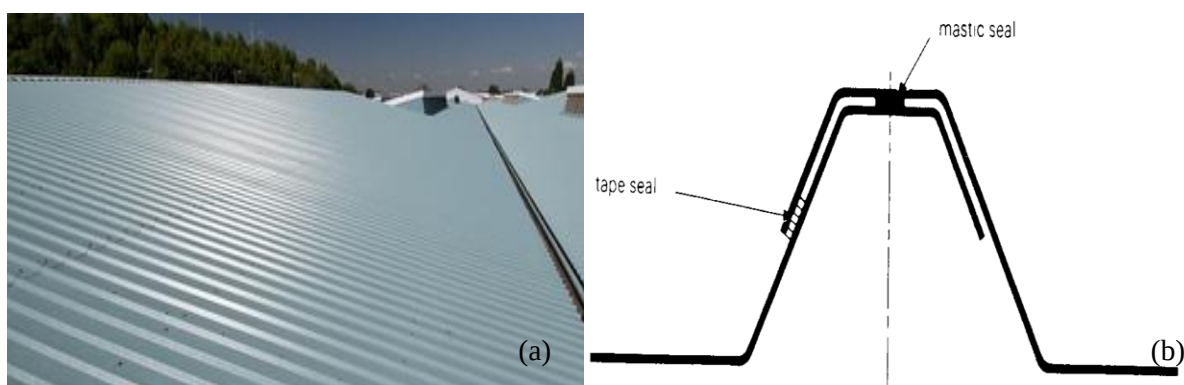


Fig 5.9 – (a) Chapa metálica perfilada [53]. (b) Localização adequada do selante (mástique) na junta sobreposta [39]

Levantamento de dados

1. Caracterização construtiva da cobertura;
2. Medição da extensão de sobreposição da chapa superior;
3. Verificação das medidas de estanquidade das juntas, nomeadamente utilização de um material de vedação (selante);
4. Análise da apropriada inclinação da cobertura perante o material utilizado e a exposição do local;
5. Verificação da poluição do ar e se esta não provocou a corrosão quer das chapas quer das fixações

Diagnóstico

- Sobreposição inadequada das chapas e inapropriada vedação das juntas perante a inclinação da cobertura;
- Possíveis carregamentos não previstos na fase de projeto, como a circulação de pessoas nas operações de manutenção e reabilitação;
- Agressividade ambiental da zona.

Técnicas de reparação

- Substituição das chapas degradadas pela presença constante de água;
- Levantamento das chapas sobrepostas e aplicar uma correta sobreposição;
- Aplicação correta de um material de vedação, tal como se encontra exemplificado na Fig 5.9 (b).

Note-se que aplicar o selante (por exemplo mástique) na extremidade da chapa sobreposta, terá apenas um efeito temporário, não constituindo uma boa técnica de reparação.

5.4.4.3 Caso 3

Descrição e sintomas da(s) anomalia(s)

Edifício com piscina apresenta um revestimento exterior com as chapas empenadas e ligeira corrosão. No interior, os equipamentos AVAC e os elementos metálicos apresentam corrosão e o revestimento de tetos destacamentos e desagregação.

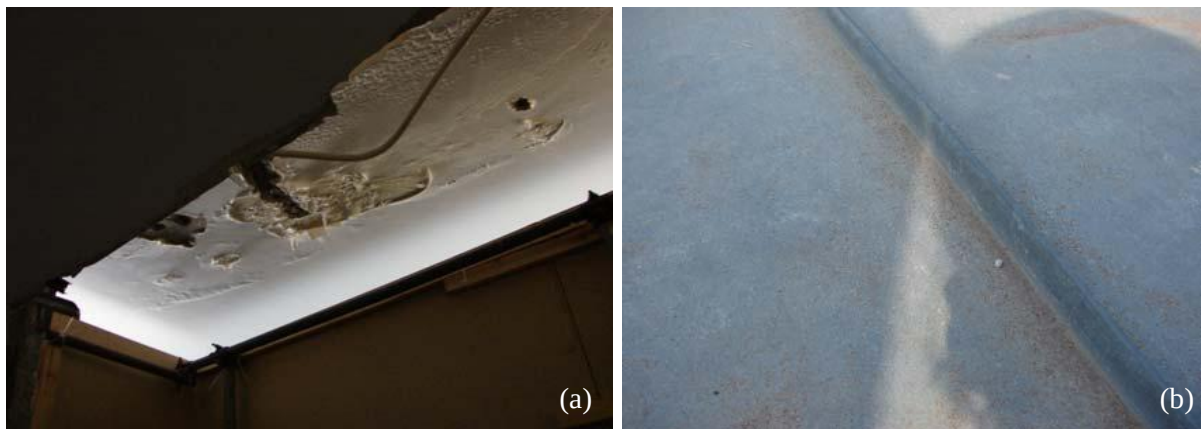


Fig 5.10 – (a) Destacamento e desagregação do revestimento interior. (b) Corrosão das chapas de zinco do revestimento exterior [32]

Levantamento de dados

1. Visita à cobertura para inspeção visual e posterior levantamento fotográfico;
2. Realização de um inquérito para melhor interpretação das patologias;
3. Realização de sondagens na cobertura, nomeadamente o levantamento do sistema de revestimento;
4. Avaliação das características da ambiência interior como potencial risco para a ocorrência de condensações.

Diagnóstico

Com o levantamento da informação na etapa anterior foi possível constatar que as anomalias podem ocorrer pelas seguintes causas:

- Presença de humidade por infiltração e por condensação (forte higrometria do local aliada a uma precária configuração construtiva);
- Existência de equipamentos não previstos no projeto;
- Inexistência de uma barreira pára-vapor especificada no projeto;
- Pendente insuficiente da cobertura;
- Insuficiência de juntas face às variações dimensionais das chapas com a variação térmica.
- Revestimento das chapas de zinco com uma membrana betuminosa o que agravou a corrosão das mesmas;
- Acumulação de resíduos em caleiras e tubos de queda devido à falta de trabalhos de manutenção.

Técnicas de reparação

- Substituição dos equipamentos interiores danificados devido à corrosão (tetos e os seus elementos de suspensão, equipamentos AVAC, etc);
- Substituição do revestimento exterior por um de configuração adequada às características exteriores e interiores do edifício;
- Colocação de uma barreira pára-vapor sob o isolamento térmico;
- Criação de um espaço de ar ventilado na face inferior do revestimento para reduzir o risco de condensações;
- Reforço da ventilação interior para reduzir a higrometria do local;
- Limpeza das caleiras e tubos de queda e reformular o sistema de manutenção.

5.4.4.4 Caso 4

Descrição e sintomas da(s) anomalia(s)

Corrosão e quebra de um revestimento em aço de uma cobertura.

Quando a camada protetora na superfície exterior de um revestimento em aço de desintegra, a ferrugem ficará exposta. Quando esta não é adequadamente removida antes da aplicação de um novo sistema de proteção, a patologia irá reaparecer devido à falta de preparação da superfície.

Algumas chapas em aço têm revestimentos protetores diferentes para a sua face interior e exterior. Estas são mais vulneráveis a danos na superfície interna devido à penetração de água ou condensações, sendo que as anomalias não são aparentes até que a corrosão atravesse toda a espessura do metal.

Levantamento de dados

1. Caracterização do processo construtivo da cobertura;
2. Análise do tipo de membrana protetora aplicada em ambos os lados do revestimento em aço;
3. Análise do histórico para perceber se mais do que uma membrana de proteção foi aplicada, verificando se todas as especificações de aplicação e métodos de preparação da superfície foram adotados;
4. Verificação da superfície inferior do revestimento para analisar a presença de condensações.

Diagnóstico

Os procedimentos adotados na fase de levantamento de dados permitiram constatar o seguinte:

- A superfície interior das chapas em aço não apresentava qualquer anomalia, quer em termos de corrosão quer em termos de condensação;
- A superfície exterior apresentava um nível de corrosão não muito avançado, estando ainda na fase de desenvolvimento.

Técnicas de reparação

A técnica de reparação nestes casos é determinada pela extensão que o elemento apresenta em termos de corrosão.

As chapas metálicas em aço, como ainda não apresentavam um nível muito avançado de corrosão e o material ainda se encontrava minimamente apropriado, a técnica de reparação consistiu na correta aplicação de uma membrana de proteção. Deve haver um especial cuidado na remoção de toda a ferrugem existente, recorrendo-se a um martelo e à raspagem e escovagem de toda a superfície antes da aplicação da nova proteção. A operação deve ser realizada por técnicos qualificados e seguindo as instruções do fabricante do produto escolhido.

Na situação em que a corrosão é demasiadamente extensa e avançada, a única solução a adotar é a substituição das chapas de aço, devendo estas ter um revestimento protetor na superfície interior e exterior.



Fig 5.11 – (a) Preparação da superfície antes da aplicação da proteção. (b) Aspeto da superfície do revestimento após a aplicação da proteção [54]

5.4.4.5 Caso 5

Descrição e sintomas da(s) anomalia(s)

Entrada de água para a superfície interior do revestimento, em chapas metálicas perfiladas, através dos sistemas de fixação. Tal como as juntas de sobreposição, estes constituem pontos extremamente vulneráveis em relação à estanquidade de revestimentos em chapas metálicas perfiladas.

Levantamento de dados

1. Definição do processo construtivo da cobertura;
2. Análise do tipo de fixações utilizadas e o espaçamento entre elas;
3. Verificação do correto ajustamento das fixações;
4. Análise da adequabilidade do revestimento e exposição do local com a pendente da cobertura;
5. Verificação da poluição do ar e o risco de corrosão das fixações.

Diagnóstico

O estudo permitiu concluir que a falta de estanquidade deveu-se à presença de fixações ligeiramente soltas. As razões que levaram a esta situação foram:

- Corrosão das fixações;
- Corrosão das chapas metálicas na zona da localização das fixações;
- Uso de fixações inapropriadas;
- Insuficiente espaçamento entre fixações.

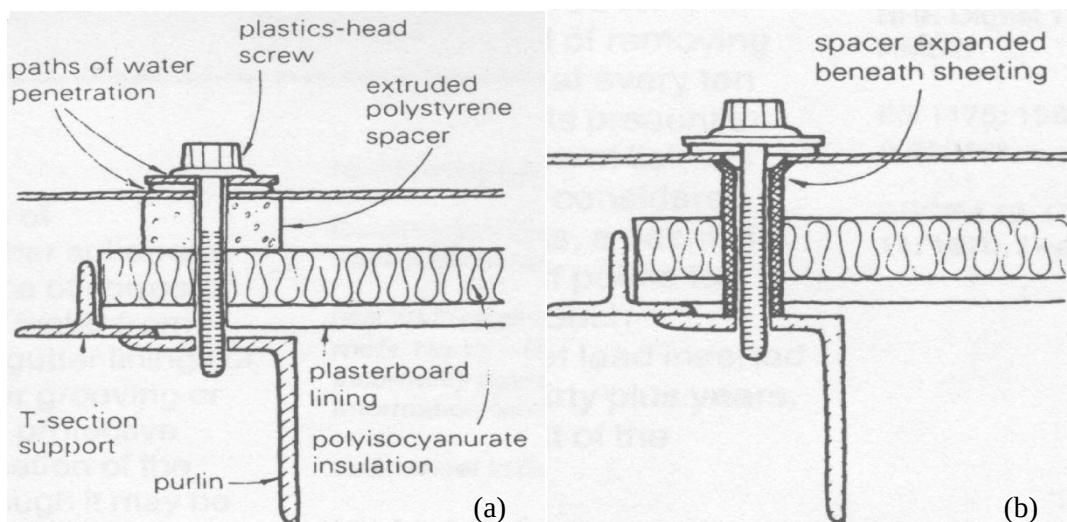


Fig 5.12 – (a) Detalhe da forma de penetração da água na fixação. (b) Configuração correta da fixação para garantir a sua estanquidade [39]

Técnicas de reparação

O mau ajustamento das fixações, implica que estas sejam todas verificadas e, se possível, substituídas por sistemas que se adequem ao tipo de revestimento e à exposição do local. Caso a substituição não possa ocorrer, devem ser apertadas todas as fixações mesmo que apenas uma apresente sinais de fraco ajustamento.

Em relação à corrosão das mesmas, quando esta não é muito avançada deve ser colocado um capuz de plástico ou uma manga para evitar o desenvolvimento de corrosão bimetálica. No caso em que as fixações se encontram num estado avançado de corrosão, a substituição é crucial para a segurança do revestimento.

No pior dos casos, que engloba a corrosão generalizada das chapas metálicas, a substituição das mesmas é aconselhável, utilizando-se, na nova solução, materiais com características compatíveis entre si, com o ambiente exterior e com a configuração construtiva da cobertura.

5.4.4.6 Caso 6

Descrição e sintomas da(s) anomalia(s)

Nave com uma piscina apresenta manchas de humidade e destacamentos do teto interior.



Fig 5.13 – Manchas de humidade no teto da nave da piscina [31]

Levantamento de dados

Para se investigarem as causas das anomalias acima descritas procederam-se aos seguintes procedimentos:

1. Visita ao interior da nave e ao desvão da cobertura com posterior levantamento fotográfico;
2. Realização de um inquérito;
3. Análise da informação escrita disponível para melhor interpretação do processo construtivo e conhecer o histórico de trabalhos até à altura realizados;
4. Realização de ensaios de estanquidade no revestimento da cobertura;
5. Recolha das características higrotérmicas e avaliação do risco de condensação no tardo do revestimento.

Diagnóstico

As análises e ensaios realizados na fase anterior permitiram concluir o seguinte:

- Presença de água no estado líquido na face interior do sistema de revestimento da cobertura e consequente gotejamento sobre o teto falso da piscina;
- O sistema de revestimento garante estanquidade a águas pluviais;

- Reduzida resistência ao vapor de água das placas de gesso cartonado e do isolamento térmico que separam a ambiência interior do desvão da cobertura;
- O elevado coeficiente de transmissão térmica do revestimento (chapa de alumínio) faz com que a sua temperatura superficial interior seja muito próxima do exterior;
- A configuração construtiva associada à forte higrometria do local é a razão de ocorrer o fenómeno de condensação na superfície interior do revestimento.

A continuidade de todos estes fatores provocará a uma contínua progressão das anomalias e levará à corrosão dos elementos metálicos estruturais e não estruturais.



Fig 5.14 – Presença de água no estado líquido no tardo do sistema de revestimento devido ao fenómeno de condensação [31]

Técnicas de reparação

Para minimizar o risco de ocorrência de condensações no tardo da chapa de alumínio a solução passou pela implementação das seguintes medidas:

- Aumento da resistência térmica do sistema de revestimento da cobertura;
- Aumento da renovação horária do ar do desvão entre o teto falso e o revestimento.

Uma solução vista como eficiente para aumentar a resistência térmica do sistema de revestimento foi a substituição das chapas de alumínio por painéis metálicos tipo “Sandwich”.

Após a implementação destas medidas, todos os revestimentos interiores que se degradaram, devido à presença de humidade no teto falso, foram reparados ou substituídos.

Uma medida de otimização é a inclusão de uma barreira pára-vapor entre o isolamento térmico e as placas de gesso cartonado que constituem o teto interior da nave, permitindo diminuir o fluxo de vapor de água para o interior do desvão da cobertura e consequentemente a possibilidade de ocorrerem condensações no sistema de revestimento.

6 Análise de Soluções – Condensações Superficiais

6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O principal objetivo deste capítulo é a análise do risco de ocorrência de condensações superficiais em coberturas metálicas para piscinas com diferentes configurações, quer na camada de revestimento quer na camada abaixo do desvão. Serão calculados os casos de desvão não ventilado e ventilado, obtendo-se os valores necessários de renovação horária do ar para que não ocorram condensações no tardo do revestimento. As soluções a serem analisadas serão:

- Cobertura com estrutura de suporte em treliça, com um revestimento superior em chapa simples de alumínio e um revestimento inferior composto por:
 - Teto falso;
 - Teto falso e isolamento térmico;
 - Teto falso, barreira pára-vapor e isolamento térmico.

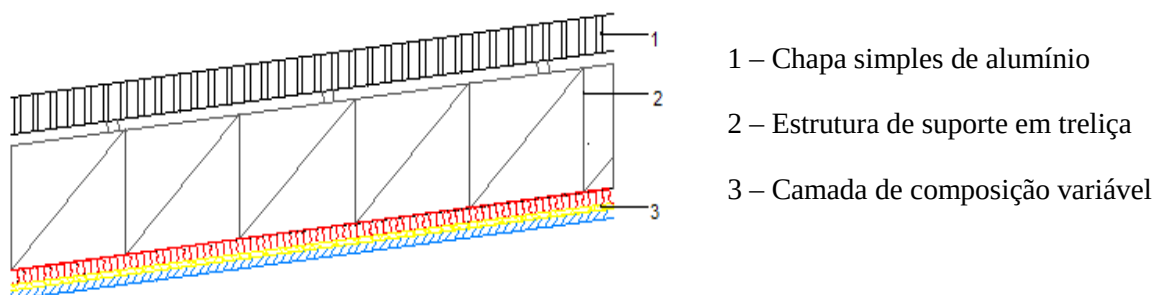


Fig 6.1 – Cobertura com revestimento em chapa simples de alumínio

- Cobertura com estrutura de suporte em treliça, com um revestimento superior em painel sandwich e um revestimento inferior composto por:
 - Teto falso;
 - Teto falso e isolamento térmico;
 - Teto falso, barreira pára-vapor e isolamento térmico.

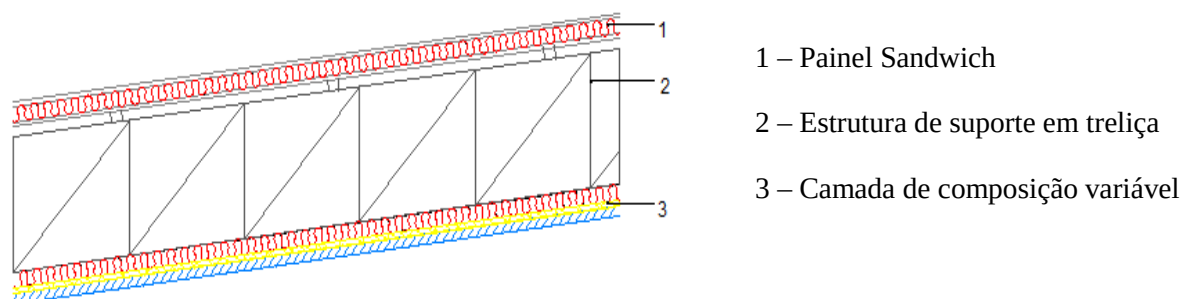


Fig 6.2 - Cobertura com revestimento em chapa painel sandwich

A análise procura analisar as diferenças entre a utilização de um revestimento em chapa metálica simples e um revestimento em painel sandwich, avaliando a probabilidade de ocorrência de condensações no revestimento, na camada inferior ao desvão e as necessidades de ventilação.

Antes de serem apresentados os procedimentos de cálculo e resultados obtidos, resume-se no Quadro 6.1 os materiais utilizados em todas as análises e as suas características principais, que influenciam o estudo.

Quadro 6.1 – Características dos materiais que constituem as soluções a estudar [15] [17]

Material	Espessura [mm]	Condutibilidade térmica, λ [W/m °C]	Permeabilidade ao vapor de água, π [g/m.s.Pa]
Chapa simples de alumínio	0,10	230 ($\rho=2700 \text{ kg/m}^3$)	0
Espuma rígida de poliuretano (PUR)	30	0,037 ($\rho=35 - 50 \text{ kg/m}^3$)	2
Gesso cartonado (Painéis/Placas)	12,5	0,25 ($\rho=750 - 1000 \text{ kg/m}^3$)	25×10^{-9}
Lã mineral (MW)	60	0,040 ($\rho=35 - 100 \text{ kg/m}^3$)	245×10^{-9}
Folha de polietileno de alta densidade	$0,25 \times 10^{-3}$	0,50	2×10^{-9}

Com estes dados é possível determinar os coeficientes de transmissão térmica das diferentes camadas que irão constituir as soluções a analisar, através da seguinte expressão:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (6.1)$$

Em que:

U – Coeficiente de transmissão em $\text{W}/(\text{m}^2\text{°C})$

R_{si} – Resistência térmica superficial interior em $(\text{m}^2\text{°C})/\text{W}$

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior em $(\text{m}^2\text{°C})/\text{W}$

R_j – Resistência térmica da camada j em $(\text{m}^2\text{°C})/\text{W}$

- Teto interior composto por gesso cartonado:

$$U = \frac{1}{0,10 + \frac{0,0125}{0,25} + 0,04} = 5,26 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

- Teto interior composto por gesso cartonado e isolamento térmico (MW):

$$U = \frac{1}{0,10 + \frac{0,0125}{0,25} + \frac{0,06}{0,040} + 0,04} = 0,59 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

- Teto interior composto por gesso cartonado e isolamento térmico (MW) e uma barreira pára-vapor formada por uma folha de polietileno de alta densidade:

$$U = \frac{1}{0,10 + \frac{0,0125}{0,25} + \frac{0,250 \times 10^{-3}}{0,50} + \frac{0,06}{0,040} + 0,04} = 0,59 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

- Revestimento em chapa simples de alumínio:

$$U = \frac{1}{0,10 + \frac{0,001}{230} + 0,04} = 7,1 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

- Revestimento em painel sandwich (2 chapas de alumínio com isolamento em espuma rígida de poliuretano):

$$U = \frac{1}{0,10 + \frac{0,001}{230} + \frac{0,03}{0,037} + \frac{0,001}{230} + 0,04} = 1,1 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

6.2 PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO

Neste subcapítulo pretende-se explicar o procedimento de cálculo da ocorrência ou não de condensações de todos os casos supracitados. No entanto, antes de se proceder a essa apresentação, serão enunciadas as simplificações adotadas para que os cálculos e objetivos da análise pudessem ser atingidos. Assim sendo, as simplificações são as seguintes:

- A humidade desloca-se apenas por transferência de vapor de água;
- A transferência de vapor de água obedece à lei de FICK;
- A densidade do fluxo de calor que atravessa as várias camadas é constante, ou seja, funciona em regime permanente;
- A condutibilidade térmica e os coeficientes de permeabilidade são constantes ao longo do tempo;
- O cálculo será realizado para uma área de teto interior e de revestimento de 1 m²;
- A altura estimada para o desvão foi de 1 m, ficando o mesmo com um volume de 1 m³;
- As condições higrotérmicas interiores da nave são constantes, tendo uma temperatura de 30°C e um humidade relativa de 65%;
- Para analisar o caso mais desfavorável, considerou-se que o ar exterior encontra-se sempre saturado, ou seja, com uma humidade relativa de 100%.

6.2.1 CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO REVESTIMENTO COM DESVÃO NÃO VENTILADO

Quando o desvão não é ventilado, a ocorrência de condensações pode ser inevitável visto o fluxo de vapor de água, g , que atravessa o teto interior não ser extraído para o exterior. Este facto faz com que o fluxo que irá condensar na parte inferior do revestimento seja aproximadamente igual ao que fluxo que vem do interior da nave. Deste modo, para cada valor de temperatura exterior e temperatura no desvão da cobertura, será analisado o risco de ocorrência de condensações e calculado o valor do coeficiente de transmissão térmica que o revestimento teria de ter para que estas não ocorram.

Este procedimento só será realizado para o caso em que o teto interior é composto por teto falso e isolamento térmico.

1. Para a análise incidir nos casos mais desfavoráveis, serão estudadas as hipóteses em que a temperatura exterior é de 10°C, 5°C, 0°C e, -4°C, sendo a temperatura no desvão calculada através da seguinte fórmula:

$$U_{Ti} \times A_{Ti} (T_i - T_{desvão}) = U_{revest} \times A_{revest} (T_{desvão} - T_e) \quad (6.2)$$

Em que:

$T_{desvão}$ – Temperatura do desvão da cobertura em °C
 U_{Ti} – Coeficiente de transmissão térmica do teto interior em W/(m²°C)
 A_{Ti} – Área do teto interior em m², valor definido como 1 m²
 T_i – Temperatura interior da nave em °C
 U_{revest} – Coeficiente de transmissão térmica do revestimento em W/(m²°C)
 A_{revest} – Área do revestimento em m², valor definido como 1 m²
 T_e – Temperatura exterior em °C

2. Obtidos os valores da temperatura no desvão para as diferentes temperaturas exteriores, a temperatura superficial interior do revestimento é calculada com base na Lei de Fourier, em regime permanente, segundo a seguinte expressão:

$$T_{si, revest} = T_{desvão} - U_{revest} \times R_{si} (T_{desvão} - T_e) \quad (6.3)$$

Em que:

$T_{si, revest}$ – Temperatura superficial interior do revestimento em °C
 T_e – Temperatura exterior em °C
 $T_{desvão}$ – Temperatura do desvão da cobertura em °C
 U_{revest} – Coeficiente de transmissão térmica do revestimento em W/(m²°C)
 R_{si} – Resistência térmica superficial interior do revestimento em (m²°C)/W

3. O valor a que se encontra a superfície interior do revestimento é conhecido, pelo que será necessário calcular a temperatura de ponto de orvalho para determinar a probabilidade de ocorrência de condensações superficiais. Este valor é determinado a partir do diagrama psicométrico.

4. No caso de existir a possibilidade de ocorrerem condensações, o valor aproximado do fluxo de vapor de água que irá condensar é calculado através da Lei de FICK, tal como enunciado no capítulo 3:

$$g = \sum_j \frac{\pi_j}{e_j} x (P_i - P_e) \quad (6.4)$$

Em que:

g – Fluxo de difusão de vapor de água por unidade de superfície em kg/(m².s)
 π_j – Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água da camada j em kg/(m.s.Pa)
 e_j – Espessura da camada j em metros
 P_i – Pressão parcial de vapor de água no interior em Pa
 P_e – Pressão parcial de vapor de água no exterior em Pa

A determinação da pressão parcial de vapor de água, exterior e interior, baseia-se na equação H. Kunzel para determinar a pressão de saturação, sendo calculada da seguinte forma:

$$P_{parcial} = 611. e^{\frac{a.t}{t+t'}} x \left(\frac{HR}{100} \right) \quad (6.5)$$

Em que:

P_s – Pressão parcial do vapor de água em Pa
 e – Aproximadamente 2,718 (Número de Nepper)
 t – Temperatura em °C
 HR – Humidade relativa em %
 Para $t < 0^\circ\text{C}$ – $a = 22,44$ e $t' = 272,44^\circ\text{C}$
 Para $t \geq 0^\circ\text{C}$ – $a = 17,08$ e $t' = 234,18^\circ\text{C}$

Considerando as condições climatéricas no nosso País, nomeadamente no Norte Litoral, considerou-se que o ar exterior se encontra sempre saturado (situação mais desfavorável). Logo, o cálculo da pressão de saturação exterior é determinado sem a última parcela da equação, tal como foi apresentado no capítulo 3.

5. Finalmente, o valor do coeficiente de transmissão térmica que o elemento teria de ter para que não existisse a probabilidade de ocorrerem condensações é determinado pelos seguintes passos:
 - $P_{parcial \text{ no desvão}} = P_{parcial \text{ interior}}$, o que permitirá conhecer a temperatura necessária no desvão para que não ocorram condensações;
 - Através da fórmula (6.1) determina-se o coeficiente de transmissão térmica pois é a única incógnita.

Com o valor do coeficiente de transmissão térmica podemos ainda conhecer a espessura de isolamento térmico necessária para o revestimento atingir esse coeficiente, tal como se verá no subcapítulo seguinte.

6.2.2 CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO REVESTIMENTO COM DESVÃO VENTILADO

Atendendo à peculiar higrometria da nave de uma piscina, a probabilidade de o desvão ter de ser ventilado é muito grande, ou até mesmo, imprescindível. Isto deve-se também à configuração

construtiva das soluções a analisar pois os revestimentos que as constituem têm uma elevadíssima resistência à difusão do vapor e funcionam como uma barreira pára-vapor.

Nesta análise, tal como na anterior, também será determinada a temperatura no desvão, a temperatura superficial da chapa, a humidade do ar em g/m^3 e a temperatura de ponto de orvalho para analisar o risco de condensações. No entanto, as expressões serão um pouco diferentes pois neste estudo entrarão também o número de renovações horárias do desvão.

Deste modo, o cálculo das necessidades de ventilação para cada uma das soluções supramencionadas será realizado combinando as seguintes hipóteses de temperatura exterior e renovação horária do desvão e terá a seguinte sequência de cálculo:

Quadro 6.2 – Parâmetros variáveis na análise de condensações com desvão ventilado

Temperatura exterior, T_e em $^{\circ}\text{C}$	10	8	6	4	2	0	-2	-4
Renovação horária do ar, N	1	2	4	6	8	10	15	20

1. Determinação da temperatura no desvão segundo a expressão:

$$U_{\text{teto interior}} \times A_{\text{teto interior}} (T_i - T_{\text{desvão}}) = U_{\text{revestimento}} \times A_{\text{revestimento}} (T_{\text{desvão}} - T_e) + 0.34 \times Rph \times V (T_{\text{desvão}} - T_e)$$

Ou seja:

$$U_{\text{teto interior}} (T_i - T_{\text{desvão}}) = U_{\text{revestimento}} (T_{\text{desvão}} - T_e) + 0.34 \times Rph \times (T_{\text{desvão}} - T_e) \quad (6.6)$$

Em que:

$T_{\text{desvão}}$ – Temperatura do desvão da cobertura em $^{\circ}\text{C}$

$U_{\text{teto interior}}$ – Coeficiente de transmissão térmica do teto interior em $\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$

T_i – Temperatura interior da nave em $^{\circ}\text{C}$

$U_{\text{revestimento}}$ – Coeficiente de transmissão térmica do revestimento em $\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$

T_e – Temperatura exterior em $^{\circ}\text{C}$

Rph – Número de renovações horárias do desvão

2. Determinação da temperatura superficial da chapa através da equação já apresentada (5.3).
3. Cálculo da humidade presente na ambiência do desvão:

$$(P_i - P_{\text{desvão}}) \frac{\pi_{Ti}}{e_{Ti}} = (P_{\text{desvão}} - P_e) \frac{\pi_{\text{revest}}}{e_{\text{revest}}} + \left(\frac{W_{\text{desvão}} - W_e}{A} \times N \right)$$

Como a permeabilidade dos dois tipos de revestimento, π_{revest} , é zero. A expressão fica:

$$(P_i - P_{\text{desvão}}) \frac{\pi_{Ti}}{e_{Ti}} = \left(\frac{W_{\text{desvão}} - W_e}{A} \times N \right) \quad (6.7)$$

Em que:

P_i – Pressão parcial do vapor de água no interior da nave em Pa

$P_{\text{desvão}}$ – Pressão parcial do vapor de água no interior do desvão em Pa

π_{Ti} – Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do teto interior em $\text{g}/(\text{m.s.Pa}) \times 10^{-9}$

e_{ti} – Espessura da camada que compõe o teto interior em metros

$W_{\text{desvão}}$ – Humidade do ar no desvão em g/m^3

W_e – Humidade do ar no exterior em g/m^3

A – Área do revestimento da cobertura em m^2 , valor definido como 1 m^2

Rph – Número de renovações horárias do ar do desvão

4. Como são conhecidas as temperaturas e humidade no desvão, o diagrama psicométrico permite-nos analisar a ocorrência ou não de condensações através da determinação da humidade relativa e da temperatura de ponto de orvalho. Existem condensações no tardo do revestimento se a temperatura de ponto de orvalho for superior à temperatura superficial interior deste.

6.2.3 CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO TETO INTERIOR DA NAVE

Para analisar a possibilidade de ocorrência de condensações superficiais no elemento que separa o ambiente da piscina do ambiente do desvão, estudaram-se as três soluções de teto interior já mencionadas através do seguinte procedimento:

1. Saber qual a temperatura mais desfavorável que o desvão terá a partir dos resultados atrás obtidos;
2. Cálculo da temperatura superficial interior do teto interior;
3. Determinação da temperatura de ponto de orvalho através do diagrama psicométrico pois são conhecidas a temperatura e humidade relativa interiores;
4. Verificar se há a probabilidade de ocorrência de condensações;
5. Caso estas possam ocorrer, determinar qual o coeficiente de transmissão térmica e respetivo isolamento que o teto deveria ter para que não ocorressem condensações.

6.2.4 CONDENSAÇÕES INTERNAS NO TETO INTERIOR DA NAVE

Como complemento de todas as análises que serão realizadas pelos procedimentos já referidos, é importante saber também se há a probabilidade de ocorrerem condensações internas no elemento que separa a ambiência mais agressiva para estas ocorrerem da ambiência do desvão. Para tal, recorrer-se-á a um programa de cálculo desenvolvido na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, o Condensa 13788. Este software, baseado no método GLAZER e nos métodos de cálculo enunciados na norma EN13788, permite simular de forma rápida e eficaz o comportamento dos elementos construtivos e quantificar as condensações que neles podem existir [55].

6.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Para facilitar a interpretação dos resultados obtidos neste trabalho, apresenta-se o desenvolvimento do cálculo de uma das combinações e um resumo generalizado de todas elas, passando todos os procedimentos para um anexo.

Antes disso, ficarão estipulados os cálculos e valores dos parâmetros que têm valores fixos ao longo do trabalho:

- Pressão parcial do vapor de água no interior da nave:

$$P_{\text{parcial interior}} = 611 \cdot e^{\frac{17,08 \times 30}{234,18 + 30}} \times \left(\frac{65}{100} \right) = 2762,53 \text{ Pa}$$

- Humidade da ambiência interior da nave:

$$T(\text{kelvin}) = T(\text{graus}) + 273,15 = 30 + 273,15 = 303,15 \text{ K}$$

$$W_{\text{interior}} = 2,167 \times \left(\frac{P}{T} \right) = 2,167 \times \left(\frac{2762,53}{303,15} \right) = 19,7 \text{ g/m}^3$$

Como era previsto devido às características interiores da ambiência no edifício, a produção de vapor de água e a pressão no ar têm valores elevados. São estas as características que fazem com que a nave de piscinas seja um ambiente extremamente agressivo para os elementos construtivos que o envolvem e o projeto dos mesmos obrigue a serem tomadas cuidadosas medidas preventivas contra as anomalias.

6.3.1 ANÁLISE DO REVESTIMENTO COM DESVÃO NÃO VENTILADO

A análise do cálculo da ocorrência de condensações no revestimento da cobertura quando o desvão não é ventilado será apenas realizado para a situação em que o teto interior é composto por teto falso e isolamento térmico. Assim as suas características que interessam ao estudo são:

- Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água [17]:

O teto falso tem um coeficiente de permeabilidade de $25 \text{ g/(m.s.Pa)} \times 10^{-9}$ e o isolamento térmico em lã mineral de $245 \text{ g/(m.s.Pa)} \times 10^{-9}$. Logo foi estimado como coeficiente de permeabilidade global do teto interior o valor de $20 \text{ g/(m.s.Pa)} \times 10^{-9}$. A estimativa deste coeficiente de permeabilidade resulta no facto de o conjunto teto falso e isolamento térmico proporcionar um coeficiente de permeabilidade inferior ao de um simples teto falso.

- Espessura:

O teto falso tem uma espessura de 1,25 cm e o isolamento térmico de 6 cm. Logo, a espessura total do teto interior será de 7,25 cm, ou seja, 0,0725 m.

6.3.1.1 Chapa simples de alumínio

Serão desenvolvidos apenas os cálculos de uma das combinações, remetendo-se os restantes para o Anexo A1. A solução que servirá de exemplo admite uma temperatura exterior de 10 °C.

A pressão do vapor de água no exterior é dada por:

$$P_{\text{exterior}} = 611 \cdot e^{\frac{17,08 \times 10}{234,18 + 10}} = 1229,77 \text{ Pa}$$

A humidade do ar no exterior é de:

$$T(kelvin) = 10 + 273,15 = 283,15 \text{ K}$$

$$W_{exterior} = 2,167 \times \left(\frac{1229,77}{283,15} \right) = 9,41 \text{ g/m}^3$$

A temperatura no desvão da cobertura é de:

$$U_{Ti} \times A_{Ti} (T_i - T_{desvão}) = U_{revest} \times A_{revest} (T_{desvão} - T_e)$$

$$\leftrightarrow$$

$$0,59 \times 1 (30 - T_{desvão}) = 7,1 \times 1 (T_{desvão} - 10)$$

$$\leftrightarrow$$

$$T_{desvão} = 11,32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A temperatura superficial interior da chapa simples de alumínio é dada por:

$$T_{si,chapa} = 11,32 - 7,1 \times 0,10 (11,32 - 10) = 10,38 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Através da análise do diagrama psicométrico (Fig 6.3), a humidade relativa para a temperatura de 11,32 °C só pode ser de aproximadamente 100% para a humidade do ar estar entre os 10,1 g/m³, que é o valor da humidade no desvão quando tem 2 renovações horárias do ar (Anexo A2) e os 19,7 g/m³ (interior). O limite inferior é de 10,1 g/m³ e não os 9,4 g/m³ (exterior) pois a humidade do ar no desvão será sempre superior quando não existir nenhuma ventilação.

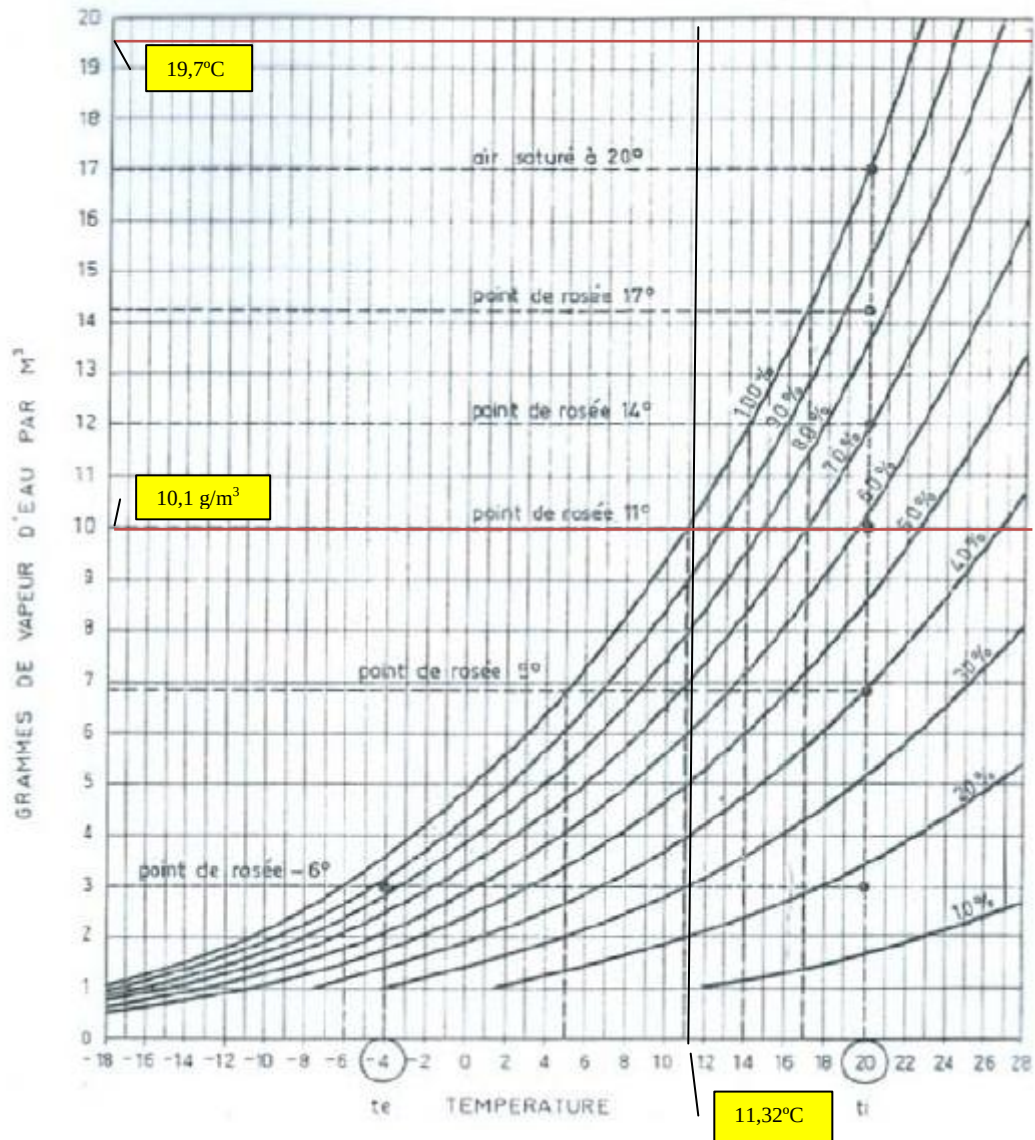


Fig 6.3 – Determinação da temperatura de ponto de orvalho para uma temperatura exterior de 10 °C e revestimento em chapa simples de alumínio.

A temperatura de ponto de orvalho (T_{po}) será de 10,20°C. Como $T_{po} > 10,38^\circ\text{C}$ (temperatura superficial interior da chapa) há possibilidade de ocorrência de condensações no tardo da chapa de alumínio.

A pressão do vapor de água no interior do desvão é dada por:

$$P_{desvão} = 611. e^{\frac{17,08 \times 11,32}{234,18 + 11,32}} = 1342,99 \text{ Pa}$$

O fluxo de vapor de água que aproximadamente se irá condensar na chapa de alumínio é de:

$$g = (2762,53 - 1342,99) \times \frac{20 \times 10^{-9}}{0,0725} = 0,000392 \text{ g/m}^3$$

A temperatura necessária no desvão para que não ocorram condensações, ou seja, para que não haja a troca do fluxo atrás calculado é de:

$$P_{desvão} = P_{interior} = 2762,53 = 611. e^{\frac{17,08 \times T}{234,18 + T}}$$

$\leftrightarrow$

$$T_{desvão} = 22,69 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

O coeficiente de transmissão térmica que o revestimento tem de possuir para que o desvão esteja a uma temperatura de 22,69 °C é dado por:

$$0,59 (30 - 22,69) = U_{revestimento} (22,69 - 10)$$

$\leftrightarrow$

$$U_{revestimento} = 0,29 \text{ W/(m}^2\text{ }^{\circ}\text{C)}$$

A espessura do isolamento a colocar no revestimento em chapa de simples de alumínio para atingir um coeficiente de transmissão térmica de 0,29 W/(m²°C) será aproximadamente:

$$0,29 = \frac{1}{0,04 + \frac{0,01}{230} \times 2 + \frac{e}{0,037} + 0,10}$$

$\leftrightarrow$

$$e_{isolamento} = 12,2 \text{ cm}$$

Para que não ocorressem condensações na chapa de alumínio com uma temperatura exterior de 10 °C, o revestimento teria de ter uma configuração construtiva com uma camada de isolamento com 12,2 cm de espessura e com uma condutibilidade térmica de 0,037 W/m °C.

Exemplificado o cálculo de uma das combinações, a análise das restantes segue um procedimento igual, que se encontra desenvolvido no Anexo A1. Apresenta-se ainda um quadro resumo da análise de condensações na chapa simples de alumínio quando o desvão não é ventilado, para as restantes temperaturas exteriores.

Quadro 6.3 – Probabilidade de ocorrência de condensações na chapa de alumínio com desvão não ventilado

Análise de ocorrência de condensações											Valores para que não ocorram condensações na chapa		
T_e	P_{exterior}	$W_{\text{ar exterior}}$	$T_{\text{desvão}}$	$T_{\text{si,Chapa}}$	Diagrama Psicométrico	$HR_{\text{desvão}}$	T_{po}	$W_{\text{ar desvão}}$	$P_{\text{desvão}}$	$g_{\text{condensado}}$	$T_{\text{desvão}}$	U_{chapa}	$e_{\text{isolamento}}$
°C	Pa	g/m ³	°C	°C		%	°C	g/m ³	Pa	g/(m ² .s)	°C	W/(m ² .°C)	cm
10	1229.77	9.41	11.32	10.38 ¹	→	100	11.2	10.2	1342.99	0.000392	22.69	0.29	12.2
5	873.19	6.80	6.64	5.48 ¹	→	100	6.90	7.80	978.51	0.000492	22.69	0.21	17.1
0	611.00	4.85	1.97	0.57 ¹	→	100	2	5.90	704.57	0.000568	22.69	0.16	22.6
-4	437.34	3.52	-1.76	-3.35 ¹	→	100	-1	4.80	528.05	0.000616	22.69	0.14	25.9

¹ Ocorrem condensações no tardo da chapa simples de alumínio pois $T_{\text{po}} > T_{\text{si,Chapa}}$

Legenda:

T_e – Temperatura exterior

P_{exterior} – Pressão do vapor de água exterior

$W_{\text{ar exterior}}$ – Humidade do ar exterior

$T_{\text{desvão}}$ – Temperatura no desvão

$T_{\text{si,Chapa}}$ – Temperatura superficial interior da chapa

$HR_{\text{desvão}}$ – Humidade relativa no desvão

T_{po} - Temperatura de ponto de orvalho

$W_{\text{ar desvão}}$ – Humidade do ar no desvão

$P_{\text{desvão}}$ – Pressão do vapor de água no desvão

$g_{\text{condensado}}$ – Fluxo condensado (aproximadamente)

U_{chapa} – Coeficiente de transmissão térmica da chapa simples

$e_{\text{isolamento}}$ – Espessura do isolamento necessária na chapa simples

Uma simples análise do Quadro 6.3 permite verifica a probabilidade de ocorrência de condensações na face interior da chapa de alumínio, aumentando o fluxo condensado à medida que a temperatura exterior vai descendo. Este aumento do fluxo deve-se à diminuição da temperatura no desvão, fazendo com o que o fluxo que advém do interior da nave seja superior e o risco de ocorrência de condensações também seja superior.

Uma medida fundamental no combate às condensações na chapa de alumínio é aumentar a sua temperatura, sendo que este objetivo é atingido isolando a chapa de alumínio pelo exterior. De seguida será analisado o caso em que o revestimento em chapa de alumínio é substituído por um painel sandwich.

6.3.1.2 Painel sandwich

O estudo das condensações com este tipo de revestimento é muito similar ao anteriormente apresentado. No entanto, o valor da humidade relativa no desvão é variável uma vez que ao apresentar uma temperatura superior, o intervalo em relação à humidade relativa no diagrama psicrométrico aumenta.

Tal como no caso anterior, será desenvolvida uma das demonstrações e apresentado um quadro resumo com todos os resultados, seguindo o desenvolvimento dos mesmos para o Anexo A1. A solução que servirá de exemplificação admite uma temperatura exterior de 10 °C.

A pressão do vapor de água no exterior é dada por:

$$P_{exterior} = 611. e^{\frac{17,08 \times 10}{234,18 + 10}} = 1229,77 \text{ Pa}$$

A humidade do ar no exterior é de:

$$T(kelvin) = 10 + 273,15 = 283,15 \text{ K}$$

$$W_{exterior} = 2,167 \times \left(\frac{1229,77}{283,15} \right) = 9,41 \text{ g/m}^3$$

A temperatura no desvão da cobertura é de:

$$U_{Ti} \times A_{Ti} (T_i - T_{desvão}) = U_{revest} \times A_{revest} (T_{desvão} - T_e)$$

$$\leftrightarrow$$

$$0,59 \times 1(30 - T_{desvão}) = 1,1 \times 1(T_{desvão} - 10)$$

$$\leftrightarrow$$

$$T_{desvão} = 16,25 \text{ °C}$$

Pelo que a temperatura superficial interior do painel sandwich será aproximadamente:

$$T_{si,painel} = 16,25 - 1,1 \times 0,10 (16,25 - 10) = 15,56 \text{ °C}$$

Através da análise do diagrama psicométrico (Fig 6.4), verifica-se que a humidade relativa para uma temperatura de 16,25 °C pode estar entre os 80 e 100%, uma vez que a humidade do desvão tem de se situar entre os 10,75 g/m³ (humidade do ar no desvão para uma renovação horária – Anexo A2) e os 19,7 g/m³. Tal como no caso anterior, o limite inferior não são as 9,41g/m³ porque a humidade do ar no desvão será sempre superior quando não existe ventilação.

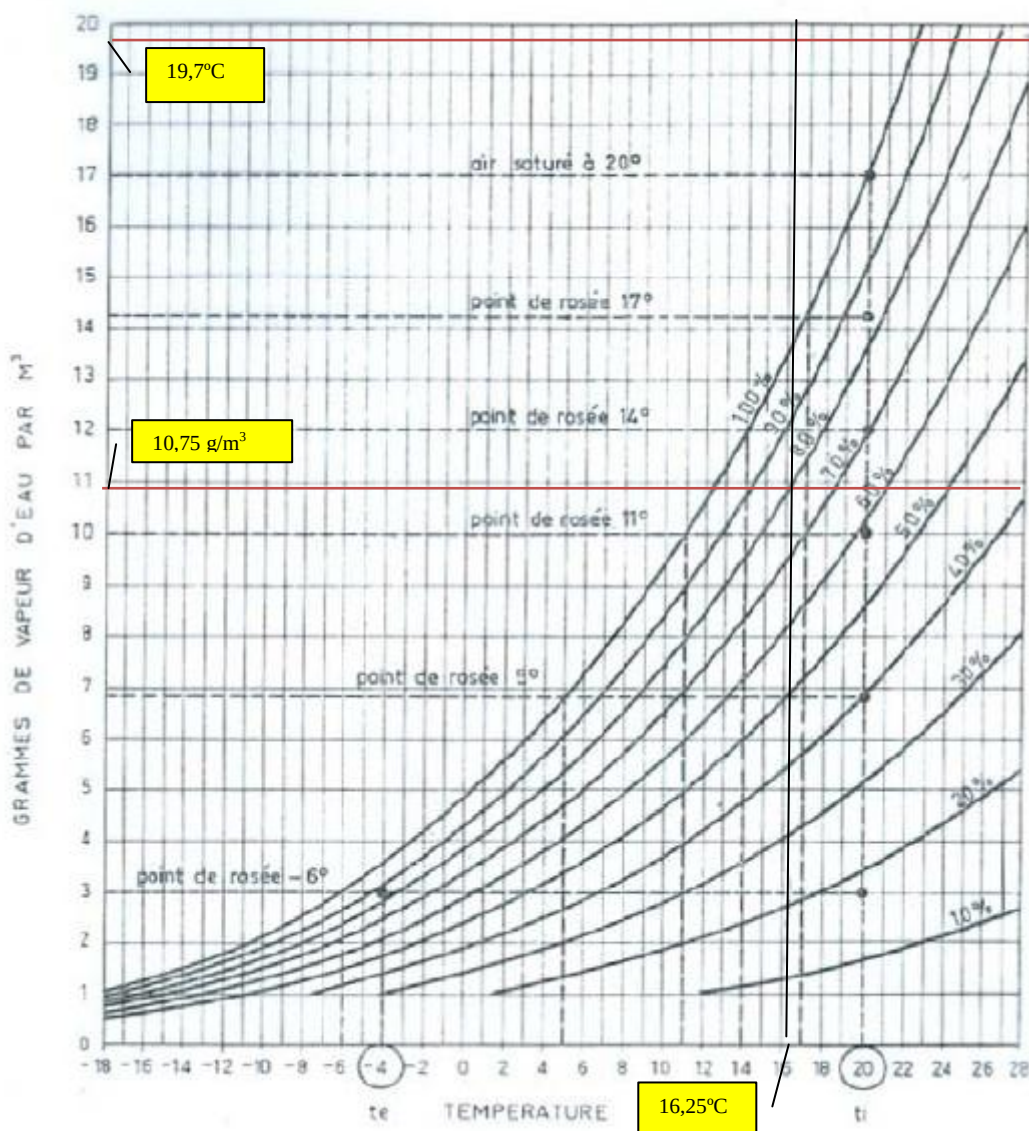


Fig 6.4 - Determinação da temperatura de ponto de orvalho para uma temperatura exterior de 10 °C e revestimento em painel sandwich.

Humidade relativa 100%

Pelo diagrama psicométrico, a temperatura de ponto de orvalho para uma humidade relativa de 100% é de 16 °C e a humidade do ar de 13,5 g/m³. Como a temperatura superficial no interior do painel sandwich é de 15,56 °C, $T_{po} > T_{si,painel}$, há a probabilidade de ocorrerem condensações.

A pressão do vapor de água no interior do desvão é de:

$$P_{desvão} = 611 \cdot e^{\frac{17,08 \times 16,25}{234,18 + 16,25}} = 1850,83 \text{ Pa}$$

O fluxo de vapor de água que aproximadamente se irá condensar no painel sandwich será de:

$$g = (2762,53 - 1850,83) \times \frac{20 \times 10^{-9}}{0,0725} = 0,00025 \text{ g/m}^3$$

A temperatura necessária no desvão para que não ocorram condensações, ou seja, para que não haja a troca do fluxo atrás calculado é de:

$$P_{desvão} = P_{interior} = 2762,53 = 611 \cdot e^{\frac{17,08 \times T}{234,18 + T}}$$

↔

$$T_{desvão} = 22,69 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Então o coeficiente de transmissão térmica que o revestimento tem de possuir para que o desvão esteja a uma temperatura de 22,69 °C será de:

$$0,59 (30 - 22,69) = U_{revestimento} (22,69 - 10)$$

↔

$$U_{revestimento} = 0,29 \text{ W/(m}^2\text{ }^{\circ}\text{C)}$$

A espessura do isolamento térmico que o painel sandwich tem de ter na sua configuração para conseguir atingir um coeficiente de transmissão térmica de 0,29 W/(m²°C) é aproximadamente:

$$0,29 = \frac{1}{0,04 + \frac{0,01}{230} \times 2 + \frac{e}{0,037} + 0,10}$$

↔

$$e_{isolamento} = 12,2 \text{ cm}$$

Para que não ocorressem condensações na superfície interior do painel sandwich com uma temperatura exterior de 10 °C, teria de se aumentar em 9,2 cm a espessura do isolamento térmico entre as chapas de alumínio.

Humidade relativa 90%

Pelo diagrama psicométrico, a temperatura de ponto de orvalho para uma humidade relativa de 90% é de 14,4 °C e a humidade do ar de 12,3 g/m³. Como a temperatura superficial no interior do painel sandwich é de 15,56 °C, T_{po} < T_{si,painel}, não existindo a possibilidade de ocorrência de condensações.

Como para uma humidade relativa de 90% não há risco de ocorrência de condensações na superfície interior do painel, a análise para uma humidade relativa de 80% não será necessária uma vez que ao manter-se a temperatura no desvão e na superfície do painel sandwich, e ao diminuir-se a humidade relativa, a temperatura de ponto orvalho será inferior não havendo probabilidade de ocorrerem condensações.

Apresentados os cálculos para uma temperatura exterior de 10 °C, os resultados das restantes hipóteses encontram-se resumidos no Quadro 6.4, seguindo no Anexo A1 os respetivos procedimentos de cálculo. De realçar que, caso não se verifiquem condensações para uma humidade relativa do ar, no desvão, de 90%, para uma humidade relativa inferior estas não serão calculadas devido às razões já mencionadas.

Quadro 6.4 – Probabilidade de ocorrência de condensações no painel sandwich com desvão não ventilado

Análise de ocorrência de condensações											Valores para que não ocorram condensações no painel		
T_e	P_{exterior}	$W_{\text{ar exterior}}$	$T_{\text{desvão}}$	$T_{\text{si,Painel}}$	Diagrama Psicométrico	$HR_{\text{desvão}}$	T_{po}	$W_{\text{ar desvão}}$	$P_{\text{desvão}}$	$g_{\text{condensado}}$	$T_{\text{desvão}}$	U_{painel}	$e_{\text{isolamento a colocar}}$
°C	Pa	g/m ³	°C	°C		%	°C	g/m ³	Pa	g/(m ² .s)	°C	W/(m ² °C)	cm
10	1229.77	9.41	16.25	15.56 ¹	→	100	16	13.4	1850.83	0.00025	22.69	0.29	9.2
				15.56	→	90	14.4	12.3	-	-	-	-	-
5	873.19	6.80	12.81	11.95 ¹	→	100	12.8	11.0	1481.69	0.000353	22.69	0.21	14.1
				11.95	→	90	11	10.0	-	-	-	-	-
0	611.00	4.85	9.38	8.35 ¹	→	100	9	9.0	1179.54	0.000437	22.69	0.16	19.6
				8.35	→	90	7.3	8.0	-	-	-	-	-
-4	437.34	3.52	6.63	5.46 ¹	→	100	6.50	7.6	977.84	0.000495	22.69	0.14	22.9
				5.46	→	90	5	6.8	-	-	-	-	-

¹ Ocorrem condensações no tardo do painel sandwich pois $T_{\text{po}} > T_{\text{si,Painel}}$

Legenda:

T_e – Temperatura exterior

P_{exterior} – Pressão do vapor de água exterior

$W_{\text{ar exterior}}$ – Humidade do ar exterior

$T_{\text{desvão}}$ – Temperatura no desvão

$T_{\text{si,Chapa}}$ – Temperatura superficial interior do painel

$HR_{\text{desvão}}$ – Humidade relativa no desvão

T_{po} – Temperatura de ponto de orvalho

$W_{\text{ar desvão}}$ – Humidade do ar no desvão

$P_{\text{desvão}}$ – Pressão do vapor de água no desvão

$g_{\text{condensado}}$ – Fluxo condensado (aproximadamente)

U_{chapa} – Coeficiente de transmissão térmica do painel sandwich

$e_{\text{isolamento}}$ – Espessura do isolamento a acrescentar no painel sandwich

A análise do quadro anterior, permite concluir a grande influência da humidade relativa na ocorrência ou não de condensações no tardo do painel sandwich.

Quando a humidade relativa no desvão é de 100%, existe a probabilidade de a ocorrência de condensações visto a temperatura superficial interior do painel ser sempre inferior à temperatura de ponto de orvalho para qualquer temperatura exterior. No entanto, quando a humidade relativa do desvão é de 90%, já não há grande probabilidade de ocorrência de condensações pois consegue-se diminuir o valor da temperatura de ponto de orvalho, mantendo-o abaixo da temperatura superficial do painel sandwich.

Quando temos um revestimento em painel sandwich e um desvão não ventilado, uma forma de evitar a ocorrência de condensações na superfície interior do painel sandwich é garantir que a humidade relativa no desvão seja inferior a 100%.

6.3.2 ANÁLISE DO REVESTIMENTO COM DESVÃO VENTILADO

A partir dos resultados obtidos no subcapítulo anterior, percebe-se que a ventilação do desvão é uma medida necessária para se prevenir possibilidade de ocorrerem condensações superficiais no revestimento. Deste modo, a análise que se segue pretende avaliar o número de renovações horárias que o ar do desvão tem de ter para que se evite a ocorrência de condensações segundo diversas hipóteses de temperatura no exterior.

A análise de todas as hipóteses de configuração construtiva, temperatura exterior e renovação horária do ar, foi feita com recurso a uma folha de cálculo Excel com as fórmulas já anteriormente discriminadas. No entanto, será detalhado um dos vários cálculos, nomeadamente o caso em que o revestimento é em chapa simples de alumínio, a temperatura exterior de 10 °C e a renovação horária do ar de 2 h⁻¹.

Para as restantes soluções, será apenas apresentado um quadro resumo dos resultados obtidos, ficando as folhas de cálculo colocadas no Anexo A2.

Importante ressaltar que neste item só estão a ser analisadas as condensações superficiais no revestimento. Mais à frente serão analisadas as condensações (superficiais e internas) no teto interior, e só aí se saberá qual a solução construtiva a sugerir.

6.3.2.1 Chapa de alumínio e teto interior em teto falso e isolamento térmico

Esta configuração construtiva associada a uma temperatura exterior de 10 °C e a uma renovação horária de 2 servirá de exemplo na forma como os resultados foram obtidos. Seguindo-se o procedimento de cálculo para a análise de probabilidade de ocorrência de condensações nesta hipótese:

A temperatura exterior em kelvin é de:

$$T(kelvin) = 10 + 273,15 = 283,15 K$$

A pressão do vapor de água exterior é de:

$$P_{exterior} = 611. e^{\frac{17,08 \times 10}{234,18 + 10}} = 1229,77 Pa$$

A humidade do ar exterior é dada por:

$$W_{exterior} = 2,167 \times \left(\frac{1229,77}{283,15} \right) = 9,41 \text{ g/m}^3$$

A temperatura no interior do desvão é de:

$$0,59x(30 - T_{desvão}) = 7,1(T_{desvão} - 10) + 0,34x2(T_{desvão} - 10)$$

$$\leftrightarrow$$

$$T_{desvão} = 11,21 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

A temperatura no interior do desvão em kelvin é de:

$$T(kelvin) = 11,21 + 273,15 = 284,36 \text{ K}$$

A temperatura superficial interior da chapa de alumínio é de:

$$T_{si,chapa} = 11,21 - 7, \times 0,10 (11,21 - 10) = 10,35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

A humidade do ar no desvão é dada por:

$$(2762,53 - 1229,77) \frac{20 \times 10^{-9}}{0,0725} = \left(\frac{W_{desvão} - 9,41}{1} \times \frac{Rph}{3600} \right)$$

$$\leftrightarrow$$

$$W_{desvão} = 10,12 \text{ g/m}^3$$

Através do diagrama psicométrico (Fig 6.5), a humidade relativa no desvão é de 100% e a temperatura de ponto de orvalho de 11,25 °C. Estes valores permitem concluir que a temperatura de ponto de orvalho é superior à temperatura superficial interior da chapa, ou seja, que ocorrem condensações, sugerindo-se aumentar a renovação horária do ar para contrair este facto.

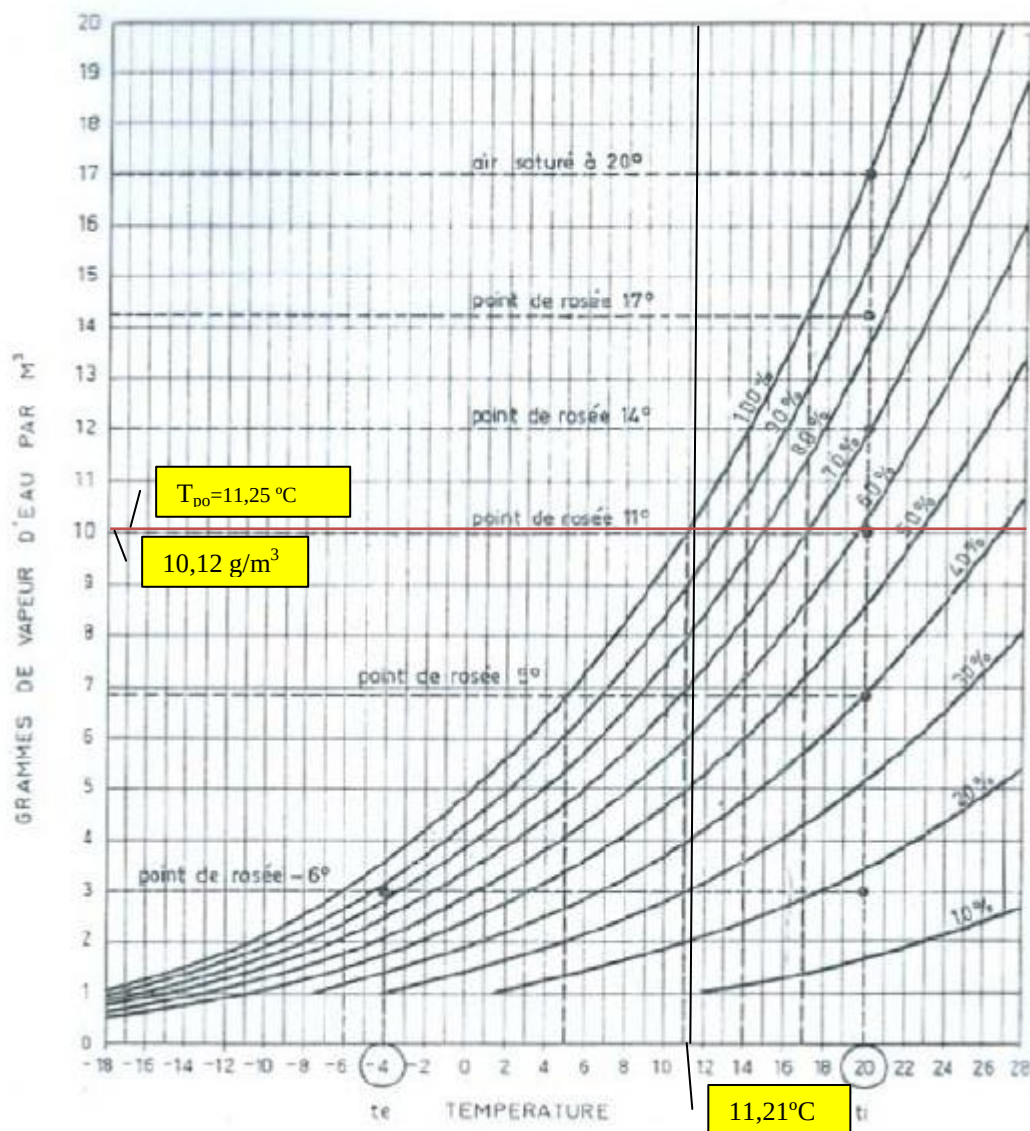


Fig 6.5 – Determinação da temperatura de ponto de orvalho e humidade relativa pelo diagrama psicrométrico.

Apresenta-se um quadro resumo para esta configuração construtiva com diversas hipóteses para a temperatura exterior e a renovação horária do ar no desvão.

Quadro 6.5 – Probabilidade de ocorrência de condensações na chapa de alumínio com teto interior em gesso cartonado e isolamento térmico

		Renovação horária do ar no desvão (h^{-1})						
		2	4	6	8	10	15	20
Temperatura exterior (°C)	10	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	8	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	6	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	4	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	2	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	0	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	-2	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	-4	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$

A análise do quadro permite concluir que, independentemente da temperatura exterior, se for garantida uma renovação mínima horária do ar no desvão de 6 h^{-1} , existe uma reduzida probabilidade de ocorrência de condensações na chapa simples de alumínio.

6.3.2.2 Chapa de alumínio e teto interior em teto falso, barreira pára-vapor e isolamento térmico

Como a configuração construtiva do teto interior muda, através do acréscimo de uma barreira pára-vapor, as características do elemento passam a ser as seguintes:

- Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água [17]:

O teto falso tem um coeficiente de permeabilidade de $25 \text{ g}/(\text{m.s.Pa}) \times 10^{-9}$, o isolamento térmico em lâ mineral de $245 \text{ g}/(\text{m.s.Pa}) \times 10^{-9}$, e a folha de $2 \text{ g}/(\text{m.s.Pa}) \times 10^{-9}$. Logo foi estimado como coeficiente de permeabilidade global do teto interior o valor de $2 \text{ g}/(\text{m.s.Pa}) \times 10^{-9}$.

- Espessura:

Como a espessura da folha de polietileno é bastante reduzida ($250 \mu\text{m}$), o valor da espessura da camada mantém-se quase inalterável, passando a ter $0,0728 \text{ m}$ de espessura.

Quadro 6.6 – Probabilidade de ocorrência de condensações na chapa de alumínio com teto interior em gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico

		Renovação horária do ar no desvão (h^{-1})						
		2	4	6	8	10	15	20
Temperatura exterior (°C)	10	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	8	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	6	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	4	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	2	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	0	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	-2	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	-4	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$

A colocação de uma folha de polietileno de alta densidade a funcionar como barreira pára-vapor permite que com uma renovação horária igual a 1 se consiga evitar a ocorrência de condensações no revestimento em chapa simples de alumínio. No entanto, pode haver o risco de ocorrerem condensações na camada inferior ao desvão.

6.3.2.3 Chapa de alumínio e teto interior em teto falso

Uma cobertura com esta configuração construtiva faz com que as características do teto interior passem a ter um coeficiente de permeabilidade ao vapor de água de $25 \text{ g}/(\text{m.s.Pa}) \times 10^{-9}$ e uma espessura de 0,0125 m, uma vez que é apenas constituído por placas de gesso cartonado.

Quadro 6.7 – Probabilidade de ocorrência de condensações na chapa de alumínio com teto interior em gesso cartonado

		Renovação horária do ar no desvão (h^{-1})						
		2	4	6	8	10	15	20
Temperatura exterior (°C)	10	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	8	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	6	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	4	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	2	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	0	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	-2	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$
	-4	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{po} > T_{si}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$	$T_{si} > T_{po}$

O Quadro 6.7 mostra que a solução com um teto interior constituído apenas por gesso cartonado é a menos interessante entre as três configurações para a camada abaixo do desvão, apresentando maior risco de ocorrência de condensações na chapa simples de alumínio.

Quando as temperaturas exteriores estão entre os 6 e 10 °C, é necessária uma renovação horária de 8 h⁻¹ para que não ocorram condensações. Já com temperaturas inferiores a 4 graus, deve-se aumentar em 2 h⁻¹ a renovação do ar, ou seja, são necessárias 10h⁻¹ (renovação horária do ar extremamente elevada).

Os resultados eram expectáveis já que a ausência de isolamento térmico sobre o gesso cartonado faz com que a permeabilidade da camada seja muito inferior e o desvão tenha temperaturas muito altas. O facto de a chapa estar a temperaturas bem inferiores à ambiência do desvão provoca o fenómeno de condensação na superfície de contacto.

Consideram-se como necessários valores elevados de ventilação para que na superfície interior da chapa se evite a ocorrência de condensações quando o teto interior é constituído apenas por gesso cartonado.

6.3.2.4 Pannel sandwich e teto interior em teto falso e isolamento térmico

Quadro 6.8 – Probabilidade de ocorrência de condensações no pannel sandwich com teto interior em gesso cartonado e isolamento térmico

		Renovação horária do ar no desvão (h ⁻¹)							
		1	2	4	6	8	10	15	20
Temperatura exterior (°C)	10	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}
	8	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}
	6	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}
	4	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}
	2	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}
	0	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}
	-2	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}
	-4	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}	T _{si} >T _{po}

A mesma configuração construtiva do teto interior mas com um revestimento em chapa necessitava de uma renovação mínima do ar de 6 h⁻¹ para que se evitasse a ocorrência de condensações no tardo do revestimento. No entanto, com o pannel sandwich a temperatura superficial interior será bastante superior, pelo que será suficiente uma renovação horária para evitar a ocorrência de condensações.

6.3.2.5 Pannel sandwich e teto interior em teto falso, barreira pára-vapor e isolamento térmico

Quadro 6.9 – Probabilidade de ocorrência de condensações no pannel sandwich com teto interior em gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico

		Renovação horária do ar no desvão (h^{-1})							
		1	2	4	6	8	10	15	20
Temperatura exterior ($^{\circ}\text{C}$)	10	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$
	8	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$
	6	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$
	4	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$
	2	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$
	0	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$
	-2	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$
	-4	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$

Se com um teto interior composto apenas por gesso cartonado e isolamento térmico bastava uma renovação horária do ar no desvão para que se evitasse a ocorrência de condensações, o facto de nesta análise ter uma barreira pára-vapor no teto interior, permitia esperar um comportamento semelhante ao anterior. Assim sendo, como se analisa pelo Quadro 6.9, basta apenas uma renovação horária de 1 h^{-1} para que se evite a ocorrência de condensações na superfície inferior do pannel sandwich.

6.3.2.6 Pannel sandwich e teto interior em teto falso

Quadro 6.10 – Probabilidade de ocorrência de condensações no pannel sandwich com teto interior em gesso cartonado

		Renovação horária do ar no desvão (h^{-1})							
		1	2	4	6	8	10	15	20
Temperatura exterior ($^{\circ}\text{C}$)	10	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$
	8	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$
	6	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$
	4	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$
	2	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$
	0	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$
	-2	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$
	-4	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$	$T_{\text{si}} > T_{\text{po}}$

Relativamente à probabilidade de ocorrência de condensações no revestimento da cobertura, a utilização de um painel sandwich é melhor do que uma chapa simples de alumínio. Mesmo com um teto interior constituído apenas por gesso cartonado (onde a chapa de alumínio apresentou resultados muito desfavoráveis), consegue-se evitar a probabilidade de ocorrência de condensações no tardo do painel sandwich somente com uma renovação horária do ar.

6.3.3 ANÁLISE DO ELEMENTO CONSTRUTIVO ABAIXO DO DESVÃO

Todos os estudos realizados até agora foram para analisar as condensações no elemento de revestimento da cobertura, quer com ventilação quer sem ventilação no desvão. No entanto, é também de igual importância perceber quais os riscos de as condensações ocorrerem no teto interior da nave da piscina.

Deste modo, serão analisadas as três possibilidades de configuração construtiva do teto interior, incidindo a análise nas características mais desfavoráveis que o desvão poderá apresentar através da análise dos resultados obtidos até agora.

Como o elemento também está suscetível à ocorrência de condensações internas, esta possibilidade também será analisada juntamente com as condensações superficiais.

6.3.3.1 Condensações superficiais no teto em gesso cartonado e isolamento térmico

Segundo as folhas de cálculo anexadas neste trabalho, a temperatura mais desfavorável do desvão quando o teto interior é composto por gesso cartonado e isolamento térmico é de -2.82 °C. Esta temperatura surge com um revestimento em chapa simples de alumínio, uma temperatura exterior de -4 °C e uma ventilação de 20 renovações horárias do ar (este valor de renovação do ar no desvão foi apenas utilizado para simular uma situação muito desfavorável, sendo que dificilmente será uma hipótese válida numa situação real devido a ser muito elevado).

A temperatura superficial interior do teto interior é de:

$$T_{si,teto} = T_{interior} - U_{teto\ interior} \times R_{si} (T_{interior} - T_{desvão})$$

↔

$$T_{si,teto} = 30 - 0,59 \times 0,10 (30 + 2,82) = 28,36 \text{ °C}$$

A temperatura de ponto de orvalho do teto interior é dada por:

Segundo o diagrama psicométrico, para as características interiores com uma temperatura de 30 °C e uma humidade relativa de 65%, a temperatura de ponto de orvalho é de 21 °C.

Assim, como $T_{si, teto} > T_{po}$, a probabilidade de ocorrerem condensações superficiais nas placas de gesso cartonado do teto interior, quando este tem sob si uma camada de isolamento térmico, é bastante reduzida.

6.3.3.2 Condensações superficiais no teto em gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico

Quando se junta uma barreira pára-vapor em folhas de polietileno de alta densidade, a temperatura mais baixa que o desvão terá é a mesma do que no cálculo anterior pois o coeficiente de transmissão térmica praticamente não se altera.

A temperatura de ponto de orvalho na superfície interior do teto será sempre inferior à temperatura superficial do mesmo e, por isso, evita-se a ocorrência de condensações nas placas de gesso cartonado quando este suporta uma barreira pára-vapor e isolamento térmico.

6.3.3.3 Condensações superficiais no teto em gesso cartonado

As tabelas em Anexo mostram que a condição mais agressiva que a ambiência do desvão tem quando o teto interior tem apenas gesso cartonado na sua constituição é com uma temperatura de 5,33 °C. Deste modo, o estudo das condensações superficiais processa-se da seguinte forma:

A temperatura superficial interior do teto interior é dada por:

$$T_{si,teto} = T_{interior} - U_{teto\ interior} \times R_{si} (T_{interior} - T_{desvão})$$

↔

$$T_{si,teto} = 30 - 5,26 \times 0,10 (30 - 5,33) = 17,02\ ^\circ C$$

Como foi anteriormente demonstrado, a temperatura de ponto de orvalho é de 21 °C para as características interiores definidas no início deste estudo. Como tal, poderão ocorrer condensações na superfície interior do teto pois a temperatura de ponto de orvalho é superior à temperatura superficial interior.

O estudo que agora será realizado pretende perceber a partir de que temperaturas no desvão ocorrem condensações superficiais. Este cálculo é possível igualando a temperatura de ponto de orvalho à temperatura superficial interior do elemento:

$$T_{si,teto} = 21 = 30 - 5,26 \times 0,10 (30 - T_{desvão}) = 17,02\ ^\circ C$$

↔

$$T_{desvão} = 12,89\ ^\circ C$$

Para valores iguais ou superiores a 12,89 °C no desvão evita-se a ocorrência de condensações superficiais na superfície inferior das placas de gesso cartonado.

O Quadro 6.11 e o Quadro 6.12 mostram, para que valores de temperatura exterior e renovação horária do ar, existe a probabilidade de ocorrerem condensações superficiais com um revestimento em chapa simples de alumínio e em painel sandwich.

Na análise dos quadros será perceptível a necessidade de ventilação, mas para certos valores de temperatura exterior uma ventilação excessiva resulta na ocorrência de condensações. Deste modo, a falta de ventilação ou uma ventilação excessiva são igualmente prejudiciais para a cobertura e favoráveis para ocorrerem condensações.

Quadro 6.11 – Características do desvão com revestimento em chapa de alumínio em que podem ocorrer condensações superficiais no teto interior em placas de gesso cartonado

		Renovação horária do ar no desvão (h ⁻¹)						
		2	4	6	8	10	15	20
Temperatura exterior (°C)	10	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89
	8	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89
	6	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T <12.89
	4	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T <12.89	T <12.89	T <12.89
	2	T> 12.89	T <12.89	T <12.89	T <12.89	T <12.89	T <12.89	T <12.89
	0	T <12.89	T <12.89	T <12.89	T <12.89	T <12.89	T <12.89	T <12.89
	-2	T <12.89	T <12.89	T <12.89	T <12.89	T <12.89	T <12.89	T <12.89
	-4	T <12.89	T <12.89	T <12.89	T <12.89	T <12.89	T <12.89	T <12.89

Quadro 6.12 - Características do desvão com revestimento em painel sandwich em que podem ocorrer condensações superficiais no teto interior em placas de gesso cartonado

		Renovação horária do ar no desvão (h ⁻¹)							
		1	2	4	6	8	10	15	20
Temperatura exterior (°C)	10	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89
	8	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89
	6	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89
	4	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89
	2	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T <12.89
	0	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T <12.89	T <12.89
	-2	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T <12.89	T <12.89
	-4	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T> 12.89	T <12.89	T <12.89	T <12.89

Mais uma vez está esplanada a grande diferença utilizando um revestimento em painel sandwich no lugar da chapa simples de alumínio, mostrando o painel um comportamento nitidamente superior à chapa, como se percebe pelo número de células vermelhas em cada um dos quadros.

Com um revestimento em painel sandwich, apenas em 8 das 64 combinações estudadas as características do desvão são favoráveis ao aparecimento de condensações na superfície do teto interior. Já utilizando uma chapa simples em alumínio o desvão apresenta uma temperatura abaixo da temperatura limite para ocorrerem condensações em 31 das 64 combinações.

6.3.3.4 Condensações internas

Antes de se proceder à apresentação dos cálculos realizados, será feita uma pequena introdução para uma melhor interpretação das situações que irão ser analisadas e quais os dados utilizados no programa.

Assim, recorrer-se-á ao Quadro 6.13 que mostra quais as soluções construtivas em que as condensações internas serão analisadas e, quais as características mais desfavoráveis da ambiência no desvão de cada uma delas (consulta das folhas de cálculo resultantes do estudo anterior).

Quadro 6.13 – Características da ambiência no desvão e dos elementos construtivos na análise de condensações internas

	Elemento construtivo	Temperatura no desvão [°C]	Humidade relativa no desvão [%]	Anexo A2
a)	Revestimento em Painel sandwich e teto interior composto por gesso cartonado e isolamento térmico	-1,98	86	2.2.1
b)	Revestimento em Painel sandwich e teto interior composto por gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico	-1,98	83	2.2.2
c)	Revestimento em chapa simples de alumínio e teto interior composto por gesso cartonado e isolamento térmico	-2,82	96	2.1.1
d)	Revestimento em chapa simples de alumínio e teto interior composto por gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico	-2,82	91	2.1.2

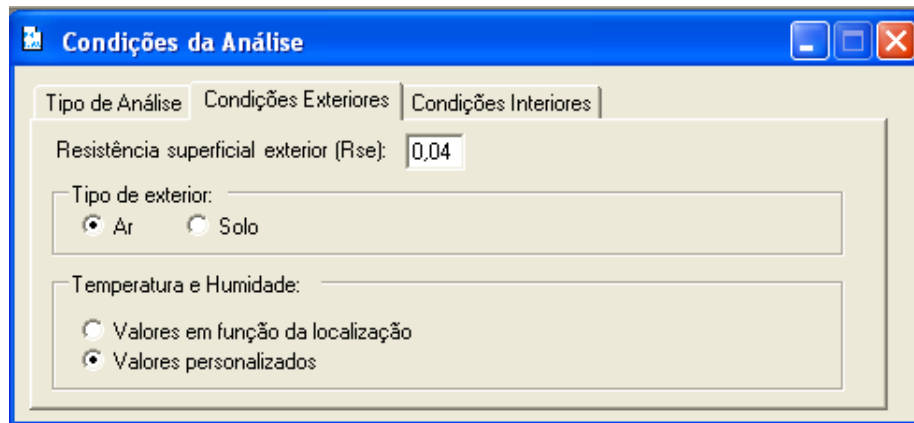
Apesar de as temperaturas mais desfavoráveis que se sentem no desvão serem as referidas no quadro anterior, a impossibilidade de se colocarem temperaturas negativas no programa de cálculo obriga a se considerarem estas como zero.

Esta aproximação faz com que o programa não simule o real gradiente de temperaturas que existe entre as ambiências, fazendo com que desde início haja uma menor probabilidade de ocorrência de condensações devido à temperatura no desvão ser menos desfavorável.

No entanto, as temperaturas de -1.98°C e -2,82°C são atingidas com uma temperatura exterior de -4°C e uma ventilação de 20h⁻¹. Ora, esta conjugação de fatores dificilmente acontecerá, pois raramente se sente uma temperatura exterior tão reduzida no Norte Litoral do nosso País e se utilizará uma renovação horária do ar tão elevada. Posto isto, analisando os quadros em Anexo constata-se que para valores correntes de renovação horária do ar (entre 1 e 8 h⁻¹) e uma temperatura exterior entre -2 e 0°C, a temperatura no interior do desvão mais desfavorável ronda os 0°C.

Deste modo, apesar de o programa não simular as condições mais desfavoráveis deste estudo, acaba por analisar, aproximadamente, a situação mais desfavorável que poderá ocorrer numa situação real, considerando a conjugação de todos os fatores.

Existem alguns parâmetros que são fixos ao longo de toda a análise, apresentando-se as imagens dos mesmos em baixo:



Condições da Análise

Tipo de Análise | Condições Exteriores | Condições Interiores

Resistência superficial exterior (Rse): 0,04

Tipo de exterior:

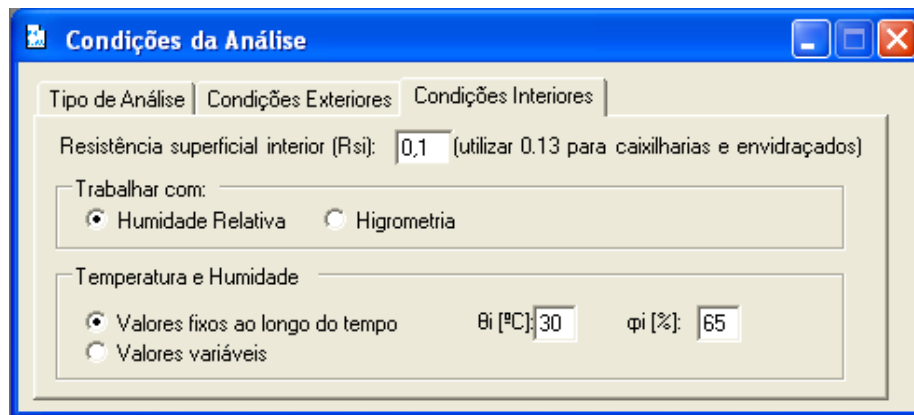
☒ Ar ☐ Solo

Temperatura e Humidade:

☐ Valores em função da localização

☒ Valores personalizados

Fig 6.6 – Condições exteriores de análise [55]



Condições da Análise

Tipo de Análise | Condições Exteriores | Condições Interiores

Resistência superficial interior (Rsi): 0,1 (utilizar 0.13 para caixilharias e envidraçados)

Trabalhar com:

☒ Humidade Relativa ☐ Higrometria

Temperatura e Humidade

☒ Valores fixos ao longo do tempo ☐ Valores variáveis

Bi [°C]: 30 phi [%]: 65

Fig 6.7 – Condições interiores de análise [55]

Os valores das resistências térmicas interior e exterior foram retirados da Informação Técnica ITE 50 que, para coberturas em que o sentido do fluxo de calor é ascendente, estipula 0,04 e 0,10 como resistência térmica exterior e interior, respetivamente [15].

De realçar que, quando ocorrem condensações internas em alguma interface do elemento construtivo, o programa responde com essa informação através da incorporação dos valores de quantidade de fluxo condensado numa tabela e através da indicação da sua localização nos resultados gráficos.

Posto isto, de seguida apresentam-se todos os dados envolvidos no cálculo das condensações internas para as configurações construtivas mencionadas, bem como os resultados obtidos.

a) **Revestimento em Painel sandwich e teto interior composto por gesso cartonado e isolamento térmico**

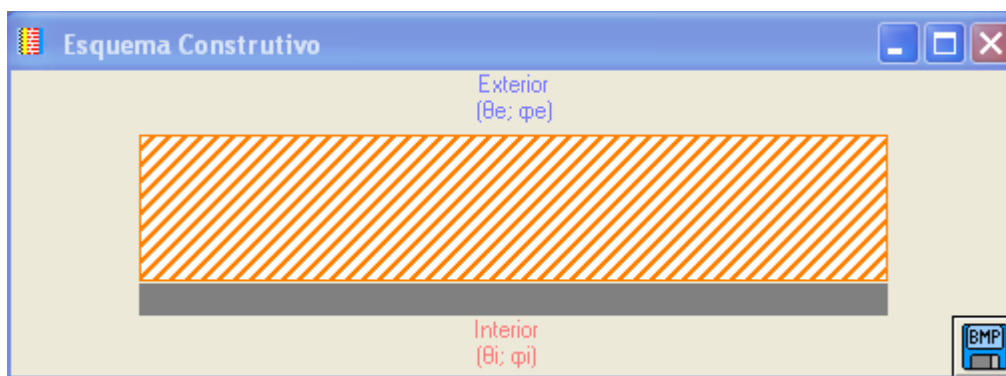


Fig 6.8 – Esquema construtivo do teto interior composto por gesso cartonado e isolamento térmico da hipótese a) [55]

Camadas do Elemento Construtivo						
	Descrição	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Cor/Padrão	
▶	Lã mineral	0,04	0,76	0,06		
	Gesso cartonado	0,25	8	0,0125		
*						

Fig 6.9 – Características dos elementos que constituem o teto interior na hipótese a) [55]

O programa possui uma base de dados com materiais que podem constituir os elementos construtivos, bem como os seus valores de condutibilidade térmica e do fator de resistência à difusão do vapor de água. No entanto, devido à base de dados ser demasiado generalizada, os materiais utilizados nas simulações e os seus parâmetros foram obtidos a partir de dois documentos mais completos, a Nota de Informação Técnica – NIT 002 e a Informação Técnica ITE 50 [17] [15].

Resultados da Análise								
	Intervalo	Duração [h]	θ _e [°C]	φ _e [%]	P _e [Pa]	θ _i [°C]	φ _i [%]	P _i [Pa]
▶	Janeiro	744	0,0	86	525,030	30,0	65	2756,32
	Fevereiro	672	0,0	86	525,030	30,0	65	2756,32
	Março	744	0,0	86	525,030	30,0	65	2756,32
	Abril	720	0,0	86	525,030	30,0	65	2756,32
	Maio	744	0,0	86	525,030	30,0	65	2756,32
	Junho	720	0,0	86	525,030	30,0	65	2756,32
	Julho	744	0,0	86	525,030	30,0	65	2756,32
	Agosto	744	0,0	86	525,030	30,0	65	2756,32
	Setembro	720	0,0	86	525,030	30,0	65	2756,32
	Outubro	744	0,0	86	525,030	30,0	65	2756,32
	Novembro	720	0,0	86	525,030	30,0	65	2756,32
	Dezembro	744	0,0	86	525,030	30,0	65	2756,32

Fig 6.10 – Resultados da análise de condensações internas da hipótese a) [55]

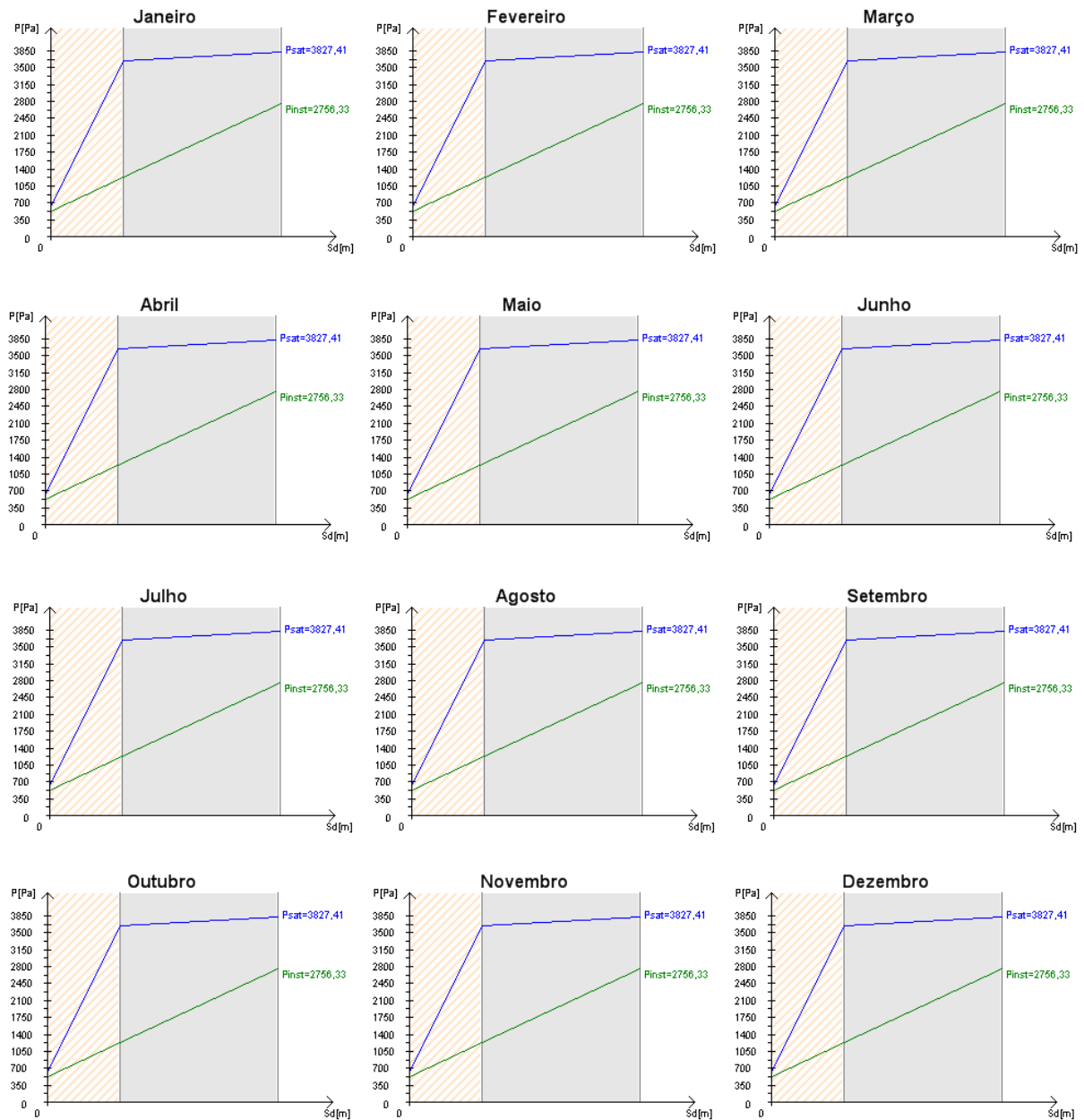


Fig 6.11 – Resultados gráficos da análise de condensações internas da hipótese a) [55]

Como se analisa pelos resultados, o caso de revestimento em painel sandwich com um teto interior composto por gesso cartonado e isolamento térmico apresenta um reduzido risco de ocorrência de condensações internas para as características mais desfavoráveis da ambiência do desvão.

Habitualmente os valores dos resultados tabelados e gráficos não são iguais nos 12 meses do ano visto a temperatura e a humidade relativa do ar serem diferentes em cada um deles. No entanto, como nesta análise é simulada a pior situação durante todo o ano, verificar-se-á a mesma probabilidade de ocorrência de condensações em cada um dos doze meses.

Posto isto, a apresentação dos resultados das seguintes simulações consistirá apenas no mês de Janeiro, funcionando como “Mês tipo” e demonstrando o que é expectável em todos os meses do ano.

b) Revestimento em Painel sandwich e teto interior composto por gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico

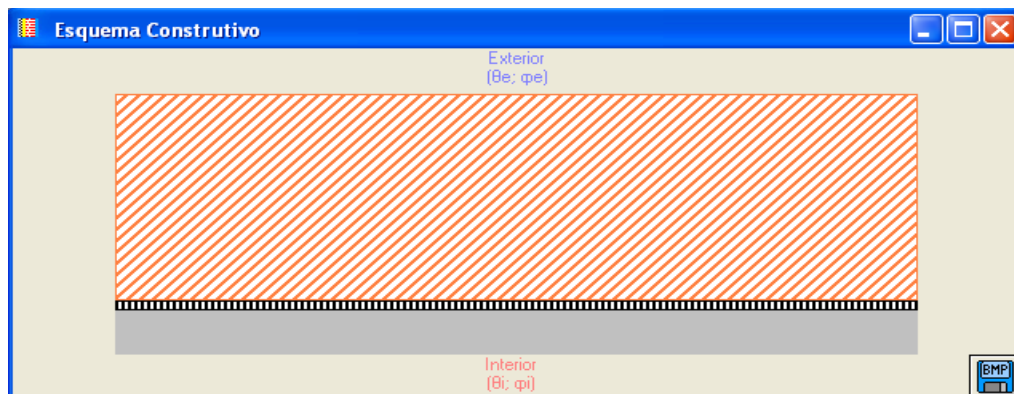


Fig 6.12 - Esquema construtivo do teto interior composto por gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico da hipótese b) [55]

	Descrição	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Cor/Padrão
	Lã Mineral	0,04	0,76	0,06	
▶	Folha de Polietileno	0,5	50000	0,00025	
	Gesso Cartonado	0,25	8	0,0125	
*					

Fig 6.13 - Características dos elementos que constituem o teto interior na hipótese b) [55]

	Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	ϕ_i [%]	P_i [Pa]
▶	Janeiro	744	0,0	83	506,715	30,0	65	2756,32

Fig 6.14 - Resultados da análise de condensações internas da hipótese b) [55]

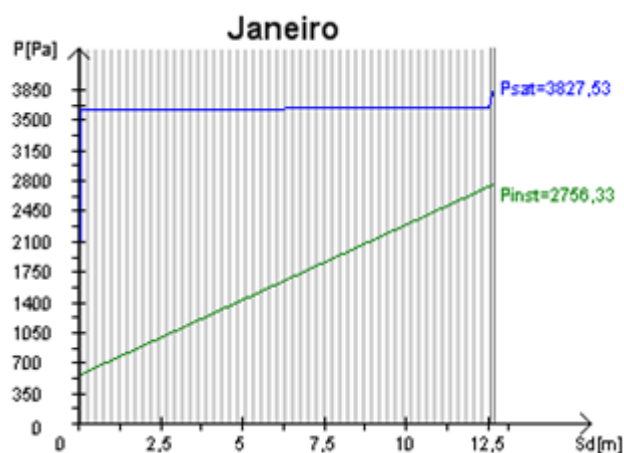


Fig 6.15 - Resultados gráficos da análise de condensações internas da hipótese b) [55]

A incorporação de uma barreira pára-vapor em folhas de polietileno de alta densidade, apresenta um reduzido risco de ocorrência de condensações internas no elemento de análise apesar de aumentar a sua resistência à difusão do vapor de água.

Deste modo, com um revestimento em painel sandwich, o teto interior dificilmente apresenta condensações internas no elemento construtivo abaixo do desvão, quer ele tenha ou não uma barreira pára-vapor na sua constituição.

c) Revestimento em chapa simples de alumínio e teto interior composto por gesso cartonado e isolamento térmico

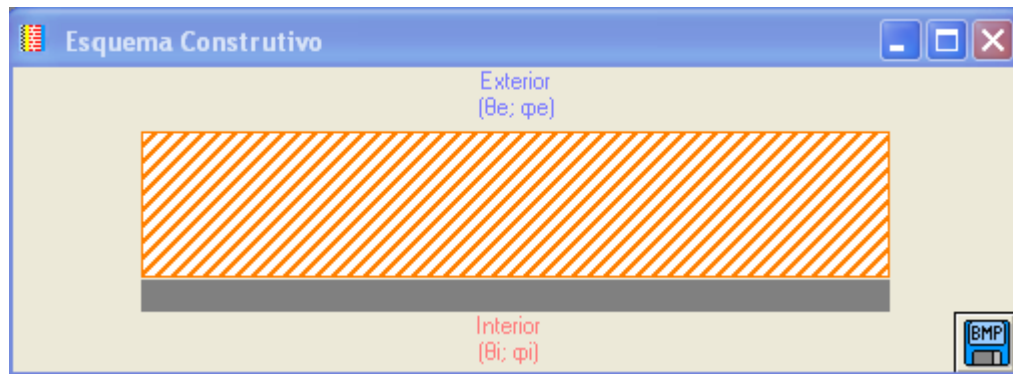


Fig 6.16 - Esquema construtivo do teto interior composto por gesso cartonado e isolamento térmico da hipótese c) [55]

	Descrição	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Cor/Padrão
▶	Lã mineral	0,04	0,76	0,06	
	Gesso cartonado	0,25	8	0,0125	
*					

Fig 6.17 - Características dos elementos que constituem o teto interior na hipótese c) [55]

	Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	ϕ_i [%]	P_i [Pa]
▶	Janeiro	744	0,0	96	586,080	30,0	65	2756,32

Fig 6.18 - Resultados da análise de condensações internas da hipótese c) [55]

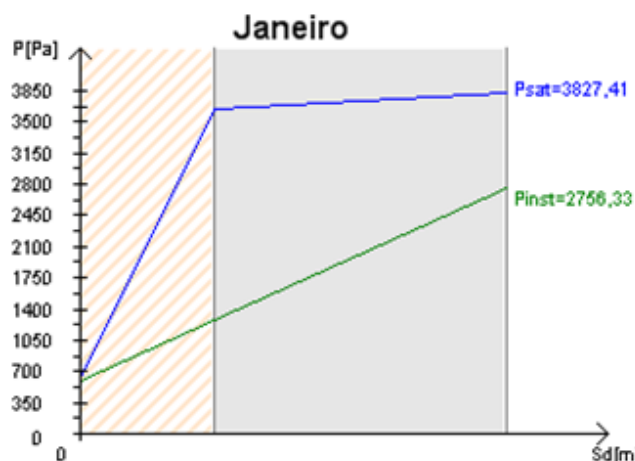


Fig 6.19 - Resultados gráficos da análise de condensações internas da hipótese c) [55]

A partir dos resultados anteriores e como a temperatura nesta simulação não varia em relação às anteriores, sendo a humidade relativa o único parâmetro que se diferencia, os resultados continuam a demonstrar um reduzido risco de ocorrência de condensações.

O aumento da humidade relativa devido a esta configuração construtiva tem influência num ligeiro aumento da quantidade de vapor de água na ambiência do desvão e o consequente aumento da pressão.

d) Revestimento em chapa simples de alumínio e teto interior composto por gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico

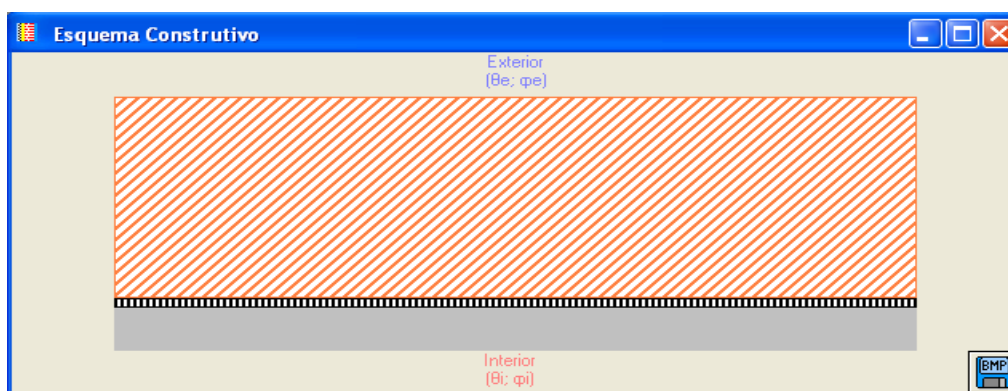


Fig 6.20 - Esquema construtivo do teto interior composto por gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico da hipótese d) [55]

Camadas do Elemento Construtivo					
	Descrição	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Cor/Padrão
	Lã Mineral	0,04	0,76	0,06	
▶	Folha de Polietileno	0,5	50000	0,00025	
	Gesso Cartonado	0,25	8	0,0125	
*					

Fig 6.21 - Características dos elementos que constituem o teto interior na hipótese d) [55]

Resultados da Análise								
	Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	ϕ_i [%]	P_i [Pa]
►	Janeiro	744	0,0	91	555,555	30,0	65	2756,32

Fig 6.22 - Resultados da análise de condensações internas da hipótese d) [55]

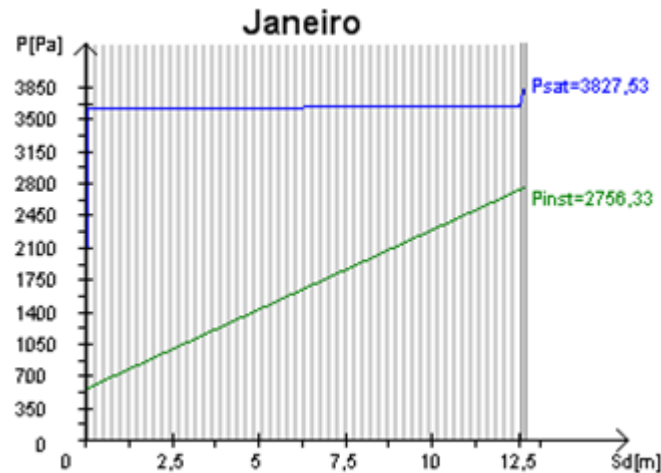


Fig 6.23 - Resultados gráficos da análise de condensações internas da hipótese d) [55]

Com a apresentação destes últimos resultados conclui-se que há pouca probabilidade de ocorrerem condensações internas nas quatro configurações construtivas.

6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS/MELHORES SOLUÇÕES

Analizadas as soluções e apresentados os resultados em relação à probabilidade de ocorrência de condensações superficiais no elemento de revestimento e, condensações superficiais e internas no teto interior, é possível uma ou várias soluções para uma cobertura de uma nave de piscinas.

6.4.1 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Quando o desvão não é ventilado e o teto interior é constituído por gesso cartonado e isolamento térmico, os resultados que se obtiveram em relação às condensações superficiais no revestimento foram os seguintes:

- Com um revestimento em chapa simples de alumínio existe a probabilidade de ocorrerem condensações no tardo de esta para temperaturas exteriores entre os 10 e os -4 °C (Quadro 6.3);
- Com um revestimento em painel sandwich há a probabilidade de ocorrerem condensações na sua superfície se a humidade no desvão rondar os 100%. No entanto, se for conseguida uma humidade relativa igual ou inferior a 90% evita-se a ocorrência de condensações para o intervalo de temperaturas exteriores estudado (Quadro 6.4).

Esta análise foi realizada para o caso em que o teto interior é constituído por gesso cartonado e isolamento térmico. No entanto, caso se adicionasse uma barreira pára-vapor à sua configuração, os resultados em relação à ocorrência de condensações superficiais não iriam ser demasiado diferentes. Isto porque a camada iria ter um coeficiente de transmissão térmica quase igual, fazendo com que as características da ambiência no desvão fossem idênticas.

A diferença na inclusão de uma barreira pára-vapor seria o valor do fluxo de vapor de água que iria atravessar o teto interior, verificando-se uma diminuição do fluxo condensado na superfície interior do revestimento e, uma ligeira diminuição na temperatura de ponto de orvalho devido à diminuição da humidade do ar.

Apesar de, quando o desvão não é ventilado e se utiliza a barreira pára-vapor, poderem ocorrer na mesma condensações no revestimento (o fluxo de vapor de água não é extraído para o exterior), é sempre vantajosa a sua colocação pois diminui-se o valor de fluxo de vapor de água para o desvão, diminuindo também o risco de ocorrerem condensações.

Quando o desvão é ventilado e o revestimento é composto por uma chapa metálica simples, o estudo demonstrou o seguinte em relação às condensações superficiais neste elemento:

- Com teto interior constituído apenas por gesso cartonado é necessária uma ventilação de 15 renovações horárias para se evitarem a ocorrência de condensações na chapa simples de alumínio (Quadro 6.7);
- Com teto interior constituído por gesso cartonado e isolamento térmico é necessária uma renovação horária do ar igual a 6 (Quadro 6.5);
- Com uma barreira pára-vapor, não há risco de condensações se for garantida uma renovação horária do ar (Quadro 6.6).

Com circulação do ar do desvão e com um revestimento em painel sandwich, a análise das condensações na superfície deste resultou no seguinte:

- Qualquer que seja a configuração construtiva do teto interior dentro dos três casos estudados, se a ventilação do ar no desvão for de uma renovação horária, evita-se a ocorrência de condensações no tardo do revestimento (Quadro 6.8, Quadro 6.9, Quadro 6.10).

Em conclusão, o Quadro 6.14 resume simplificadamente os resultados obtidos para se evitar o aparecimento de condensações superficiais no revestimento com o desvão ventilado.

Quadro 6.14 – Resultados do estudo das condensações superficiais no revestimento com desvão ventilado

Revestimento	Constituição do teto interior	Renovações horárias mínimas do ar do desvão
Chapa simples de alumínio	Gesso cartonado	15
	Gesso cartonado e isolamento térmico	6
	Gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico	1
Painel sandwich	Gesso cartonado	1
	Gesso cartonado e isolamento térmico	1
	Gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico	1

A análise das condensações superficiais no interior do teto que separa a ambiência da nave do desvão permitiu concluir que, para as condições mais desfavoráveis no desvão:

- Quando o teto interior é constituído por gesso cartonado e isolamento térmico, ou tem também na sua composição uma barreira pára-vapor, há um reduzido risco de ocorrerem condensações na superfície inferior do elemento;
- Quando este é constituído apenas por gesso cartonado, é necessária uma temperatura no desvão superior a 12,89 °C. Se o revestimento for em chapa simples de alumínio esta temperatura só se consegue com uma renovação horária inferior a 10 e uma temperatura exterior igual ou superior a 4 °C (Quadro 6.11). Caso o revestimento seja em painel sandwich, evita-se a ocorrência de condensações independentemente da temperatura exterior desde que se garanta uma renovação horária do ar inferior a 10 (Quadro 6.12).

No elemento construtivo abaixo do desvão, não se verifica a possibilidade de ocorrerem condensações internas para nenhuma configuração construtiva das três estudadas, como se observou pela apresentação dos resultados do programa CONDENSE 13788.

Obtidos os resultados da probabilidade de ocorrerem condensações superficiais e internas no teto da nave, é possível juntar estes aos resultados das condensações superficiais no revestimento para se saber em que situações é que todos os elementos que constituem a cobertura estão livres de condensações.

Quando o teto interior é constituído por gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico, ou apenas por gesso cartonado e isolamento térmico, não há probabilidade de ocorrência de condensações superficiais e internas neste elemento. Deste modo, evita-se a ocorrência de condensações em todos os elementos da cobertura respeitando as condições predispostas nos seguintes quadros:

- Quadro 6.5 – Probabilidade de ocorrência de condensações na chapa de alumínio com teto interior em gesso cartonado e isolamento térmico;
- Quadro 6.6 – Probabilidade de ocorrência de condensações na chapa de alumínio com teto interior em gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico;
- Quadro 6.8 – Probabilidade de ocorrência de condensações no painel sandwich com teto interior em gesso cartonado e isolamento térmico;
- Quadro 6.9 – Probabilidade de ocorrência de condensações no painel sandwich com teto interior em gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico.

Caso o teto interior seja apenas em gesso cartonado, este apresenta condensações superficiais para determinadas características da envolvente.

Quando se utiliza um revestimento em painel sandwich e o teto interior tem esta constituição, evita-se a ocorrência de condensações superficiais no revestimento, sendo que as condições a que se tem de obedecer para se evitarem condensações em todos os elementos da cobertura são as dispostas no Quadro 6.12 - Características do desvão com revestimento em painel sandwich em que podem ocorrer condensações superficiais no teto interior em placas de gesso cartonado.

Se o revestimento for em chapa simples de alumínio, este pode apresentar condensações superficiais juntamente com o teto interior, apresentando-se de seguida para que valores de renovação horária do ar no desvão e temperatura exterior isso acontece.

Quadro 6.15 – Características para que se evite a ocorrência de condensações com revestimento em chapa de alumínio e teto interior em gesso cartonado

		Renovação horária do ar no desvão (h^{-1})						
		2	4	6	8	10	15	20
Temperatura exterior ($^{\circ}\text{C}$)	10							
	8							
	6							
	4							
	2							
	0							
	-2							
	-4							

Legenda:

 Características de renovação horária do ar no desvão e de temperatura exterior onde ocorrem condensações superficiais interiores na chapa de alumínio

 Características de renovação horária do ar no desvão e de temperatura exterior onde ocorrem condensações superficiais interiores no gesso cartonado

 Características de renovação horária do ar no desvão e de temperatura exterior onde ocorrem condensações superficiais interiores na chapa de alumínio e no gesso cartonado

 Características de renovação horária do ar no desvão e de temperatura exterior onde não se prevêem qualquer tipo de condensações em nenhum dos elementos da cobertura

6.4.2 SOLUÇÃO RECOMENDADA PARA A COBERTURA

Considera-se que o desvão deverá ser ventilado, devendo apresentar um determinado valor de renovações horárias em função da temperatura exterior e das características da cobertura. E também que a constituição do teto interior não deve ser apenas em placas de gesso cartonado.

Com um revestimento em chapa simples de alumínio, caso o teto interior não tenha uma barreira pára-vapor, considera-se necessária uma renovação horária do ar no desvão próxima de 6h^{-1} , concluindo-se que esta não será a solução mais interessante. No entanto, projetando-se uma barreira pára-vapor, os valores de renovação horária do ar baixam significativamente (apenas uma) para se evitar a ocorrência de condensações, constituindo uma solução bastante aceitável.

O revestimento em painel sandwich é sem dúvida o que melhor comportamento demonstra perante todas as características no desvão e no teto interior, sendo apenas necessária uma renovação horária em todas as situações para que se evitem a ocorrência de condensações.

A solução recomendada para constituir uma cobertura metálica de uma nave de piscinas é a que apresenta um revestimento em painel sandwich, desvão ventilado e um teto interior composto por gesso cartonado e isolamento térmico, sendo opcional a colocação de um barreira pára-vapor para melhorar as condições no desvão.

7 CONCLUSÕES

7.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A primeira dificuldade imposta pelo tema desta dissertação remeteu ao facto de que a bibliografia associada a naves de piscinas, mais especificamente a coberturas metálicas nestes edifícios, ainda se caracteriza pela escassez de artigos técnicos e científicos e pela indisponibilidade de documentação que permita constituir este como um assunto corrente. No entanto, esta foi uma das razões da realização deste trabalho, concluindo-se que os objetivos propostos foram atingidos e que esta dissertação é uma boa contribuição para o desenvolvimento de um tema tão subdesenvolvido como é o da nave de piscinas. Posto isto, apresentam-se de seguida as principais conclusões retiradas do estudo realizado.

A ambiência de uma nave de piscinas faz com que a possibilidade de ocorrência de anomalias tenha contornos superiores ao de outros edifícios, destacando-se como principais culpados os profissionais que intervêm na construção. As más práticas exercidas, quer na fase de projeto quer na fase de instalação e execução, resultam em fenómenos de corrosão e humidade, que estão por trás de grande parte das anomalias verificadas em coberturas de naves de piscinas. Deste modo foi apresentado um quadro que reúne as principais patologias nos elementos da cobertura e que, a meu ver, espelha com clareza o perigo de inadequadas práticas perante um ambiente tão único como o estudado.

Com a descrição das diversas anomalias e a facilidade com que estas podem surgir, percebe-se que a manutenção e a reabilitação são atividades fundamentais nestes edifícios. No entanto, estas são ainda operações fracamente implementadas em Portugal, estando distorcidas as suas reais potencialidades.

Com o intuito de realçar a necessidade e as vantagens da manutenção e reabilitação, foram apresentadas estratégias e definidos procedimentos que se julgam contribuir para uma adequada aplicação destas atividades. Neste sentido, foram descritas medidas de prevenção e de intervenção como a proteção dos metais, a sua inspeção e limpeza, apresentando-se também casos práticos de reabilitação de elementos construtivos com a definição e desenvolvimento das várias etapas.

Na minha opinião, o capítulo de maior contribuição para o desenvolvimento de documentos relacionados com naves de piscinas foi o da análise de soluções relativamente à ocorrência de condensações nos elementos da cobertura.

Nesta análise, onde foram estudadas duas hipóteses de revestimento exterior e três como teto interior, procurou-se perceber para que temperaturas interiores e exteriores há a probabilidade de ocorrerem

condensações nestes elementos, bem como que valores de renovação horária do ar do desvão são necessários para se evitar a ocorrência destas. O estudo permitiu concluir o seguinte:

- O desvão da cobertura deve ser ventilado consoante as temperaturas interiores e exteriores expectáveis e a configuração construtiva da cobertura;
- O teto interior deve ser constituído por gesso cartonado e isolamento, podendo incorporar uma barreira pára-vapor entre estes para otimizar a solução construtiva;
- O revestimento da cobertura deve ser constituído por um painel sandwich pois permite diminuir os valores de renovação horária do ar no desvão e melhorar a eficiência energética da nave.

7.2 PROPOSTAS PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Pretende-se que esta dissertação seja um ponto de partida para uma contínua procura e desenvolvimento de soluções face a anomalias em naves de piscinas. Deste modo, e apoiando o progresso de estudos nestes peculiares edifícios, enunciam-se as seguintes possibilidades de desenvolvimentos futuros:

- Analisar o risco de condensações para outras configurações construtivas da cobertura;
- Estudar a probabilidade de ocorrência de condensações noutros elementos de naves de piscinas;
- Dimensionar sistemas de ventilação que permitam obter os valores de renovação horária do ar necessária para que não ocorram condensações;
- Desenvolver o trabalho realizado em relação a técnicas de intervenção (manutenção e reabilitação) contra as anomalias habitualmente verificadas em coberturas de naves de piscinas e noutros elementos construtivos.

Bibliografia

1. <http://www.google.pt/imgres?start=363&um=1&hl=pt-BR&biw=1366&bih=600&addh=36&tbnid=GEiZoK0DjX-glM:&imgrefurl=http://www.sanitred.com/&docid=uak9Btk3IuAPM&imgurl=http://www.sanitred.com/images/MetalRoof01.jpg&w>. *Cobertura Plana*. [cited 2012 24/04 - 12:05H].
2. Mascarenhas, J., *Sistemas de Construção*. Vol. VI - Coberturas inclinadas. 2006: Livros Horizonte.
3. DTU 20.12 (NF P10-203-1) - *Maçonnerie des toitures et d'étanchéité - Gros Oeuvre en maçonnerie des toitures destinées à recevoir un revêtement d'étanchéité*. 1993.
4. Lopes, J.M.G., *Revestimentos De Impermeabilização de Coberturas em Terraço - ITE 34*Lisboa, 1994, LNEC.
5. UEAtc, *Directives générales UEAtc pour l'agrément des revêtements d'étanchéité de toitures*. 1982.
6. <http://www.google.pt/imgres?start=93&um=1&hl=pt-BR&biw=1366&bih=600&tbnid=WOnY3iRFA4Om8M:&imgrefurl=http://www.tadcoinc.com/specialties.html&docid=RsuCMmRfza9sCM&imgurl=http://www.tadcoinc.com/graphics/DSCN0980metalroofAfter>. *Cobertura Inclinada*. [cited 2012 24/04 - 13:06H].
7. Carreiro, A.L.F., *ANÁLISE EXIGENCIAL COMPARADA DE SOLUÇÕES DE COBERTURAS LEVES DE ARMAZÉNS E EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS*, in *Especialização em Construções*2011, FEUP.
8. Kunzel, K.S.e.E.S.e.R.B.e.H.M., *Flat Roof Construction Manual*, ed. C.H.e.J. Billhardt. Vol. 1. 2010: Institut für internationale Architektur-Dokumentation.
9. Esteves, N.M.R., *Coberturas Planas de Edifícios Leves - Análise de Soluções*, in *Especialização em Construções*2012, FEUP.
10. http://www.constructalia.com/portugues_pt/products/estruturas/perfis_laminados_a_quente. *Perfis metálicos laminados a quente*. [cited 2012 24/04 - 13:24H].
11. <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=19&Cod=104>. *Perfis de coberturas em treliça*. [cited 2012 24/04 - 13:38H].
12. <http://www.metalica.com.br/trelicas-espaciais>. *Treliças Espaciais*. 20/03 - 16:28H [cited 2012].
13. Santos, V.L., *Metais - Coleção "Monografias de Materiais e de Elementos de Construção"*Janeiro 1998, Seção de Tecnologias da Faculdade de Arquitetura da UTL.
14. <http://metalicas.multipius.com/ligacoes.htm>. *Ligações*. [cited 2012 24/04 - 15:36H].
15. Matias, C.A.P.d.S.e.L.M.C., *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. 1ª Edição ed. ITE 50Lisboa, 2006.
16. <http://www.greenspec.co.uk/timber-flat-roof-insulation.php>. *Posição Isolamento Térmico*. 2012 10/04 - 16:00H].

17. Pinto, V.P.F.e.P.d.S., *Permeabilidade ao vapor de materiais de construção - Condensações internas*. 2ª edição ed. NIT 0022000.
18. Pinto, P.N.d.S., *Caracterização de Barreiras Pára-Vapor e sua Aplicação*, 2002, FEUP.
19. Centre Scientifique et Technique de la construction - Compositions de Toitures en fonction des données hygrothermiques - Toitures versants. Toitures plates. CSTC.
20. Lopes, N.M.S., *Tecnologia e Reabilitação de Revestimentos Exteriores de Coberturas Inclínadas*, 2009, IST - Universidade Técnica de Lisboa.
21. <http://metalica.com.br/tipos-de-aco-e-perfis-para-estrutura-metalica-de-edificios>. Tipo de aço. 20/03 - 11:44H [cited 2012].
22. <http://metalica.com.br/o-aco-e-os-sistemas-de-coberturas>. O Aço e os Sistemas de Coberturas. 20/03 - 15:00h [cited 2012].
23. http://www.goncalvesematias.pt/chapa_canelada_7-25.html. Chapas Caneladas de Alumínio. [cited 2012 26/04 - 16:37H].
24. <http://www.google.pt/imgres?um=1&hl=pt-BR&sa=N&biw=1366&bih=600&tbm=isch&tbid=cBRbQ5z35KJSAM:&imgrefurl=http://www.casasmood.com/produtos.html>. Painéis "Sandwich". [cited 2012 27/04 - 16:13H].
25. *Disciplina Física das Construções, Noções de Psicometria* 2008/2009: FEUP.
26. Catumba, M.J.d.S., *Condensações Internas - Critérios de aceitabilidade*, in *Especialização em Construções* 2009, FEUP.
27. *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – RCCTE. Decreto-Lei nº 80/2006, de 4 de Abril*. Porto, Porto Editora, 2006.
28. Duarte, J.P.S.R.F., *Condensações Superficiais Interiores - Avaliação do Risco*, in *Especialização em Construções* 2010, FEUP.
29. <http://www.google.pt/imgres?um=1&hl=pt-BR&sa=N&biw=1366&bih=600&tbm=isch&tbid=x-0Or2vmrCgPjM:&imgrefurl=http://www.engenhariacivil.com/sistemas-ventilacao-edificios&docid>. Ventilação Mecânica. 2012 03/05 - 12:27H].
30. CEN, *Hygrothermal performance of building components and building elements - Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation - Calculation methods (ISO 13788:2001)*, July 2001.
31. Vitor Abrantes - Consultoria e Projetos de Engenharia, L., *Relatório de Peritagem sobre Anomalias da Cobertura da Piscina Municipal de Matosinhos*, Porto, Dezembro de 2011.
32. Vitor Abrantes - Consultoria e Projetos de Engenharia, L., *Relatório de Patologia associada às Humidades da Piscina Municipal Engenheiro Armando Pimentel*, Porto, Novembro de 2010.
33. LNEC, 2º Simpósio Internacional sobre Patologia, Durabilidade e Reabilitação dos Edifícios "Aprendendo com Erros e Defeitos da Construção" - Roofing Failures - Carl G. Cash (USA) Lisboa, 6 a 8 Novembro de 2003.

34. Salta, I.R.F.e.M.M., *Componentes metálicos na construção*2004, Lisboa: LNEC.
35. LNEC, 2º *Simpósio Internacional sobre Patologia, Durabilidade e Reabilitação dos Edifícios "Aprendendo com Erros e Defeitos da Construção"* - *Comportamento de Componentes Metálicos em Edifícios* - I. Rute Fontinha e M. Manuela SaltaLisboa, 6 a 8 de Novembro de 2003.
36. Langbroek, J.H.e.M., *Stress corrosion cracking of stainless steels in indoor pools*. Stainless Building Bulletin (www.stainlessbuilding.com), Junho 2004. 1(2).
37. Cutler, N.B.e.P., *Technical note: stainless steel in indoor swimming pool buildings*.
38. Freitas, N.R.e.V., *Patologia da Construção - Estudo de casos*2010, Disciplina de Patologia e Reabilitação de Edifícios.
39. Agency, P.S., *Defects in Buildings*. Vol. 3. London, 1989.
40. <http://metalica.com.br/uso-de-produtos-inadequados-compromete-a-cobertura-de-empresendimentos>. *Uso de produtos inadequados compromete a cobertura de empresendimentos*. 20/03 - 10.14H [cited 2012].
41. <http://metalica.com.br/ligacoes-parafusadas>. *Ligações Aparafusadas*. 20/03 - 10:38H [cited 2012].
42. <http://www.construmetal.com.br/2006/arquivos/Patologia%20em%20Construcoes%20Mistas%20Concreto%20e%20Aco.pdf>. [cited 2012 29/05 - 13:09h].
43. Brasil, P.L., *Acetatos de Admnistração e Organização (Manutenção)*2009, Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal Fluminense.
44. Medeiros, R.d.C.C., *Reparação de Anomalias - Elaboração de Fichas de Intervenção*, in *Especialização em Construções*2010, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
45. Barros, P.M.L.d., *Processos de Manutenção Técnica de Edifícios - Plano de Manutenção (Coberturas)*, in *Especialização em Construções Civas*2008, FEUP.
46. <http://metalica.com.br/controle-de-patologias-e-processos-de-manutencao>. *A Influência do Processo Produtivo no Controle de Patologias e nos Processos de Manutenção*. 20/03 - 12:03h [cited 2012].
47. <http://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/397/4/003%20Texto.pdf>. *Custos de Reabilitação em Coberturas*. [cited 2012 15/03 - 16:30h].
48. <http://www.google.pt/imgres?um=1&hl=pt-BR&sa=N&biw=1366&bih=643&tbn=isch&tbnid=0f5CnO8H-NuFvM:&imgrefurl=http://patologiaestrutura.vilabol.uol.com.br/introducao.htm&docid=wtjBFGSJ2N2-mM&imgurl=>. *Lei de Sitter*. 2012 27/06 - 18:48H].
49. LNEC, 2º *Simpósio Internacional sobre Patologia, Durabilidade e Reabilitação dos Edifícios "Aprendendo com Erros e Defeitos da Construção"* - *Building Defect Analysis in the Service of Maintenance* - Attila Koppány (Hungary)Lisboa, 6 a 8 de Novembro de 2003.
50. Lichtenstein, N., *Patologia das Construções - Procedimento para diagnóstico e recuperação*, in *Engenharia de Construção Civil*1986, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

51. <http://imgrar.com/metal-roof-repair-tips.html>. *Escovagem manual*. 2012 [cited 2012 16/06 - 15:20H].
52. <http://www.google.pt/imgres?um=1&hl=pt-BR&biw=1366&bih=600&tbn=isch&tbnid=JruEgz3p9klomM:&imgrefurl=http://escondidor.oofcleaning.com/&docid=>. *Jato de água*. 2012 16/06 - 16:15H].
53. http://www.google.pt/imgres?um=1&hl=pt-BR&biw=1366&bih=600&tbn=isch&tbnid=Hp-FZ4aUf-RjiM:&imgrefurl=http://www.tatasteelconstruction.com/en/about_us/panels_profiles/publications_and_case_studies/case_studies/plate_processing_centre/&docid=. *Chapas metálicas perfiladas*. [cited 2012 19/06H - 11:32H].
54. <http://cooltoproof.com/gallery.htm>. *Aplicação de membrana de proteção*. [cited 2012 20/06 - 12:17H].
55. FEUP, L.-. *CONDENSA 13788 - Condensações em elementos de construção*, 2009, 1001FORMAS - Software e Multimédia, Lda.

Anexo A1 – Análise de Condensações Superficiais no Revestimento da Cobertura com Desvão Não Ventilado

1. Análise do revestimento com desvão não ventilado

1.1 Revestimento em chapa simples de alumínio

1.1.1 Temperatura exterior de 5 °C

Pressão do vapor de água no exterior:

$$P_{\text{exterior}} = 611. e^{\frac{17,08 \times 5}{234,18 + 5}} = 873,19 \text{ Pa}$$

Humidade do ar no exterior:

$$T(\text{kelvin}) = 5 + 273,15 = 278,15 \text{ K}$$

$$W_{\text{exterior}} = 2,167 \times \left(\frac{873,19}{278,15} \right) = 6,80 \text{ g/m}^3$$

Temperatura no desvão da cobertura:

$$U_{Ti} \times A_{Ti} (T_i - T_{\text{desvão}}) = U_{\text{revest}} \times A_{\text{revest}} (T_{\text{desvão}} - T_e)$$

$$\leftrightarrow$$

$$0,59 \times 1 (30 - T_{\text{desvão}}) = 7,1 \times 1 (T_{\text{desvão}} - 5)$$

$$\leftrightarrow$$

$$T_{\text{desvão}} = 6,64 \text{ °C}$$

Temperatura superficial interior da chapa simples de alumínio:

$$T_{\text{si,chapa}} = 6,64 - 7,1 \times 0,10 (6,64 - 5) = 5,48 \text{ °C}$$

Através da análise do diagrama psicométrico, é perceptível que a humidade relativa para a temperatura de 6,64 °C no desvão, só pode ser aproximadamente de 100% para a humidade do ar estar entre os 19,7 g/m³ (interior) e os 7,60 g/m³, que é o valor da humidade no desvão quando tem 2 renovações horárias do ar.

Posto isto, a temperatura de ponto de orvalho (T_{po}) será de 6,90°C e a humidade do ar de 7,80 g/m³. Como T_{po} > 5,48°C (temperatura superficial interior da chapa) há a probabilidade de ocorrência de condensações no tardo da chapa de alumínio.

Pressão do vapor de água no interior do desvão:

$$P_{\text{desvão}} = 611. e^{\frac{17,08 \times 6,64}{234,18 + 6,64}} = 978,51 \text{ Pa}$$

Fluxo de vapor de água que aproximadamente se irá condensar na chapa de alumínio:

$$g = (2762,53 - 978,51) \times \frac{20 \times 10^{-9}}{0,0725} = 0,000492 \text{ g/m}^3$$

Temperatura necessária no desvão para que não ocorram condensações, ou seja, para que não haja a troca do fluxo atrás calculado:

$$P_{desvão} = P_{interior} = 2762,53 = 611. e^{\frac{17,08 \times T}{234,18 + T}}$$

$\leftrightarrow$

$$T_{desvão} = 22,69 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Coefficiente de transmissão térmica que o revestimento tem de possuir para que o desvão esteja a uma temperatura de 22,69 °C:

$$0,59 (30 - 22,69) = U_{revestimento} (22,69 - 5)$$

$\leftrightarrow$

$$U_{revestimento} = 0,21 \text{ W/(m}^2\text{ }^{\circ}\text{C)}$$

Espessura do isolamento a colocar no revestimento em chapa de simples de alumínio para atingir um coeficiente de transmissão térmica de 0,21 W/(m²°C):

$$0,21 = \frac{1}{0,04 + \frac{0,01}{230} \times 2 + \frac{e}{0,037} + 0,10}$$

$\leftrightarrow$

$$e_{isolamento} = 17,1 \text{ cm}$$

Para que se evita a ocorrência de condensações na chapa de alumínio com uma temperatura exterior de 5 °C, o revestimento teria de ter uma configuração construtiva com uma camada de isolamento com 17,1 cm de espessura e com uma condutibilidade térmica de 0,037 W/m.°C.

1.1.2 Temperatura exterior de 0 °C

Pressão do vapor de água no exterior:

$$P_{exterior} = 611. e^{\frac{17,08 \times 0}{234,18 + 0}} = 611,00 \text{ Pa}$$

Humidade do ar no exterior:

$$T(\text{kelvin}) = 0 + 273,15 = 273,15 \text{ K}$$

$$W_{exterior} = 2,167 \times \left(\frac{611}{273,15} \right) = 4,85 \text{ g/m}^3$$

Temperatura no desvão da cobertura:

$$U_{Ti} \times A_{Ti} (T_i - T_{desvão}) = U_{revest} \times A_{revest} (T_{desvão} - T_e)$$

$$\leftrightarrow$$

$$0,59 \times 1(30 - T_{desvão}) = 7,1 \times 1(T_{desvão} - 0)$$

$$\leftrightarrow$$

$$T_{desvão} = 1,97 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Temperatura superficial interior da chapa simples de alumínio:

$$T_{si,chapa} = 1,97 - 7,1 \times 0,10 (1,97 - 0) = 0,57 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Através da análise do diagrama psicométrico, é perceptível que a humidade relativa para a temperatura de 1,97 °C no desvão, só pode ser aproximadamente de 100% para a humidade do ar estar entre os 19,7 g/m³ (interior) e os 5,85 g/m³, que é o valor da humidade no desvão quando tem 2 renovações horárias do ar.

Posto isto, a temperatura de ponto de orvalho (T_{po}) será de 2,0 °C e a humidade do ar de 5,90 g/m³. Como T_{po} > 0,57 °C (temperatura superficial interior da chapa) há a probabilidade de ocorrência de condensações no tardo da chapa de alumínio.

Pressão do vapor de água no interior do desvão:

$$P_{desvão} = 611. e^{\frac{17,08 \times 0}{234,18 + 0}} = 704,57 \text{ Pa}$$

Fluxo de vapor de água que aproximadamente se irá condensar na chapa de alumínio:

$$g = (2762,53 - 704,57) \times \frac{20 \times 10^{-9}}{0,0725} = 0,000568 \text{ g/m}^3$$

Temperatura necessária no desvão para que não ocorram condensações, ou seja, para que não haja a troca do fluxo atrás calculado:

$$P_{desvão} = P_{interior} = 2762,53 = 611. e^{\frac{17,08 \times T}{234,18 + T}}$$

$$\leftrightarrow$$

$$T_{desvão} = 22,69 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Coefficiente de transmissão térmica que o revestimento tem de possuir para que o desvão esteja a uma temperatura de 22,69 °C:

$$0,59 (30 - 22,69) = U_{\text{revestimento}} (22,69 - 0)$$

↔

$$U_{\text{revestimento}} = 0,16 \text{ W/(m}^2\text{°C)}$$

Espessura do isolamento a colocar no revestimento em chapa de simples de alumínio para atingir um coeficiente de transmissão térmica de 0,16 W/(m²°C):

$$0,16 = \frac{1}{0,04 + \frac{0,01}{230} + \frac{e}{0,037} + 0,10}$$

↔

$$e_{\text{isolamento}} = 22,6 \text{ cm}$$

Para que não ocorressem condensações na chapa de alumínio com uma temperatura exterior de 0 °C, o revestimento teria de ter uma configuração construtiva com uma camada de isolamento com 22,6 cm de espessura e com uma condutibilidade térmica de 0,037 W/m.°C.

1.1.3 Temperatura exterior de -4 °C

Pressão do vapor de água no exterior:

$$P_{\text{exterior}} = 611 \cdot e^{\frac{22,44x(-4)}{272,44-4}} = 437,34 \text{ Pa}$$

Humidade do ar no exterior:

$$T(\text{kelvin}) = -4 + 273,15 = 269,15 \text{ K}$$

$$W_{\text{exterior}} = 2,167 \times \left(\frac{437,34}{269,15} \right) = 3,52 \text{ g/m}^3$$

Temperatura no desvão da cobertura:

$$U_{Ti} \times A_{Ti} (T_i - T_{\text{desvão}}) = U_{\text{revest}} \times A_{\text{revest}} (T_{\text{desvão}} - T_e)$$

↔

$$0,59 \times 1 (30 - T_{\text{desvão}}) = 7,1 \times 1 (T_{\text{desvão}} + 4)$$

↔

$$T_{\text{desvão}} = -1,76 \text{ °C}$$

Temperatura superficial interior da chapa simples de alumínio:

$$T_{si, \text{chapa}} = -1,76 - 7,1 \times 0,10 (-1,76 + 4) = -3,35 \text{ °C}$$

Através da análise do diagrama psicométrico, é perceptível que a humidade relativa para a temperatura de $-1,76\text{ }^{\circ}\text{C}$ no desvão, só pode ser aproximadamente de 100% para a humidade do ar estar entre os $19,7\text{ g/m}^3$ (interior) e os $4,60\text{ g/m}^3$, que é o valor da humidade no desvão quando tem 2 renovações horárias do ar.

Posto isto, a temperatura de ponto de orvalho (T_{po}) será de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a humidade do ar de $4,80\text{ g/m}^3$. Como $T_{po} > -3,35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (temperatura superficial interior da chapa) há a probabilidade de ocorrência de condensações no tardo da chapa de alumínio.

Pressão do vapor de água no interior do desvão:

$$P_{desvão} = 611 \cdot e^{\frac{22,44x(-1,76)}{272,44-1,76}} = 528,05\text{ Pa}$$

Fluxo de vapor de água que aproximadamente se irá condensar na chapa de alumínio:

$$g = (2762,53 - 528,05) \times \frac{20 \times 10^{-9}}{0,0725} = 0,000616\text{ g/m}^3$$

Temperatura necessária no desvão para que não ocorram condensações, ou seja, para que não haja a troca do fluxo atrás calculado:

$$P_{desvão} = P_{interior} = 2762,53 = 611 \cdot e^{\frac{17,08xT}{234,18+T}}$$

$\leftrightarrow$

$$T_{desvão} = 22,69\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Coeficiente de transmissão térmica que o revestimento tem de possuir para que o desvão esteja a uma temperatura de $22,69\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$0,59 (30 - 22,69) = U_{revestimento} (22,69 + 4)$$

$\leftrightarrow$

$$U_{revestimento} = 0,14\text{ W/(m}^2\text{ }^{\circ}\text{C)}$$

Espessura do isolamento a colocar no revestimento em chapa de simples de alumínio para atingir um coeficiente de transmissão térmica de $0,14\text{ W/(m}^2\text{ }^{\circ}\text{C)}$:

$$0,14 = \frac{1}{0,04 + \frac{0,01}{230} \times 2 + \frac{e}{0,037} + 0,10}$$

$\leftrightarrow$

$$e_{isolamento} = 25,9\text{ cm}$$

Para que não evite a ocorrência de condensações na chapa de alumínio com uma temperatura exterior de $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, o revestimento teria de ter uma configuração construtiva com uma camada de isolamento com 25,9 cm de espessura e com uma condutibilidade térmica de $0,037\text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$.

1.2 Revestimento em painel sandwich

1.2.1 Temperatura exterior de $5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Pressão do vapor de água no exterior:

$$P_{\text{exterior}} = 611 \cdot e^{\frac{17,08 \times 5}{234,18 + 5}} = 873,19\text{ Pa}$$

Humidade do ar no exterior:

$$T(\text{kelvin}) = 5 + 273,15 = 278,15\text{ K}$$

$$W_{\text{exterior}} = 2,167 \times \left(\frac{873,19}{278,15} \right) = 6,80\text{ g/m}^3$$

Temperatura no desvão da cobertura:

$$U_{Ti} \times A_{Ti} (T_i - T_{\text{desvão}}) = U_{\text{revest}} \times A_{\text{revest}} (T_{\text{desvão}} - T_e)$$

$$\leftrightarrow$$

$$0,59 \times 1(30 - T_{\text{desvão}}) = 1,1 \times 1(T_{\text{desvão}} - 5)$$

$$\leftrightarrow$$

$$T_{\text{desvão}} = 12,81\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Temperatura superficial interior do painel sandwich:

$$T_{\text{si,painel}} = 12,81 - 1,1 \times 0,10 (12,81 - 5) = 11,95\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Através da análise do diagrama psicométrico, é perceptível que a humidade relativa para a temperatura de $12,81\text{ }^{\circ}\text{C}$ no desvão, pode estar entre os 80 e 100%. Isto porque a humidade do desvão tem de se situar entre os $19,7\text{ g/m}^3$ e os $8,50\text{ g/m}^3$ (humidade do ar no desvão para uma renovação horária).

Humidade relativa 100%

Pelo diagrama psicométrico, a temperatura de ponto de orvalho para uma humidade relativa de 100% é de $12,80\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a humidade do ar de $11,0\text{ g/m}^3$. Como a temperatura superficial no interior do painel sandwich é de $11,95\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{po}} > T_{\text{si,painel}}$, havendo a probabilidade de ocorrerem condensações.

Pressão do vapor de água no interior do desvão:

$$P_{\text{desvão}} = 611 \cdot e^{\frac{17,08 \times 12,81}{234,18 + 12,81}} = 1481,69\text{ Pa}$$

Fluxo de vapor de água que aproximadamente se irá condensar no painel sandwich:

$$g = (2762,53 - 1481,69) \times \frac{20 \times 10^{-9}}{0,0725} = 0,000353\text{ g/m}^3$$

Temperatura necessária no desvão para que se evite a ocorrência de condensações, ou seja, para que não haja a troca do fluxo atrás calculado:

$$P_{desvão} = P_{interior} = 2762,53 = 611. e^{\frac{17,08 \times T}{234,18 + T}}$$

$\leftrightarrow$

$$T_{desvão} = 22,69 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Coeficiente de transmissão térmica que o revestimento tem de possuir para que o desvão esteja a uma temperatura de 22,69 °C:

$$0,59 (30 - 22,69) = U_{revestimento} (22,69 - 5)$$

$\leftrightarrow$

$$U_{revestimento} = 0,21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C})$$

Espessura do isolamento térmico que o painel sandwich tem de ter na sua configuração para conseguir atingir um coeficiente de transmissão térmica de 0,21 W/(m²°C):

$$0,21 = \frac{1}{0,04 + \frac{0,01}{230} \times 2 + \frac{e}{0,037} + 0,10}$$

$\leftrightarrow$

$$e_{isolamento} = 17,1 \text{ cm}$$

Para que não haja a probabilidade de ocorrerem condensações na superfície interior do painel sandwich com uma temperatura exterior de 5 °C, teria de se aumentar em 14,1 cm a espessura do isolamento térmico entre as chapas de alumínio.

Humidade relativa 90%

Pelo diagrama psicométrico, a temperatura de ponto de orvalho para uma humidade relativa de 90% é de 11 °C e a humidade do ar de 10 g/m³. Como a temperatura superficial no interior do painel sandwich é de 11.95 °C, $T_{po} < T_{si,painel}$, não há a probabilidade de ocorrência de condensações.

Como para uma humidade relativa de 90% não há risco de condensações na superfície interior do painel, a análise para uma humidade relativa de 80% torna-se desnecessária. Isto porque, ao manter-se a temperatura no desvão e na superfície do painel sandwich, e a diminuir-se a humidade relativa, a temperatura de ponto orvalho vai ser inferior ao calculado anteriormente, havendo ainda menor probabilidade de ocorrerem condensações.

1.2.2 Temperatura exterior de 0 °C

Pressão do vapor de água no exterior:

$$P_{exterior} = 611. e^{\frac{17,08 \times 0}{234,18 + 0}} = 611,00 \text{ Pa}$$

Humidade do ar no exterior:

$$T(kelvin) = 0 + 273,15 = 273,15 K$$

$$W_{exterior} = 2,167 \times \left(\frac{611}{273,15} \right) = 4,85 g/m^3$$

Temperatura no desvão da cobertura:

$$U_{Ti} \times A_{Ti} (T_i - T_{desvão}) = U_{revest} \times A_{revest} (T_{desvão} - T_e)$$

$$\leftrightarrow$$

$$0,59 \times 1 (30 - T_{desvão}) = 1,1 \times 1 (T_{desvão} - 0)$$

$$\leftrightarrow$$

$$T_{desvão} = 9,38 ^\circ C$$

Temperatura superficial interior do painel sandwich:

$$T_{si,painel} = 9,38 - 1,1 \times 0,10 (9,38 - 0) = 8,35 ^\circ C$$

Através da análise do diagrama psicométrico, é perceptível que a humidade relativa para a temperatura de 9,38 °C no desvão, pode estar entre os 80 e 100%. Isto porque a humidade do desvão tem de se situar entre os 19,7 g/m³ e os 6,80 g/m³ (humidade do ar no desvão para uma renovação horária).

Humidade relativa 100%

Pelo diagrama psicométrico, a temperatura de ponto de orvalho para uma humidade relativa de 100% é de 9 °C e a humidade do ar de 9 g/m³. Como a temperatura superficial no interior do painel sandwich é de 8,35 °C, $T_{po} > T_{si,painel}$, existe a probabilidade de ocorrerem condensações.

Pressão do vapor de água no interior do desvão:

$$P_{desvão} = 611. e^{\frac{17,08 \times 9,38}{234,18 + 9,38}} = 1179,54 Pa$$

Fluxo de vapor de água que aproximadamente se irá condensar no painel sandwich:

$$g = (2762,53 - 1179,54) \times \frac{20 \times 10^{-9}}{0,0725} = 0,000437 g/m^3$$

Temperatura necessária no desvão para que se evite a ocorrência de condensações, ou seja, para que não haja a troca do fluxo atrás calculado:

$$P_{desvão} = P_{interior} = 2762,53 = 611. e^{\frac{17,08 \times T}{234,18 + T}}$$

$$\leftrightarrow$$

$$T_{desvão} = 22,69 ^\circ C$$

Coefficiente de transmissão térmica que o revestimento tem de possuir para que o desvão esteja a uma temperatura de 22,69 °C:

$$0,59 (30 - 22,69) = U_{\text{revestimento}} (22,69 - 0)$$

↔

$$U_{\text{revestimento}} = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{°C})$$

Espessura do isolamento térmico que o painel sandwich tem de ter na sua configuração para conseguir atingir um coeficiente de transmissão térmica de 0,16 W/(m²°C):

$$0,16 = \frac{1}{0,04 + \frac{0,01}{230} \times 2 + \frac{e}{0,037} + 0,10}$$

↔

$$e_{\text{isolamento}} = 22,6 \text{ cm}$$

Para que haja reduzida probabilidade de ocorrerem condensações na superfície interior do painel sandwich com uma temperatura exterior de 0 °C, teria de se aumentar em 19,6 cm a espessura do isolamento térmico entre as chapas de alumínio.

Humidade relativa 90%

Pelo diagrama psicométrico, a temperatura de ponto de orvalho para uma humidade relativa de 90% é de 7,3 °C e a humidade do ar de 8 g/m³. Como a temperatura superficial no interior do painel sandwich é de 8,35 °C, T_{po} < T_{si,painel}, não existindo a probabilidade de ocorrerem condensações.

Como para uma humidade relativa de 90% não há probabilidade de ocorrerem condensações na superfície interior do painel, a análise para uma humidade relativa de 80% torna-se desnecessária. Isto porque, ao manter-se a temperatura no desvão e na superfície do painel sandwich, e a diminuir-se a humidade relativa, a temperatura de ponto orvalho vai ser inferior ao calculado anteriormente, havendo ainda menor probabilidade de ocorrerem condensações.

1.2.3 Temperatura exterior de -4 °C

Pressão do vapor de água no exterior:

$$P_{\text{exterior}} = 611 \cdot e^{\frac{22,44x(-4)}{272,44-4}} = 437,34 \text{ Pa}$$

Humidade do ar no exterior:

$$T(\text{kelvin}) = -4 + 273,15 = 269,15 \text{ K}$$

$$W_{\text{exterior}} = 2,167 \times \left(\frac{437,34}{269,15} \right) = 3,52 \text{ g}/\text{m}^3$$

Temperatura no desvão da cobertura:

$$U_{Ti} \times A_{Ti} (T_i - T_{desvão}) = U_{revest} \times A_{revest} (T_{desvão} - T_e)$$

$\leftrightarrow$

$$0,59 \times 1(30 - T_{desvão}) = 1,1 \times 1(T_{desvão} + 4)$$

$\leftrightarrow$

$$T_{desvão} = 6,63 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Temperatura superficial interior do painel sandwich:

$$T_{si,painel} = 6,63 - 1,1 \times 0,10 (6,63 + 4) = 5,46 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Através da análise do diagrama psicométrico, é perceptível que a humidade relativa para a temperatura de 6,63 °C no desvão, pode estar entre os 75 e 100%. Isto porque a humidade do desvão tem de se situar entre os 19,7 g/m³ e os 5,56 g/m³ (humidade do ar no desvão para uma renovação horária).

Humidade relativa 100%

Pelo diagrama psicométrico, a temperatura de ponto de orvalho para uma humidade relativa de 100% é de 6,50 °C e a humidade do ar de 7,6 g/m³. Como a temperatura superficial no interior do painel sandwich é de 5,46 °C, $T_{po} > T_{si,painel}$, ocorrendo condensações.

Pressão do vapor de água no interior do desvão:

$$P_{desvão} = 611. e^{\frac{17,08 \times 6,63}{234,18 + 6,63}} = 977,84 \text{ Pa}$$

Fluxo de vapor de água que aproximadamente se irá condensar no painel sandwich:

$$g = (2762,53 - 977,84) \times \frac{20 \times 10^{-9}}{0,0725} = 0,000492 \text{ g/m}^3$$

Temperatura necessária no desvão para que não ocorram condensações, ou seja, para que não haja a troca do fluxo atrás calculado:

$$P_{desvão} = P_{interior} = 2762,53 = 611. e^{\frac{17,08 \times T}{234,18 + T}}$$

$\leftrightarrow$

$$T_{desvão} = 22,69 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Coeficiente de transmissão térmica que o revestimento tem de possuir para que o desvão esteja a uma temperatura de 22,69 °C:

$$0,59 (30 - 22,69) = U_{\text{revestimento}} (22,69 + 4)$$

↔

$$U_{\text{revestimento}} = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{°C})$$

Espessura do isolamento térmico que o painel sandwich tem de ter na sua configuração para conseguir atingir um coeficiente de transmissão térmica de 0,14 W/(m²°C):

$$0,14 = \frac{1}{0,04 + \frac{0,01}{230} \times 2 + \frac{e}{0,037} + 0,10}$$

↔

$$e_{\text{isolamento}} = 25,9 \text{ cm}$$

Para que se evite a ocorrência de condensações na superfície interior do painel sandwich com uma temperatura exterior de -4 °C, teria de se aumentar em 22,9 cm a espessura do isolamento térmico entre as chapas de alumínio.

Humidade relativa 90%

Pelo diagrama psicométrico, a temperatura de ponto de orvalho para uma humidade relativa de 90% é de 5 °C e a humidade do ar de 6,8 g/m³. Como a temperatura superficial no interior do painel sandwich é de 5.46 °C, $T_{\text{po}} < T_{\text{si,painel}}$, não existindo a probabilidade de ocorrência de condensações.

Como para uma humidade relativa de 90% há uma reduzida possibilidade de ocorrerem condensações na superfície interior do painel, a análise para uma humidade relativa de 80% torna-se desnecessária. Isto porque, ao manter-se a temperatura no desvão e na superfície do painel sandwich, e a diminuir-se a humidade relativa, a temperatura de ponto orvalho vai ser inferior ao calculado anteriormente, havendo ainda menor probabilidade de ocorrerem condensações.

Anexo A2 – Análise de Condensações Superficiais no Revestimento da Cobertura com Desvão Ventilado

2. Análise do revestimento com desvão ventilado

2.1 Revestimento em Chapa de alumínio

2.1.1 Teto interior em gesso cartonado e isolamento térmico

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi l/e l$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	2	11,21	284,36	10,35	2,76E-07	10,12	100	11,25
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	4	11,12	284,27	10,32	2,76E-07	9,78	98	10,6
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	6	11,04	284,19	10,30	2,76E-07	9,66	97	10,3
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	8	10,97	284,12	10,28	2,76E-07	9,60	96	10,15
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	10	10,91	284,06	10,26	2,76E-07	9,56	96	10,05
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	15	10,79	283,94	10,23	2,76E-07	9,51	96,5	10
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	20	10,69	283,84	10,20	2,76E-07	9,49	97,5	9,95

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi l/e l$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	2	9,33	282,48	8,39	2,76E-07	9,06	100	9
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	4	9,23	282,38	8,36	2,76E-07	8,68	98	8,45
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	6	9,14	282,29	8,33	2,76E-07	8,55	96	8,2
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	8	9,07	282,22	8,31	2,76E-07	8,49	96	8
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	10	9,00	282,15	8,29	2,76E-07	8,44	96	7,8
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	15	8,87	282,02	8,25	2,76E-07	8,39	97	7,7
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	20	8,76	281,91	8,22	2,76E-07	8,36	97,5	7,65

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi l/e l$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	2	7,45	280,60	6,42	2,76E-07	8,12	100	7,5
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	4	7,34	280,49	6,39	2,76E-07	7,71	98	7
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	6	7,24	280,39	6,36	2,76E-07	7,56	96	6,3
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	8	7,16	280,31	6,34	2,76E-07	7,49	96	6,1
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	10	7,09	280,24	6,32	2,76E-07	7,45	96,5	6
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	15	6,94	280,09	6,27	2,76E-07	7,39	96,5	5,8
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	20	6,83	279,98	6,24	2,76E-07	7,36	97	5,65

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	2	5,57	278,72	4,46	2,76E-07	7,27	100	5,6
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	4	5,45	278,60	4,42	2,76E-07	6,83	98	5,2
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	6	5,35	278,50	4,39	2,76E-07	6,68	96	4,3
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	8	5,26	278,41	4,37	2,76E-07	6,60	95	4,15
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	10	5,18	278,33	4,34	2,76E-07	6,56	95	4
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	15	5,02	278,17	4,30	2,76E-07	6,49	95	3,9
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	20	4,90	278,05	4,26	2,76E-07	6,46	96	3,8

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	2	3,69	276,84	2,49	2,76E-07	6,52	100	3,95
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	4	3,56	276,71	2,45	2,76E-07	6,05	97	2,8
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	6	3,45	276,60	2,42	2,76E-07	5,89	96	2,2
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	8	3,36	276,51	2,39	2,76E-07	5,81	96	2
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	10	3,27	276,42	2,37	2,76E-07	5,76	96	1,7
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	15	3,10	276,25	2,32	2,76E-07	5,70	95	1,55
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	20	2,97	276,12	2,28	2,76E-07	5,66	95	1,2

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	2	1,81	274,96	0,53	2,76E-07	5,85	100	2,1
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	4	1,67	274,82	0,49	2,76E-07	5,36	97	0,8
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	6	1,56	274,71	0,45	2,76E-07	5,20	97	0,3
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	8	1,45	274,60	0,42	2,76E-07	5,11	96,5	0
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	10	1,36	274,51	0,40	2,76E-07	5,06	96,5	-0,2
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	15	1,18	274,33	0,34	2,76E-07	4,99	96	-0,35
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	20	1,04	274,19	0,30	2,76E-07	4,95	97	-0,4

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi 1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	2	-0,07	273,08	-1,44	2,76E-07	5,18	100	-0,3
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	4	-0,21	272,94	-1,48	2,76E-07	4,68	96	-1,4
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	6	-0,34	272,81	-1,52	2,76E-07	4,50	95	-2
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	8	-0,45	272,70	-1,55	2,76E-07	4,41	95	-2,15
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	10	-0,55	272,60	-1,58	2,76E-07	4,36	95	-2,25
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	15	-0,74	272,41	-1,63	2,76E-07	4,28	95	-2,5
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	20	-0,89	272,26	-1,68	2,76E-07	4,25	96	-2,8

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi 1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	2	-1,95	271,20	-3,40	2,76E-07	4,61	100	-1,3
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	4	-2,10	271,05	-3,45	2,76E-07	4,08	97	-3,2
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	6	-2,24	270,91	-3,49	2,76E-07	3,90	96	-3,6
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	8	-2,35	270,80	-3,52	2,76E-07	3,81	95	-3,8
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	10	-2,45	270,70	-3,55	2,76E-07	3,75	95	-4
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	15	-2,66	270,49	-3,61	2,76E-07	3,67	96	-4,3
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	20	-2,82	270,33	-3,66	2,76E-07	3,64	96	-4,4

2.1.2 Teto interior em gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi 1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	1	11,26	284,41	10,37	2,75862E-08	9,56	94,5	10,05
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	2	11,21	284,36	10,35	2,75862E-08	9,49	94	9,95
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	4	11,12	284,27	10,32	2,75862E-08	9,45	94	9,8
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	6	11,04	284,19	10,30	2,75862E-08	9,44	94	9,78
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	8	10,97	284,12	10,28	2,75862E-08	9,43	94,5	9,76
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	10	10,91	284,06	10,26	2,75862E-08	9,43	95	9,74
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	15	10,79	283,94	10,23	2,75862E-08	9,42	95	9,72
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	20	10,69	283,84	10,20	2,75862E-08	9,42	96	9,72

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	1	9,39	282,54	8,40	2,75862E-08	8,44	90	7,8
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	2	9,33	282,48	8,39	2,75862E-08	8,36	90,5	7,65
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	4	9,23	282,38	8,36	2,75862E-08	8,32	91	7,55
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	6	9,14	282,29	8,33	2,75862E-08	8,31	91,5	7,53
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	8	9,07	282,22	8,31	2,75862E-08	8,30	92	7,51
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	10	9,00	282,15	8,29	2,75862E-08	8,30	93	7,49
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	15	8,87	282,02	8,25	2,75862E-08	8,29	93,5	7,47
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	20	8,76	281,91	8,22	2,75862E-08	8,29	94	7,45

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	1	7,51	280,66	6,44	2,75862E-08	7,45	91,5	6,15
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	2	7,45	280,60	6,42	2,75862E-08	7,36	91,5	6
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	4	7,34	280,49	6,39	2,75862E-08	7,31	92	5,95
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	6	7,24	280,39	6,36	2,75862E-08	7,30	92,5	5,93
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	8	7,16	280,31	6,34	2,75862E-08	7,29	93	5,91
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	10	7,09	280,24	6,32	2,75862E-08	7,29	94	5,91
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	15	6,94	280,09	6,27	2,75862E-08	7,28	94,5	5,89
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	20	6,83	279,98	6,24	2,75862E-08	7,28	95	5,89

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	1	5,64	278,79	4,47	2,75862E-08	6,56	91	4
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	2	5,57	278,72	4,46	2,75862E-08	6,46	92	3,9
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	4	5,45	278,60	4,42	2,75862E-08	6,41	92	3,8
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	6	5,35	278,50	4,39	2,75862E-08	6,40	92,5	3,76
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	8	5,26	278,41	4,37	2,75862E-08	6,39	93,5	3,72
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	10	5,18	278,33	4,34	2,75862E-08	6,38	94	3,68
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	15	5,02	278,17	4,30	2,75862E-08	6,38	94,5	3,68
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	20	4,90	278,05	4,26	2,75862E-08	6,37	94,5	3,65

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	1	3,76	276,91	2,51	2,75862E-08	5,76	90	1,6
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	2	3,69	276,84	2,49	2,75862E-08	5,66	90,5	1,35
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	4	3,56	276,71	2,45	2,75862E-08	5,61	91,5	1,31
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	6	3,45	276,60	2,42	2,75862E-08	5,59	92	1,25
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	8	3,36	276,51	2,39	2,75862E-08	5,59	92,5	1,25
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	10	3,27	276,42	2,37	2,75862E-08	5,58	93,5	1,22
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	15	3,10	276,25	2,32	2,75862E-08	5,57	94	1,18
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	20	2,97	276,12	2,28	2,75862E-08	5,57	94,5	1,18

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	1	1,89	275,04	0,55	2,75862E-08	5,06	91,5	-0,3
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	2	1,81	274,96	0,53	2,75862E-08	4,95	92	-0,5
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	4	1,67	274,82	0,49	2,75862E-08	4,90	92	-0,6
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	6	1,56	274,71	0,45	2,75862E-08	4,88	92	-0,65
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	8	1,45	274,60	0,42	2,75862E-08	4,87	92,5	-0,68
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	10	1,36	274,51	0,40	2,75862E-08	4,87	93	-0,68
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	15	1,18	274,33	0,34	2,75862E-08	4,86	95	0,7
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	20	1,04	274,19	0,30	2,75862E-08	4,86	95,5	-0,7

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	1	0,02	273,17	-1,42	2,75862E-08	4,36	90,5	-2,25
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	2	-0,07	273,08	-1,44	2,75862E-08	4,25	90,5	-2,8
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	4	-0,21	272,94	-1,48	2,75862E-08	4,19	91	-2,9
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	6	-0,34	272,81	-1,52	2,75862E-08	4,17	91	-2,93
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	8	-0,45	272,70	-1,55	2,75862E-08	4,16	91	-2,95
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	10	-0,55	272,60	-1,58	2,75862E-08	4,16	91,5	-2,95
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	15	-0,74	272,41	-1,63	2,75862E-08	4,15	92	-2,98
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	20	-0,89	272,26	-1,68	2,75862E-08	4,15	92	-2,98

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	1	-1,86	271,29	-3,38	2,75862E-08	3,75	90	-4
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	2	-1,95	271,20	-3,40	2,75862E-08	3,64	87	-4,4
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	4	-2,10	271,05	-3,45	2,75862E-08	3,58	88	-4,6
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	6	-2,24	270,91	-3,49	2,75862E-08	3,56	89	-4,65
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	8	-2,35	270,80	-3,52	2,75862E-08	3,55	89,5	-4,68
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	10	-2,45	270,70	-3,55	2,75862E-08	3,54	90	-4,7
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	15	-2,66	270,49	-3,61	2,75862E-08	3,54	90,5	-4,7
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	7,1	20	-2,82	270,33	-3,66	2,75862E-08	3,53	91	-4,72

2.1.3 Teto interior em gesso cartonado

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	2	18,07	291,22	12,34	0,000002	13,05	88	15,2
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	4	17,67	290,82	12,22	0,000002	11,59	79	13,3
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	6	17,31	290,46	12,12	0,000002	10,96	75	12,4
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	8	16,98	290,13	12,02	0,000002	10,62	75	12,1
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	10	16,68	289,83	11,94	0,000002	10,40	74,5	11,75
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	15	16,03	289,18	11,75	0,000002	10,09	75	11,1
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	20	15,49	288,64	11,59	0,000002	9,93	76	10,8

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	2	16,87	290,02	10,57	0,000002	12,30	89	14,5
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	4	16,43	289,58	10,45	0,000002	10,68	78	12,2
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	6	16,04	289,19	10,33	0,000002	9,99	75	11
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	8	15,67	288,82	10,23	0,000002	9,61	74	10,3
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	10	15,34	288,49	10,13	0,000002	9,37	72	9,8
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	15	14,63	287,78	9,92	0,000002	9,03	73,5	9,05
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	20	14,04	287,19	9,75	0,000002	8,85	75	8,75

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	2	15,68	288,83	8,81	0,000002	11,63	88	13,4
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	4	15,20	288,35	8,67	0,000002	9,87	78	10,9
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	6	14,77	287,92	8,54	0,000002	9,13	74	9,2
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	8	14,37	287,52	8,43	0,000002	8,71	72,5	8,7
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	10	14,01	287,16	8,32	0,000002	8,45	73	8,2
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	15	13,23	286,38	8,10	0,000002	8,08	73	7,7
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	20	12,59	285,74	7,91	0,000002	7,89	73	7

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	2	14,49	287,64	7,04	0,000002	11,04	90	12,5
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	4	13,97	287,12	6,89	0,000002	9,15	78	9,3
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	6	13,50	286,65	6,75	0,000002	8,35	74	8,1
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	8	13,07	286,22	6,63	0,000002	7,91	71	7,35
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	10	12,68	285,83	6,52	0,000002	7,63	69,5	6,7
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	15	11,83	284,98	6,27	0,000002	7,23	70	5,8
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	20	11,14	284,29	6,07	0,000002	7,03	70,5	5

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	2	13,29	286,44	5,28	0,000002	10,51	93,5	12
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	4	12,73	285,88	5,11	0,000002	8,51	78	8,3
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	6	12,23	285,38	4,97	0,000002	7,66	70,5	7
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	8	11,77	284,92	4,83	0,000002	7,20	70	5,9
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	10	11,35	284,50	4,71	0,000002	6,90	68	5,3
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	15	10,44	283,59	4,45	0,000002	6,48	69	4
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	20	9,69	282,84	4,23	0,000002	6,26	69	3,3

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi 1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	2	12,10	285,25	3,51	0,000002	10,04	94	11
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	4	11,50	284,65	3,34	0,000002	7,94	78	7,4
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	6	10,96	284,11	3,18	0,000002	7,05	73	5
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	8	10,46	283,61	3,03	0,000002	6,56	69	4,5
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	10	10,01	283,16	2,90	0,000002	6,25	67,5	3,2
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	15	9,04	282,19	2,62	0,000002	5,81	67,5	2,1
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	20	8,24	281,39	2,39	0,000002	5,58	67	1,2

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi 1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	2	10,91	284,06	1,74	0,000002	9,57	97	10,1
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	4	10,27	283,42	1,56	0,000002	7,37	77,5	6,1
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	6	9,69	282,84	1,39	0,000002	6,44	72	4
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	8	9,16	282,31	1,24	0,000002	5,93	67,5	2,45
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	10	8,68	281,83	1,10	0,000002	5,60	66	1,3
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	15	7,64	280,79	0,80	0,000002	5,14	65	0,1
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	20	6,78	279,93	0,55	0,000002	4,90	66	-0,35

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi 1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	2	9,71	282,86	-0,02	0,000002	9,16	97,5	9,2
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	4	9,03	282,18	-0,22	0,000002	6,88	80	5,25
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	6	8,42	281,57	-0,40	0,000002	5,91	72	2,35
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	8	7,86	281,01	-0,56	0,000002	5,38	68	0,6
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	10	7,35	280,50	-0,71	0,000002	5,04	64,5	-0,2
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	15	6,24	279,39	-1,03	0,000002	4,56	60	-1,75
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	7,1	20	5,33	278,48	-1,29	0,000002	4,32	60,5	-2,3

2.2 Revestimento em Painel sandwich

2.2.1 Teto interior em gesso cartonado e isolamento térmico

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{sl,chapa}	($\pi/1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	1	15,15	288,30	14,59	2,76E-07	10,74	80	12,3
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	2	14,39	287,54	13,90	2,76E-07	10,12	82,5	11,25
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	4	13,38	286,53	13,01	2,76E-07	9,78	85	10,6
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	6	12,75	285,90	12,45	2,76E-07	9,66	86	10,3
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	8	12,31	285,46	12,06	2,76E-07	9,60	87	10,15
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	10	12,00	285,15	11,78	2,76E-07	9,56	89	10,05
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	15	11,49	284,64	11,33	2,76E-07	9,51	91	10
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	20	11,19	284,34	11,06	2,76E-07	9,49	92	9,95

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{sl,chapa}	($\pi/1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	1	13,67	286,82	13,05	2,76E-07	9,74	82	10,4
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	2	12,82	285,97	12,29	2,76E-07	9,06	82	9
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	4	11,72	284,87	11,31	2,76E-07	8,68	83	8,45
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	6	11,02	284,17	10,69	2,76E-07	8,55	86	8,2
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	8	10,55	283,70	10,27	2,76E-07	8,48	86	8
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	10	10,20	283,35	9,96	2,76E-07	8,44	87	7,8
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	15	9,64	282,79	9,46	2,76E-07	8,39	90	7,7
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	20	9,31	282,46	9,17	2,76E-07	8,36	90,5	7,65

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{sl,chapa}	($\pi/1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	1	12,19	285,34	11,51	2,76E-07	8,85	82	8,9
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	2	11,26	284,41	10,68	2,76E-07	8,11	82	7,5
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	4	10,05	283,20	9,61	2,76E-07	7,70	84	7
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	6	9,30	282,45	8,93	2,76E-07	7,56	84,5	6,3
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	8	8,78	281,93	8,47	2,76E-07	7,49	85,5	6,1
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	10	8,40	281,55	8,14	2,76E-07	7,45	86	6
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	15	7,79	280,94	7,59	2,76E-07	7,39	89	5,8
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	20	7,43	280,58	7,27	2,76E-07	7,36	90	5,65

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{sl,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	1	10,70	283,85	9,96	2,76E-07	8,06	82	7,4
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	2	9,70	282,85	9,07	2,76E-07	7,27	80	5,6
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	4	8,39	281,54	7,91	2,76E-07	6,83	82	5,2
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	6	7,57	280,72	7,18	2,76E-07	6,68	83	4,3
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	8	7,01	280,16	6,68	2,76E-07	6,60	85	4,15
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	10	6,60	279,75	6,31	2,76E-07	6,55	85,5	4
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	15	5,94	279,09	5,73	2,76E-07	6,49	88	3,9
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	20	5,55	278,70	5,38	2,76E-07	6,46	90	3,8

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{sl,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	1	9,22	282,37	8,42	2,76E-07	7,35	83	6
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	2	8,14	281,29	7,46	2,76E-07	6,51	80	3,95
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	4	6,73	279,88	6,21	2,76E-07	6,05	82	2,8
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	6	5,85	279,00	5,42	2,76E-07	5,89	83	2,2
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	8	5,24	278,39	4,88	2,76E-07	5,81	84	2
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	10	4,80	277,95	4,49	2,76E-07	5,76	85	1,7
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	15	4,09	277,24	3,86	2,76E-07	5,70	88	1,55
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	20	3,67	276,82	3,48	2,76E-07	5,66	90	1,2

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{sl,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	1	7,73	280,88	6,88	2,76E-07	6,73	83	4,9
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	2	6,58	279,73	5,86	2,76E-07	5,84	79	2,1
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	4	5,07	278,22	4,51	2,76E-07	5,36	81	0,8
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	6	4,12	277,27	3,67	2,76E-07	5,19	82	0,3
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	8	3,47	276,62	3,09	2,76E-07	5,11	84,5	0
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	10	3,00	276,15	2,67	2,76E-07	5,06	85,5	-0,2
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	15	2,24	275,39	1,99	2,76E-07	4,99	87,5	-0,35
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	20	1,79	274,94	1,59	2,76E-07	4,95	90	-0,4

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi/1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	1	6,25	279,40	5,34	2,76E-07	6,10	82	2,6
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	2	5,02	278,17	4,25	2,76E-07	5,18	76	-0,3
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	4	3,41	276,56	2,81	2,76E-07	4,67	78	-1,4
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	6	2,40	275,55	1,91	2,76E-07	4,50	80	-2
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	8	1,70	274,85	1,30	2,76E-07	4,41	81,5	-2,15
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	10	1,20	274,35	0,85	2,76E-07	4,36	83	2,25
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	15	0,39	273,54	0,13	2,76E-07	4,28	86	-2,5
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	20	-0,10	273,05	-0,30	2,76E-07	4,25	89	2,8

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi/1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	1	4,76	277,91	3,80	2,76E-07	5,56	82	1
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	2	3,46	276,61	2,64	2,76E-07	4,60	76	-1,3
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	4	1,74	274,89	1,11	2,76E-07	4,08	75,5	-3,2
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	6	0,67	273,82	0,16	2,76E-07	3,90	79	-3,6
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	8	-0,06	273,09	-0,50	2,76E-07	3,80	80,5	-3,8
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	10	-0,60	272,55	-0,97	2,76E-07	3,75	81,5	-4
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	15	-1,46	271,69	-1,74	2,76E-07	3,67	83	-4,3
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	20	-1,98	271,17	-2,20	2,76E-07	3,64	86	-4,4

2.2.2 Teto interior em gesso cartonado, barreira pára-vapor e isolamento térmico

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi/1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	1	15,15	288,30	14,59	2,76E-08	9,56	70	10,05
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	2	14,39	287,54	13,90	2,76E-08	9,49	77	9,95
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	4	13,38	286,53	13,01	2,76E-08	9,45	82	9,8
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	6	12,75	285,90	12,45	2,76E-08	9,44	85	9,78
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	8	12,31	285,46	12,06	2,76E-08	9,43	86,5	9,76
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	10	12,00	285,15	11,78	2,76E-08	9,43	88	9,74
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	15	11,49	284,64	11,33	2,76E-08	9,42	90	9,72
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	20	11,19	284,34	11,06	2,76E-08	9,42	92	9,72

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	1	13,67	286,82	13,05	2,76E-08	8,44	71	7,8
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	2	12,82	285,97	12,29	2,76E-08	8,36	74	7,65
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	4	11,72	284,87	11,31	2,76E-08	8,32	77	7,55
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	6	11,02	284,17	10,69	2,76E-08	8,31	81	7,53
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	8	10,55	283,70	10,27	2,76E-08	8,30	83,5	7,51
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	10	10,20	283,35	9,96	2,76E-08	8,30	85	7,49
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	15	9,64	282,79	9,46	2,76E-08	8,29	88,5	7,47
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	20	9,31	282,46	9,17	2,76E-08	8,29	90	7,45

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	1	12,19	285,34	11,51	2,76E-08	7,44	69,5	6,15
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	2	11,26	284,41	10,68	2,76E-08	7,36	72	6
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	4	10,05	283,20	9,61	2,76E-08	7,31	76	5,95
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	6	9,30	282,45	8,93	2,76E-08	7,30	80,5	5,93
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	8	8,78	281,93	8,47	2,76E-08	7,29	83	5,91
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	10	8,40	281,55	8,14	2,76E-08	7,29	85	5,91
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	15	7,79	280,94	7,59	2,76E-08	7,28	89,5	5,89
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	20	7,43	280,58	7,27	2,76E-08	7,28	91	5,89

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	1	10,70	283,85	9,96	2,76E-08	6,55	68	4
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	2	9,70	282,85	9,07	2,76E-08	6,46	71	3,9
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	4	8,39	281,54	7,91	2,76E-08	6,41	75	3,8
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	6	7,57	280,72	7,18	2,76E-08	6,40	80,5	3,76
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	8	7,01	280,16	6,68	2,76E-08	6,39	83,5	3,72
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	10	6,60	279,75	6,31	2,76E-08	6,38	84,5	3,68
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	15	5,94	279,09	5,73	2,76E-08	6,38	89	3,68
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	20	5,55	278,70	5,38	2,76E-08	6,37	90	3,65

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	1	9,22	282,37	8,42	2,76E-08	5,76	65	1,6
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	2	8,14	281,29	7,46	2,76E-08	5,66	68	1,35
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	4	6,73	279,88	6,21	2,76E-08	5,61	74	1,31
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	6	5,85	279,00	5,42	2,76E-08	5,59	79,5	1,25
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	8	5,24	278,39	4,88	2,76E-08	5,59	82	1,25
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	10	4,80	277,95	4,49	2,76E-08	5,58	84,5	1,22
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	15	4,09	277,24	3,86	2,76E-08	5,57	86,5	1,18
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	20	3,67	276,82	3,48	2,76E-08	5,57	90	1,18

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	1	7,73	280,88	6,88	2,76E-08	5,06	65	-0,3
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	2	6,58	279,73	5,86	2,76E-08	4,95	67	-0,5
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	4	5,07	278,22	4,51	2,76E-08	4,90	73,5	-0,6
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	6	4,12	277,27	3,67	2,76E-08	4,88	77	-0,65
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	8	3,47	276,62	3,09	2,76E-08	4,87	80	-0,68
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	10	3,00	276,15	2,67	2,76E-08	4,87	84	-0,68
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	15	2,24	275,39	1,99	2,76E-08	4,86	88	0,7
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	20	1,79	274,94	1,59	2,76E-08	4,86	90,5	-0,7

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	(π 1/e1)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	1	6,25	279,40	5,34	2,76E-08	4,35	60	-2,25
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	2	5,02	278,17	4,25	2,76E-08	4,25	63	-2,8
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	4	3,41	276,56	2,81	2,76E-08	4,19	70	-2,9
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	6	2,40	275,55	1,91	2,76E-08	4,17	74	-2,93
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	8	1,70	274,85	1,30	2,76E-08	4,16	77	-2,95
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	10	1,20	274,35	0,85	2,76E-08	4,16	80	-2,95
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	15	0,39	273,54	0,13	2,76E-08	4,15	82,5	-2,98
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	20	-0,10	273,05	-0,30	2,76E-08	4,15	88	-2,98

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi 1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	1	4,76	277,91	3,80	2,76E-08	3,75	59	-4
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	2	3,46	276,61	2,64	2,76E-08	3,64	59,5	-4,4
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	4	1,74	274,89	1,11	2,76E-08	3,58	68	-4,6
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	6	0,67	273,82	0,16	2,76E-08	3,56	70,5	-4,65
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	8	-0,06	273,09	-0,50	2,76E-08	3,55	74,5	-4,68
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	10	-0,60	272,55	-0,97	2,76E-08	3,54	76	-4,7
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	15	-1,46	271,69	-1,74	2,76E-08	3,54	81	-4,7
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	0,5	1,1	20	-1,98	271,17	-2,20	2,76E-08	3,53	83	-4,72

2.2.3 Teto interior em gesso cartonado

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi 1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	1	25,70	298,85	23,97	0,000002	14,70	63	17,5
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	2	24,94	298,09	23,30	0,000002	12,95	59	15,1
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	4	23,63	296,78	22,13	0,000002	11,54	50,5	13,3
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	6	22,52	295,67	21,15	0,000002	10,94	55	12,4
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	8	21,59	294,74	20,31	0,000002	10,60	57	12,1
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	10	20,78	293,93	19,59	0,000002	10,39	58	11,75
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	15	19,18	292,33	18,17	0,000002	10,08	62	11,1
10	283,15	100	1229,77	9,41	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	20	17,99	291,14	17,11	0,000002	9,93	64,5	10,8

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi 1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	1	25,27	298,42	23,37	0,000002	14,14	63	16,85
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	2	24,44	297,59	22,63	0,000002	12,20	57	14,4
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	4	22,99	296,14	21,34	0,000002	10,64	54	12,2
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	6	21,78	294,93	20,26	0,000002	9,97	53,5	11
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	8	20,74	293,89	19,34	0,000002	9,59	54	10,3
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	10	19,86	293,01	18,55	0,000002	9,36	56,5	9,8
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	15	18,10	291,25	16,99	0,000002	9,02	59	9,05
8	281,15	100	1074,17	8,28	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	20	16,79	289,94	15,83	0,000002	8,85	62,5	8,75

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi/1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	1	24,84	297,99	22,77	0,000002	13,65	62	16,2
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	2	23,93	297,08	21,96	0,000002	11,52	57	13,3
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	4	22,35	295,50	20,55	0,000002	9,83	52	10,9
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	6	21,03	294,18	19,38	0,000002	9,10	50,5	9,2
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	8	19,90	293,05	18,37	0,000002	8,70	53	8,7
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	10	18,93	292,08	17,51	0,000002	8,44	55	8,2
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	15	17,02	290,17	15,80	0,000002	8,07	58	7,7
6	279,15	100	936,15	7,27	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	20	15,59	288,74	14,54	0,000002	7,88	60	7

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi/1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	1	24,41	297,56	22,17	0,000002	13,20	60	15,5
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	2	23,43	296,58	21,29	0,000002	10,93	54	12,35
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	4	21,72	294,87	19,77	0,000002	9,11	48,5	9,3
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	6	20,28	293,43	18,49	0,000002	8,33	48	8,1
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	8	19,06	292,21	17,40	0,000002	7,89	49	7,35
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	10	18,01	291,16	16,47	0,000002	7,62	50	6,7
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	15	15,93	289,08	14,62	0,000002	7,23	55	5,8
4	277,15	100	813,98	6,36	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	20	14,39	287,54	13,25	0,000002	7,02	57	5

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi/1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	1	23,98	297,13	21,56	0,000002	12,81	60	15
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	2	22,92	296,07	20,62	0,000002	10,39	53	11,8
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	4	21,08	294,23	18,98	0,000002	8,46	48	8,3
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	6	19,53	292,68	17,60	0,000002	7,64	46,5	6,85
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	8	18,22	291,37	16,44	0,000002	7,18	47,5	5,9
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	10	17,09	290,24	15,43	0,000002	6,89	49	5,3
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	15	14,85	288,00	13,44	0,000002	6,47	52,5	4
2	275,15	100	706,08	5,56	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	20	13,19	286,34	11,96	0,000002	6,26	55	3,3

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi/1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	1	23,55	296,70	20,96	0,000002	12,46	60	14,75
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	2	22,41	295,56	19,95	0,000002	9,92	49	10,8
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	4	20,44	293,59	18,19	0,000002	7,89	45	7,35
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	6	18,79	291,94	16,72	0,000002	7,03	45	5
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	8	17,38	290,53	15,47	0,000002	6,54	45	4,3
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	10	16,17	289,32	14,39	0,000002	6,24	45	3,2
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	15	13,77	286,92	12,25	0,000002	5,80	49	2,1
0	273,15	100	611,00	4,85	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	20	11,99	285,14	10,67	0,000002	5,58	52,5	1,2

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi/1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	1	23,12	296,27	20,36	0,000002	12,11	59	14,05
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	2	21,91	295,06	19,28	0,000002	9,45	50	9,7
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	4	19,80	292,95	17,40	0,000002	7,33	44	6,1
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	6	18,04	291,19	15,83	0,000002	6,42	42,5	4
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	8	16,54	289,69	14,50	0,000002	5,91	43	2,45
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	10	15,25	288,40	13,35	0,000002	5,59	43	1,3
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	15	12,69	285,84	11,07	0,000002	5,14	47,5	0,1
-2	271,15	100	517,57	4,14	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	20	10,79	283,94	9,38	0,000002	4,90	51	-0,35

T _{ext}	T _{ext}	HR _{ext}	P _{ext}	W _{ext}	T _{int}	T _{int}	HR _{int}	P _{int}	W _{int}	U _{teto}	U _{revest}	N	T _{desvão}	T _{desvão}	T _{si,chapa}	($\pi/1/e1$)	W _{desvão}	HR _{desvão}	T _{po}
°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	°C	kelvin	%	Pa	g/m ³	W/(m ² .°C)	W/(m ² .°C)	h ⁻¹	°C	kelvin	°C		g/m ³	%	°C
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	1	22,69	295,84	19,76	0,000002	11,81	59,5	13,75
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	2	21,40	294,55	18,61	0,000002	9,04	48,5	9
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	4	19,17	292,32	16,62	0,000002	6,83	42,5	5,25
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	6	17,29	290,44	14,95	0,000002	5,89	40	2,35
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	8	15,70	288,85	13,53	0,000002	5,36	41,5	0,6
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	10	14,32	287,47	12,31	0,000002	5,03	42	-0,2
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	15	11,61	284,76	9,89	0,000002	4,56	43	-1,75
-4	269,15	100	437,34	3,52	30	303,15	65	2762,53	19,75	5,26	1,1	20	9,59	282,74	8,09	0,000002	4,31	47,5	-2,3